

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕСПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

С.В. Чижов, Ч.С. Раупов, Яхшиев Э.Т.

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ
СООРУЖЕНИЙ**

Том I

Учебник

**Для направления бакалавриатуры
5340600 – Эксплуатация транспортных сооружений
(мосты и тоннели)**

Ташкент – 2019

УДК (624.21.8+624.19):625.1

Эксплуатация транспортных сооружений /С.В Чижов, Ч.С.Раупов,
Э.Т.Яхшиев. Ташкент. Изд. «Complex Print» 2018, 510 стр.

Изложены основные вопросы эксплуатации, содержания, технической диагностики, анализа дефектов и повреждений конструкций, а также основные принципы эксплуатации искусственных сооружений на автомобильных и железных дорогах. Изложены цели, задачи и методология обследования и испытания конструкций и сооружений.

Книга предназначена для студентов вузов железнодорожного и автодорожного транспорта, и может быть полезно для специалистов, занимающихся вопросами эксплуатации, содержания, технической диагностики, дефектов и повреждений конструкций, обследования и испытания конструкций и сооружений на автодорожном и железнодорожном транспорте.

Ил. 67, табл. 12.

Рецензенты: **Ишанходжаев А.А.**— д.т.н., проф. каф. «Мосты, тоннели и путепроводы» Ташкентского института проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог;

Шермухамедов У.З. — к.т.н., доц., зав. каф. «Мосты и тоннели» Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта.

ВВЕДЕНИЕ

Мостовые сооружения являются важнейшими дорогостоящими элементами пути, срок эксплуатации которых достигает ста и более лет. От их состояния и надежности в значительной степени зависит безопасность движения авто- и железнодорожного транспорта и бесперебойность их работы. В процессе эксплуатации мостовых сооружений в них возникают различные повреждения (отказы); по мере роста обращающихся нагрузок отдельные элементы сооружений становятся не способными воспринимать возросшие нагрузки; иногда изменение условий эксплуатации железных и автомобильных дорог или судоходства вызывает необходимость их переустройства. Поэтому эксплуатируемые искусственные сооружения нуждаются в периодических осмотрах, диагностиках, реабилитациях и реконструкциях.

В связи с наличием, в эксплуатации большого количества так называемых старых мостовых сооружений, изготовленными в конце XIX века и начале XX века, обеспечение их надежности становится одной из главных проблем.

Мосты должны иметь высокую эксплуатационную надежность. Оценка надежности и грузоподъемности мостовых сооружений в комплексе работ по их содержанию имеет особое значение. С этой целью должны использоваться самые современные методы расчета, результаты экспериментальных исследований, что отражено в соответствующих разделах учебника. В учебнике изложены основные положения по содержанию и реконструкции мостов с учетом нормативных документов, относящихся к эксплуатации искусственных сооружений на железных дорогах. Более детально рассмотрены вопросы определения грузоподъемности и надежности мостов; диагностики и анализа повреждений, возникающих при длительной их эксплуатации; ремонта,

усиления и реконструкции.

В связи с высокой интенсивностью движения поездов, ростом нагрузок наиболее частыми и прогрессирующими отказами металлических и железобетонных мостов, становятся отказы, связанные с усталостными повреждениями и коррозией. Поэтому вопросы оценки долговечности, надежности и усиления мостовых конструкций в настоящем учебнике рассмотрены особенно подробно с изложением основных положений методики расчета.

Установлено, что в существующем объеме железнодорожных мостов Республики Узбекистан значительную долю, около 16%, составляют металлические мосты, отличающиеся большим разнообразием статических схем, годов строительства и условий эксплуатации. С каждым годом количество металлических мостов увеличивается за счет строительства новых железнодорожных линий, в том числе возводимых за счет иностранных инвестиций. Важной задачей является продолжение в 2016 году начатой работы по безусловной реализации основных положений Программы развития и модернизации инженерно-коммуникационной и дорожно-транспортной инфраструктуры на 2015-2019 годы [1].

В центре внимания должны быть вопросы по завершению модернизации Узбекской национальной автомагистрали, для чего в текущем году необходимо обеспечить строительство и реконструкцию около 513 километров автомобильных дорог.

В сфере железнодорожного транспорта ключевым направлением станет дальнейшее развитие сети железных дорог, обеспечение электрификации участка железных дорог Самарканд-Бухара и продолжение работ по электрификации участка Карши-Термез. Важным событием 2016 года явился завершение строительства 19-километрового железнодорожного туннеля через перевал Камчик и открытие железнодорожного движения по линии Ангрен-Пап, что позволит

обеспечить перевозку грузов железнодорожным транспортом между областями Ферганской долины и другими регионами страны [2, 3].

На дорогах Республики Узбекистан в настоящее время эксплуатируется более 7 тыс. авто- и 1,5 тыс. железнодорожных мостов и путепроводов. Их техническое состояние определяет пропускную способность автомобильных и железных дорог страны, а, следовательно, работоспособность всех структур экономики. Сейчас идет реконструкция ташкентской кольцевой автомобильной дороги протяженностью 67 км. Исходя из современных запросов, возникла необходимость строительства еще одной трассы – третьей обводной автодороги. Первый ее участок будет возведен в обход массива Сергели. Здесь уже построены новый мост длиной 300 метров через реку Чирчик, 120-метровый путепровод через железнодорожную линию Ташкент-Ангрен. В перспективе это позволит в объезд столицы связать Ферганскую долину через перевал Камчик с югом и севером Узбекистана.

Учебник может быть также использован при изучении дисциплин «Эксплуатация транспортных сооружений», а также может служить пособием для инженеров-мостовиков и путейцев.

ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА МОСТОВ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МОСТОСТРОЕНИЯ

1.1. Самые старые мосты в мире

Первые упоминания об искусственных сооружениях относятся к началу 3 тысячелетия до н. э. В древнем Египте, Вавилоне и Ассирии развивалось строительство искусственных сооружений, которое достигло расцвета позднее в Древнем Риме [4].

Во времена новой эры и затем в средние века профессия строителя мостов пользовалась всеобщим уважением. Примером может служить колонна Траяна в Риме. Римский правитель Маркус Улпиус Траянус (Markus Ulpius Traianus), вошедший в историю как император Траян, 18 мая 113 г. посетил сенат, где выступил с речью. В память об этом событии сенат решил построить каменную колонну. Многие изменилось с тех пор, но колонна Траяна высотой 38 м спустя столетия остается историческим памятником. На колонне изображены не только эпизоды траяно-дакийских войн, но и понтонный мост, и капитальный мост через Дунай, построенный по приказу Траяна Апполодором Дамасским (Appolodorus) в 101 г. Императора прославило именно строительство этих сооружений. Сеть дорог со множеством искусственных сооружений достигла в Древнем Риме 80 000 км. Только в самом Риме было около 500 км водоводов с множеством акведуков, тоннелей, подпорных стен и т.п. Десятки таких сооружений сохранились до наших дней на территориях Италии, Франции, Испании.

Кто построил первый мост? Чтобы ответить на этот вопрос, мы должны обратиться к доисторическим временам, так как всегда и везде человеку нужно было искать способ пересекать встречавшиеся на его пути ручьи и реки [5].

Вероятно, сама природа предоставила человеку первый мост, когда поперек какого-то ручья упало дерево. Человек легко мог это скопировать. Наверное, долгое время использовались именно такие деревянные мосты, прежде чем какой-то доисторический инженер не придумал насыпать посреди ручья камни и перекинуть бревна от них к берегам.

Два бревна укладывались рядом и на них в качестве настила клались поперечины. Так получился простой балочный мост с одной несовершенной опорой. Следующим шагом при строительстве моста через широкий неглубокий ручей было сооружение нескольких опор и соединение их с помощью бревен или каменных плит.

Письменное упоминание о самом первом мосте в истории, переброшенном через Евфрат, относится примерно к 600 г. до н. э. и содержится в трудах греческого историка Геродота.



Самый старый мост в мире находятся в Индии – подтвердил книги Рамаяна [6]. Космические челноки NASA удалось найти древний мост, соединяющий Индию и Шри-Ланку. Моста оценивается в 1750 тысяч лет, и один раз подтвердил записей, содержащихся в древних книгах Рамаяны.



В настоящее время, мост получил название Мост Адама. Мост был сделан из кучу таинственного морского шельфа вдоль 30 км в Palk пролив между

Индией и Шри-Ланкой. По форме и составу, эксперты пришли к выводу, что мост был сделан человеком, а не происходят из-за естественных причин. Легенды и археологии показывают, что люди населяли Шри-Ланке с 1750 тысяч лет назад, вместе с предполагаемым возрастом моста.

Результаты этого моста также является важным аспектом для назидания, таинственные легенды называют Рамаяна, которые ожидаются во время Tredha-юги, более 1,7 миллиона лет назад. В эпосе Рамаяна, он отметил, что мост был построен между Рамешварама (Индия) и Шри-Ланки побережья под руководством Рама, который является воплощением Кришны -18.

Эта информация может быть не столь важны для археологов, но большинство не может открыть духовные врата людей в мире, которые хотят знать истории, связанные с индийской мифологии.

Где был построен самый первый деревянный мост в Море. В Закубежье (Сергиев-Посадский р-н) находится памятник археологии – самый древний в мире деревянный мост, сделанный почти семь с половиной тысяч лет назад каменными топорами. Как сообщили в Институте археологии РАН, уникальное сооружение найдено вблизи села



Закубежье, рядом с Заболотским озером. Оно представляет собой конструкцию шириной более двух и длиной около пяти метров, сделанную из березовых бревен при помощи каменных топоров и без единого гвоздя.

Доисторическая постройка раскопана еще не полностью. Поэтому пока можно только предполагать, для чего она предназначалась. Возможно, древние жители Подмосковья построили мост, чтобы перебираться через речку Дубна. Однако не исключено, что деревянное

сооружение представляло собой небольшую пристань, к которой причаливали лодки. До последнего времени самым древним сооружением такого типа считался мост, построенный около шести тысяч лет назад в Швейцарии. Оба моста изготовлены из дерева и достаточно похожи [7].

Самым старым мостом в мире является мост, расположенный в Риме под названием Понте Мильвио, переброшенный через реку Тибр, которому уже около 2100 лет. Первое упоминание о мосте Понте Мильвио (Ponte Milvio) восходит к 207 г. до н. э. – во времена 2-й пунической войны между Карфагеном и Римом. Приблизительно в 110-109 г. до н. э. по указу Марко Эмилио Скауро построили этот каменный мост. Длина его составляет 136 метров [8]. Мост Понте Милвио известен тем, что на нем происходила битва между Константином и Максенцием в 312 году.



В древние времена через мост проходила Фламиниева (Via Flaminia) дорога, которая направлялась к Адриатическому морю и соединяла Рим с городом Арминум, современное название которого Римини.

Мульвиев мост – мост в 3 км к северу от Рима на древней Фламиниевой дороге (Via Flaminia), проложенной в I век. до н. э. и соединявшей Рим с Арминумом (сегодня Римини) на берегу Адриатического моря. Первоначально деревянный мост упоминается Титом Ливием в 207 г. до н.э. Каменный мост был построен в 109 г. до н.э. цензором Марком Эмилием Скавром. Важный в стратегическом отношении мост стал свидетельством многих исторических событий, самое знаменитое из которых битва между узурпатором Максенцием и

претендентом Константином (Константином I Великим) в 312 г. н.э. [9].



Самый старый мост в мире – Понс Фабрициуса (Pons Fabricius) или мост четырех Глав (Ponte dei Quattro Capì) в Риме (Италия), который был построен в 62 г. до н.э. Фото: Matthias Kabel/Wikipedia [10].



Древние плавучие мосты. Плавучие мосты древнего Китая в основном образуются способом соединения деревянных судов между собой. Но некоторые могут образовываться путем соединения бамбуковых или кожаных плотов.

Мост «Пуцзиньфуцяо» в провинции Шаньси является самым древним и самым известным плавучим мостом Китая. По историческим записям, в г. Лучжао периода Чуньцю (541 г. до н. э.) молодой барин Чжэнь царства Цинь со своим тяжелым грузом и многочисленным отрядом отправился в царство Цзинь, и тогда у реки Хуанхэ, в местности Сяянцзинь временно построили большой плавучий мост. В 257 г. н. э. на старом месте этого моста снова построили деревянный плавучий мост Пуцзиньфуцяо, скрепив суда бамбуковым тросом. При династии Тан (724 г. н. э.) решили «бамбук

заменить железом» и по двум берегам реки для фиксирования железных цепей построили четыре железных быка весом по 1000 тн. В годы Лунцин династии Мин (1567 – 1572 гг. н. э.) железный бык на западном берегу по причине изменения течения реки Хуанхэ ушел под воду, а бык восточного берега в последние годы цинской империи был закопан илом. В 1989 году археологи после разведки обнаружили железные быки древнего плавучего моста «Пуциньфуцяо» уезда Юнцзи. Плавучий мост, длиной в 360 м, стал чудом искусства и техники мирового мостостроения того времени [11].

Первые исторические свидетельства о сооружении *наплавных мостов* имеются в трудах Геродота. В описании походов персидских царей для завоевания южных европейских государств он описывает сооружение в 480 году до нашей эры наплавного моста, построенного армией Дария через пролив Дарданеллы. Для его наведения было использовано 700 кораблей, которые были выстроены в две линии с заякоренением спереди и сзади. Поверх корабельных палуб были натянуты по шесть мощных канатов, изготовленных из папируса и льна в каждой линии кораблей. По канатам был устроен сплошной настил из досок, для фиксирования которого поверх досок были натянуты дополнительно ещё шесть канатов. Для того чтобы лошади при переходе по мосту не пугались, по доскам был настелен хворост, в который была утрамбована земля. По краям каждого проезда было устроено ограждение. Мост имел разрывы в трёх местах, служащие для пропуска маломерных судов.

Через 13 лет его преемник Ксеркс, при походе на Грецию, возвёл подобный наплавной мост через Босфор. Через весь пролив был натянут канат, удерживающий корабли. Но внезапно поднявшийся шторм разметал корабли, и готовая переправа была полностью разрушена. Ксеркс в ярости приказал высечь море и восстановить переправу.

Наплавные мосты широко использовались римлянами во время военных походов. Так в 55 году до нашего летоисчисления армией Юлия

Цезаря всего за десять дней был построен деревянный понтонный мост в Германии через реку Рейн длиной 400 метров.

Интересный факт постройки понтонного моста между Байи и Пузуоли через морской залив. Один известный прорицатель предсказал Калигуле, что шансов на то, что он будет императором не больше чем проскакать на лошади через залив Байи. Калигула возвёл этот мост, восприняв данное пророчество как вызов судьбе.

Нельзя не упомянуть об одном из самых знаменитых древних китайских понтонных мостов под названием мост Алой Птицы. Этот плавучий мост длиной около 125 метров, при ширине в 15 метров, ведущий к центральным воротам императорского дворца Цзянькана, был построен на реке Циньхуай.

Мосты в доклассовом обществе. В доклассовом обществе строители только начинали ориентироваться в области архитектурных и технических идей, о чем можно судить по остаткам свайных построек, заложенных на своеобразных мостах-помостах. Тем не менее, в этих сооружениях, несмотря на примитивность их конструкции, нетрудно узнать в зародыше многие из современных систем [12].

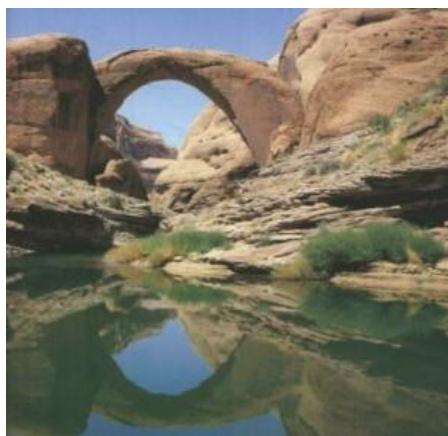
Так, в формах моста на Яве легко заметить кое-что общее с современным проектом моста через Золотые Ворота в Сан-Франциско, где сохранены те же основные элементы конструкции, правда, переработанные на несравнимо более высоком уровне, с учетом современных технических достижений, в ином масштабе и из другого материала. Оригинален мост в виде частокола из наклонных жердей, пропускающий течение сквозь себя. Этот прием использован и в более поздних деревянных балочных мостах.

Подобный же прием встречаем в мостах Китая с опорами в виде плетеных деревянных корзин. Щели для пропуска воды имели и древнерусские мосты-заборы, а также опоры из городней-ряжей, которые сохранились в мостах Бутана (Индия) и Тибета, где на них устраивались

жилища на манер первобытных свайных построек.

Зародышем консольных мостов был коротыш, выпущенный из ряжевой опоры, позволивший увеличить пролет моста. В дальнейшем первобытные консольные мосты достигли значительных пролетов, как показывают примеры сохранившихся древних мостов Кавказа и других стран. Для их устройства в насыпи, на обоих берегах реки, закладывались бревна, выпущенные на 1/3 над водой. На них укладывался второй, третий ряд и так далее, пока не образовывалось отверстие, достаточное для перекрытия одним бревном. В Бутане сохранились консольные мосты из брусьев, заделанных в каменные устои красивой архитектуры, покрытые крышей.

Балочные мосты, созданные самой природой, как, например, существующий и ныне в Утахе, несомненно, могли послужить образцом для первобытных каменных мостов типа дольменов из гранитных глыб. Такую же роль, очевидно, играли и «природные» арочные мосты.



Все достижения эпохи доклассового общества послужили основой развития архитектуры в классовом обществе и, прежде всего в восточных деспотиях, бывших первой его ступенью.

Самый высокий сохранившийся древнеримский акведук Пон-дю-Гар – перекинут через реку Гардон (прежде называемую Гар) во французском департаменте Гар близ Ремулана. Длина 275 метров, высота 47 метров. Памятник Всемирного наследия ЮНЕСКО (с 1985 г.) [13].

Долгое время считалось, что Пон-дю-Гар был воздвигнут для снабжения водой города Нима по приказу Марка Агриппы, зятя императора Октавиана Августа (ок. 19 г до н. э.). Новейшие исследования свидетельствуют о том, что строительство велось в сер. I в. н. э. Строился

он без применения извёстки и представлял собой составную часть 25-километрового водопровода, который вёл в Ним из Юзеса. Акведук трёхъярусный: в нижнем ярусе шесть арок, в среднем – одиннадцать, в верхнем – тридцать пять. По мере приближения к берегу, ширина арок уменьшается.

Водопровод перестал действовать вскоре после падения Римской империи, однако сам акведук на протяжении столетий использовался в качестве моста для повозок. Для пропуска габаритных транспортных средств часть опор была выдолблена, что создавало угрозу обвала всего сооружения. В 1747 г. неподалёку был построен современный мост, движение по Пон-дю-Гару было постепенно закрыто, а сам древний памятник по приказу Наполеона III реставрирован.



Римский мост в Мериде (Puente Romano) – арочный мост из тесаного гранита, переброшенный при Траяне через реку Гвадиана у колонии Эмерита-Августа (ныне город Мерида в Испании) [14].

Мост, поостренный в начале II века, первоначально состоял из 62 пролётов общей длиной в 755 метров. Из-за повышения культурного слоя пролёты с южного берега ушли под землю. В настоящее время мост состоит из 60 пролётов и при длине в 721 метр является самым длинным мостом, уцелевшим со времён античности.

Мост ведёт к крепости Алькасаба, которую велел построить в 835

году арабский правитель Абд ар-Рахман II. Подобно другим историческим памятникам Мерида, он состоит под охраной ЮНЕСКО в составе объекта



«Археологический комплекс Мерида». В Мериде сохранились руины ещё одного древнего моста, а также порядком разрушенный акведук Лос-Милагрос.

Мосты древнего Ирана. Персы, захватившие в середине VI века до нашей эры Вавилон, переняли от него, а также от Ассирии и Египта строительную технику кладки из кирпича, но в своих композиционных приемах значительно отошли от системы прямолинейных форм, характерной для этих стран. Применение подъемистой стрельчатой арки из кирпичных клиньев было крупным техническим достижением персов. Оно позволило сильно увеличить пролеты перекрытий и возводить их с минимальной затратой дерева на кружала, что при дефиците в стране леса имело огромное значение. Освоение этой формы наложило печать своеобразия на всю последующую архитектуру переднего Востока, но связи с древним искусством Востока оно все же не нарушило. Введение стрельчатого очертания придало своеобразный характер также и формам мостов, которые в Иране строились в огромном количестве и имели, в частности, большое военное значение. По свидетельству Геродота, только на дороге из Сард в Сузы насчитывалось сто одиннадцать сторожевых постов, расположенных у мостов. В Иране совершенно не сохранилось мостов, построенных ранее IV века нашей эры. Дошедшие до нас мосты Дисфуль и Хустер на реке Карун возводились позже и уже под влиянием римской техники [14].

Последний представляет характерный для Ирана тип моста-плотины на въезде в крепость Хустер. Ярусный характер, изломанный для затруднения движений войска план, каменные стрельчатые своды, а также значительная длина моста – создают картинные ракурсы и сообщают композиции чисто восточную декоративность. Римское влияние сказалось в дополнительных отверстиях на быках обоих сооружений в устройстве



опор из облицованного камнем бетона. Нынешние кирпичные своды этих сооружений возведены значительно позже, после арабского завоевания.

Мост Марко Поло – десятипролётный средневековый арочный мост из гранита, построенный 1189 –1192 гг., через реку Юндин на юго-западной окраине городской зоны современного Пекина, в 15 км от исторического центра города. Считается, что это то самое сооружение, которое поразило воображение венецианского путешественника Марко Поло в XIII веке («превосходный мост, настолько прекрасный, что у него едва ли найдётся соперник в мире»). Пересекает Реку Юндин в Пекине (КНР). Длина моста - 266,5 м, ширина - 9,3 м, высота - 4,65 м [15].



Мост Часовни (Chapel Bridge) – крытый, пешеходный мост и самый

древний деревянный мост в Европе, пересекает реку Рёйс (Reuss) в г. Люцерн, Швейцария. Общая длина – 204 м, , материал – дерево, опоры - камень/дерево, пирс (кемалар боғлаб кўйиладиган махсус жой) - камень, дата строительства – 1300 – 1333 гг [16].

Мост Часовни получил свое название от рядом стоящей церкви Святого Петра (St.-Peters-Kapelle). Первоначально мост был построен, как оборонительное сооружение в составе городских укреплений и соединял старую и новую части города. Основной частью моста является восьмигранная водонапорная башня (нем. Wasserturm), которая была построена до строительства моста в 1300 году. Водонапорная башня была построена из кирпича. Ее высота 43 м. Она находится в средней части моста. Назначение башни на протяжении времени менялось – сторожевая башня, тюрьма, место пыток, пожарная вышка, казначейство.



На сегодняшний день башня – часть городской стены, там размещается Ассоциация артиллеристов (Artillery Association) и сувенирный магазин.

Мост Скалигеров (итал. Ponte Scaligero) – мост в городе Верона (Италия) через реку Адидже. Построен в 1355 году по указанию Канграде II дела Скала по проекту Гульельмо Бевилаквa. Мост соединяет левобережную часть города с замком Кастельвеккио и в Средние века служил единственным подходом к данному фортификационному сооружению. Мост имеет три пролёта, самый большой из которых – центральный, имеет длину 50 метров. В 1945 году при отступлении немецких войск мост был взорван, а затем восстановлен с использованием всех обнаруженных фрагментов [17].



Карлов мост – мост в Праге через реку Влтава, соединяет районы Праги Малая Страна и Старе Место. Началось все в 1357 году. 9 июля этого года в 5.31 (утра) король Карл IV заложил первый камень в основание моста. Если разложить эти цифры в один ряд, увидим некую закономерность 135797531, в то время считали, что событие в этот день должно принести не только удачу, но и сила цифр обязательно победит разрушительную стихию. Длина моста 520 метров. Карлов мост один из немногих мостов, строительство которого продолжалось более 100 лет [18]. С другой стороны, легенды гласят и о другом факте прочности, будто при строительстве моста использовали цемент, в который добавляли яйца.



Неизвестно, так ли это было на самом деле, но его опоры стоят уже не один век, и с гордостью выдерживают бурные водные потоки реки Влтавы.

Мост Хаджу (Khaju Bridge) – арочный, каменный мост через реку Заянде (Zayandeh River) является одним из самых знаменитых мостов в городе Исфахан, Иран [19]. Длина мота – 105 м, ширина – 14 м, количество арок – 23 шт., материал – камень, кирпич, дата открытия – 1650 г.

Мост Хаджу был построен на фундаменте старого моста по приказу

шаха Аббаса II в 1650 году. С точки зрения архитектурного изящества и отделки моста изразцами он не имеет себе равных и выполняет три функции – средство перехода через реку, плотины и место отдыха.

Мост состоит из двух ярусов. На верхнем уровне средняя полоса использовалась для прохода лошадей и повозок, а боковые полосы для пешеходов. В центральной части моста находятся два восьмигранных павильона для обзора прекрасного вида и отдыха. Нижний уровень доступен только пешеходам и остается популярным тенистым местом для отдыха.

Под мостом расположены шлюзы, которые в случае необходимости могут регулировать уровень воды реки Заянде. Эта мера направлена на поддержание ирригационных многочисленных садов, которые находятся выше по течению моста. Британский политик лорд Джордж Керзон в 1892 году назвал мост Хаджу – “самый величественный мост в мире”.



Мост Кинтай наряду с мостом Nihonbashi в Токио и мостом Meganebashi в Нагасаки, это один из трех самых знаменитых мостов в Японии. Построенный в 1673 году мост дважды восстанавливался.



Оригинал датируется 1673 годом, который в 1950 году был разрушен тайфуном [20].

Мост Искандера. В 60 км. от Термеза находится один из интереснейших памятников культуры Сурхандарьинской области мост Искандера. Местные жители связывают строительство моста с именем великого македонского полководца IV века до н.э. Александра. Но археологические исследования показали, что мост построен намного позже в XVI веке при правителе Абдуллахане (1557-1598) [21].

Мост построен над широким 20-метровым каньоном Бандыхан - сая. Он опирается на два береговых устоя, которые укреплены двумя контрфорсами - полукруглой и прямоугольной формы. Эти контрфорсы служат для дополнительной защиты от селевых потоков. Строительным материалом моста служил жженный кирпич.



Двойная стрельчатая арка выложена в три кирпича. Общая длина моста почти 70 м, ширина проезжей части – 5, 75 м, высота от дна русла до уровня проезжей части – 12,1 м, пролет арки - 5,8 м.

Долгие годы жители Ромитана Бухарской области восхищаются *старинным каменным мостом*, через который проходили крупные маршруты. В 1911 году ромитанский миллионер Чорикулбой обратился к эмиру Бухары с просьбой разрешить ему построить медресе или мечеть в Ромитане. Эмир порекомендовал ему построить каменный мост через Зарафшан, ибо каждый раз по весне деревянный настил смывало половодьем. Чорикулбой пригласил инженеров, геодезистов, строителей из Австрии, Румынии и Албании, которые за три года построили

девятипролетный мост, длина которого составляет – 50, а ширина – 5 метров. Особого внимания заслуживает и его внешний вид, поскольку он опирается на девять арок и восемь колонн.



В 70-х годах рядом был построен новый мост (железобетонный, по которому сегодня осуществляются все перевозки), а старый сохранили как исторический памятник [22].

Древний мост, Колпино, Россия (Ancient bridge, Kolpino, Russia). Этот мост находится в одном красивом местечке на границе Германии и Польши и мост построен в 19 веке [23].



Железнодорожный виадук Гёльтальбрюкке (нем. Göltzschtalbrücke) – железнодорожный мост и самый большой кирпичный виадук в мире. Мост проходит по долине реки Гёльч между городами Милау и Нечкау, в 4 км западнее города Райхенбах-им-Фогтланд (Саксония), недалеко от границы между федеральными землями Тюрингия и Саксония у города Грайца. Высота моста – 78 метров, общая длина – 574 м, ширина моста – 23 м, наибольший мостовой пролет - 30, 9 м, количество пролетов – 29, этажей – 4, дата открытия 15 июля 1851 г.

В настоящее время мост является частью скоростной магистрали Дрезден-Нюрнберг. При строительстве моста было использовано 26 021

000 кирпичей и 17 089 м³ песка.



Гёлътальбрюкке был построен в 1846–1851 годах в рамках строительства Саксоно-Баварской железной дороги у города Милау одновременно с похожим архитектурным сооружением, мостом Эльстертальбрюкке между городами Йосниц и Йокета.

Профессор Иоганн Андреас Шуберт на основе собственного опыта статических расчетов создал проект возможного решения, используя в нем отдельные предложения из конкурсных проектов. Таким образом, этот мост стал первым, в мире рассчитанным по статическим данным мостом. В качестве основного материала строительства архитектором был выбран кирпич, весьма необычный материал для тех времен. В этой местности имелись большие месторождения глины, и таким образом, кирпич был дешевым и удобным для доставки. Только в нескольких, вызывающих наибольшее сомнение местах, Шуберт планировал использовать гранит.

Первый камень в фундамент моста был заложен 31 мая 1846 года. После начала строительства проект еще раз подвергся изменениям из-за возникших технических трудностей. Кроме того, почва на месте строительства в долине оказалась не такой твердой, как предполагалось,

из-за чего первоначально запланированные симметричные арки были заменены в центре на одну гораздо более крупную арку по проекту главного инженера Роберта Вильке. Это еще больше украсило мост, превратив его в импозантное архитектурное сооружение.

На строительстве ежедневно использовались 50 000 кирпичей необычного размера: 28x14x6,5 см, вдоль линии строительства работали около 20 кирпичных заводиков. Руководили строительными работами: дизайнер моста - профессор Иоган Андреас Шуберт (1808 - 1870), главный инженер Роберт Вильке (1804 - 1889) и инженер Фердинанд Дост (1810 - 1888). Всего на строительстве было занято 1736 рабочих, из них 31 человек погиб во время проведения работ. После завершения строительства и открытия моста 15 июля 1851 года Гёльцтальбрюкке стал самым высоким железнодорожным мостом в мире, а самым большим кирпичным мостом он остается и в наши дни.

Мост через реку Верзаска. Итальянская часть Швейцарии, долина Верзаска. Долина Верзаска считается самой красивой долиной Тичино. Кристально чистые изумрудно-зеленые воды дикой горной реки Верзаска и пышная



средиземноморская растительность притягивает туристов, любителей природы и спортсменов. Река берет свое начало на высоте 2864 метров и течет на юг, впадая в озеро Маджоре [24].

Мост Солкан. В крайней западной точке Словении находится земля, которая называется Брда. Из Нова Горицы Вы попадете на **мост Солкан**.

Этот железнодорожный каменный мост через изумрудно-зеленую реку Соча, считается одним из самых красивых каменных мостов в мире и самым длинным железнодорожным мостом [25].



Мосты древнего Китая. Помимо арочных и балочных мостов в Китае с незапамятных времен строили подвесные мосты. Особенно этот тип сооружений широко использовался в горных районах на юге и западе Китая. При строительстве таких мостов использовались обработанные бамбуковые тросы, которые со временем были заменены на железные цепи. Часто по обеим сторонам висячего моста, под которым разверзалась пропасть или бушующая река, строились изящные китайские беседки или каменные башенки, придававшие особое очарование подобной картине [26].



Первыми висячими (подвесными) мостами были лианы или другие ползучие растения, перекинутые через реку. Первое письменное упоминание о цепном подвесном мосте датировано 630 г. н. э.

Древнейший подвесной мост на каменных цепях, сохранившийся до наших дней, находится в провинции Юньнань, уезд Луншэн, Гуанси. Это мост «*Цихун*», построенный в 1475 году, возвышается над рекой на высоте 20 м, его длина более 100 м, а ширина – около 3 м. Когда-то мост был важнейшим путем, связывающим Китай с соседствующими странами – Мьянмой, Лаосом и др.

*Швейцарские
Альпы. Чёртов мост.*

Мост проходит через узкое ущелье р. Рёйс, в швейцарских Альпах. Во время Швейцарского похода А. В. Суворова русские войска 14(25) сентября 1799 с боем



преодолели Чёртов мост, проявив при этом массовый героизм. Старый, Чертов мост в 1888 году рухнул, и вместо него был построен другой [27].

*Первым мостом на
проволочных канатах* стал 300-метровый Уилинг-Бридж в Огайо, США (1848) [28]. Самыми протяженными мостами в современном мире являются подвесные мосты на тросах из стальной проволоки, первым из



которых стал Бруклинский мост в Нью-Йорке, США (1883). В конце XX в. появились подвесные мосты еще одного типа - вантовые, первым из них стал мост Стормструнд в Норвегии (1955). Мосты арочной конструкции

встречаются чаще остальных, такие конструкции широко применяли римляне и для мостов, и для акведуков. Первый полностью железный арочный мост назывался Айрон-Бридж и был построен в Шропшире, Англия (1781). Первым стальным мостом со сквозной арочной фермой стал Сент-Луис-Бридж в Миссури, США в 1874 году, а самым первым железобетонным арочным – Штауффахер в Швейцарии (1898-1899).

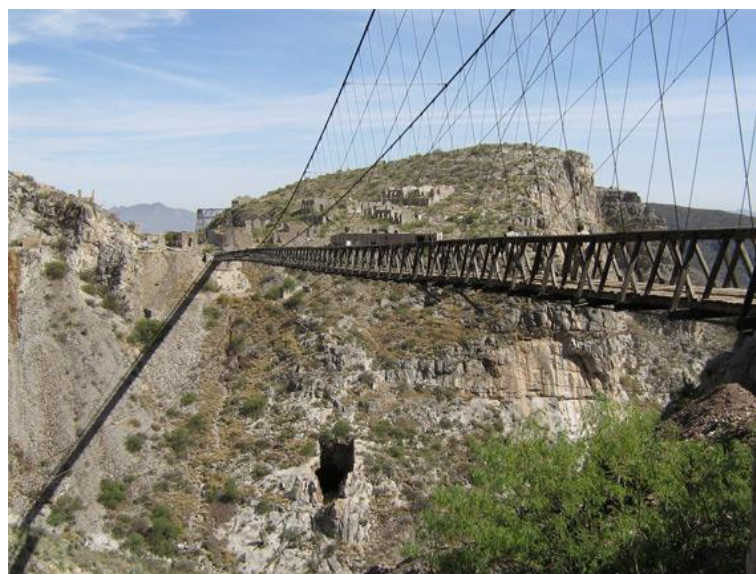
Подвесной мост в Kakum National Park,

Гана. Одной из главных достопримечательностей парка является прогулка по веревочному мосту, подвешенному на высоте 40 метров над землей. Знайте, что он



тут не единственный: попросите провести вас по «веревочному пути», состоящему из семи мостов общей протяженностью 330 метров [29].

Мост Puente de Ojuela, Мексика. Мост Puente de Ojuela ведёт через глубокое ущелье в давно заброшенный шахтёрский город Охуэла. Вот на пути к этому городу-призраку и располагается данная конструкция.



До дна ущелья 109 метров, а длина моста - 318 метров, идти приходится по деревянным доскам, которые подозрительно скрипят [30].

Уникальные водные мосты мира. Акведук Понткисиллте. Этот водный мост находится в Рэксхеме, Великобритания. Его строительство проходило между 1795 и 1805 годами и необходимо было для перенесения канала Эллесмер через долину реки Ди. Главной целью возведения акведука было соединить угольные шахты Денбишира с национальной системой каналов в период Промышленной революции, когда экономика Англии стремительно набирала обороты. На сегодняшний день самый высокий и самый длинный водный мост Великобритании Понткисиллте является объектом Всемирного наследия ЮНЕСКО [31].

В длину акведук достигает 307 метров, в ширину – 3,4 метра, а глубина его достигает 1,60 м. Мост выполнен из чугуна и находится на высоте 38 метров над рекой. Строительство акведука оказало колоссальное влияние на экономику страны в первой половине 19 века. Увеличилась добыча известняка и угля, получило развитие производство извести. Однако сегодня по каналу уже не перемещаются баржи с углем и рудой. На данный момент акведук представляет собой популярную туристическую достопримечательность.



Школа мостовиков в странах СНГ. Широкое применение металла в мостостроении относится ко второй половине XVIII в., когда промышленная революция в Англии позволила получать достаточное количество однородного чугуна. Первый чугунный арочный мост (сохранившийся, кстати, до наших дней) был построен в Англии в 1774 г.

Начиная с XIX в. балочные мосты стали строить из железа, стали и

бетона. Первым железным балочным мостом с пролетами коробчатого сечения стал Британния-Бридж в Уэльсе (1850), одним из первых стальных балочных мостов с пролетами коробчатого сечения - мост через Эльбу в Германии, достроенный в 1936 г. Первый монолитный балочный мост с пролетами коробчатого сечения - Шелтон-Роуд-Бридж в Коннектикуте, США (1952 г.).

Обзор мостостроения в начале XX века, показывает, что его развитие было отмечено большими достижениями, как в конструктивно-техническом, так и в архитектурно-художественном аспекте. Значительно расширился «спектр» конструктивных решений, были освоены разнообразные системы стальных пролетных строений, смелее и шире использовался железобетон. Все это намного обогатило творческую палитру мостостроителей. В проектировании мостов, особенно городских, большую роль стали играть архитектурно - градостроительные соображения. Все более отчетливым и последовательным становилось; стремление создать сооружения, гармонично сочетающиеся с городской средой. Оно реализовалось и в выборе конструктивного решения моста, и в проработке его деталей.

Мост начинает рассматриваться как важнейшей элемент архитектурной среды города. Выдвигается задача формирования ансамблевого взаимодействия моста и окружающей городской среды. Замечательные образцы, решения этой задачи видят в наследии петербургского мостостроения эпохи классицизма. Оно становится объектом пристального внимания, а нередко и источником творческого вдохновения при проектировании новых мостов, как в самом Петербурге, так и в других городах.

Проектирование и строительство мостов в России осуществлялось выпускниками Петербургского института инженеров путей сообщения (ныне ПГУПС), среди которых были такие выдающиеся мостостроители и

ученые, как С.В. Кербедз (1810-1899), Д.И. Журовский (1821-1891), Ф.И. Энрольд (1828-1877) – основатель кафедры мостов Путейского института.

Школа мостостроения в странах СНГ в XIX в. практически не отставала от мирового уровня и внесла заметный вклад в науку о мостах. Большой вклад в становление русской научной школы мостостроения внес Д.И. Журавский, который разработал теорию расчета многорешетчатых ферм, создал теорию касательных напряжений.

Начало инженерной деятельности Д.И. Жуковского совпало со строительством магистрали Москва - Петербург. Там требовалось множество мостов с деревянными фермами. Журавский внес существенные конструктивные изменения в известные фермы Гау и создал теория их расчета, что позволило перекрывать пролеты до 62 м.

В середине XIX века в мостостроении для больших и средних мостов стали широко применять металлические пролетные строения с много решетчатыми, а затем с много раскосными фермами. Русский инженер С.В. Кербедз соратник Журавского, усовершенствовал конструкцию много решетчатых ферм, предложив использовать меньшее количество решеток, но с более жесткими элементами.

Огромный вклад в развитие науки о металлических мостах внес выдающийся ученый Н.А. Белелюбский (1848-1922). Он улучшил схему и конструкцию элементов многораскосных главных ферм пролетных строений, предложил шарнирное опирание поперечных балок в узлах главных ферм. В 1883 г. он установил, что вместо сварочного железа в металлических мостах целесообразнее использовать литое. По проектам Белелюбского построены многие мосты, некоторое из них эксплуатируются и поныне. Они отличаются своеобразием, заметно выраженной типизацией пролетных строений. Белелюбского с полным основанием можно считать родоначальником типового проектирования мостов.

В конце XIX начался переход от много решетчатых и много раскосных ферм к фермам с простой треугольной решеткой, а также шпренгельным большими пролетах. Инициатором этого стал выдающийся ученый Л.Д.Проскураков (1858-1926), первый проректор и заведующий кафедрой строительной механики и мостов Московского инженерного училища, основанного в 1896 г. (ныне МИИТ). Проскуракову принадлежит ряд крупнейших работ в области расчета мостов, в частности, расчета по линиям влияния. Он автор проектов, мостов через такие реки, как Амур, Волга, Москва, Ока. А его проект моста через р. Енисей был удостоен золотой медали на Всемирной выставке в Париже в 1900 г.

Мосты Л.Д. Проскуракова изящны, имеют вполне современные формы. Элементы главных ферм обладают высокой жесткостью. Этим сооружениям присущи высокие эксплуатационные качества, поэтому многие надежно служат до сих пор.

Металлические мосты, спроектированные Н.А. Белелюбским и Л.Д. Проскураковым, строили примерно до двадцатых годов прошлого века. Пролетные строения собирали на строительной площадке, где в мастерских изготовляли отдельные элементы. Монтировали их на сплошных подмостях в пролетах. Элементы и их соединения подгоняли по месту. Недостаточная мощность монтажных механизмов ограничивала размеры и массу деталей.

В начале XX века школа мостовиков продолжала лучшие традиции прошлого. У ее истоков стояли видные ученые - мостовики академики Г.П. Передерий, (1871-1953) Патон, Н.С. Стрелецкий, профессора И.П. Прокофьев, Г.К. Евграфов, К.Г. Протасов и другие. Был взят курс на заводской выпуск элементов пролетных строений. На строительной площадке выполняли только монтаж.

Г.П. Передерий изложил свои взгляды об архитектуре мостов в учебнике по курсу железобетонных мостов, изданном в 1912 г. Этот труд,

посвященный главным образом вопросам конструирования, расчета и постройки железобетонных мостов, затрагивал также и вопросы их архитектуры. Передерий считал, что при проектировании мостов необходима совместная работа инженера и художника, что «в тех случаях, где художественное значение сооружения велико, необходимо разбивку на пролеты производит совместно с художником, подчиняя таковую, между прочим, его требованиям; пределом для последних является техническая осуществимость».

Первые типовые проекты металлических однопутных пролетных строений длиной от 27 до 99,2м разработка в 1924-1925 гг. группа инженеров под руководством профессора Н.С. Стрелецкого. Эти конструкции отличались от предшествующих меньшей площадью горизонтальных листов в пакетах поясов главных ферм и увеличенными размерами панелей. С начала тридцатых годов в мостостроении используют сварку. Были построены первые металлические мосты с цельно сваренными пролетными строениями со сквозными главными фермами с рекордным в то время пролетом 45 м. Огромный вклад в это дело внес выдающийся ученый - мостовик, основатель института электросварки академик Е.О. Патон (Киев).

Возведение железобетонных мостов в России было официально разрешено Министерством путей сообщения в 1898 г. Однако первые нормы на их проектирования и строительство утвердили лишь в 1908 г. Инициатором внедрения бетона и железобетона в этой области был академик Г.П. Передерни - крупнейший ученый - мостовик, автор многих трудов по теории и проектированию искусственных сооружений.

Первыми железобетонными мостами были балочные с разрезными пролетными строениями длиной до 12 м. Затем железобетон стали применять других системах (арочных рамных), в том числе и многопролетных. Первый большой арочный мост в странах СНГ, мост

через р. Днепр в Днепропетровские (1932). Расчетный пролет арок составлял 55 м. На (рис.1.1) приведены балочные, арочные, вантовые и комбинированные схемы мостов.

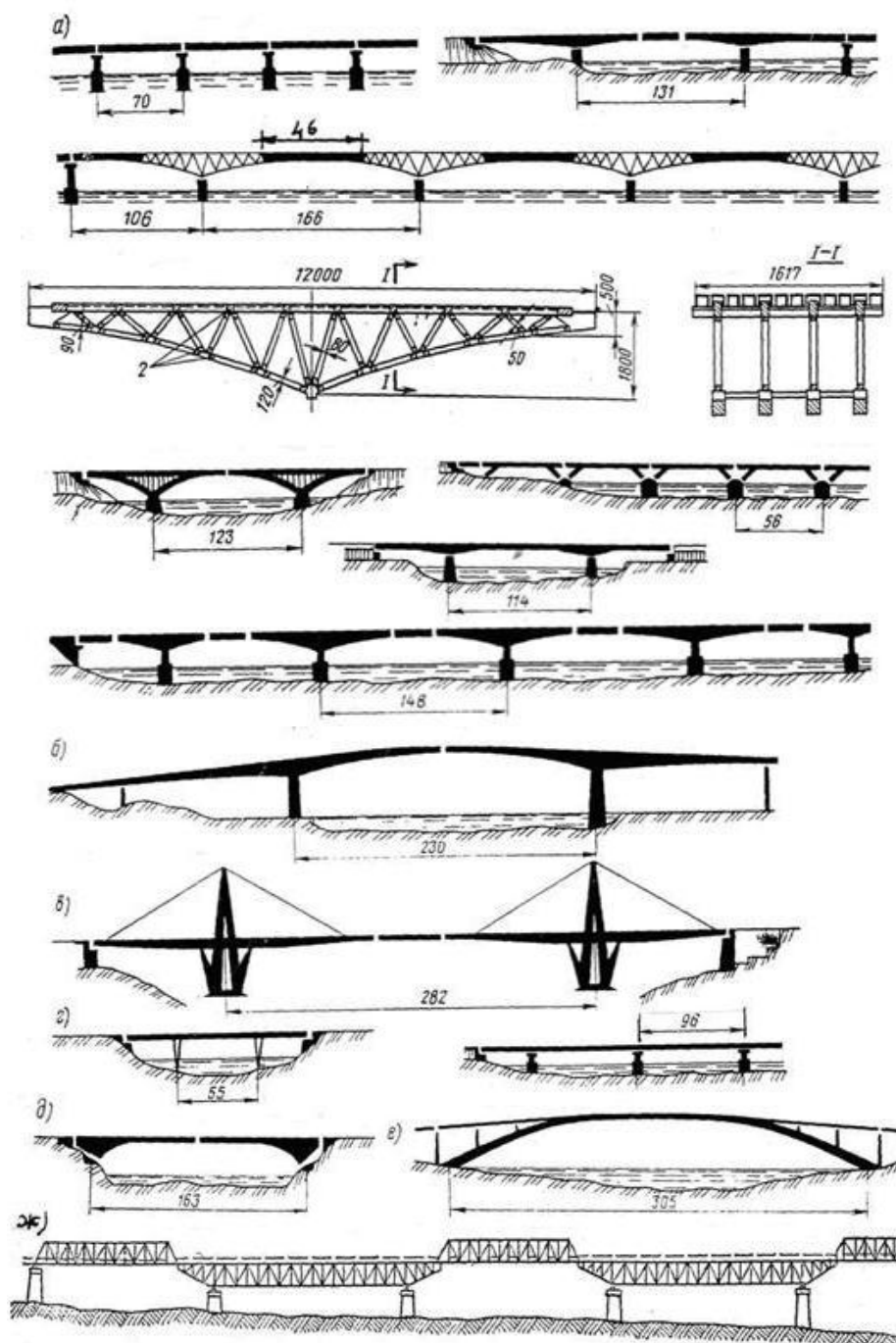


Рис. 1.1. Основные системы современных предварительно напряженных железобетонных мостов: а – в СНГ; б – в Японии; в – в Ливии; г – во Франции; д – в Италии; е – в Австралии (по каждой схеме показан наибольший из перекрытых пролетов данной статической системы моста); ж – мост с консольными пролетными строениями

В 1948 г. появились первые мосты с предварительно напряженными пролетными строениями. Для современного отечественного и зарубежного мостостроения характерно применение сборных предварительно напряженных железобетонных конструкций в автодорожных мостах.

1.2. Отечественный и мировой опыт мостостроения

Введение. Неотъемлемой частью разработки проекта любого уникального сооружения является накопление и анализ информации по имеющемуся отечественному и мировому опыту реализации аналогичных задач.

Отечественный опыт. Отечественное мостостроение имеет более чем вековой опыт строительства, интенсивной эксплуатации в течение многих десятилетий и реконструкции крупнейших мостовых железнодорожных переходов через реки Европейской части России, Сибири и Дальнего Востока. Железнодорожные мосты России работают в разнообразных по природно-климатическим и геофизическим условиям регионах, в том числе в районах с суровым климатом при расчетных температурах воздуха ниже -50°C и в зонах высокой сейсмичности до 8-9 баллов.

Принципы и традиции "русской" школы проектирования и строительства металлических пролетных строений железнодорожных мостов позволили еще в 1913 году перекрыть пролеты по 158,4 м (Н.А. Белелюбский, Свияжский мост через Волгу по схеме $6 \times 158,4$ м) и обеспечили скоростное возведение в сложных природных условиях выдающихся мостовых переходов при строительстве Транссибирской железнодорожной магистрали (в том числе мост через Енисей с пролетами по 144,4 м - проект Л.Д. Проскурякова, 1896 год).

Отечественное мостостроение во второй половине XX века сделало

новый скачок и вышло на мировой уровень проектирования пролетных строений железнодорожных и совмещенных мостовых переходов, применив, в конечном итоге, клепаные и болтосварные однопролетные фермы с пролетом до 145,6 м, неразрезные системы, собираемые навесным способом в пролетах до 176 м и консольные системы, перекрывающие пролеты до 230 м. Типовые и индивидуальные проекты сквозных пролетных строений обеспечили и продолжают обеспечивать создание железнодорожных мостовых переходов при строительстве северных железнодорожных линий к нефтегазовым и рудным месторождениям Западной и Восточной Сибири, Байкало-Амурской магистрали, при строительстве новых мостов и при реконструкции мостов для вторых путей на крупнейших переходах через Волгу, Каму, Дон, Северную Двину, Иртыш, Обь, Амур и т.д.

Имеет большое значение опыт возведения отечественных вантовых городских и автодорожных мостов с металлическими пролетными строениями и пилонами (через Шексну в Череповце с главным пролетом 194,25 м и через Обь у Сургута, со смонтированным в навес рекордным в мире для однопилонных систем главным пролетом 408 м). В пролетных строениях этих мостов установлены вантовые элементы из закрытых оцинкованных спиральных канатов диаметром до 72 мм.

Мостостроение СНГ в число своих достижений может включить также строительство и успешную эксплуатацию вантовых городских мостов с одиночными железобетонными пилонами в Киеве и Риге с главными пролетами до 312 м и возведение висячих трубопроводных мостов с треугольной решеткой канатных подвесок, стальными фермами и пилонами через Амударью пролетами 390 и 660 м и через Днепр с рекордным в мире пролетом 720 м.

Проектирование отечественных автодорожных и трубопроводных мостов, включая и мост через Обь у Сургута, принятый в эксплуатацию в

2000 году, сопровождалось обширными экспериментальными исследованиями физических моделей этих сооружений и их элементов в ЦАГИ им. Жуковского.

Мировой опыт. Транспортное строительство в Японии. Территориально разорванная страна (Япония является архипелагом, состоящим из 3900 островов, который дугой протянулся на 3200км) с бурно развивающейся экономикой и относительно небольшой долей населения, вовлеченного в общественное производство, Япония особенно остро ощущает недостатки своего островного географического положения.

Несмотря на развитие железных и автомобильных дорог в пределах территории островов, необходимость перевалки грузов в портах и использование морского транспорта для их доставки даже на ближайшие острова стала узким местом в экономике транспортной системы страны.

В 1970 году для проектирования мостовых переходов через Внутреннее Японское море на трех магистралях (рис. 1.1), связывающих острова Хонсю и Сикоку, в Японии была создана Honshu-Shikoku Bridge Authority (HSBA) корпорация. Занимаясь проектированием, менеджментом и эксплуатацией этих искусственных сооружений, HSBA выполнила всеобъемлющие исследования и установила стандарты проектирования и строительства для районов повышенной сейсмичности и с высокими скоростями ветра. Эти стандарты предполагают, что конструкции мостов должны выдержать землетрясение с магнитудой более 8 (для рассматриваемого сейсмического и геологического района это соответствует 9-10 баллам по принятой в российских нормах шкале) и ветер, скорость которого при 10-мин. осреднении превышает 80 м/сек. Кроме того, для мостов под совмещенное автомобильное и железнодорожное движение после многочисленных экспериментов были выработаны принципы проектирования и конструктивные решения, удовлетворяющие требованиям усталостной выносливости.

Прежде всего, следует обратить внимание на мостовой переход на магистрали Коджима - Сакайде, так как на нем представлена широкая гамма различных систем и, главное, предусмотрено движение не только автомобильного, но и железнодорожного транспорта. Строительные работы были начаты в 1976 году. Открытие трассы состоялось в 1988 году. На ней построили 9 мостов: первый со стороны о. Хонсю - висячий мост Симоцуи - Сето по схеме 230+940+230м, второй - многопролетный двухъярусный путепровод Хицусизима длиной 1316м, третий и четвертый - два одинаковых моста Хицусизима и Ивакурозима по схеме 185+420+185м), пятый мост Иосима с неразрезной многопролетной двухъярусной сквозной фермой общей длиной 877м, шестой - многопролетный двухъярусный путепровод Иосима длиной 717м, седьмой и восьмой - два одинаковых висячих моста Кита-Бизан-Сето и Минами-Бизан-Сето по схеме 274+1100+274м (см. рис.5) и, наконец, девятый - комбинированный многопролетный двухъярусный путепровод Банносу.

1.3. Сейсмостойкость мостов

При землетрясениях возникают сейсмическое давление воды и дополнительное несимметричное боковое давление грунта на опоры мостового перехода, а также появляются сейсмические инерционные нагрузки от собственной массы пролетного строения, опор и подвижного состава. Величина сейсмических сил зависит от динамических свойств сооружения (частота собственных колебаний, величины и координаты дискретных масс и т.д.) и от условий передачи энергии сейсмических волн на элементы конструкций [33].

Для снижения разрушительного воздействия сейсмических сил на сооружение прибегают к различным конструктивным мероприятиям, в том числе к установке демпферов различного типа. Большое значение имеет

выбранная система моста. Гибкие системы, такие, как висячие и вантовые, наиболее живучи в условиях высокой сейсмичности при условии обеспечения надежной работы анкерных фундаментов и пилонов.

В Японии при проектировании с учетом сейсмических воздействий и при оценке степени безопасности конструкции предполагают, что смещение грунтовых масс во время землетрясения можно разделить на два уровня. При землетрясении первого уровня "необходимо предотвращать повреждения, приводящие к нарушению транспортных функций сооружения от воздействия умеренных смещений грунтовых масс, вызванных землетрясением с высокой вероятностью возникновения в течение срока службы сооружения". При землетрясениях второго уровня "допускаются устранимые функциональные повреждения, однако должны предотвращаться обрушения от воздействия максимальных смещений грунтовых масс, вызванных землетрясениями с малой вероятностью возникновения". Во время строительства трехпролетного висячего моста Акаси-Кайке в Японии с рекордным центральным пролетом, равным 1990,8м, произошло сильное землетрясение. Эпицентр располагался всего в 3,2км от центра моста. После землетрясения было обнаружено смещение фундаментов опор, вызванное движением земной коры, до 72см по горизонтали и 22см по вертикали. Возникла необходимость в перепроектировании балки жесткости. Возведенные конструкции почти не пострадали, дополнительные усилия в элементах конструкции, возникшие от изменения конфигурации моста, определенные с помощью пространственного расчета, оказались незначительными.

Высокая сейсмичность района и низкие прочностные характеристики грунта основания опор моста "Рион - Антирион" (Греция) поставили специалистов перед необходимостью поиска самых необычных инженерных решений. Конструкция моста должна выдерживать возможные смещения тектонических разломов. Смещение одной части

главного моста относительно другой может достигать до 2м по горизонтали. При этом пилоны могут одновременно получить некоторый наклон из-за соответствующих деформаций грунта основания в подошве фундамента на дне моря. Для проверки теоретических предпосылок и оптимизации конструкции основания, была выполнена уменьшенная модель пилон и усиленного грунтового основания. Модель была испытана в центрифуге, которая воспроизводила расчетные загрузки опор (землетрясение, навал судов и т.д.). По результатам проведенных испытаний была пересмотрена основная концепция конструкции в направлении ее большей оптимизации. В частности были сделаны выводы в пользу целькового (от подошвы до вершины) пилон и неразрезной, полностью поддерживаемой вантами, а поэтому изолированной от пилон балки жесткости. Четыре демпферных устройства соединяют верх палубы с каждым пилоном и ограничивают перемещение палубы во время землетрясения.

1.4. Самые высокие, длинные и старейшие мосты в мире

Со временем мосты стали не только демонстрацией величия инженерной мысли, но и одним из красивейших созданий человека. Вашему вниманию предлагаются мосты-рекордсмены по различным параметрам [35].

1. Мост Си Ду (Si Du) через реку над глубоким ущельем около Йесангуан, провинция Хубэй, Китай. Самый высокий мост в мире - в 1627 футов (496м). Главный пролет моста - 2952 футов (900 м). Фото: Eric Sakowski.

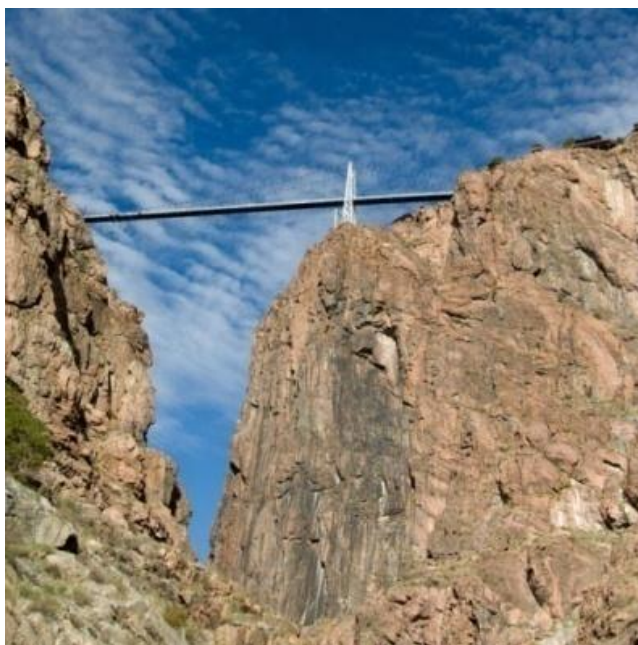


2. Недавно завершённый мост Балуарте (Baluarte) является самым высоким вантовым мостом в мире, он соединяет северо-западные мексиканские штаты Синалоа, Дуранго и Мазатлан, где процветает



каучсерфинг. Его длина 1124 метров (3687 футов) и висит он на высоте 400 метров (1312 футов). Мост Балуарте возведен в честь двухсотлетия независимости Мексики от Испании (1810 год). Фото: REUTERS/Alfredo Guerrero/Mexico Presidency.

3. Мост Королевское Ущелье (The Royal Gorge Bridge) находится на реке Арканзас около Кэнон-Сити, штат Колорадо, США. С 1929 до 2003 года был рекордсменом как самый высокий мост в мире, высота 955 футов (291м), пролет 938 футов (286м). Фото: Danita Delimont / Alamy.



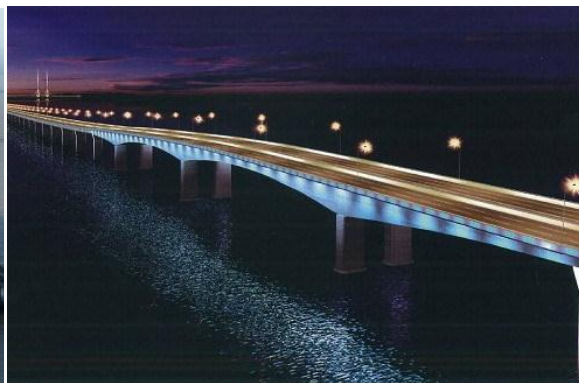
4. Виадук Мийо (Millau Viaduct). Этот мост-виадук - Мийо, огибающий одноименный французский городок, проходит над широким и глубоким ущельем, по дну которого протекает река Тарн. За его строительством активно следила пресса, и этому были две причины. Во-первых, это серьезное сооружение, на счету которого три мировых рекорда: две самые высокие опоры в мире (244,96 и 221,05 метров), самая высокая опора моста с пилоном (343 метра - немного выше, чем Эйфелева

башня, и всего на 40 метров ниже, чем Empire State Building.), и самое высокое дорожное полотно в мире – 270 м в самой высокой точке. Вторых, и сам мост, и местность, в которой он расположен, очень фотогеничны. В конце декабря 2004 года было открыто движение по этому мосту. На нем расположен единственный пункт уплаты за проезд – в районе городка Мийо, стоимость проезда для легкового транспорта: 5-7 евро, но еще до начала строительства было ясно, что инвестиции в строительство в ближайшие 75 лет не окупятся. Зато теперь так просто проехать из Парижа в Барселону и наоборот.



Проект был разработан английским архитектором Норманом Фостером, стоимость моста £ 272 000 000 и он был полностью финансировался из частных источников. Президент Франции Жак Ширак назвал мост "чудом равновесия" (a miracle of equilibrium).

5. Мост Донгхай (Donghai Bridge Shanghai/Yangshan Island). Этот мост, движение по которому было открыто в 2005 году, в 2006 году был признан одним из «10 китайских новых чудес света». И на это есть причины. Это самый длинный мост в мире над морем и самый длинный мост в Азии. Его общая длина – 32,5 километра, он соединяет Шанхай и оффшорный порт-остров Yangshan. Для того, чтобы противостоять тайфунам, характерным для этих мест, мост построен в форме буквы «S». Строительство моста закончено в 2010 году.



6. *Самым длинным мостом в мире* за пределами Азии является мост через озеро *Понтчартрейн (Lake Pontchartrain Causeway)* в южной части штата Луизиана, США. Он почти 24 мили (38 км.) в длину, это седьмой самый длинный мост в мире.



7. *Самый длинный мост в южном полушарии – мост Рио-Нитерой*, соединяющий бразильские города Рио-де-Жанейро и Нитерой. Его длина 8,25 миль (13, 290 км).



8. *Мост Васко да Гама* является самым длинным мостом в Европе (включая виадуки) - 10,7 мили (17,2 км). Это вантовый мост в окружении виадуков, которые перекрывают реку Тежу близ Лиссабона, Португалия. Васко да Гама - девятый самый длинный мост в мире.



**9. Самый длинный
однопролетный подвесной
мост**

находится в
Великобритании - мост над
лиманом Хамбер (Humber
Estuary bridge). Его
строительство было завершено



в 1981 году, и тогда его длина в 1410 метров была рекордной в мире.

**10. Самый длинный
мост в Англии**

– Второе
Севернское Пересечение
(Second Severn Crossing),
который имеет длину около
3,2 км, что в два раза
больше, чем мост Хамбер.
Мост переброшен через реку
Северн между Англией и



Уэльсом. Вторую очередь отрыли 5 июня 1996 года, ее построили для
увеличения пропускной способности оригинального моста, который был
построен в 1966 году.

Мост Цинма – висячий
мост в Гонконге, шестой в
мире по длине. Соединяет
остров Цин И на востоке и
остров Мавань на западе,
является частью магистрали
Лантау, которая с тремя
другими мостами соединяет



Новые Территории, и остров Чек Лап Кок, где располагается Международный аэропорт Гонконга. Железная дорога – часть системы метро MTR, ветки Тунг Чунг и международного аэропорта. Висячий автомобильный и железнодорожный мост пересекает канал Мавань (Гонконг), основной пролёт - 1377 м, высота пилонов – 206 м, ширина моста - 41 м, дата открытия - 27 апреля 1997 г.

Мост имеет два уровня, по которым организовано автомобильное и железнодорожное движение. На верхнем уровне расположена шестиполосная автомагистраль, по три полосы в каждом направлении. На нижнем – два железнодорожных пути и запасная двухполосная автодорога для служебных целей и для движения во время сильных ветров. Пролет – самый большой в мире среди мостов, по которым организовано железнодорожное движение.

Мост – это символ победы человека над препятствиями, которые природа воздвигает на его пути. Современные конструкции мостов воплощают самые смелые и сложные инженерные замыслы. Если, еще совсем недавно, расстояние в сотню километров непроходимой местности было непреодолимым барьером, то сегодня, масштабные конструкции мостов делают, казалось бы, невозможное – преодолевают все препятствия природного характера. Читателю предлагается десятка самых длинных и сложных мостов на планете. *Интересный факт:* львиная доля (семь из десяти!) предлагаемых к рассмотрению мостов, находится в КНР, где сейчас пик развития транспортных сетей [37]. Итак:

1. Виадук Танян-Куньшань (Danyang-KunshanGrandBridge) – мостовое сооружение длиной 164.8 километров построено в Китае. Как и предыдущий виадук, Танян-Куньшань занесен в книгу рекордов Гиннеса и это, также, часть высокоскоростной железной дороги Пекин–Шанхай. Примерно десять километров моста тянутся над водами большого озера Янчэн.



2. Мост Тяньцзиньский (Langfang–Qingxianviaduct) – этот виадук находится в КНР, длина 113.7 км и занесен в книгу рекордов Гиннеса. Сооружение было построено, как продолжение высокоскоростной железной дороги Пекин–Шанхай. Первые железнодорожные составы прошли по виадуку в начале лета 2011г.



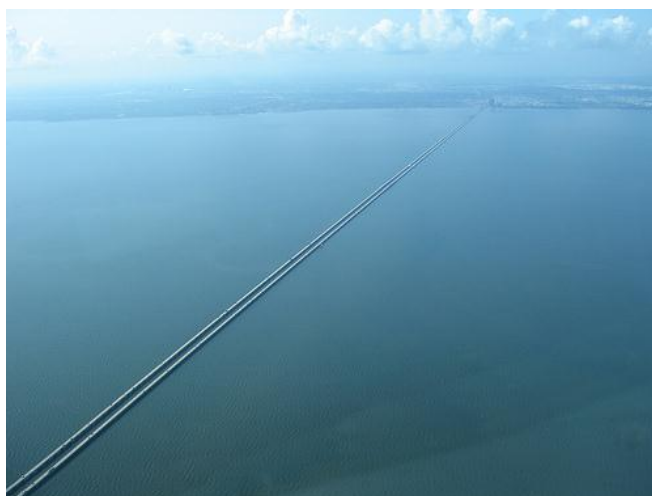
3. Мост через реку Вэй (Weybridge) – длиной 79.73 километров. Еще одно сооружение в Китае было построено, как часть высокоскоростной железной дороги Чжэнчжоуского ответвления. Этот мост открыли для пользования в 2010г. Интересно, что реку Вэй он пересекает в двух местах.



4. Магистраль Банг На (BangNa) – сооружение находится в Таиланде и имеет длину 54 километра. Банг На нельзя назвать традиционным мостом – это шестиполосная автомобильная магистраль, которая находится над землей. На постройку магистрали ушел один миллиард американских долларов, а открытие состоялось в 2000г.



5. Мост Циндаосс через залив (JiaozhouBayBridge) – длина этого балочного великана 42.5 километра, расположен в Китае. Он совсем новый – был открыт к 2011г., чтобы соединить берега северной части залива Цзяочжоу. Чтобы обеспечить надежность конструкции, предназначенной для движения автомобилей в шесть полос, понадобилось пять тысяч двести опор и около шести миллиардов американских долларов. Каждый день через мост движутся не менее тридцати тысяч машин.



6. Мост-дамба через озеро Пончартрейн

(Lake Pontchartrain Causeway) – длиной 38.42 километров. Мост, как и предыдущий, располагается в американском штате Луизиана и соединил два берега огромного озера Пончартрейн. Конструкция моста удерживается девятью тысячами свай из прочнейшего бетона, которые уже три раза пережили столкновение с баржами из-за частых озерных туманов. Стоимость сооружения оценили в пятьдесят семь миллионов долларов США.



7. Мост МэнчекСвамн (ManchacSwampbridge) – длиной 36.71 километров находится в Соединенных Штатах Америки в штате Луизиана. Открытие масштабного сооружения состоялось в 1970г. – оно продолжило 55тую автомагистраль, которая проходит через всю Луизиану. На строительство американцы потратили семь миллионов своей валюты.



8. Мост Янцунь (YangcunBridge) – очередной мост в Китае, длина его 35.81 километра. Представляет собой мост-эстакаду и является самым длинным в своей стране. Янцунь – это часть железнодорожного полотна Пекин – Тяньцзинь. Открытие моста в 2008г приурочили к олимпийским играм, проходившим в Китае, а мост связал столицу Пекин с городом, в котором состоялись некоторые виды соревнований.



9. Мост через залив Ханчжоувань (HangzhouBayBridge) – длиной 35.67 километра и находится тоже в Китае – считается самым длинным среди трансокеанских мостов. В 2008г. вантовая конструкция моста соединила Шанхай с Нинбо, что на восточном побережье КНР. Благодаря сооружению моста путь из одного места в другое сократился более, чем на 315км. Китайцы потратили на его строительство почти полтора миллиарда долларов США.



10. Мост Ран Янг (RunyangBridge) – длиной 35.66 километра он находится в Китае. Мост соединяет берега третьей в мире по длине реки Янцзы. Построена конструкция в одном из самых широких мест водной артерии, и захватывает болотистую местность по обеим сторонам реки.

Конструкционно, мост представляет собой подвесные канатные секции. Опорные башни этой гигантской постройки достигают высоты 210м. Строительство было завершено к 2007 году и стоимость его колеблется в районе семиста миллионов долларов США.



Занесвиллский Y-мост (Zanesville Y-bridge). Этот небольшой городок в штате Огайо, США, (чуть больше 25 000 жителей) известен своим шарикоподшипниковым заводом и мостом в форме буквы «Y», построенном в месте слияния двух рек. Это единственный в мире мост, перейдя через который можно оказаться на том же берегу, откуда начал движение. В мире есть только еще один мост с тремя полотнами дороги, но его форма похожа на букву «Т».



Эресуннский мост (Oresund Bridge). Этот мост по значимости сравним, пожалуй, лишь с тоннелем под Ламаншем. Его проект вынашивался больше ста лет, но был построен только к 2000 году – на строительство ушло семь лет. Мост соединяет Данию с насыпным островом, принадлежащим Швеции, откуда дальше к Швеции ведет 4-х



километровый тоннель. Длина самого моста – 8 километров. Это недешевые 8 километров - проезд стоит 275 SEK (примерно 60-65 долларов). Путешествующих из Швеции в Европу через Данию поджидает еще один «сюрприз»: довольно скоро на пути встретится еще один мост, за проезд по которому придется заплатить 200 SEK. Но зато в Дании потрясающе красивые закаты.

Мост «Золотые Ворота (Golden Gate Bridge). Это висячий мост через пролив Золотые Ворота. Он соединяет город Сан-Франциско на севере полуострова Сан-Франциско и южную часть округа Марин, рядом с пригородом Саусалито. Мост «Золотые Ворота» был самым большим висячим мостом в мире с момента открытия в 1937-м году и до 1964-го года. Длина моста – 1970 метров, длина основного пролета – 1280, высота опор – 230 метров над водой. От проезжей части до поверхности воды – 67 метров. Мост печально известен, как мост самоубийц. В среднем, каждые две недели кто-нибудь кончает там жизнь самоубийством. За более чем

семь десятилетий его существования по неофициальным данным более 1300 человек покончили с жизнью, бросившись с него в воду, из всех прыгнувших, выжить удалось только 26-ти, но и их состояние завидным не назовешь. Мост патрулирует местная полиция, но не всегда удачно.



Пешеходный мост Rolling Bridge в Лондоне может сворачиваться и разворачиваться благодаря гидравлическим насосам внутри перил моста.



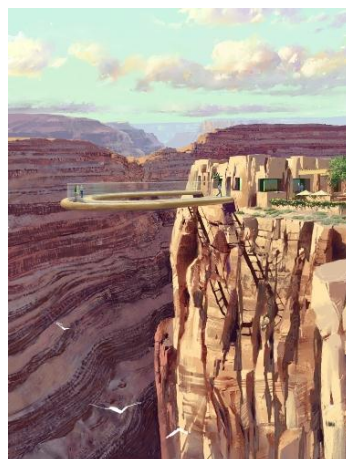
Музыкальный мост "Фонтан радуги" [35] соединяет два берега реки Ханшуй в южнокорейском Сеуле, длина фонтана 1140 м.



В Бразилии находится единственный в мире мост с опорой в форме буквы Х – *мост Оливейра*.



Стеклянные мосты. Китай и США. Мост в национальном парке Китая Чжанцзяцзе опоясывает гору Тяньмень на высоте 1430 м. А потому вызывает у прогуливающих по нему посетителей массу незабываемых эмоций. А в американском Гранд-Каньоне соорудили стеклянный мост-подкову на высоте около 1200 м, который отстает от края пропасти на 21м. Уникальный **мост Kikkī в Японии** выполнен в виде буквы Y и висит над водой без единой опоры.



Одним из самых удивительных, запоминающихся и выдающихся достопримечательностей Канады является *самый длинный подвесной мост в мире Капиано*. Висячий мост Капиано находится в Ванкувере – крупнейшем городе Британской Колумбии – провинции на западе Канады. Он размещен над одноименной рекой – Капиано. Окруженный густыми лесными зарослями. Мост длиной 136 метров вздымается ввысь на 70 метров. Даже самые опытные путешественники, перед тем как ступить на этот мост, очень переживают и волнуются.



1.5. Среднеазиатская железная дорога

История развития железных дорог на территории Средней Азии берет свое начало с 1874 года, когда специальная комиссия признала необходимым постройку железнодорожной ветки Оренбург-Ташкент. Однако позже, исходя из стратегических интересов, решение было изменено – первая стальная магистраль должна была соединить Ташкент с восточным побережьем Каспийского моря [39].

Строительство Закаспийской военной железной дороги было начато в ноябре 1880 года. Через пять лет, строители достигли Асхабада, а в 1886 году – Чарджоу. В мае 1888 года, когда был возведен деревянный мост через Амударью, открылось движение до Самарканда. В 1899 году дорога достигла Ташкента. Одновременно был построен и участок от станции Урсатьевская в Ферганскую долину. Железнодорожно-морская паромная переправа Красноводск – Баку обеспечила кратчайшую бесперевалочную связь дороги с Азербайджанской ж.д..

В конце позапрошлого столетия вновь встал вопрос о строительстве дороги от Ташкента до Оренбурга, к сооружению которой приступили осенью 1900 года одновременно из обоих концов. В январе 1906 дорога Ташкент-Оренбург вступила в строй, открыв для Средней Азии прямой выход в Центральную Россию. Таким образом, после постройки Оренбургско-Ташкентской ж. д. Среднеазиатская ж. д. соединилась со всей сетью железных дорог России.

Среднеазиатская железная дорога в годы советской власти. В годы советской власти Среднеазиатская железная дорога объединяла сеть железных дорог республик Узбекистан, Туркменистан, Таджикистан, частично Киргизистан и Казахстан. Эксплуатационная длина 6199 км, или 4,4 % протяжённости всей сети железных дорог стран СНГ (1975). Управление в Ташкенте. Имеет 9 отделений: Ташкентское, Хавастское,

Ферганское, Бухарское, Душанбинское, Чарджоуское, Марыйское, Ашхабадское и Каракалпакское. Граничала с Казахской ж.д. по станциям Ченгельды и Бейнеу.

За годы Советской власти построено много новых ж.-д. линий, в частности: Амударьинская – Душанбе (441 км), Ташкент – Ангрен (118 км), Чарджоу – Кунград (627 км), Навои – Учкудук (290 км), Джизак – Мехнат (133 км), а также ряд ответвлений от основной магистрали. В 1972 завершено строительство новой линии Кунград – Бейнеу (408 км), открывшей второй выход в центральные районы страны. С 1970 эксплуатируется ж.-д. линия Самарканд – Карши (157 км), с 1974 – Термез – Курган-Тюбе (218 км), с 1975 – Тахиаташ – Нукус (12 км).

Современное состояние в Узбекистане 1 февраля 2001 года введена в эксплуатацию ж-д Шалкар-Мискин. 20 сентября 2009 года - Ташгузар-Кумкурган. В настоящее время (2007 год) железнодорожная сеть Узбекистана – это Акционерное общество «Узбекистон темир йуллари», образованная 7 ноября 1994 года на базе бывшей Среднеазиатской железной дороги, расположенной на территории Республики Узбекистан. Общая развернутая длина главных путей компании составляет около 3645 километров. В компании работает более 54,7 тысячи человек. Годовой грузооборот компании составляет около 90 % от суммарного грузооборота всех видов транспорта страны.

Первые металлические сквозные фермы на железнодорожной линии Ташкент - Самарканд применены в 1898-1905 годах. Мост через р. Сырдарья с металлическими сквозными фермами возведен в 1899 году, в настоящее время эксплуатируется на подъездной дороге к карьере. Четырехпролетный мост перекрыт пролетными строениями с расчетным пролетом 87,4 м, запроектированным по расчетным нормам 1896 г. Фермы двухраскосной системы с криволинейным верхним поясом и ездой понизу.

В 1938 году возведен железнодорожный мост через р. Карадарья.

Здесь пролетное строение длиной 110 м запроектировано по нормам 1918 года. Фермы с треугольной решеткой с полигональным очертанием верхних поясов.

Позднее в результате теоретических исследований по рационализации очертания несущих конструкций разработан ряд пролетных строений, отличающихся простотой форм очертания поясов, в частности, фермы с треугольной решеткой и параллельными поясами. В результате многораскосные, многорешетчатые фермы с криволинейными поясами постепенно уступили место более современным фермам.

Наиболее интересными решениями являются пролетные строения $l=34$ м моста с ездой поверху через р. Нарын, $l=44$ м моста с ездой понизу через р. Кашкадарья и др. В этих пролетных строениях использованы стали более высокого качества и современные технологии изготовления конструкций.

На совмещенном мосту через р. Амударья с пролетами $l=66$ м, а также на мостах через р. Сырдарья и р. Ангрен с пролетами $l=110$ м применены совершенно новые технологические разработки металлоконструкций. Эти пролетные строения изготовлены на Той-Тепинском заводе металлоконструкций. Впервые в отечественном мостостроении возведены металлические пролетные строения с неразрезными сквозными фермами с ездой поверху на железнодорожной линии Ташгузар-Кумкурган.

1.6. Тенденции развития российского и зарубежного мостостроения

Новые тенденции в мостостроении [40]:

- значительное расширение спектра конструктивных и архитектурных форм мостовых сооружений;
- появление новых строительных материалов;

- освоение технологий, значительно сокращающих сроки строительства;

- использование компьютерной техники для контроля и управления технологическими процессами.

Новые конструктивные формы и технологии:

- вантовые и висячие мосты, перекрывающие сверхбольшие пролёты;
- арки с гибкими подвесками (сетчатые арки);
- экстрадозные мосты;
- многоуровневые развязки;
- новые архитектурные формы;
- новые решения сборных и сборно-монолитных конструкций.

**Примеры вантовых и висячих мостов, перекрывающих
сверхбольшие пролёты**



***Китай. Висячий мост "Айчжай",
подвесной пролёт 1176 м***



***Китай, мост Циндао Хайван, длина
моста 42,5 км***



***Япония, мост Акаси-Кайкё, подвесной
пролет 1991 м***



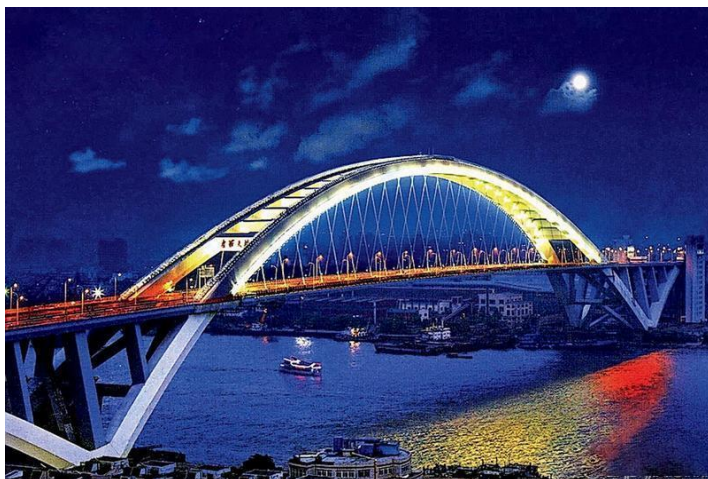
***Норвегия, арочный мост Svinesund, пролёт
704 м***



*Мост через пролив Босфор Восточный
на остров Русский во
Владивостоке, длина подвесного пролёта
–1104м*



*Мост через бухту Золотой Рог во
Владивостоке, длина подвесного
пролёта –737 м*



*«Сетчатая» арка. Мост через
реку Обь в Новосибирске*

Целесообразность строительства сверхбольших мостов:

- развитие и совершенствование транспортной инфраструктуры в больших городах;
- продвижение транспортной сети на вновь осваиваемые территории;
- область экономически рациональных пролётов значительно сместилась в сторону увеличения их длины
- зависимость от зарубежных партнёров -производителей вантовых систем;
- возрастает роль технологической и производственной дисциплины и,

соответственно, цена ошибки или небрежности.

Экстрадозные мосты



*Экстрадозный мост через реку Волгу
на скоростной трассе Москва –
Санкт-Петербург*

Экстрадозный мост в Кимрах

Новые архитектурные формы



Китай, мост – петля



*Лазаревский мост в Санкт
Петербурге*

Многоуровневые транспортные развязки



Транспортная развязка в Японии



Япония, транспортная развязка



Транспортная развязка в Шанхае



Бусиновская транспортная развязка в Москве

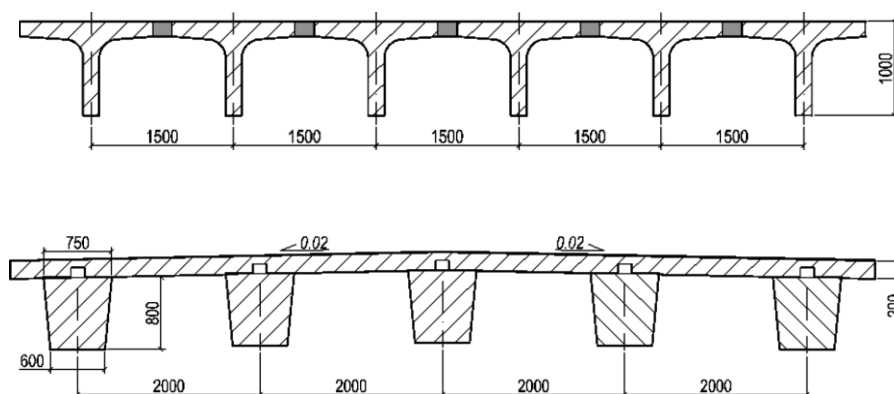
Проблемы строительства городских мостовых сооружений:

- стеснённые условия для размещения стройплощадки (решается путём предварительной сборки пролётного строения, ориентированного вдоль берега с последующим его разворотом на специальном поворотном устройстве или с помощью плавсредств;

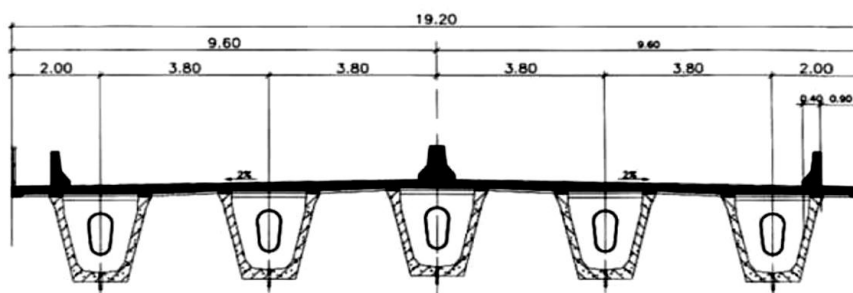
- работа по переносу коммуникаций

Монолитные, сборно-монолитные и сборные пролётные строения:

- железобетонные монолитные (ПРК);
- железобетонные сборно-монолитные;
- сталежелезобетонные с монолитной плитой;
- сталежелезобетонные со сборной плитой;
- железобетонные сборные коробчатые.

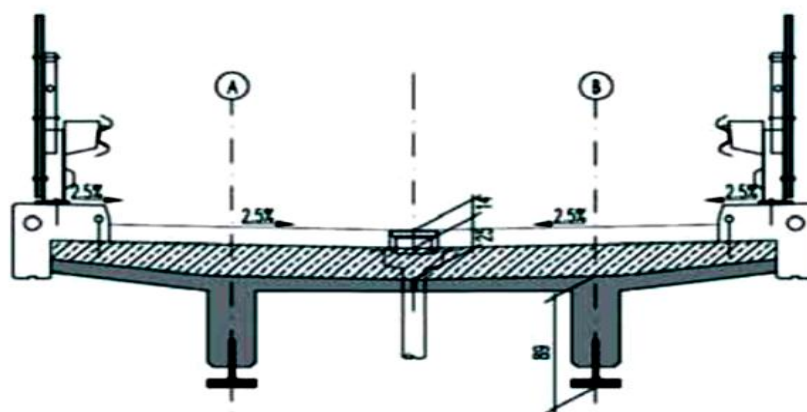


Сборно-монолитные железобетонные пролётные строения



Поперечное сечение эстакады моста Ориноко.

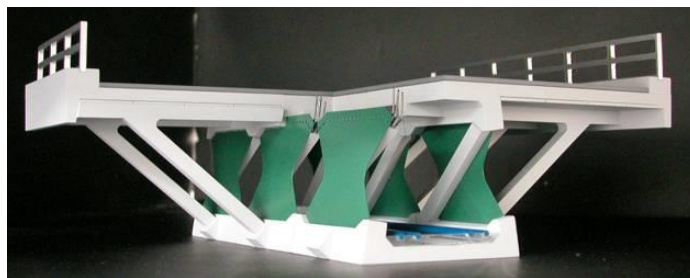
В Германии широкое применение находят *сборные сталежелезобетонные пролетные строения*. Новый тип сборных пролётных строений названный VFT, заключается в том, что несущие стальные балки поступают с завода с уже с забетонированной частью плиты и ребра



Поперечное сечение пролетного строения системы VFT

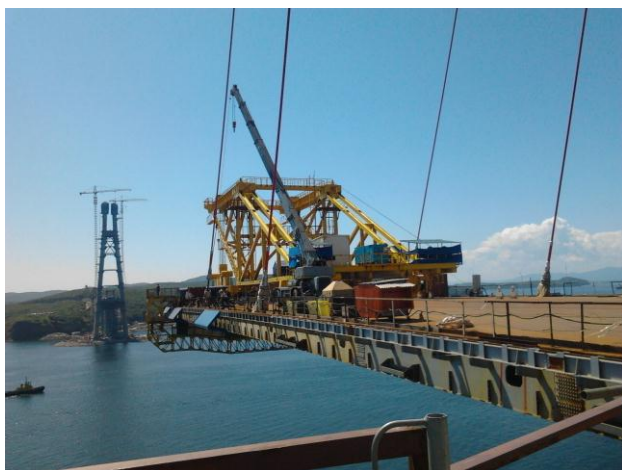
Сталежелезобетонные мосты со стальными стенками из гофрированного листа—идея, родившаяся во Франции 30 лет назад, с колоссальным успехом освоена в Японии и получила свое дальнейшее развитие в некоторых других странах Азии.

Конструкции
сталежелезобетонных
коробчатых пролетных
строений со сквозной стенкой
в виде крыльев «бабочки»



Строительные технологии

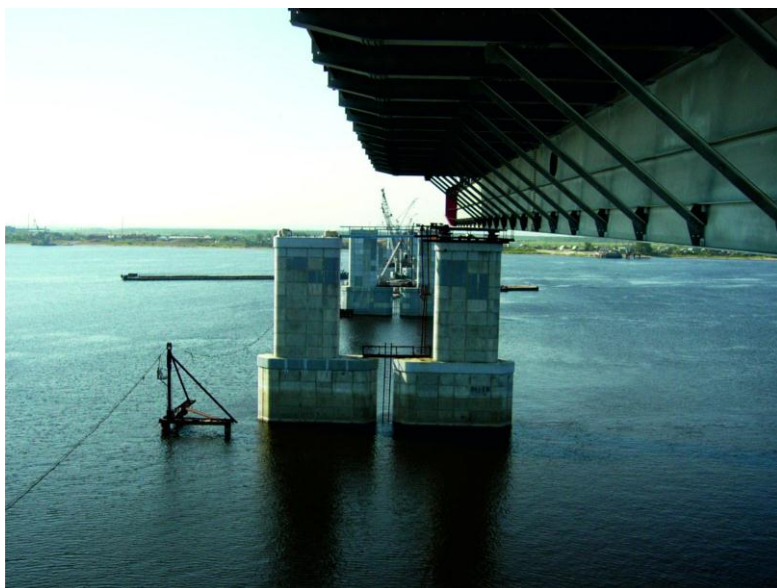
- навесной монтаж;
- навесное бетонирование;
- уравновешенная сборка;
- продольная надвижка.



Сложные строительно-монтажные работы сопровождаются мониторингом напряжённно-деформированного состояния конструкций. Монтаж балки жёсткости вантового моста на остров Русский



Надвижка пролётного строения путепровода на КАД в Санкт-Петербурге



Надвижка пролётного строения моста через реку Каму в Перми

Новые строительные материалы:

- высокопрочные бетоны (для сжатых и внецентренно сжатых элементов);

- композитные материалы:

- стеклопластики (облегчённые мостовые конструкции);

- строительство мостов и труб из композитных материалов;

- углепластики (внешнее армирование).

Усиление конструкций углепластиков:

физико-механические характеристики углепластиков;

- прочность на растяжение – 500–900 МПа;

- прочность на изгиб – 800–1200 МПа;

- модуль упругости – 0,65–0,85*10⁵МПа;

- коэффициент температурного расширения –0,000005;

Способы усиления:

- при усилении изгибаемых элементов можно применять как холсты, так и ламели, приклеивая углепластик к поверхности элемента;

- при усилении углепластиком сжатых элементов, например, повреждённых стоек опор, их обматывают холстами углепластика;

- быстротвердеющие безусадочные полимербетонные составы типа

«Эмако».

Ремонт и реконструкция мостов:

- параллельный новый мост;
- поочередное проведение ремонтных работ по половинам моста
- строительство временных мостов на обходах

Научно-техническое сопровождение строительства:

- обеспечение внедрения инновационных материалов, конструкций, технологий (включая авторский контроль);
- обеспечение безопасности строительства за счёт мониторинга напряжённно-деформированного состояния наиболее нагруженных элементов на всех стадиях строительно-монтажных работ;
- приёмочные испытания, по результатам которых сооружению даётся путёвка в жизнь.

Организационные, правовые и кадровые проблемы:

- необходим компетентный общественный координационный орган по мостам типа СРО;
- необходимо преодолеть действующую порочную практику торгов;
- студенты должны получать больше знаний по своей специальности.

Контрольные вопросы:

Кто построил первый мост?

Где был построен самый первый деревянный мост в Море?

Самые старые мосты в мире?

Самые старые мосты в Узбекистане?

Мосты в доклассовом обществе?

Мосты древнего Ирана?

Мосты древнего Китая?

Железнодорожный виадук Гельчтальбрюкке?

Первые мосты на проволочных канатах?

Первый подвесной мост?

Уникальные водные мосты мира?

Школа мостовиков в странах СНГ?

Отечественный и мировой опыт мостостроения?

Сейсмостойкость мостов?

Самые высокие, длинные и старейшие мосты в мире?

Тенденции развития российского и зарубежного мостостроения?

Новые тенденции в мостостроении?

Новые конструктивные формы и технологии?

Целесообразность строительства сверхбольших мостов?

Новые архитектурные формы?

Многоуровневые транспортные развязки?

Проблемы строительства городских мостовых сооружений?

Строительные технологии?

Новые строительные материалы?

Организационные, правовые и кадровые проблемы?

ГЛАВА 2. ВОПРОСЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ЗАДАЧИ РЕКОНСТРУКЦИИ МОСТОВ

2.1. Классификация мостов

Определение мостовых терминов [1]. В мостах применяют следующие основные определения и обозначения:

- малый мост – мост полной длиной до 25м ($L \leq 25\text{м}$);
- средний мост – мост полной длиной от 25 до 100м ($25 < L \leq 100\text{м}$);
- большой мост – мост полной длиной свыше 100м ($L > 100\text{м}$);
- длина моста L – расстояние по оси моста между линиями, соединяющими внешние концы устоев, примыкающих к насыпи подходов;
- отверстие моста L_0 – горизонтальный размер между внутренними гранями устоев или конусами насыпи, измеренный при расчетном уровне высоких вод с исключением толщины промежуточных опор;
- высота моста H – расстояние от поверхности проезжей части до уровня меженных вод;
- свободная высота под мостом H_0 – расстояние между низом пролетных строений и уровнем высоких вод или расчетным судоходным уровнем (если есть судоходство);
- высота опоры h_0 – расстояние от ее верха до грунта;
- строительная высота пролетного строения h – расстояние от проезжей части до самых нижних частей пролетного строения;
- расчетный пролет l – расстояние между осями опирания пролетного строения на смежных опорах;
- ширина моста B – расстояние между перилами в свету;
- ширина пролетного строения B_0 – расстояние между осями крайних главных балок;
- ширина проезжей части b – расстояние между внутренними гранями

полос безопасности;

- ширина ездового полотна L – расстояние между ограждениями;
- уровень меженных вод УМВ – уровень воды в реке при сухой или морозной погоде;

- уровень высоких вод УВВ – уровень воды в реке во время паводка;
- Расчетный судоходной уровень РСУ – наивысший уровень в реке в судоходный период (обычно несколько ниже УВВ):

- рельсовый путь на мостах – рельсы со скреплениями и уравнивательные приборы;

- путь на подходах – участки пути, примыкающие к мостам с обеих сторон, протяженностью 50 м для малых мостов, 200 м – для средних мостов, 500 м – для больших мостов;

- старые мосты – мосты, рассчитанные по нормам до 1907 г. и эксплуатируемые более 60 лет;

- мостовой переход – комплекс инженерных сооружений, состоящий из

- собственного моста, подходов к нему и регулиционных сооружений;
- мост – сооружение, обеспечивающее пропуск транспортной магистрали надводным препятствием;

- путепровод – мостовое сооружение для пропуска одной транспортной магистрали над другой в разных уровнях;

- виадук – мостовое сооружение для пропуска дороги над глубоким оврагом (ущельем);

- акведук – мост с лотком под водоток (оросительный канал или водопровод);

- эстакада – мостовое сооружение для пропуска дороги на некоторой высоте над поверхностью земли;

- опорная часть – часть конструкции, воспринимающая нагрузку от одних элементов и передающая ее сосредоточенно на другие элементы или

основание бык – массивный у стой моста.

- труба – сооружение для пропуска малых расходов воды (до 100м³/с), находящееся в теле насыпи;

- лотки – небольшие сооружения для пропуска воды между шпалами;

- тоннели – применяют для пропуска дороги сквозь толщу горного массива;

- галереи – используют для защиты дороги от снежных лавин и камнепадов;

- балконы – для обеспечения необходимой ширины дороги на крутых склонах;

- подпорные стенки – для удержания находящегося за ними грунта от обрушения.

- пилон – высокая опоры подвесного моста, к которой крепятся натянутые ванты или провисающие тросы держащие цементные строения.

- понтон – герметически заделанный пустой плавающий ящик, на который укладывается настил наплавного моста.

- контрфорс – мощный наружный столб, или пилон, который противодействует силе распора крыши и стен.

Классификация мостов [2]. *Мост* – это символ победы человека над препятствиями, которые природа воздвигает на его пути. Современные конструкции мостов воплощают самые смелые и сложные инженерные замыслы. Если, еще совсем недавно, расстояние в сотню километров непроходимой местности было непреодолимым барьером, то сегодня, масштабные конструкции мостов делают, казалось бы, невозможное – преодолевают все препятствия природного характера. Мост это одно из самых древних инженерных изобретений человечества. Мостом называется искусственное сооружение, которое предназначено для пропуска транспорта и пешеходов через водные преграды и другие естественные природные препятствия. Опираясь на современные

технологии строительства, в которых учитываются особенности местности и назначение сооружения, выделяют определенные виды и типы мостов.

Классификация мостов происходит по следующим признакам:

- *в зависимости от назначения;*
- *по материалу пролётных строений;*
- *по длине;*
- *по расположению над горизонтом высоких вод;*
- *по статической схеме пролётных строений;*
- *по расположению проезжей части;*
- *по типу опор;*
- *по условиям их работы и способу пропуска судов;*
- *по сроку службы.*

Виды сооружений по назначению. В зависимости от своего назначения различаются следующие виды мостовых сооружений:

1. Железнодорожный мост – для железнодорожного транспорта.
2. Автодорожный мост – для автомобильного транспорта и пешеходного движения.
3. Городской мост – для разного вида городского транспорта и пешеходов.
4. Пешеходный мост – предназначенный только для прохода по мосту пешеходов.
5. Совмещённый мост – для движения в одном или разных уровнях железнодорожного транспорта и автомобилей.
6. Специальный мост, подразделяется по конкретному назначению на:
 - акведук – мост для пропуска водовода через ущелья, глубокие овраги, реки, суходолы, транспортные пути и так далее;
 - виадук – мостовой переход через глубокое ущелье, овраг или ложину с расположением уровня проезда на большой высоте над дном

препятствия;

- селедук – над горной дорогой, служащий для пропуска по нему селевых потоков;

- скотопрогон – сооружение для пропуска скота под транспортной магистралью;

- трубопроводный – мостовое сооружение для прокладки по нему различных коммуникаций (нефтепроводов, газопроводов, бензопроводов, кабелей и так далее);

- мост-канал – инженерное сооружение, служащее для осуществления пропуска над препятствием судоходного канала;

7. Путепровод – служит для пропуска двух транспортных магистралей в разных уровнях (одна проходит над другой), водные путепроводы предназначены для пропуска кораблей с низкой ватерлинией.

8. Эстакада – инженерное сооружение для осуществления движения транспорта на некоторой высоте над земной поверхностью, пространство под эстакадой может использоваться для самых различных целей. Иногда эстакады строятся вместо насыпей на подходах к большим мостам.

Виды по материалу пролётных строений. В зависимости от материала пролётного строения мосты подразделяются:

1. Деревянные.
2. Каменные.
3. Бетонные.
4. Железобетонные.
5. Металлические.
6. Сталежелезобетонные.

Классификация по длине. Длина моста измеряется по его оси расстоянием между концами открылков устоев или других видимых элементов конструкции устоев или пролётных строений, без учёта переходных плит.

В зависимости от длины различаются:

1. Малые мосты – при длине до 25 метров.
2. Средние мосты – от 25 до 100 метров.
3. Большие мосты – длиной от 100 до 500 метров или при длине одного из пролётов более 60 метров.
4. Внеклассные мосты – длиной более 500 метров или при длине одного из пролётов более 150 метров.

Виды сооружений в зависимости от расположения пролётных строений относительно ГВВ (горизонта высоких вод). По высоте расположения пролётных строений над ГВВ подразделяются на:

1. Высоководные – пролётные строения расположены на уровне, который обеспечивает пропуск ледоходов и паводков.
2. Низководные – пролётные строения затапливаются при проходе высоких паводковых вод.
3. Подводные – пролётные строения находятся под водой на глубинах, позволяющих движение транспорта вброд. Такие конструкции используются в военных целях для повышения их живучести и обеспечения скрытности.

Классификация по статической схеме пролётных строений. По статической схеме пролётных строений мост может быть:

1. Мост балочного типа.
2. Арочный мост.
3. Мост рамного типа.
4. Висячий мост.
5. Вантовый мост.
6. Комбинированный.

Виды по расположению проезжей части. По расположения проезда на мостовом сооружении мосты классифицируются:

1. С движением поверху – проезд располагается по верху пролётных

строений.

2. С ездой понизу – проезд выполняется на уровне низа пролётных строений.

3. С ездой посередине – проезд располагается по высоте в средней части пролётных строений.

4. Двухъярусный мост – проезжая часть располагается в двух уровнях (ярусах).

По типу опор. По типу опор мосты классифицируются:

- с жесткими опорами;
- с плавучими опорами.

Мост на жестких опорах передает все давление от пролетных строений на фундамент и поверхность, на которой он стоит. А мост с плавучими опорами отличается тем, что все давление от веса моста идет на воду.

Классификация в зависимости от условий их работы и пропуска судов. По условиям, в которых осуществляется работа мостов и пропуск судов, выделяются их следующие виды:

1. *Обычные* – обеспечивают свободный пропуск судов и водяных потоков во время паводка.

2. *Разборные* – низководные сооружения, у которых предусмотрена возможность разборки пролётного строения во время прохождения паводка.

3. *Разводные* - мостовые сооружения, у которых пролётное строение или его часть перемещается для освобождения пространства во время прохождения судов. По способу перемещения судоходного пролёта различаются следующие виды мостов:

- *поворотный* – судоходный пролёт может поворачиваться в горизонтальной плоскости;
- *подъёмный* – судоходный пролёт поднимается вертикально;

- раскрывающийся* – судоходный пролёт, состоящий из одной или двух частей, может раскрываться для пропуска судов;

4. *Наплавной мост* – проезд устраивается на плавучих опорах (понтонных или плашкоутах). Такой тип обычно используется как временные сооружения при строительстве постоянных мостов, разгрузки движения, в военных целях для сооружения краткосрочной переправы или в чрезвычайных ситуациях, вызванных стихийными бедствиями.

Срок эксплуатации. В зависимости от срока службы мостов различают:

- временные – с ограниченным сроком эксплуатации;
- постоянные – для длительной эксплуатации, которая определяется долговечностью материалов элементов сооружения.

2.2. Основные принципы эксплуатации транспортных сооружений

Железобетон является основным материалом для изготовления конструкций пролетных строений и опор мостовых сооружений. На дорогах Пермского края более 700 мостов, около 90 % из которых выполнены в железобетонных конструкциях.

Мосты, выполненные в железобетоне, относятся к числу капитальных сооружений. Массовое применение железобетона в мостовых сооружениях можно объяснить его преимуществами перед другими материалами. К положительным строительным и эксплуатационным качествам железобетона в мостовых сооружениях относятся:

- а) высокая прочность и жесткость железобетонных конструкций, их малая деформативность;
- б) длительный срок службы (ресурс), календарная продолжительность эксплуатации до перехода в неработоспособное состояние;
- в) долговечность конструкции при нормальной эксплуатации

сооружений;

г) высокая стойкость к агрессивным средам и огнестойкость;

д) сравнительно малая трудоемкость в эксплуатации мостовых сооружений из железобетона.

Железобетонные мосты на автомобильных дорогах разнообразны по своим размерам и конструктивным особенностям. Объясняется это наличием или отсутствием у подрядчиков баз по изготовлению мостовых конструкций, возможностей их доставки на место строительства, степенью развития мостостроения в каждом отдельном районе. Существенное влияние на тип сооружения, выбираемый при проектировании и строительстве, оказывала ведомственная принадлежность дороги и моста в период строительства.

На дорогах Пермского края 95 % мостов построены по типовым проектам, из них около 65 % построены после 1984 года.

Если термин «эксплуатация» понимать в значении использования потребительских свойств сооружения, как любого товара, то более корректно было бы назвать данное пособие «Содержание, ремонт и реконструкция мостовых сооружений», где под «содержанием» подразумевается надзор, уход, профилактика и планово-предупредительный ремонт (ППР) сооружений.

В данном случае, следуя терминологической традиции, термин «эксплуатация» мы применяем в значении «восстановление и поддержание потребительских свойств» мостовых сооружений. Здесь поддержание потребительских свойств – это содержание (надзор, уход, профилактика и ППР) мостовых сооружений, а восстановление потребительских свойств – ремонт (в том числе с усилением конструкций) и реконструкция мостовых сооружений.

Нормальная эксплуатация – эксплуатация конструкции или сооружения в целом, осуществляемая в соответствии с предусмотренными

в проекте или нормах условиями, режимом движения по сооружению, а также с соблюдением, выполнением всех ремонтных работ по содержанию моста, по поддержанию его потребительских свойств, транспортно-эксплуатационных качеств. Поддержание транспортно-эксплуатационных потребительских показателей осуществляется предотвращением или ликвидацией последствий физического и морального износа.

Физический износ – снижение во времени прочности, долговечности, грузоподъемности и надежности мостового сооружения или отдельных его конструкций под влиянием внешних воздействий (атмосферная среда, временные нагрузки и т.п.).

Моральный износ – отклонение основных эксплуатационных показателей от современного уровня технических требований, для мостовых сооружений это несоответствие несущей и пропускной способности сооружения постоянно возрастающим требованиям движения автотранспорта.

Существуют две разновидности морального износа мостовых сооружений:

- 1) фактические усилия от возросших полезных нагрузок в основных несущих конструкциях моста превышают проектные;
- 2) истощение пропускной способности сооружения вследствие роста интенсивности движения по дорогам.

Первая разновидность морального износа оказывает незначительное влияние на снижение грузоподъемности мостов, если они не имеют дефектов. Увеличение напряжений в несущих конструкциях моста компенсируется запасом прочности материалов. Большинство старых мостов имеют достаточную грузоподъемность для пропуска современных транспортных средств.

Моральный износ второй разновидности, вызванный истощением пропускной способности сооружения, наступает раньше физического

износа.

Темпы роста грузооборота и интенсивность движения по автомобильным дорогам вызывают необходимость увеличения габарита мостовых сооружений в среднем через 20 лет эксплуатации.

2.3. Краткая характеристика искусственных сооружений на железных дорогах

Строительство железных дорог общего пользования в нашей стране было начато в 60-х годах прошлого века и в настоящее время эксплуатационная длина путей на железных дорогах Республики Узбекистан достигает десятков тыс. км. Одним из сложных и ответственных элементов путевого хозяйства железных дорог являются такие искусственные сооружения как мосты, тоннели, водопропускные трубы, подпорные стены, галереи, лотки, дюкеры и пр. От их исправности и надежности во многом зависит бесперебойность и безопасность движения поездов. Общая протяженность искусственных сооружений на сети железных дорог стран СНГ превышает сотни километров, что соответствует 10...15% стоимости основных средств путевого хозяйства. В среднем на 1...5 км главных путей приходится одно искусственное сооружение. Около 50% по протяженности и до 60% по количеству всех железнодорожных мостов составляют железобетонные, подавляющее большинство которых (около 90%) построено после Великой Отечественной войны. Бетонные и каменные мосты на железных дорогах стран СНГ имеются лишь в незначительном количестве, а деревянные (они составляют около 7% общего количества мостов) являются временными сооружениями и расположены на второстепенных направлениях. Из всех искусственных сооружений на отечественных железных дорогах около 90% по количеству и 68% по протяженности составляют малые мосты (длиной до 25 м) и

водопрпускные трубы под насыпями, причем на долю последних приходится более 60% всех искусственных сооружений [3–7].

Первые трубы под насыпями были сооружены более 125 лет назад из каменной кладки на известковом растворе. Позднее, с конца прошлого века, для труб стали применять бетонную кладку и железобетон, что, естественно, привело к изменению их конструкции. Так, применение железобетона позволило изменить очертания труб и перейти от сводчатых и овоидальных к прямоугольным и круглым, а это дало возможность сократить сроки и снизить стоимость их строительства и, самое главное, открыло перспективы перехода на сборные конструкции. В наше время трубы под насыпями строят исключительно из сборных железобетонных элементов и преимущественно круглого сечения. За последние 25 лет количество построенных труб возросло на 15%, тогда как мостов – лишь на 1,8%. Такое соотношение свидетельствует о том, что удобные в эксплуатации трубы предпочтительнее малых мостов.

Искусственные сооружения, эксплуатируемые в наши дни на железных дорогах, строили на протяжении более 80 лет, чем и объясняется их разнообразие по материалам, конструктивным формам и грузоподъемности. Они существенно различаются и по своему физическому состоянию, определяемому качеством использованных строительных материалов, постройки и степенью сохранности в условиях эксплуатации. Развитие строительства железных дорог требовало нормирования основных положений проектирования мостов и в первую очередь расчетных нагрузок. Объективные условия развития строительства железных дорог в начале XX-го века не позволяли создать нормативы, учитывающие перспективу, и поэтому расчетные нагрузки и допускаемые напряжения на металл часто пересматривались. Так, первые расчетные нагрузки на железнодорожные мосты были приняты в 1875 г. с давлением на ось паровоза 117,7 кН и вагонной нагрузкой 25,8 кН/м пути. В

последующих нормах 1884, 1896 и 1907 гг. нагрузки принимали соответственно равными: на ось паровоза – 147,2 и 196,2 кН, а вагонные – 21,4, 25,8 и 58,9 кН/м пути.

Металлические пролетные строения ранних проектировок имеют ряд конструктивных и эксплуатационных особенностей, которые следует иметь в виду при организации их содержания. Так, в пролетных строениях мостов, запроектированных по нормам до 1896 г., применяли многорешетчатые системы главных ферм. В таких фермах нередко растянутые раскосы выполняли в виде плоских, гибких элементов, допуская неравнопрочные с основными элементами конструкции узлов, стыков и прикреплений. Горизонтальные связи в плоскости верхних и нижних поясов ферм имеют большую гибкость и слабые прикрепления в узлах. Проезжая часть этих пролетных строений в виде системы продольных и поперечных балок имела ряд существенных недостатков (шарнирное опирание поперечных балок в узлах ферм; прикрепление продольных балок к поперечным без «рыбок»; отсутствие поясных горизонтальных листов у продольных балок; опирание мостовых брусьев на элементы связей между продольными балками и др.).

Эти конструктивные особенности ряда типов старых пролетных строений обуславливали соответствующие расстройтва в элементах главных ферм, проезжей части и повышенные эксплуатационные расходы. Так, в процессе эксплуатации приходилось переустраивать шарнирное опирание поперечных балок в нешарнирное, усиливать прикрепление продольных балок к поперечным постановкой «рыбок», дополнительных заклепок, ставить заклепки большего диаметра или высокопрочные болты, усиливать пояса продольных балок и др. Элементы главных ферм в связи с ростом поездных нагрузок планомерно усиливали по грузоподъемности сечений и прикреплений. Многие элементы в отмеченных типах пролетных строений потребовалось усилить из-за их чрезмерной гибкости

(растянутые раскосы, связи между фермами, стойки и подвески). Общим для пролетных строений ранних проектировок является наличие в них конструктивных несовершенств, создающих условия для интенсивной коррозии многих элементов и узлов (так называемые пазухи и мешки, щели в пакетах листов, отсутствие дренажных отверстий в коробчатых нижних поясах, большие расстояния между заклепками и др.). При эксплуатации указанных типов пролетных строений наиболее часто расстраивались заклепочные соединения в элементах проезжей части и в креплениях решетки главных ферм к узлам. В последние годы в элементах этих пролетных строений участились случаи появления трещин большей частью усталостного характера. Наиболее часто трещины обнаруживались в фасонках связей проезжей части и главных ферм, в стенках и поясах продольных балок и уголках крепления, в сжато-растянутых раскосах по первым трем рядам крепления заклепками к узлам ферм.

В дальнейшем конструкция пролетных строений улучшалась. В них фермы имели, как правило, простую треугольную или шпренгельную решетку, исключены шарнирное опирание поперечных балок и плоские элементы решетки ферм, улучшена конструкция проезжей части, стыков и креплений. Необходимо отметить, что пролетные строения, запроектированные по нормам нагрузки 1907 г., по грузоподъемности и прочим требованиям в основном удовлетворяют эксплуатации их под обращающимися и в настоящее время нагрузками. Общим недостатком мостов ранних лет постройки было почти полное отсутствие смотровых приспособлений, что существенно осложняло содержание сооружений. В связи с этим в современных нормативах по мостам, а также в типовых проектах предусматривают соответствующие эксплуатационные обустройства. С конца 20-х годов в связи с капитальным восстановлением и строительством железных дорог в странах СНГ проводилась

модернизация некоторых, наиболее часто применяющихся типов металлических пролетных строений. К этому времени были разработаны типовые конструкции ряда металлических пролетных строений. В дальнейшем при строительстве новых мостов нашли широкое применение так называемые унифицированные конструкции пролетных строений (Проектстальконструкции 1944 и 1951 гг., Гипротрансмоста 1955 г. и др.) под нагрузки Н7 и Н8 1931 г. [3–7].

В послевоенном строительстве железнодорожных мостов довольно широкое применение получили пролетные строения со сплошной стенкой расчетными пролетами от 33,6 до 66 м с ездой на деревянных, а в последнее время на металлических поперечинах, а также с ездой на балласте по железобетонной плите. В районах с суровым климатом с конца 60-х годов начали применять пролетные строения, изготовленные с учетом специальных требований. В металлических пролетных строениях, построенных за последние годы, широко использовали стали повышенной прочности, заводскую сварку элементов и блоков, а также соединения на высокопрочных болтах. Такие соединения стали вытеснять заклепочные также при ремонте и реконструкции эксплуатируемых мостов. На железных дорогах СНГ в подавляющем числе железобетонных мостов применены балочные разрезные пролетные строения из обычного, а в последнее время и из предварительно-напряженного железобетона. В железобетонных мостах больших пролетов применены преимущественно арочные системы из монолитного, а более поздние из сборного железобетона. Продолжительность эксплуатации первых железобетонных мостов на наших дорогах составляет около 60 лет. В дореволюционный период железобетонные мосты строили под нагрузку 1907 г. с балочными разрезными пролетными строениями длиной до 12 м, которые бетонировали в пролете. Эти пролетные строения имели четыре ребра (рис. 2.1) с армированием главных ребер гладкой арматурой и хомутами из

круглой или полосовой стали; марка бетона не превышала 200 кгс/см².



Рис. 2.1. Поперечное сечение железобетонного пролетного строения расчетным пролетом 10,06 м под нагрузку 1907 г

Массовое строительство железобетонных мостов в Советском Союзе началось после 1930 г. К этому времени методика расчета железобетонных конструкций существенно изменилась. До начала 30-х годов в расчетах железобетонных изгибаемых элементов учитывали работу бетона в растянутой зоне при пониженных допускаемых напряжениях в арматуре с целью обеспечения трещиностойкости этой зоны. В дальнейшем работу растянутого бетона из расчетов исключили, повысили допускаемые напряжения в растянутой арматуре и стали допускать появление трещин с раскрытием не более 0,15 мм, что позволило существенно снизить расход арматуры в конструкциях. Такая методика расчета железобетонных конструкций и была применена в типовых проектах 1934 г. (Ленпроектпуть НКПС) и последующих.

Процесс индустриализации строительства мостов, получивший широкое развитие в послевоенные годы, потребовал изменения конструктивных форм, технологии изготовления и монтажа железобетонных мостов. Массовое применение стали находить типовые конструкции ЦКБ Главмостостроя МПС, полносборные железобетонные крупноблочные мосты ЦНИИСа, рамноблочные Лентрансмостпроекта, а также рамно- и свайно-эстакадные мосты индустриального изготовления. В ряде железобетонных мостов использована безбалластная проезжая часть с ездой на деревянных поперечинах. С 1948 г. в мостах под

железнодорожную нагрузку начали внедрять предварительно напряженные железобетонные пролетные строения длиной до 34 м. Первые предварительно напряженные пролетные строения, изготовленные в странах СНГ, имели арматуру, натягиваемую на бетон. В последующем от этих конструкций отказались, и в настоящее время в мостах под железную дорогу применяют почти исключительно железобетонные пролетные строения с натяжением арматуры на упоры (в стендах). Для железобетонных пролетных строений, получивших массовое внедрение в строительстве мостов в послевоенный период, характерно использование бетонов и арматуры высокой прочности. Это позволило увеличить диапазон пролетов для балочных разрезных систем. Железобетонные пролетные строения обладают достаточной грузоподъемностью для эксплуатации их под всеми видами обращающихся поездов и нагрузками ближайшей перспективы. Физическое состояние их весьма различно. В старых железобетонных пролетных строениях относительно много трещин. Из-за несовершенства конструкций гидроизоляции, системы водоотвода и во многих случаях из-за низкого качества бетона интенсивно проявляются коррозия бетона и арматуры, разрушения защитного слоя. Эти расстройства заметно снижают долговечность и нередко грузоподъемность пролетных строений. Ремонт многих таких пролетных строений через 50 и более лет был запоздалой мерой и поэтому не привел к радикальным изменениям, что вынуждает заменять их новыми.

В железобетонных пролетных строениях более поздних лет постройки, в том числе и в относительно новых, в процессе эксплуатации образуются различные, иногда достаточно серьезные дефекты, обусловленные несовершенством проектов, нарушениями технологии строительства и т. д. Следует также иметь в виду, что степень тех или иных расстройств в железобетонных мостах зависит от условий эксплуатации и качества содержания. Установлено, что в мостах,

эксплуатирующихся в районах с суровым климатом, а также в условиях агрессивной атмосферы, коррозия арматуры и бетона протекает более интенсивно. В связи с этим с 1967 г. конструкции мостов для районов с суровым климатом рассчитывают и выполняют по специальным нормативам. Для мостов постройки после 1930 г. характерно применение монолитных и сборных бетонных опор нередко без облицовки, а также из предварительно напряженного железобетона. Достоинства таких опор общеизвестны. Вместе с тем практика их эксплуатации показала, что в бетонных и железобетонных опорах при определенных условиях могут образовываться различного рода трещины, разрушение бетона в зонах переменных горизонтов воды и ледостава, на участках швов бетонирования и между блоками и др. Указанные в самом общем виде расстройства опор в мостах снижают их долговечность, прочность, сокращают межремонтные сроки и увеличивают затраты на содержание.

В процессе эксплуатации водопропускных труб под насыпями железных дорог приходится выполнять значительные объемы работ по ремонту каменной и бетонной кладки, заделке трещин и швов в звеньях, гидроизоляции сооружения, по переустройству оголовков и лотков, увеличивать отверстия труб, а иногда заменять водопропускные трубы малыми мостами. Опыт эксплуатации и специальные исследования показывают, что основные расстройства водопропускных труб чаще всего происходят в период их сооружения и вскоре после окончания земляных работ. Для этого периода характерны появления деформаций железобетонных звеньев с образованием в них трещин, расстройства швов, изоляции и т. п. В процессе эксплуатации труб могут возникать растяжки звеньев, просадки и деформации звеньев и оголовков, расстройства входных и выходных лотков и т. д. Ввиду многочисленности труб на железных дорогах ежегодные объемы работ по их ремонту оказываются достаточно большими.

Современное состояние эксплуатируемых на сети железных дорог РУз мостов и перспективы развития железнодорожного транспорта настоятельно требуют расширения исследований по анализу их состояния с разработкой предложений по оценке долговечности с учетом изменения условий эксплуатации. В связи с этим важное значение приобретают исследования работы мостов в условиях высоких скоростей и режимов нагружения, а также разработка мероприятий по содержанию и ремонту сооружений в различных эксплуатационных условиях.

Строительство железных дорог общего пользования в странах СНГ было начато в 60-х годах прошлого века и в настоящее время эксплуатационная длина путей на железных дорогах достигает сотни тыс. км [3, 72]. Одним из сложных и ответственных элементов путевого хозяйства железных дорог являются такие искусственные сооружения как мосты, тоннели, водопропускные трубы, подпорные стены, галереи, лотки, дюкеры и пр. От их исправности и надежности во многом зависит бесперебойность и безопасность движения поездов. Общая протяженность искусственных сооружений на сети железных дорог стран СНГ превышает сотни километров, что соответствует 10...15% стоимости основных средств путевого хозяйства. В среднем на 1...5 км главных путей приходится одно искусственное сооружение. Около 50% по протяженности и до 60% по количеству всех железнодорожных мостов составляют железобетонные, подавляющее большинство которых (около 90%) построено после Великой Отечественной войны. Бетонные и каменные мосты на железных дорогах стран СНГ имеются лишь в незначительном количестве, а деревянные (они составляют около 7% общего количества мостов) являются временными сооружениями и расположены на второстепенных направлениях. Из всех искусственных сооружений на отечественных железных дорогах около 90% по количеству и 68% по протяженности составляют малые мосты (длиной до 25 м) и

водопроепускные трубы под насыпями, причем на долю последних приходится более 60% всех искусственных сооружений.

Первые трубы под насыпями были сооружены более 130 лет назад из каменной кладки на известковом растворе. Позднее, в конце XIX века, для труб стали применять бетонную кладку и железобетон, что, естественно, привело к изменению их конструкции. Так, применение железобетона позволило изменить очертания труб и перейти от сводчатых и овоидальных к прямоугольным и круглым, а это дало возможность сократить сроки и снизить стоимость их строительства и, самое главное, открыло перспективы перехода на сборные конструкции. В наше время трубы под насыпями строят исключительно из сборных железобетонных элементов и преимущественно круглого сечения. За последние 25 лет количество построенных труб возросло на 15%, тогда как мостов – лишь на 1,8%. Такое соотношение свидетельствует о том, что удобные в эксплуатации трубы предпочтительнее малых мостов.

Искусственные сооружения, эксплуатируемые в наши дни на железных дорогах Узбекистана, строили на протяжении более 80 лет, чем и объясняется их разнообразие по материалам, конструктивным формам и грузоподъемности. Они существенно различаются и по своему физическому состоянию, определяемому качеством использованных строительных материалов, постройки и степенью сохранности в условиях эксплуатации. Развитие строительства железных дорог требовало нормирования основных положений проектирования мостов и в первую очередь расчетных нагрузок. Объективные условия развития строительства железных дорог в начале XX-го века не позволяли создать нормативы, учитывающие перспективу, и поэтому расчетные нагрузки и допускаемые напряжения на металл часто пересматривались.

Мосты, трубы и другие искусственные сооружения, эксплуатируемые на железных дорогах в странах СНГ, были запроектированы и построены

по различным нормам проектирования и под различные расчетные нагрузки [7]:

Так, первые расчетные нагрузки на железнодорожные мосты были приняты в 1875 г. с давлением на ось паровоза 117,7 кН и вагонной нагрузкой 25,8 кН/м пути.

по нормам 1884 г. нагрузки принимали соответственно равными: на ось паровоза – 147,2, а вагонные – 21,4 кН/м пути.

по нормам 1896 г. расчетная нагрузка представляла собой два четырехосных паровоза с нагрузкой на ось 147,4 кН, с трехосными тендерами с осевой нагрузкой 117, 7 кН и вагонной нагрузкой интенсивностью 58,9 кН/м;

по нормам 1907 г. расчетная нагрузка – два пятиосных паровоза с нагрузкой на ось 196,2 кН, с четырехосными тендерами с осевой нагрузкой 137,4 кН и вагонной нагрузкой интенсивностью 58,9 кН/м;

по нормам 1931 г. расчетная нагрузка – в виде схемы эталонной нагрузки Н1, в которой максимальная нагрузка на ось составляет 34,3 кН, а погонная – 9,81 кН/м. Эталонную нагрузку по схеме Н1 умножают на соответствующий класс К. При проектировании постоянных мостов принимали класс $K = 8$ (Н8) $K = 7$ (Н7), а временных – $K = 6$ (Н6);

по нормам 1962 г. предусмотрена нормативная перспективная нагрузка СК в виде эквивалентных нагрузок, полученных как объемлющие от воздействий различных типов и сочетаний подвижного состава. При проектировании капитальных сооружений в нагрузке СК принимают класс $K = 14$, а временных – $K = 10$. В расчетах от сосредоточенного груза на ось принимают 2,5 К.

Таким образом, уже через 30 лет со времени введения первой расчетной нагрузки давление на ось локомотива по нормам 1907 г. возросло в 1,7 и вагонная нагрузка в 2,3 раза. В 1921 г. на отечественных железных дорогах вводится новая расчетная нагрузка с давлением на ось

локомотива 216 кН и вагонная – 68,7 кН/м. Начатые в странах СНГ с 1918 г. по инициативе Н. С. Стрелецкого исследования динамического воздействия нагрузок на мосты позволили в нормах 1921 г. учитывать это воздействие уже в явном виде по формуле [7]:

$$1 + \mu = 1 + 0,625/(1 + 0,02\lambda). \quad (2.1)$$

К 1930 г., когда были выявлены перспективы развития подвижного состава, были даны обоснования к последующим нормам нагрузок для проектирования мостов 1931 г., которые просуществовали до 1962 г., а в отношении определения грузоподъемности эксплуатируемых мостов действуют и в настоящее время. В нормах 1931 г. впервые было введено понятие класса нагрузки, определяемого значением коэффициента K и принимаемого равным 6, 7 или 8 в зависимости от капитальности проектируемого сооружения. При проектировании постоянных мостов принимали K равным 8 или 7, а для временных (например, деревянных мостов) – равным 6. Расчетную нагрузку определяли умножением нагрузки от единичного эталонного поезда Н1 на класс K . В нормах 1962 г. нормативная нагрузка СК была ориентирована на далекую перспективу и представлена в виде эквивалентных нагрузок, полученных от самых различных типов и сочетаний подвижного состава. В нагрузке СК при проектировании капитальных сооружений принимают $K = 14$, а временных $K = 10$. В расчетах от сосредоточенного груза давление на ось берут равным $2,5K$. Следует иметь в виду, что единичная нагрузка С1 1962 г. меньше, чем соответствующая единичная нагрузка Н1 1931 г.

Каждый этап строительства мостов и труб отражал реализацию уровня знаний и достижений проектировщиков и строителей, использования лучших строительных материалов и технологий, характерных для своей эпохи.

На дорогах стран СНГ эксплуатируются разнообразные конструкции мостов и труб [7].

Металлические пролетные строения. Для малых, средних и больших мостов нашли применение:

- клепаные пролетные строения со сплошными главными балками расчетной длиной от 7,0 до 27,6 м по нормам 1896 г., 1907 г., 1931 г. и расчетной нагрузкой Н7, Н8, а также болтосварные расчетной длиной от 18,2 до 33,6 м по нормам 1962 г. и расчетной нагрузкой С14;

- сталежелезобетонные пролетные строения с ездой на балласте расчетной длиной от 18,2 до 55,0 м по нормам 1962 г. и расчетной нагрузкой С14 [8].

Металлические пролетные строения ранних проектировок имеют ряд конструктивных и эксплуатационных особенностей, которые следует иметь в виду при организации их содержания. Так, в пролетных строениях мостов, запроектированных по нормам до 1896 г., применяли многорешетчатые системы главных ферм. В таких фермах нередко растянутые раскосы выполняли в виде плоских, гибких элементов, допуская неравнопрочные с основными элементами конструкции узлов, стыков и прикреплений. Горизонтальные связи в плоскости верхних и нижних поясов ферм имеют большую гибкость и слабые прикрепления в узлах. Проезжая часть этих пролетных строений в виде системы продольных и поперечных балок имела ряд существенных недостатков (шарнирное опирание поперечных балок в узлах ферм; прикрепление продольных балок к поперечным без «рыбок»; отсутствие поясных горизонтальных листов у продольных балок; опирание мостовых брусьев на элементы связей между продольными балками и др.).

Эти конструктивные особенности ряда типов старых пролетных строений обуславливали соответствующие расстройства в элементах главных ферм, проезжей части и повышенные эксплуатационные расходы.

Так, в процессе эксплуатации приходилось переустраивать шарнирное опирание поперечных балок в нешарнирное, усиливать прикрепление продольных балок к поперечным постановкой «рыбок», дополнительных заклепок, ставить заклепки большего диаметра или высокопрочные болты, усиливать пояса продольных балок и др. Элементы главных ферм в связи с ростом поездных нагрузок планомерно усиливали по грузоподъемности сечений и прикреплений. Многие элементы в отмеченных типах пролетных строений потребовалось усилить из-за их чрезмерной гибкости (растянутые раскосы, связи между фермами, стойки и подвески). Общим для пролетных строений ранних проектировок является наличие в них конструктивных несовершенств, создающих условия для интенсивной коррозии многих элементов и узлов (так называемые пазухи и мешки, щели в пакетах листов, отсутствие дренажных отверстий в коробчатых нижних поясах, большие расстояния между заклепками и др.). При эксплуатации указанных типов пролетных строений наиболее часто расстраивались заклепочные соединения в элементах проезжей части и в прикреплениях решетки главных ферм к узлам. В последние годы в элементах этих пролетных строений участились случаи появления трещин большей частью усталостного характера. Наиболее часто трещины обнаруживались в фасонках связей проезжей части и главных ферм, в стенках и поясах продольных балок и уголках прикрепления, в сжато-растянутых раскосах по первым трем рядам прикрепления заклепками к узлам ферм.

В дальнейшем конструкция пролетных строений улучшалась. В них фермы имели, как правило, простую треугольную или шпренгельную решетку, исключены шарнирное опирание поперечных балок и плоские элементы решетки ферм, улучшена конструкция проезжей части, стыков и прикреплений. Необходимо отметить, что пролетные строения, запроектированные по нормам нагрузки 1907 г., по грузоподъемности и прочим

требованиям в основном удовлетворяют эксплуатации их под обращающимися и в настоящее время нагрузками. Общим недостатком мостов ранних лет постройки было почти полное отсутствие смотровых приспособлений, что существенно осложняло содержание сооружений. В связи с этим в современных нормативах по мостам, а также в типовых проектах предусматривают соответствующие эксплуатационные обустройства. С конца 20-х годов в связи с капитальным восстановлением и строительством железных дорог в странах СНГ проводилась модернизация некоторых, наиболее часто применяющихся типов металлических пролетных строений. К этому времени были разработаны типовые конструкции ряда металлических пролетных строений. В дальнейшем при строительстве новых мостов нашли широкое применение так называемые унифицированные конструкции пролетных строений (Проект стальной конструкции 1944 и 1951 гг., Гипротрансмоста 1955 г. и др.) под нагрузки Н7 и Н8 1931 г.

В современных условиях применяются сварные коробчатые пролетные строения с ортотропной плитой и ездой по балласту расчетной длиной от 18,2 до 33,6 м [7] (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Конструкция коробчатого пролетного строения с ортотропной плитой с ездой по балласту

Для больших и внеклассных мостов применяли стальные клепаные пролетные строения со сквозными балочно-разрезными фермами с ездой

понизу и поверху расчетной длиной 19,5–129,6 м по нормам 1896 г.; 22,2–158,4 м по нормам 1907 г.; 27,0–158,4 м по нормам 1931 г. и расчетной нагрузкой Н7, Н8; клепанные и болтосварные балочно-разрезные – 55,0–110,0 м и балочно-неразрезные 110,0–154,0 м по нормам 1962 г. и расчетной нагрузкой С14 (рис. 2.3, 2.4).



Рис. 2.3. Стальные балочно-разрезные пролетные строения со сквозными фермами с ездой понизу



Рис. 2.4. Металлическое балочно-разрезное пролетное строение со сквозной фермой с ездой поверху

Для изготовления пролетных строений использовали литое железо при строительстве мостов до 1935 г.; малоуглеродистую сталь мартеновской плавки (Ст 3 мостовая), успокоенную малоуглеродистую сталь М16С, получаемую путем раскисления до 1953 г., а с 1945 г. доминирующее положение в мостостроении заняли низколегированные стали, получаемые путем легирования никелем, хромом, марганцем и другими элементами (Ст10ХСНД, 15ХСНД) [7].

Заклепки до 1900 г. изготавливали из сварочного железа, а позже из стали марки Ст2. В настоящее время основным видом монтажных

соединений металлических пролетных строений является использование высокопрочных болтов из стали 40Х с термической обработкой и автоматической сварки.

Железобетонные пролетные строения. При строительстве железобетонных железнодорожных мостов применяются пролетные строения с ездой по балласту различных конструктивных форм. К ним относятся плитные пролетные строения расчетной длиной от 3,5 до 6,5 м; ребристые одно- и двухблочные из обычного железобетона расчетной длиной от 5,5 до 15,8 м (рис. 2.5, 2.6); ребристые двухблочные с предварительно напряженной арматурой расчетной длиной от 12,8 до 27,6 м [7, 9] (рис. 2.5, г; 2.6; 2.7).

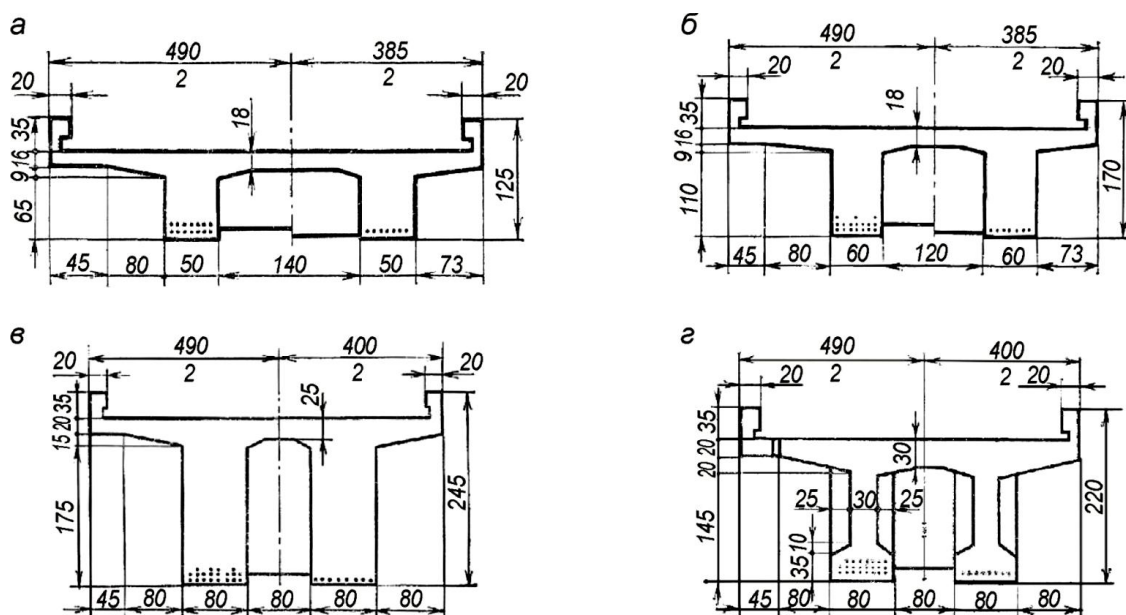


Рис. 2.5. Схемы железобетонных пролетных строений старых лет постройки: а – под нагрузку Н7 (1931 г.), полной длиной 5,9 м; б, в – под нагрузку Н7 (1931 г.), полной длиной 11,5 м; г – под нагрузку Н8 (1934 г.) полной длиной 14,3 м; под нагрузку Н8 (1934 г.) полной длиной 13,5 м



***Рис. 2.6. Железобетонные пролетные строения ребристой конструкции:
а – одноблочные; б – двухблочные***



***Рис. 2.7. Фасад
железобетонного
пролетного строения с
предварительно
напряженной арматурой***

Для изготовления железобетонных пролетных строений, запроектированных по нормам 1931 г. под расчетную нагрузку Н7 и Н8, применяли бетон с прочностью на сжатие марки М250–М400 (классами бетона по прочности В20–В30). Пролетные строения, рассчитанные под нагрузку С14, имеют более высокие классы бетона [7].

В послевоенном строительстве железнодорожных мостов довольно широкое применение получили пролетные строения со сплошной стенкой расчетными пролетами от 33,6 до 66 м с ездой на деревянных, а в последнее время на металлических поперечинах, а также с ездой на балласте по железобетонной плите. В районах с суровым климатом с конца 60-х годов начали применять пролетные строения, изготовленные с учетом специальных требований. В металлических пролетных строениях, построенных за последние годы, широко использовали стали повышенной прочности, заводскую сварку элементов и блоков, а также соединения на высокопрочных болтах. Такие соединения стали вытеснять заклепочные

также при ремонте и реконструкции эксплуатируемых мостов. На железных дорогах СНГ в подавляющем числе железобетонных мостов применены балочные разрезные пролетные строения из обычного, а в последнее время и из предварительно-напряженного железобетона. В железобетонных мостах больших пролетов применены преимущественно арочные системы из монолитного, а более поздние из сборного железобетона.

Продолжительность эксплуатации первых железобетонных мостов на наших дорогах составляет около 70–80 лет. Сроки эксплуатации железобетонных мостов приведены на рис. 2.8.

В дореволюционный период железобетонные мосты строили под нагрузку 1907 г. с балочными разрезными пролетными строениями длиной до 12 м, которые бетонировали в пролете. Эти пролетные строения имели четыре ребра (рис. 2.1) с армированием главных ребер гладкой арматурой и хомутами из круглой или полосовой стали; марка бетона не превышала 200 кгс/см².

Массовое строительство железобетонных мостов в Советском Союзе началось после 1930 г. К этому времени методика расчета железобетонных конструкций существенно изменилась. До начала 30-х годов в расчетах железобетонных изгибаемых элементов учитывали работу бетона в растянутой зоне при пониженных допускаемых напряжениях в арматуре с целью обеспечения трещиностойкости этой зоны. В дальнейшем работу растянутого бетона из расчетов исключили, повысили допускаемые напряжения в растянутой арматуре и стали допускать появление трещин с раскрытием не более 0,15 мм, что позволило существенно снизить расход арматуры в конструкциях. Такая методика расчета железобетонных конструкций и была применена в типовых проектах 1934 г. (Ленпроектпуть НКПС) и последующих.

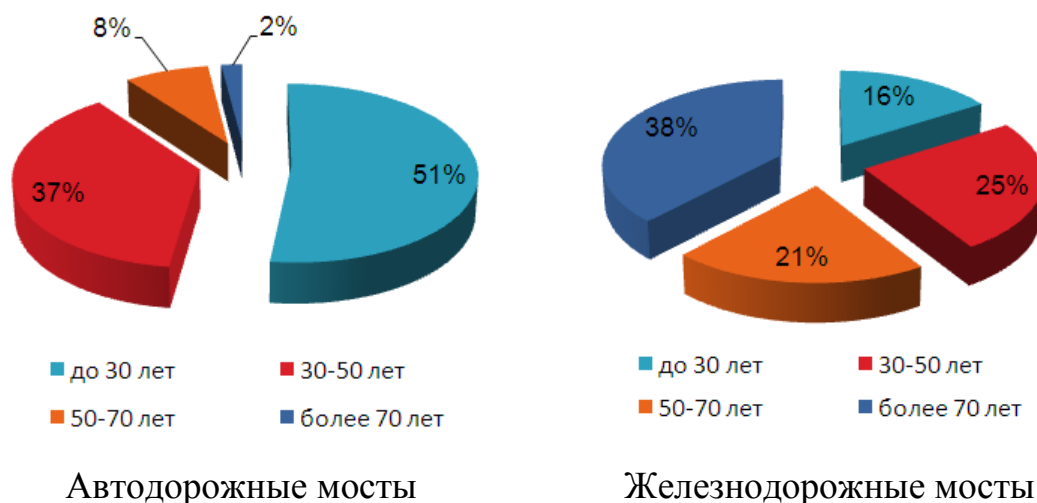


Рис. 2.8. Сроки эксплуатации железобетонных мостов

Процесс индустриализации строительства мостов, получивший широкое развитие в послевоенные годы, потребовал изменения конструктивных форм, технологии изготовления и монтажа железобетонных мостов. Массовое применение стали находить типовые конструкции ЦКБ Главмостостроя МПС, полносборные железобетонные крупноблочные мосты ЦНИИСа, рамноблочные Лентрансмостпроекта, а также рамно- и свайно-эстакадные мосты индустриального изготовления. В ряде железобетонных мостов использована безбалластная проезжая часть с ездой на деревянных поперечинах. С 1948 г. в мостах под железнодорожную нагрузку начали внедрять предварительно напряженные железобетонные пролетные строения длиной до 34 м. Первые предварительно напряженные пролетные строения, изготовленные в странах СНГ, имели арматуру, натягиваемую на бетон. В последующем от этих конструкций отказались, и в настоящее время в мостах под железную дорогу применяют почти исключительно железобетонные пролетные строения с натяжением арматуры на упоры (в стендах). Для железобетонных пролетных строений, получивших массовое внедрение в строительстве мостов в послевоенный период, характерно использование бетонов и арматуры высокой прочности. Это позволило увеличить

диапазон пролетов для балочных разрезных систем. Железобетонные пролетные строения обладают достаточной грузоподъемностью для эксплуатации их под всеми видами обращающихся поездов и нагрузками ближайшей перспективы. Физическое состояние их весьма различно. В старых железобетонных пролетных строениях относительно много трещин. Из-за несовершенства конструкций гидроизоляции, системы водоотвода и во многих случаях из-за низкого качества бетона интенсивно проявляются коррозия бетона и арматуры, разрушения защитного слоя. Эти расстройства заметно снижают долговечность и нередко грузоподъемность пролетных строений. Ремонт многих таких пролетных строений через 50 и более лет был запоздалой мерой и поэтому не привел к радикальным изменениям, что вынуждает заменять их новыми.

В железобетонных пролетных строениях более поздних лет постройки, в том числе и в относительно новых, в процессе эксплуатации образуются различные, иногда достаточно серьезные дефекты, обусловленные несовершенством проектов, нарушениями технологии строительства и т. д. Следует также иметь в виду, что степень тех или иных расстройств в железобетонных мостах зависит от условий эксплуатации и качества содержания. Установлено, что в мостах, эксплуатирующихся в районах с суровым климатом, а также в условиях агрессивной атмосферы, коррозия арматуры и бетона протекает более интенсивно. В связи с этим с 1967 г. конструкции мостов для районов с суровым климатом рассчитывают и выполняют по специальным нормативам. Для мостов постройки после 1930 г. характерно применение монолитных и сборных бетонных опор нередко без облицовки, а также из предварительно напряженного железобетона. Достоинства таких опор общеизвестны. Вместе с тем практика их эксплуатации показала, что в бетонных и железобетонных опорах при определенных условиях могут образовываться различного рода трещины, разрушение бетона в зонах

переменных горизонтов воды и ледостава, на участках швов бетонирования и между блоками и др. Указанные в самом общем виде расстройства опор в мостах снижают их долговечность, прочность, сокращают межремонтные сроки и увеличивают затраты на содержание.

Опоры балочных мостов. Опоры железнодорожных мостов строили до 1940 г. преимущественно массивные монолитные из бутовой, бутобетонной и бетонной кладки с каменной облицовкой (марка бетона по прочности М250–М400, бутового камня прочностью 200–400 кг/см² и выше). Мосты постройки поздних лет сооружали из монолитного и сборного бетона и железобетона с классом бетона по прочности В30–В40 и выше (рис. 2.9, 2.10) [9].

Опоры мостов проектировали и сооружали в основном с фундаментами на естественном основании, а также находили применение кессоны и опускные колодцы. В русловой части больших и внеклассных мостов промежуточные опоры устраивали с ледорежущей гранью (рис. 2.9, б). В зоне сурового климата глубина заложения массивных монолитных фундаментов на естественном основании составляет 3,5–5,0 м. С 1974 г. широкое применение получили сборно-монолитные опоры мостов с фундаментами на естественном основании, а также глубокого заложения на столбах и сваях-оболочках (рис. 2.11) [7].

В процессе эксплуатации водопропускных труб под насыпями железных дорог приходится выполнять значительные объемы работ по ремонту каменной и бетонной кладки, заделке трещин и швов в звеньях, гидроизоляции сооружения, по переустройству оголовков и лотков, увеличивать отверстия труб, а иногда заменять водопропускные трубы малыми мостами. Опыт эксплуатации и специальные исследования показывают, что основные расстройства водопропускных труб чаще всего происходят в период их сооружения и вскоре после окончания земляных работ. Для этого периода характерны появления деформаций

железобетонных звеньев с образованием в них трещин, расстроя швов, изоляции и т. п. В процессе эксплуатации труб могут возникать растяжки звеньев, просадки и деформации звеньев и оголовков, расстроя входных и выходных лотков и т. д. Ввиду многочисленности труб на железных дорогах ежегодные объемы работ по их ремонту оказываются достаточно большими [7].

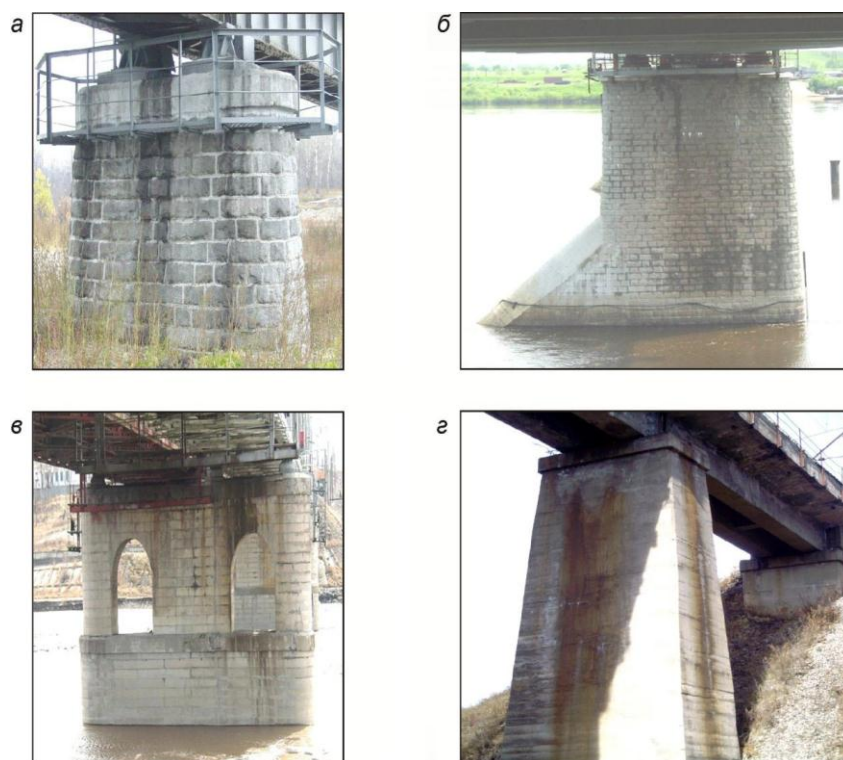


Рис. 2.9. Конструкции массивных монолитных промежуточных опор эксплуатируемых мостов: а – с каменной облицовкой; б – с ледорежущей гранью; в – с проемами; г – с наклонными гранями



Рис. 2.10. Конструкции массивных монолитных береговых опор эксплуатируемых мостов: а – бетонные; б – бутобетонные с каменной облицовкой

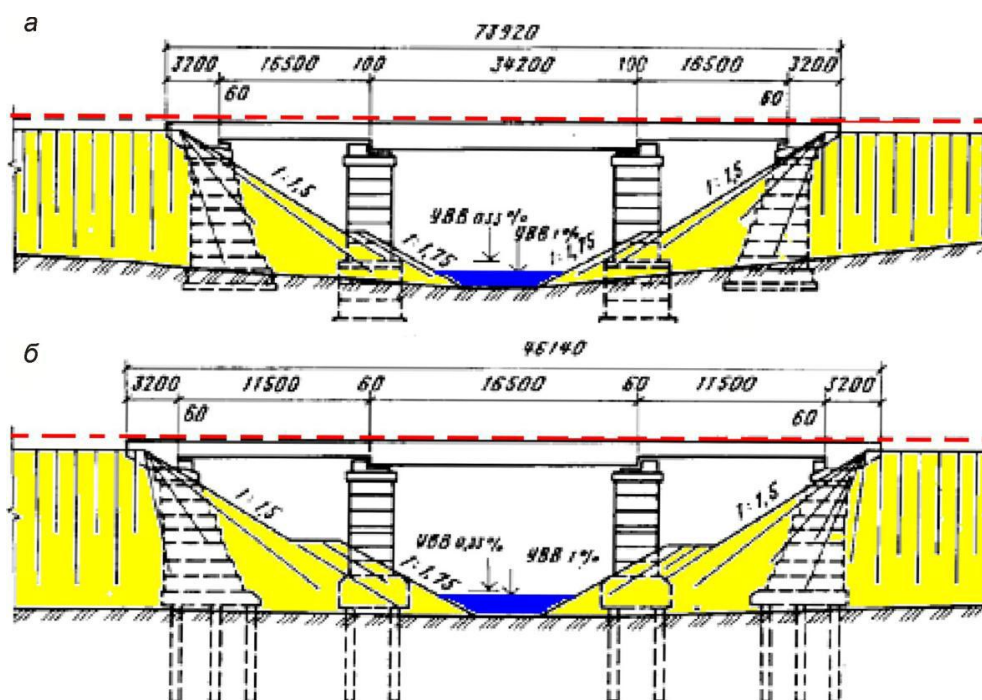


Рис. 2.11. Схемы мостов со сборно-монолитными опорами с фундаментами:
а – на естественном сновании; б – глубокого заложения на столбах

Современное состояние эксплуатируемых на сети железных дорог России мостов и перспективы развития железнодорожного транспорта настоятельно требуют расширения исследований по анализу их состояния с разработкой предложений по оценке долговечности с учетом изменения условий эксплуатации. В связи с этим важное значение приобретают исследования работы мостов в условиях высоких скоростей и режимов нагружения, а также разработка мероприятий по содержанию и ремонту сооружений в различных эксплуатационных условиях.

2.4. Организация содержания мостовых сооружений на железных дорогах

Техническое руководство по вопросам эксплуатации искусственных сооружений в России осуществляют Центральная дирекция инфраструктуры, а также их филиалы по управлению пути и сооружений

открытого акционерского общества «Российские железные дороги» (рис. 2.12) [7].

Центр обследования и диагностики инженерных сооружений включает в себя различные подразделения, занимающиеся вопросами обследования, испытания дефектных конструкций, контроля качества содержания, ремонта и обеспечения параметров надежности и долговечности эксплуатируемых искусственных сооружений.

Дирекция по комплексной реконструкции железных дорог и строительству объектов железнодорожного транспорта (ДКРС) через региональную «Группу заказчика» выполняет функцию заказчика по реконструкции старых или строительству новых мостов и тоннелей.



Рис. 2.12. Структура подразделений ОАО «РЖД» по управлению эксплуатацией искусственных сооружений

Центральная дирекция по ремонту пути занимается вопросами

организации и улучшения качества ремонта и реконструкции искусственных сооружений, проводит научно-техническую политику ОАО «РЖД».

Центральная дирекция инфраструктуры включает в себя подразделения путевого и мостового хозяйства, которые занимаются вопросами содержания искусственных сооружений в целях обеспечения безопасности движения поездов (рис. 2.12).

Дистанция пути непосредственно выполняет комплекс работ по текущему содержанию искусственных сооружений, который определен Правилами и технологией работ по текущему содержанию [10] и Инструкцией по содержанию искусственных сооружений [11].

Принципы организации текущего содержания. Текущее содержание является установленным способом эксплуатации сооружения, обеспечивающим безопасность эксплуатации, его надёжность, определяющим систему надзора, оценки текущего состояния сооружения, порядка проведения регламентных сервисных и ремонтных работ. Основные элементы системы текущего содержания представлены на рис. 2.13.

Текущее содержание искусственных сооружений включает комплекс организационно-технических, технологических мероприятий по предупреждению появления неисправностей в сооружениях, выполнению регламентного обслуживания и ремонтных работ по устранению выявленных дефектов, обеспечивающих нормальную работу всего сооружения и отдельных его элементов, предусмотренную проектом.

Задачей текущего содержания сооружения является обеспечение его исправного, работоспособного состояния, обеспечивающего безопасный, бесперебойный пропуск поездов с установленными скоростями.

Общие правила текущего содержания искусственных сооружений на железных дорогах Российской Федерации регламентируются нормативной

технической документацией, имеющих статус правовых актов, действующих в сфере железнодорожного транспорта и являющихся неотъемлемой частью системы технического регулирования РФ.

Единая организационная структура управления техническим состоянием сооружений на железных дорогах предполагает единство нормативных и технических требований к системе содержания сооружений на всей территории РФ при учёте особенностей сооружений, функциональных требований к ним, устанавливаемых категорией железной дороги, климатическими, географическими, урбанистическими условиями регионов и определяющих особенности текущего содержания. Структура управления текущим содержанием искусственных сооружений на железных дорогах РФ в части функционально-определённых компетенций по отношению к обеспечению безопасности сооружений предполагает три взаимообусловленных уровня (рис. 2.14).

Первый уровень - *уровень государственного управления* осуществляет государственное регулирование в сфере железнодорожного транспорта, разрабатывает и реализует техническое регулирование в сфере безопасности железнодорожного транспорта и искусственных сооружений, осуществляет разработку и обеспечивает принятие законодательных, нормативных, правовых актов.

Второй уровень – *уровень корпоративного управления* обеспечивает исполнение государственной политики в сфере железнодорожного транспорта, осуществляет разработку и принятие корпоративных ведомственных нормативных актов, разрабатывает систему текущего содержания искусственных сооружений в соответствии с установленными требованиями, осуществляет хозяйственную деятельность в сфере железнодорожного транспорта, планирует финансовые, материальные ресурсы на содержание и обеспечивает функционирование системы.

Третий уровень – *уровень линейных подразделений* является базовым

элементом в системе корпоративного управления, на котором осуществляется первичные мероприятия по надзору, проводится учёт и систематизация дефектов, проводятся регламентные, сервисные работы, текущий ремонт. Хорошая оснащённость, обеспеченность подразделений материальными ресурсами, кадровым потенциалом первичного звена на уровне линейных подразделений позволяет повысить эффективность своевременного выявления и устранения дефектов.

Учёт особенностей текущего содержания, связанных с функциональными характеристиками сооружений путём разработки и утверждения мероприятий, определяющих безопасность эксплуатации искусственных сооружений, осуществляется на уровне управлений дорог и подведомственных подразделениях ПЧ. При учёте таких особенностей производится анализ конструктивных свойств эксплуатируемых сооружений, требований к ним, их количества, вида и типа объекта, других функциональных факторов, оказывающих влияние на безопасность движения поездов и окружающей инфраструктуры.

При разработке системы текущего содержания на уровне управлений дорог, необходимо учитывать особенности, связанные с эксплуатационными характеристиками подведомственной сети железных дорог по нагрузке, скорости движения поездов, а также наличие на сети уникальных сооружений. К таким сооружениям относят внеклассные, большие, совмещённые мосты, тоннели и другие сооружения, требующие индивидуального подхода при разработке мероприятий текущего содержания.

В случае наличия на железной дороге искусственных сооружений, имеющих особенности, связанные с требованиями к ним, индивидуальным характером конструкции или условиями эксплуатации текущее содержание таких сооружений может осуществляться по специальному проекту, разрабатываемому специализированной организацией.

Система текущего содержания предполагает наличие обязанностей и ответственности должностных лиц, осуществляющих содержание искусственных сооружений путём планирования, реализации мероприятий по содержанию этих сооружений, подтверждения их соответствия установленным требованиям, обеспечивающим выявление и устранение рисков, связанных с безопасной эксплуатацией.

Система текущего содержания искусственных сооружений, являющаяся неотъемлемым базовым элементом безопасности дороги должна быть обеспечена финансовыми, материальными, людскими ресурсами, планирование которых осуществляется на основании результатов надзора, позволяющих своевременно выявлять возникающие дефекты и неисправности, планировать необходимые работы по сервисному обслуживанию, текущему и капитальному ремонту сооружений.

Базовым принципом системы содержания искусственных сооружений на железных дорогах является предупреждение возможных рисков, связанных с возникновением, развитием различного рода дефектов, приводящих к ненормативным состояниям конструктивных элементов, снижающих надёжность сооружения и увеличивающих вероятность возникновения аварийных ситуаций, влияющих на безопасность эксплуатации.

Основным принципом содержания искусственных сооружений на железных дорогах является обеспечение исправного их состояния в течение нормативного срока эксплуатации для бесперебойного и безопасного пропуска поездов с установленными скоростями. Содержание искусственных сооружений включает в себя проведение комплекса мероприятий для предупреждения появления повреждений в процессе эксплуатации, в который входит проведение восстановительных работ текущего содержания и капитального ремонта.

Основной хозяйственной и производственной единицей, занимающейся непосредственно вопросами содержания искусственных сооружений на железнодорожной линии, является дистанция пути. Комплекс работ на искусственных сооружениях выполняют под руководством начальников дистанций пути и их заместителей, мостовых и дорожных мастеров и бригадиров. На железных дорогах искусственные сооружения находятся в ведении служб пути, в составе которых имеются отделы искусственных сооружений, помогающие осуществлять общее руководство эксплуатацией сооружений в пределах дороги. В системе АЖ «Узбекистон темир йуллари» общее руководство эксплуатацией искусственных сооружений на железных дорогах РУз осуществляет Главное управление пути, в составе которого имеется отдел искусственных сооружений. Основные положения по содержанию искусственных сооружений, порядок выполнения работ, а также обязанности линейных работников определены Инструкцией по содержанию искусственных сооружений ЦП 3084 1973 г. Содержание мостов, тоннелей, труб и других искусственных сооружений должно обеспечивать исправное их состояние для бесперебойного и безопасного движения поездов с установленными скоростями, а также длительный срок службы всех элементов путем выполнения планово-предупредительных ремонтов [7].

Основой содержания искусственных сооружений должно являться предупреждение возникновения в них неисправностей и отказов своевременными освидетельствованиями и ремонтом. В связи с этим работы по содержанию искусственных сооружений, технологию и периодичность их выполнения регламентируют специальными нормативами, разработанными на основе обобщения передового опыта и достижений науки и техники. Содержание искусственных сооружений предусматривает их текущее содержание и капитальный ремонт. *Текущее содержание* включает организацию надзора на протяжении всего периода

эксплуатации и выполнение определенных работ. За всеми без исключения эксплуатируемыми искусственными сооружениями устанавливают тщательный надзор, включающий [7]:

- систематический надзор;
- текущие осмотры;
- периодические осмотры; обследования и испытания;
- специальные наблюдения и осмотры.

Систематический надзор осуществляют обходчики пути и сооружений, бригадиры или монтеры пути. При осмотрах следует обращать особое внимание на состояние пути, отвод воды и пожарную безопасность сооружения. Кроме того, необходимо очищать сооружения и осуществлять по указанию дорожного и мостового мастеров простейшие наблюдения за ними.

Текущее содержание искусственных сооружений состоит из систематического надзора и производства мелких ремонтных работ, состав и объемы которых устанавливают с учетом их технического состояния, сезона работ, природно-климатических условий. Система надзора за состоянием сооружений включает в себя различного рода осмотры, обследования, испытания и специальные наблюдения (табл. 2.1) [7].

Ремонтные работы по текущему содержанию искусственных сооружений выполняют мостовые (тоннельные) бригады дистанций пути согласно полумесячным графикам, составленным по результатам текущих и периодических осмотров (табл. 2.1). Полумесячные графики составляют мостовые мастера в соответствии с утвержденными начальником дистанции пути сезонными планами. Как правило, работы производят без перерыва движения поездов.

В состав работ по текущему содержанию искусственных сооружений входят: очистка от загрязнений элементов пролетных строений, опор, опорных частей, уравнильных приборов; расчистка труб и русл от

Таблица 2.1

**Система надзора за состоянием эксплуатируемых искусственных
сооружений на железных дорогах**

Вид надзора	Состав комиссии	Периодичность	Основная цель, содержание	Техническая документация
1. Осмотр обходчиками железнодорожных путей и искусственных сооружений	Обходчики, бригадиры пути или квалифицированные монтеры пути	1 раз в месяц	Выявление неисправностей, угрожающих безопасности движения поездов	Журнал обходчика железнодорожных путей и искусственных сооружений (Форма ПУ-35)
2. Текущий осмотр	Начальник или заместитель начальника дистанции пути, начальники участков мостовой (тоннельный) мастер, бригадиры по ИССО, дорожные и старшие дорожные мастера, бригадиры пути	1 раз 1- месяца, а для слабых и дефектных сооружений более часто, вплоть до непрерывного наблюдения	Выявление всех неисправностей и дефектов, определение объема необходимых ремонтных работ, контроль за выполнением надзора обходчиками	Книга записей результатов осмотра искусственных сооружений (форма ПУ-30), при необходимости – Книги искусственных сооружений. Карточка ИССО (АСУ ИССО)
3. Периодический осмотр	Начальник дистанции (заместитель или главный инженер), мостовые (тоннельные) мастера, начальник участка, старший дорожный и дорожный мастер	2 раза в год (весной и осенью), а также в сроки, назначенные начальником службы пути	Выявление дефектов и повреждений, установление состава необходимых ремонтных работ, контроль проведения надзора за сооружениями и качества ремонтных работ, оценка технического состояния и содержания	Книга записей результатов осмотра искусственных сооружений (форма ПУ-30). Книги искусственных сооружений. Акты периодического (весеннего или осеннего) осмотров. Карточка ИССО (АСУ ИССО)
4. Обследование	Дорожные мостоиспытательные станции, мостовой (тоннельный) мастер, мостовые научно-исследовательски	Большие и средние мосты – 1 раз в 5 лет, пролетные строения с низким классом грузоподъемности – 1 раз в год, а остальные – 1 раз в	Детальный осмотр всех элементов искусственных сооружений с инструментальными измерениями,	Отчет или заключение

	е организации	10 лет	установление неисправностей, оценка состояния, содержания и качество ремонта, определение необходимых мер по обеспечению безопасности движения и нормальной работы	
5. Испытания	Дорожные мостоиспытательные станции, мостовые научно-исследовательские подразделения	–	При приемке в эксплуатацию новых сооружений, при возникновении в процессе эксплуатации дефектов, влияние которых трудно учесть расчетом, при усилении слабых сооружений, в специальных случаях	Отчет или заключение
6. Специальные наблюдения	Объем и характер наблюдений устанавливает начальник дистанции пути или начальник мостоиспытательной станции	По специальным программам, разрабатываемым научно-исследовательским и организациями и мостоиспытательными станциями	Наблюдения за слабыми и дефектными сооружениями, выявление конструктивных, строительных и эксплуатационных недостатков опытных и новых конструкций	Заключение

наносов и зарослей в летний период, от снега и льда – при пропуске весенних вод; пропуск паводка и ледохода; содержание противоналедных устройств и охлаждающих установок; заделка швов, трещин, сколов, раковин, пустот в бетонных и железобетонных трубах; ремонт поврежденной кладки и штукатурки опор мостов и труб; частичная замена мостового полотна и охранных брусьев; подтягивание, смазка и замена

лапчатых болтов; ремонт опорных частей; ремонт бетонных лотков и укреплений русл труб и малых мостов, наращивание бортиков железобетонных пролетных строений и подферменников оголовков труб; промер русл рек; частичная замена дефектных заклепок на высокопрочные болты, перекрытие трещин накладками и окраска отдельных мест металлических пролетных строений; периодическое натяжение высокопрочных шпилек крепления плит БМП к балкам пролетных строений, исправление местных повреждений конусов, откосов насыпи и регуляционных сооружений и их укреплений [11].

Текущее содержание пути на мостах и подходах к ним допускается выполнять путевым бригадам под руководством дорожных мастеров.

Текущие осмотры искусственных сооружений проводят бригадиры пути, дорожные и мостовые мастера в сроки, определяемые Инструкцией по текущему содержанию пути и начальником дистанции пути для каждого сооружения в зависимости от его состояния. Так, исправные металлические, железобетонные, бетонные и каменные мосты и трубы требуется осматривать не реже одного раза в два месяца, а деревянные мосты и тоннели – не реже одного раза в месяц. При текущих осмотрах определяют общее состояние сооружения на основании освидетельствования всех его частей и элементов, а также контролируют выполнение систематического надзора. На основании текущего осмотра выявляют дефекты, требующие незамедлительного устранения, и определяют объем ремонтных работ. Результаты текущего осмотра сооружения заносят: бригадир пути и дорожный мастер – в книгу проверки пути и стрелочных переводов, а старший дорожный и мостовой мастера – в книгу искусственного сооружения.

Периодические осмотры сооружений производят начальник дистанции пути или его заместитель при участии мостового, старшего дорожного и дорожного мастеров не реже двух раз в год – весной после

прохода высокой воды и осенью. Сроки периодических осмотров устанавливает начальник службы пути в зависимости от состояния сооружений. В особых случаях периодические осмотры проводят с участием представителей отдела пути отделения дороги или службы пути управления дороги. При периодических осмотрах проверяют общее состояние искусственного сооружения, качество содержания, а также определяют дефекты и причины их возникновения. Результаты периодических осмотров заносят в книгу искусственного сооружения, а при наличии серьезных неисправностей составляют отчет, направляемый в службу пути. Помимо текущих и периодических осмотров, все искусственные сооружения по плану, утверждаемому начальником службы пути, обследует мостоиспытательная станция службы пути дороги. Обследования сложных, ответственных и дефектных сооружений производят обследовательские станции Главного управления пути, научно-исследовательских институтов и железнодорожных вузов по плану Главного управления пути ГАЖК. При таких обследованиях в необходимых случаях сооружения испытывают соответствующими нагрузками. По результатам осмотров и испытаний сооружений составляют отчет, в котором подробно отражают состояние всех элементов, результаты испытаний и измерений, а также дают рекомендации о проведении необходимых работ и определяют режим последующей эксплуатации сооружения (нагрузки, скорость) [3 – 7].

Слабые и дефектные сооружения, а также сооружения с опытными конструкциями осматривают чаще и по специальным планам и программам. Специальный порядок надзора устанавливают и за особо крупными и ответственными сооружениями с учетом их состояния и конструктивных особенностей.

Работы по текущему содержанию сооружений выполняют по мере необходимости в течение всего года, имея целью предупреждение

неисправностей и устранение дефектов в самом начале их развития. В комплекс работ по текущему содержанию искусственных сооружений входят: содержание пути в пределах сооружений и на подходах к ним, а также мостового полотна в соответствии с нормативами; содержание в чистоте мостового полотна, элементов пролетных строений и опор; очистка от наносов, зарослей и снега подмостовых русел; содержание в исправности регулиционных сооружений и водоотводных обустройств с элементов моста; подготовка к зиме и пропуску паводковых вод; наблюдения за состоянием подмостового русла. За выполнение указанных работ отвечает дорожный мастер, а контроль исполнения осуществляет мостовой мастер.

Исходя из задачи текущего содержания сооружений, приходится выполнять хотя и небольшие по затратам труда и материалов, но весьма разнообразные работы, например: одиночную замену дефектных элементов мостового полотна; частичную подкраску металлических конструкций; замену одиночных слабых заклепок и болтов; принимать меры по предотвращению развития образовавшихся в металле трещин; ремонт железобетонных и каменных пролетных строений и опор (заделка трещин, швов, восстановление небольших расстройств защитного слоя, ремонт сливов и т. п.); устранение неплотностей, подтяжку болтов, стеску и антисептирование пораженных участков в деревянных элементах и т. п. За выполнение этих работ, а также за проведение инструментальных съемок и промеров русел отвечает мостовой мастер. Работы по текущему содержанию целесообразно выполнять силами комплексных бригад на всех сооружениях участка дороги.

К *капитальному ремонту* относятся работы, направленные на обеспечение длительной эксплуатации сооружения. К ним относятся: полное возобновление окраски и гидроизоляции пролетных строений; сплошная смена элементов мостового полотна; усиление слабых элементов

или частей сооружения; устранение негабаритностей; замена пролетных строений; цементация опор и т. п. В силу того, что эти работы значительны по объему и сложности, их выполняют специализированные подразделения. Сроки капитальных ремонтов и объем работ определяют на основании детального обследования сооружения с учетом условий и перспективы эксплуатации. При капитальном ремонте сооружения должны быть выполнены и работы, относящиеся к текущему содержанию. За ремонтными работами, выполняемыми специализированными подразделениями, технический надзор осуществляет мостовой мастер или другое ответственное лицо, назначаемое начальником дистанции или службы пути. Приемку законченных работ производит мостовой мастер или специальная комиссия (в зависимости от характера и объема работ), при этом исполнитель работ должен в обязательном порядке передать представителю дороги соответствующую исполнительную документацию [7].

Для систематического учета и контроля за состоянием искусственных сооружений предусмотрено ведение специальных карточек и книг с отражением в них основных сведений о сооружениях, данных об осмотрах, наблюдениях и ремонтах. Карточки и книги на искусственные сооружения по установленной форме ведут мостовые мастера. Кроме того, на дистанции пути или в службе пути ведут дело искусственного сооружения, в котором содержатся все технические материалы по данному сооружению, как-то: история сооружения, материалы проекта и исполнительная документация, отчеты об обследованиях и испытаниях, результаты периодических осмотров, промеров русел и инструментальных измерений и т. п.

Капитальный ремонт искусственных сооружений включает в себя восстановительные работы по замене отдельных частей и элементов, неудовлетворяющих нормальному режиму эксплуатации; частичное

переустройство и усиление сооружений, возведение различных обустройств в целях гарантии качества их содержания [7]. Основным принципом проведения капитального ремонта является обеспечение прочности, надежности и продление сроков службы искусственных сооружений. К работам капитального ремонта относят: усиление пролетных строений и опор мостов; замену гидроизоляции элементов пролетных строений, устранение негабаритности; замену дефектных пролетных строений; сплошную замену мостовых брусьев и других элементов мостового полотна; подъемку пролетных строений; полную окраску металлических пролетных строений; перекладку оголовков и удлинение труб; проведение мероприятий по сохранению вечной мерзлоты и борьбы с наледями, а также другие крупные ремонтные работы, направленные на обеспечение исправного состояния и длительного срока эксплуатации [11].

Сроки проведения капитального ремонта, номенклатуру и объемы работ устанавливают по фактическому состоянию на основе данных обследования и с учетом перспектив эксплуатации сооружения.

Работы по капитальному ремонту осуществляют по проектам производства работ (ППР), в которых разрабатывают не только конструктивные решения, но и технологические процессы, предусматривающие применение сборных индустриальных конструкций и использование широкой механизации ремонтных работ.

Восстановительные работы по капитальному ремонту, производимые мостовыми (тоннельными) бригадами дистанций пути, осуществляют по месячным планам, которые разрабатывает мостовой мастер.

Сложные и трудоемкие ремонтные работы по усилению и замене пролетных строений и опор мостов, полной окраске, замене мостового полотна и др. осуществляют силами специализированных дорожных подразделений (мостовых отрядов, мостопоездов, дистанции

искусственных сооружений) и строительно-ремонтных организаций, имеющих лицензии на проведение работ.

2.5. Эксплуатационные обустройства на мостах

Для проведения работ по надзору за сооружением и его ремонту мосты оборудуются специальными эксплуатационными обустройствами: смотровыми приспособлениями; площадками-убежищами; аппаратурой телефонной связи; средствами энергоснабжения для ремонтного оборудования; механизированным инструментом; средствами электроосвещения объекта; противопожарным инвентарем; контрольно-габаритными устройствами; судоходной сигнализацией, устройства для защиты элементов мостов от различных воздействий, обустройства для безопасности обслуживающего персонала, для прокладки линий коммуникаций и др.

Смотровые приспособления должны обеспечивать удобный и безопасный доступ обслуживающего персонала ко всем основным несущим конструкциям мостов. В металлических сплошностенчатых пролетных строениях мостов с ездой поверху внутренние поверхности главных балок и элементов связей осматривают с внутреннего смотрового хода, настил которого расположен на продольных связях пролетных строений (рис. 2.15). Для облегчения осмотра внешних поверхностей главных балок целесообразно устраивать наружные смотровые ходы. Для доступа к внутренним частям сплошностенчатых коробчатых пролетных строений в опорных и промежуточных поперечных диафрагмах предусматриваются специальные проходы, которые по концам пролетных строений могут оборудоваться специальными крышками, позволяющими герметизировать их внутренние полости.

Обслуживающий персонал спускается с тротуаров проезжей части моста к внутренним и наружным смотровым ходам, к оголовкам промежуточных опор, устоев и опорным частям по специальным лестницам, устраиваемым над

каждой из опор моста.

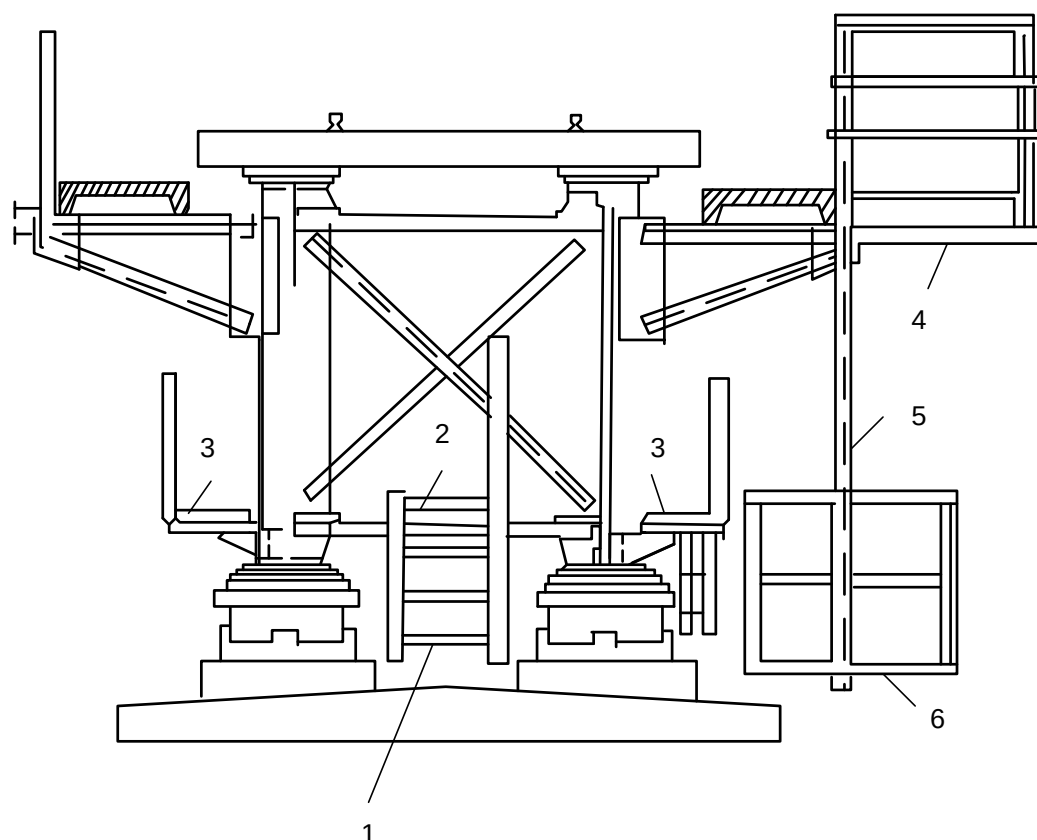


Рис. 2.15. Смотровые приспособления металлических сплошностенчатых пролетных строений с ездой поверху: 1 – лестница внутреннего смотрового хода; 2 – внутренний смотровой ход в плоскости нижних продольных связей; 3 – наружный смотровой ход; 4 – верхняя площадка лестницы спуска на опору; 5 – лестница; 6 – нижняя площадка спуска на опору

Смотровые приспособления сквозных пролетных строений мостов с ездой понизу, особенно при большой их высоте и длине, имеют более сложную конструкцию (рис. 2.16). Доступ к нижним поясам главных ферм, элементам проезжей части и нижних продольных связей обеспечивается при помощи нижней смотровой тележки, перемещающейся под пролетным строением. Осмотр и работы по содержанию верхних поясов и элементов решетки главных ферм, поперечных и верхних продольных связей выполняются с верхней катушей балки: к ней на тросах подвешивают две самоподъемные люльки, перемещаемые в пределах высоты пролетных строений.

Нижняя смотровая тележка и верхняя катучая балка перемещаются вдоль пролетного строения электрифицированным или ручным приводом. Самоподъемные люльки, оборудованные каждая двумя лебедками грузоподъемностью по 250 кг, подвешивают к катучей балке снаружи или внутри пролетного строения.

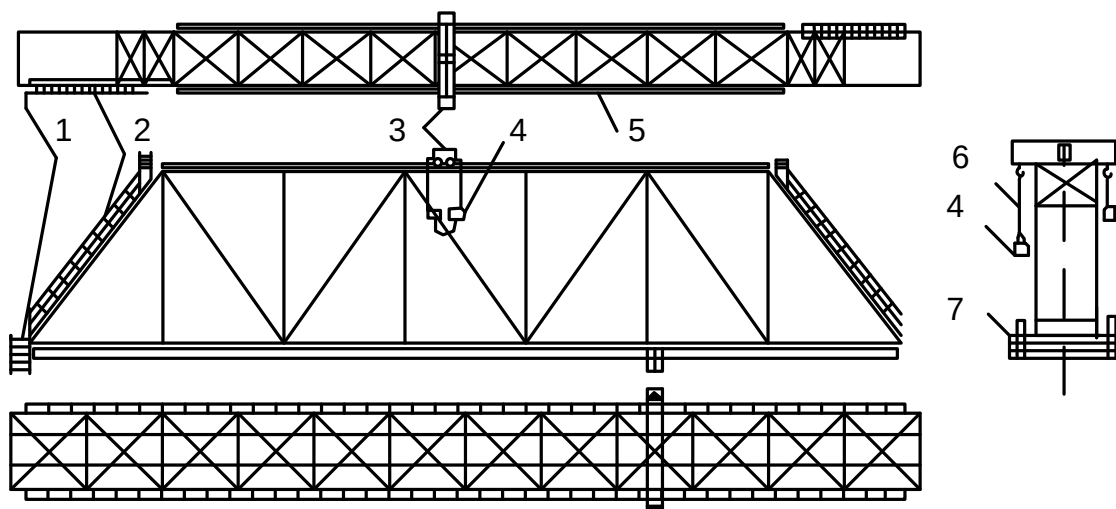


Рис. 2.16. Смотровые приспособления металлических решетчатых пролетных строений с ездой понизу: 1, 2 – лестницы для спуска на опору по порталному раскосу; 3 – катучая балка по верхним, поясам; 4 – самоподъемная люлька; 5 – пути катания катучей балки; 6 – трос подвеса люльки; 7 – смотровая тележка по нижним поясам

К верхним смотровым приспособлениям поднимаются по наклонным лестницам, расположенным на порталных раскосах, а к нижним – по лестничному спуску на опору. Все лестницы и проход по верхним поясам пролетных строений с ездой понизу снабжены перилами.

Для содержания и осмотра опорных частей и подферменных площадок при высоте опор (над землей или меженным горизонтом воды) более 5 м устанавливают перила вокруг надферменных площадок и лестницы для спуска на опоры с проезжей части моста.

Поверхности опор в зависимости от их высоты, места расположения,

возможности проезда под мостом транспортных средств и других местных условий осматривают с применением переносных лестниц, люлек, специальных временных обстроек, подъемных площадок, смонтированных на автомобилях, плавучих средств и др. У устоев мостов, путепроводов и около водопропускных труб при высоте насыпи более 2 м устраивают постоянные лестничные сходы по откосам. Несущие элементы балочных пролетных строений с криволинейным очертанием поясов главных ферм, арочные мосты оборудуют специальными смотровыми приспособлениями в зависимости от конструкции сооружения.

Обеспечение максимального удобства осмотров и ремонта элементов искусственных сооружений в особой мере необходимо в экстремальных условиях их эксплуатации, например, на магистралях с высокими скоростями движения поездов, в районах с суровым климатом и т. п. В качестве примера рассмотрим созданные в Германии смотровые и ремонтные обустройства больших мостов, виадуков и протяженных высоких эстакад высокоскоростных линий Ганновер - Вюрцбург и Мангейм - Штутгарт. На всех сооружениях указанных линий применены двухпутные пролетные строения (при величине междупутья 4,7 м) с ездой поверху на балласте при типовой конструкции проезжей части общей шириной 14,3 м (рис. 2.17). Основным несущим элементом основания проезжей части служит железобетонная плита, являющаяся одновременно верхним поясом пролетных строений. На консолях этой плиты укреплены типовые железобетонные тротуарные блоки шириной 2,6 м, на которых размещены гнезда опор контактной сети, короба для кабеля и других коммуникаций, служебные проходы для обслуживающего персонала и ограждающие их перила. Указанные блоки фиксируют одновременно ширину балластного корыта.

Наибольшее применение на мостах, виадуках и эстакадах рассматриваемых линий получили железобетонные балочные разрезные и неразрезные коробчатые пролетные строения с пролетами до 58 м.

Осмотр опор и пролетных строений эстакад небольшой высоты при возможности проезда под конструкциями производят с помощью специальных автомобилей с подъемными площадками. Высота подъема таких площадок достигает 30 м. Имеются также смотровые агрегаты на рельсовом ходу, однако их использование требует прекращения движения поездов и может быть допущено лишь в отдельных случаях.

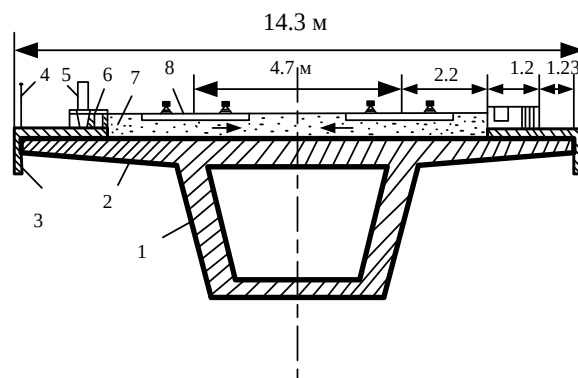


Рис. 2.17. Типовая конструкция проезжей части мостов новых скоростных линий германских железных дорог: 1 – железобетонное балочное (разрезное или неразрезное) пролетное строение; 2 - гидроизоляция, уложенная по верхней плите с уклоном 2,5 % к середине междупутья; 3- типовой тротуарный блок, включающий балку для размещения сигналов и опор контактной сети; 4- перила; 5 - опора контактной сети; 6 - короб для кабеля и других коммуникаций; 7 - балласт; 8 - рельсо-шпальная решетка

Как правило, осмотры, обследования и ремонтные работы по текущему содержанию наружных поверхностей пролетных строений и опор предусмотрено производить с помощью специального агрегата (рис. 2.18), перемещающегося по служебным проходам сбоку от путей без нарушения нормального движения поездов.

При перемещении агрегата по одному из служебных проходов производят необходимые работы на одной продольной половине пролетного строения, для производства работ на другой половине необходима перестановка агрегата на второй служебный проход. При

необходимости осмотра и ремонта опор используют входящие в состав рассматриваемого агрегата специальные подъемные платформы.

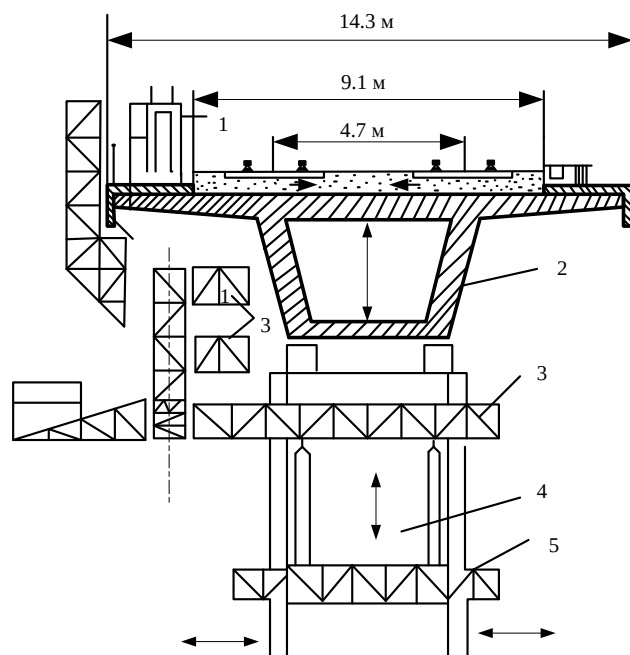


Рис. 2.18. Принципиальная схема специального агрегата для осмотра и ремонта наружных поверхностей пролетных строений и опор мостов и виадуков германских скоростных железных дорог: 1 – самоходная ходовая часть агрегата; 2 – поперечное сечение типового пролетного строения; 3 – площадки агрегата для осмотра и ремонта пролетных строений; 4 – опоры; 5 – подъемная платформа агрегата для осмотра и ремонта опор

Самоходная тележка с шириной колеи 1,02 м перемещает агрегат вдоль моста в регулируемом автоматическом режиме со скоростью до 5–6 м/мин. Масса ходовой части составляет 6,5 т, общая масса агрегата 13 т, а масса платформы для осмотра опор 1,6 т. Все основные конструкции агрегата выполнены из трубчатых элементов. Время его сборки и приведения в рабочее состояние – до 2 ч. Агрегат позволяет контролировать наружные поверхности пролетных строений строительной высотой от 3,4 до 9 м, опор с различной формой поперечных сечений и с разным уклоном боковых граней по отношению к вертикали при высоте до 90 м. Подъемные платформы могут использоваться для осмотра

поверхностей наклонных стоек, арок и других элементов (рис. 2.19) с размерами сечения до 8,8х8,8 м.

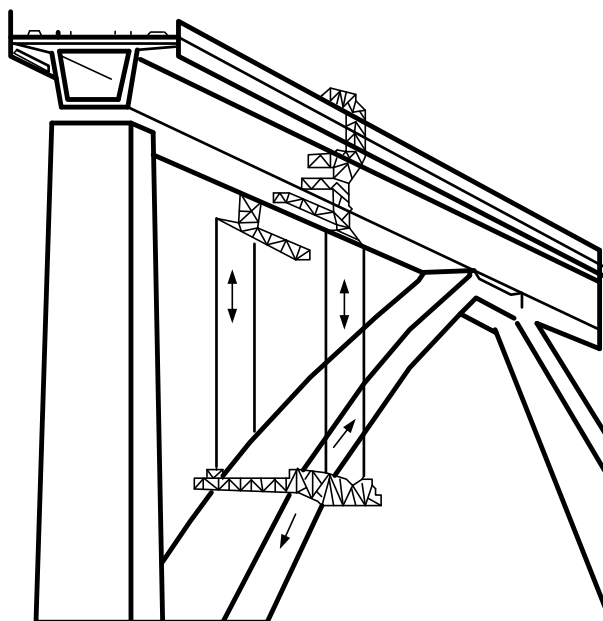


Рис. 2.19. Общий вид специального агрегата при его использовании для осмотра наклонных опорных блоков виадука с центральным пролетом 116 м и высотой опор до 90 м

Для доступа в процессе эксплуатации к внутренним поверхностям железобетонных коробчатых пролетных строений обеспечена возможность прохода обслуживающего персонала и проезда легких транспортных средств (например, электрокаров) по всей длине моста, виадука или эстакады с въездом и выездом через специально устроенные камеры устоев

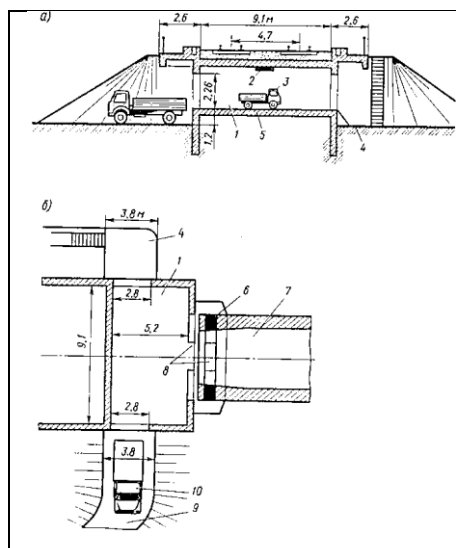


Рис. 2.20. Эксплуатационные устройства в зоне устоев: *а* - поперечный разрез устоя; *б* — горизонтальный разрез устоя и примыкающей части коробчатого двухпутного железобетонного пролетного строения; 1 — камера в устье; 2 — освещение; 3 — электрокар; 4 — рабочая площадка с твердым покрытием; 5 — специальная горизонтальная диафрагма устоя, расположенная в уровне нижней плиты коробчатого пролетного строения; *б* — опорные части пролетного строения; 7 — внутренняя полость пролетного строения; 8 — проемы для сообщения камеры устоя с внутренней полостью пролетных строений; 9 — подъездная дорога для автомобилей; 10 — автомобиль.

Для этого устраиваются совмещенные транспортные проемы в шкафных стенках устоев и в опорных, а также в промежуточных поперечных диафрагмах пролетных строений. В нижней плите как разрезных, так и неразрезных коробчатых пролетных строений в надопорных зонах предусматриваются специальные люки, позволяющие осуществлять проведение работ по осмотру оголовков опор, замене опорных частей пролетных строений, а также подачу материалов и управление люлькой, расположенной внутри надфундаментной части пустотелых опор (рис. 2.21).

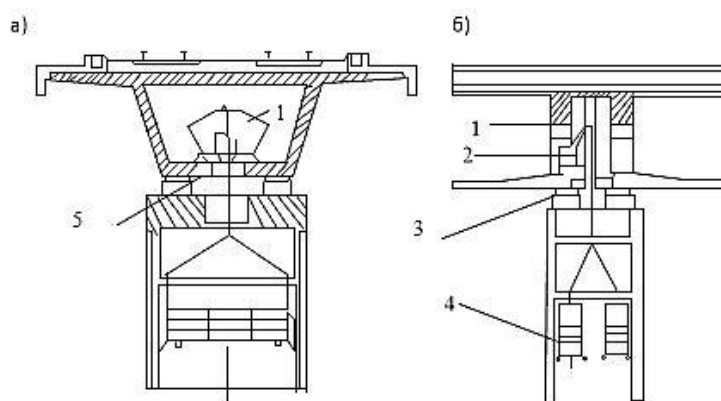


Рис. 2.21. Эксплуатационные обустройства в зоне сопряжения коробчатых пролетных строений с опорами:

а — поперечный разрез; *б* — продольный разрез; 1 — проемы в опорных поперечных диафрагмах пролетных строений; 2 — устройство для подачи люльки в полость опоры; 3 — опорные части; 4 — люлька; 5 — люк в нижней плите пролетного строения

Стационарные воздухопроводы (рис. 2.22) — важные эксплуатац-

онные обустройства средних и особенно больших металлических мостов.

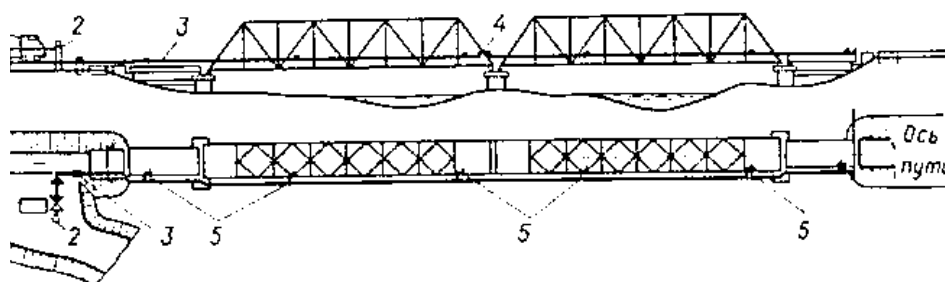


Рис. 1.19. Схема устройства на мосту воздухопровода:

1 — передвижная компрессорная установка; 2 — воздухоотделитель; 3 — трубопровод; 4 — температурный компенсатор трубопровода; 5 — воздухоотделительные колонки

В пределах моста на специальных уширениях служебных боковых проходов расположены воздухоотделительные колонки для пневматического оборудования и инструмента.

Сеть снабжается сжатым воздухом от стационарной энергетической установки (при большой длине моста) или от передвижных компрессоров.

Проезжая часть мостов длиной более 300 м, совмещенных мостов и путепроводов, расположенных в населенных пунктах, имеет электрическое освещение. На мостах электрифицированных участков обслуживающий персонал должен быть защищен от поражения электрическим током высокого напряжения. Все металлические конструкции мостов и путепроводов, на которых крепится контактная сеть, детали крепления изоляторов к неметаллическим сооружениям, отдельно стоящие металлические конструкции мостов, расположенные ближе 5 м от частей контактной сети, должны заземляться.

Зона непосредственной близости (2 м) к токонесущим частям контактной сети, опасная для производства работ на мостах электрифицированных линий, обозначается на элементах пролетных строений красной линией. На путепроводах и пешеходных мостах, расположенных над электрифицированными линиями, устанавливаются специальные предохранительные щиты и сплошной настил, ограждающие места прохода людей от частей контактной сети.

Мосты через судоходные реки оснащаются судоходной сигнализа-

ей. Разводные мосты ограждаются светофорами прикрытия на расстоянии не менее 50 м от моста и разрешающими движение по нему только при наведенном положении разводных пролетных строений. Кроме этого, с обеих сторон разводных мостов устраиваются предохранительные тупики или путь на подходах к таким мостам оборудуется сбрасывающими башмаками или стрелками. На мостах с возгораемыми элементами устанавливаются емкости с водой, ящики с песком, огнетушители, гидроропульты и другие противопожарные средства.

Для осмотра и ремонта арочных мостов устраивают специальные смотровые приспособления в зависимости от конструкции моста (площадки, лестницы, проходы и т. п.), а при отсутствии их применяют подвесные люльки, подмости и другие устройства. Осмотр и ремонт деревянных мостов осуществляют, как правило, с использованием лестниц и площадок, устраиваемых в несколько ярусах по высоте опор. Для осмотра особо крупных и ответственных мостов, опытных конструкций, а также при наличии в сооружениях серьезных дефектов используют специальные смотровые приспособления по индивидуальным проектам. При текущем содержании сооружений необходимо постоянно проверять состояние смотровых устройств.

На мостах, эксплуатируемых на сети железных дорог, применяют два основных типа мостового полотна: балластное и безбалластное.

Балластное мостовое полотно обладает существенными достоинствами. Его использование позволяет обеспечить однотипность конструкции пути на земляном полотне и искусственных сооружениях, применять

Уровень текущего содержания и ремонта сооружений определяет средняя балльная оценка содержания сооружений, которая определяется на основании «Инструкции по оценке состояния и содержания искусственных сооружений на железных дорогах Российской Федерации».

Противопожарное оборудование на мостах и меры по защите конструкций от возгорания применяют в соответствии с действующими нормами. На деревянных, а также на металлических и железобетонных мостах с ездой на деревянных поперечинах устанавливают противопожарные средства в виде кадок с водой, ящиков с песком, огнетушителей, гидропультов и других приспособлений. Указанные противопожарные средства устанавливают на мостах в определенном порядке и количестве по согласованию с пожарной охраной дороги.

Для безопасности обслуживающего персонала на мостах длиной более 50 м устраивают площадки, располагаемые в шахматном порядке через 50 м. При длине моста от 50 до 100 м делают одну площадку посередине. На путепроводах и пешеходных мостах, расположенных над электрифицированными путями, устанавливают вертикальные предохранительные щиты (сетки) для ограждения частей контактной сети. На мостах длиной более 300 м, на совмещенных и пешеходных мостах, путепроводах, расположенных в населенных пунктах, устраивают электрическое освещение. Металлические конструкции мостов, находящиеся на расстоянии менее 5 м от частей контактной сети при постоянном и менее 10 м при переменном токе, а также элементы крепления изоляторов контактной сети на железобетонных, бетонных и каменных конструкциях должны быть заземлены посредством специального провода, присоединяемого к какому-либо элементу конструкции и к путевому рельсу.

Помимо противопожарного оборудования, на мостах в необходимых случаях применяют средства по предупреждению возгорания и устройства, оповещающие о пожаре. При выполнении надзоров противопожарное оборудование и обустройства следует тщательно осматривать и их состояние отражать в соответствующих документах.

Мосты через судоходные реки должны быть оборудованы судоходной

сигнализацией. В необходимых случаях на подходах к мостам устанавливают сигналы предупреждения, прикрытия и т. п., а также устраивают улавливающие тупики и другие элементы путевого заграждения.

На мостах нередко укладывают различные коммуникации. В этой связи большие и средние мосты должны иметь приспособления для пропуска линий связи и других проводов, разрешенных для данного сооружения. Прокладка линий сетей теплофикации, водопроводов разрешается при специальном обосновании и с разрешения служб пути. Прокладка по мостам высоковольтных линий электропередач, как правило, не допускается, а линий газопровода, нефтепровода и канализационных коллекторов вообще запрещена. Линии коммуникаций следует размещать так, чтобы было обеспечено беспрепятственное производство работ по ремонту и содержанию мостов. При подвеске на мостах воздушных линий электропередач металлические пролетные строения должны быть надежно заземлены.

2.6. Содержание мостового полотна и пути на мостах

Конструкция и содержание мостового полотна. В зависимости от способа передачи нагрузки подвижного состава на мост и способа устройства верхнего строения пути на конструкции пролётного строения железнодорожного моста различают конструктивные типы балластного и безбалластного мостового полотна. Конструкция мостового полотна в значительной степени определяет эксплуатационные свойства мостового сооружения, связанные как с безопасностью движения поездов с заданным скоростным режимом, комфортностью пассажиров при прохождении состава по сооружению, так и свойствами, связанными с его ремонтпригодностью, обуславливающими возможность его текущего обслуживания и ремонта.

К преимуществам использования конструктивных решений балластного мостового полотна необходимо отнести однотипность пути на искусственном сооружении и земляном полотне, обуславливающим ряд достоинств. Использование балластного мостового полотна позволяет при содержании мостов применять механизированные ремонтные комплексы, что упрощает работы по его содержанию, уменьшать за счёт демпфирующих свойств балласта динамические воздействия на пролётное строение и элементы сооружений, снижать уровень шумовых воздействий "поезд-мост" на окружающую среду. На этапе строительства, конструктивные решения балластного мостового полотна позволяют существенно упростить технологию возведения верхнего строения пути, сократить сроки и стоимость работ.

Указанные преимущества обеспечивают использование балластной конструкции мостового полотна как для традиционных решений устройства верхнего строения пути на железобетонных мостах (рис. 2.23, а, б), так и определяют перспективы расширения сферы её применения на сооружениях с другими типами пролётных строений, включая цельнометаллические и сталежелезобетонные пролетные строения.

Использование балластного мостового полотна в типовых балочных сталежелезобетонных пролётных строениях считается эффективным исходя из условия обеспечения совместной работы сборных железобетонных блоков и металлических балок пролётного строения. Включение элементов в совместную работу достигается путём увеличения собственного веса конструкции железобетонного корыта путём его баллаستировки на этапе монтажа. При устройстве пролётного строения из сталежелезобетонных блоков, возводимых на месте (рис. 2.23, в) и в случае использования предварительно изготовленных элементов (рис. 2.23,г) загрузка балласта должна осуществляться способами, обеспечивающими равномерное распределение нагрузки по конструкции.

Ограничение сферы применения мостового полотна с ездой на балласте

величиной пролёта до 45 м, как типового решения при использовании металлических балочных коробчатых пролётных строений обуславливается возрастанием собственного веса пролётного строения (рис. 2.23, д), что обуславливает необходимость изменения конструктивной системы моста.

Вместе с тем, модернизация железных дорог под высокоскоростное движение поездов определила необходимость разработки конструктивных решений металлических пролётных строений, предусматривающих использование преимуществ балластного мостового полотна при больших величинах пролёта.

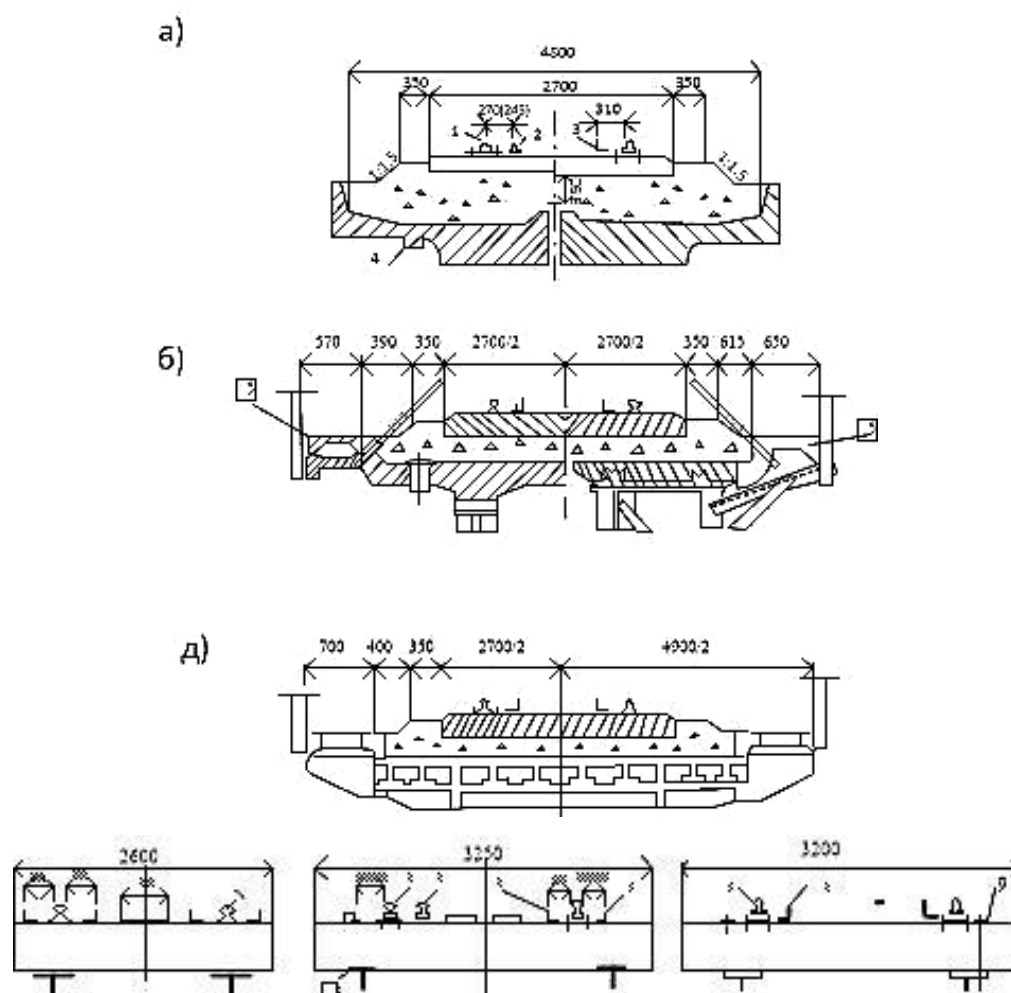


Рис. 2.23. Типы конструкций мостового полотна железнодорожных мостов:

а – на железобетонных пролетных строениях с ездой на балласте и деревянных шпалах; б - то же на железобетонных шпалах; в – на сталежелезобетонных пролетных строениях со сборными плитами; г – на сталежелезобетонных пролетных строениях высокой заводской готовности; д – с ездой на балласте на металлической

ортотропной плите; е – с ездой на металлических поперечинах; ж – то же на Деревянных мостовых брусках; з – то же на железобетонных плитах; 1 – путевой рельс; 2 – контррельс; 3 – контруголок; 4 – водоотводная трубка; 5 -плита тротуара; 6 – противоугольный брус; 7 – лапчатый болт; 8 – противоугольный уголок; 9 – высокопрочная шпилька крепления плиты; 10 – армированный цементно-песчаный прокладной слой

Так при реконструкции мостов через Обводный канал в г. Санкт-Петербурге на главном ходу железнодорожной магистрали Москва – Санкт-Петербург, связанной с необходимостью организации высокоскоростного движения поездов реализовано решение, связанное с устройством металлического арочного коробчатого пролётного строения пролётом 120 м.

В связи с преимуществами балластного мостового полотна при высокоскоростном движении ведутся исследования, связанные с совершенствованием конструкции балластного мостового полотна для использования на искусственных сооружениях высокоскоростной магистрали Москва-Казань, других перспективных объектах.

Конструкция верхнего строения пути на балластном полотне, устраиваемом на пролётном строении принципиально идентична конструкции рельсошпальной клетки на земляном полотне. Для обеспечения безопасности прохода поезда по пролётному строению на нем дополнительно устраиваются специальные охранные приспособления, которые в случае схода с рельсов колесной пары или тележки на мосту (см, рис. 2.23, а-д), обеспечивают нахождение подвижного состава на мосту. Такими охранными приспособлениями являются контруголки сечением 160х160х16 мм или контррельсы того же типа, что и путевые рельсы, расположенные внутри колеи.

При скоростях движения поездов до 120 км/час по сооружениям с мостовым полотном на балласте охранные приспособления устраиваются в соответствии со следующими требованиями. При длинах мостов, расположенных на прямых участках пути более 50 м, а на путепроводах более 25 м приспособления устраиваются в обязательном порядке. На криволинейных

участках приспособления устраиваются в обязательном порядке при радиусе менее 600 м, в случае нахождения кривой на мосту и менее 1000 м при её нахождении на путепроводе вне зависимости от длины сооружения. Для размещения приспособлений используются специальные железобетонные или деревянные шпалы, с увеличением их количества до 2000 шт. на 1 км пути.

При скоростном и высокоскоростном режиме движения поездов свыше 120 км/час охранные приспособления следует устраивать на всех сооружениях без исключения вне зависимости от типа сооружения, длины и плановых характеристик трассы пути.

Повышение срока службы пролётных строений с использованием балластного мостового полотна и увеличение долговечности балластной коробки достигается проведением комплекса мероприятий на этапах проектирования, строительства и эксплуатации. Эти мероприятия в первую очередь связаны с организацией эффективной системы водоотвода из балластной коробки осадочных и талых вод, обеспечением качества щебня, используемого в качестве балласта, улучшением проектных показателей материала коробчатого элемента, повышением его стойкости к агрессивным внешним воздействиям, проведением мероприятий, связанных с его антикоррозионной защитой.

Качество щебня, используемого в мостовом полотне должно обеспечивать свободную фильтрацию влаги по объёму коробки с последующим удалением по системе водоотвода. Наилучшим образом этому способствует использование промытого фракционированного щебня изверженных пород, не содержащего в своём составе пылеватых, глинистых, илистых частиц. Предохранительные мероприятия, связанные с обеспечением долговечности балластной коробки, должны учитывать её конструктивные характеристики, а также климатические и иные особенности, связанные с эксплуатацией сооружения.

Принимая во внимание распространение в зарубежной практике

конструктивных решений связанных с использованием безбалластного мостового полотна при возведении железобетонных пролётных строений на высокоскоростных железнодорожных магистралях, следует отметить, что на железных дорогах РФ использование такого типа мостового полотна преимущественно связано с возведением металлических мостов. К таким типам безбалластного мостового полотна относятся конструктивные решения элементов с ездой на металлических или деревянных поперечинах (рис. 2.23, е, ж), безбалластных железобетонных плитах (рис. 1,23, з).

Выбор типа безбалластного мостового полотна при проектировании металлических мостов обуславливается технико-экономическими и ресурсными показателями конструкции, обеспечивающими её устойчивость к эксплуатационным воздействиям.

Так использование металлических поперечин ограничивается по причине их значительной металлоёмкости, фактической жёсткости пути, подверженности конструкции коррозии. Деревянные поперечины обладают существенными преимуществами, связанными с устранением вышеуказанных недостатков, что обусловило широкое распространение такого типа мостового полотна на металлических мостах.

Особенностью конструктивного типа мостового полотна на деревянных поперечинах является наличие устраиваемых снаружи колеи противоугольных уголков (брусьев), которые препятствуют угону пути. Эти элементы совместно с контруголками (контррельсами) выполняют функцию дополнительного охранного усиления и обустраиваются на всех металлических мостах с мостовым полотном на деревянных поперечинах.

Опыт эксплуатации такой конструкции мостового полотна на деревянных поперечинах позволил выработать необходимые требования к допускам по линейным размерам и правилам, связанным с его устройством на вновь возводимом сооружении или ремонтом существующего пролётного строения. Так, в связи с необходимостью снижения риска провала колёс между мостовыми

брусьями, расстояние между соседними элементами принимается не больше 15 см. При невозможности обеспечения такого расстояния над поперечными балками предусматриваются специальные устройства в виде подвесных мостиков. К требованиям, связанным с точностью обустройства элементов, относят необходимость плотной прирубки мостовых брусьев с поясами пролётных строений или продольными балками проезжей части. Величина глубины врубки элементов должна находиться в диапазоне значений от 0.5 см до 3 см. Головки высокопрочных болтов и заклепок, расположенные поперек бруса, размещаются в специально устраиваемых в бресе канавках.

Уменьшение износа мостовых брусьев достигается устройством под рельсовыми подкладками резиновых прокладок. Болтовые соединения должны быть подтянуты, их пространственное положение должно соответствовать нормативному положению. Опираение рельса на мостовой брус не должно иметь зазоров превышающих 1 мм.

Современной тенденцией, связанной с совершенствованием конструкции безбалластного мостового полотна является расширение применения мостового полотна на железобетонных плитах. Такая конструкция обладает существенными преимуществами, связанными с обеспечением надёжности элемента при долговременной эксплуатации по сравнению с полотном на деревянных поперечинах, возможностью индустриализации производства, обеспечением качества и точности изготовления, включая возможность устройства закладных элементов. Размеры блока сборной плиты принимаются по следующему типоразмеру при ширине 3,2 м, длине от 1.5 до 2.0 м и толщине 0.16 м.

При необходимости повышения прочностных свойств, связанных с восприятием динамических ударных воздействий от колесных пар подвижного состава или динамических колебаний пролётного строения при высокоскоростном движении поездов, плиты безбалластного мостового полотна могут быть изготовлены из предварительно напряжённого железобетона и

дисперсно-армированного железобетона с использованием металлической фибры.

Монтаж плит на металлическом пролётном строении осуществляется путём их укладки на верхние пояса продольных или главных балок через соединительные устройства плиты и прикреплением к ним высокопрочных шпилек с предварительным натяжением. Прокладной армированный слой специального раствора, изготавливаемый на основе цементного вяжущего с применением химических добавок, укладывается с верхней поверхности полотна через специальные отверстия в плитах. Проектное положение плит в плане и профиле при их монтаже до производства работ по моноличиванию конструкции, обеспечивается фиксаторами определённой толщины. Раздельные рельсовые скрепления путевых рельсов прикрепляются к плитам так же, как и к типовым железобетонным шпалам. В качестве охранных приспособлений используются контруголки.

Конструкция на железобетонных плитах является эффективным типом безбалластного полотна. Направления совершенствования конструкции связано с возможностями улучшения качества прокладного слоя и обуславливается поиском способов обеспечения совместной работы плиты и поясов балок в процессе долговременной эксплуатации.

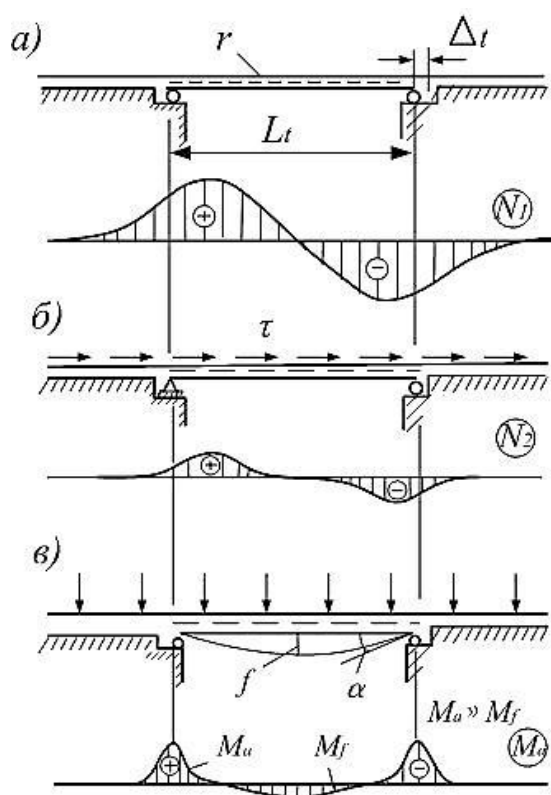
Текущее содержание безбалластного мостового полотна на железобетонных плитах должно предусматривать постоянный контроль состояния прокладного слоя, элементов сопряжения плит с балками пролетных строений, усилий натяжения высокопрочных шпилек прикрепления плит к поясам балок. В случае отступления от нормативного значения шпильки должны быть подтянуты до проектного усилия. Контролю также подлежат элементы стыков плит, исправность системы гидроизоляции и водоотвода.

Выбор конструкции верхнего строения пути на мосту должен учитывать особенности напряжённого состояния пролётного строения, связанного с его температурными и силовыми деформациями. Пролётное строение моста,

являясь основанием верхнего строения пути, в процессе эксплуатации подвержено вертикальным и горизонтальным перемещениям. Вовлечение рельсового пути в горизонтальные перемещения, вне зависимости от принятой конструкции мостового полотна, вызывает в рельсах осевые растягивающие и сжимающие усилия, обуславливающие их напряжённое состояние.

Величина усилий N_t (рис. 2.24, а), возникающих в рельсах, связана с температурным пролётом конструкции моста L_t , в пределах которого накапливаются температурные перемещения сооружения. При изменениях температуры эти усилия тем выше, чем больше температурный пролёт.

Температурные перемещения являются не единственным фактором, обуславливающим величину усилий в пути. Так длина участков температурного пролёта определяет величины горизонтальных смещений основания пути при торможении поездов, что обуславливают возникновение в рельсах осевых усилий N_t (рис. 2.24, б).



Недостаточная жёсткость опор мостовых сооружений, характерная для высоких балочных эстакад и виадуков, может способствовать существенному увеличению величин этих перемещений.

*Рис. 2.24. Схемы и эпюры дополнительных усилий, возникающих в рельсах бесстыкового пути в зоне моста:
 а – при изменении температуры;
 б – от торможения поезда;
 в – вследствие переломов профиля пути над опорами*

Кроме того, величины осевых напряжений, возникающие в рельсах на мостах, при действии указанных выше температурных и силовых факторов

зависят также от сопротивления r взаимному сдвигу в системе «рельс - подрельсовое основание» и возрастают с его увеличением. Это обуславливает различия в величинах напряжений в рельсах разных конструкций мостового полотна при одинаковых температурных пролётах сооружения. Так, напряжения в рельсах безбалластного мостового полотна оказываются выше, чем в случае балластного полотна, которому свойственна менее жесткая связь пути с сооружением.

Поворот концов пролетных строений из-за вертикальных упругих прогибов f обуславливает возникновение местных угловых деформаций α подрельсового основания, которые проявляются в виде переломов профиля пути над опорами моста. Как следствие это вызывает возникновение изгибающих моментов M_α и изгибных напряжений в рельсах этой зоны (рис. 2.24, в).

Указанные особенности напряженного состояния рельсов ограничивают применение на мостах бесстыкового пути (рис. 2.25, а).

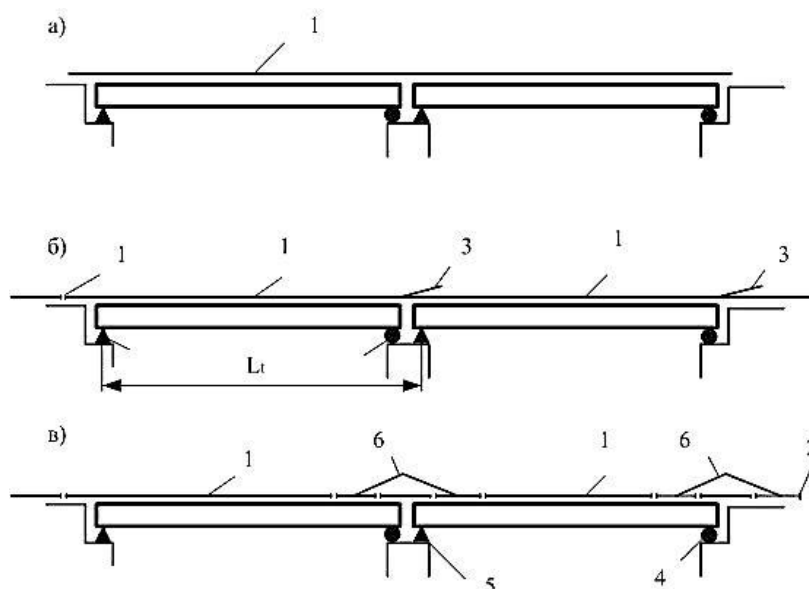


Рис. 2.25. Схемы расположения рельсовых плетей в зоне моста: а – без устройства уравнильных приборов; б – с устройством уравнильных приборов; в – с укладкой уравнильных рельсов; 1 – рельсовая плеть; 2 -стык рельсов; 3 – уравнильный прибор; 4 – подвижная опорная часть; 5 – неподвижная опорная часть; б – сезонные уравнильные рельсы; L_t – температурный пролет

По действующим нормативным требованиям его укладка разрешена на однопролетных мостах при длине температурного пролета до 55 м, а на многопролетных укладка разрешается при суммарной длине пролетов до 66 м включительно. При больших длинах используется звеньевой путь, при этом для уменьшения числа рельсовых стыков рекомендуется укладывать на мостах рельсы длиной 25 м. При температурных пролетах металлических мостов более 100 м, а в случае величины годового перепада температуры рельсов, не превышающем 90 °С, не более 110 м, для уменьшения уровня дополнительных напряжений в рельсах укладываются уравнильные приборы (рис. 2.25, б) или уравнильные рельсы (рис. 2.25, в). На каждом температурном пролете укладывается по одному комплекту уравнильных приборов или уравнильных рельсов.

Уравнильные приборы (рис. 2.26) позволяют в зоне подвижных концов пролетных строений одному концу рельса свободно перемещаться относительно другого на расчетное значение. При этом обеспечиваются удовлетворительные условия движения колес подвижного состава. Однако уравнильный прибор представляет собой механизм, требующий точного изготовления и тщательного ухода в эксплуатации. Сроки его службы в 2 раза меньше, чем обычных путевых рельсов.

Укладка уравнильных рельсов обладает сравнительной простотой, но при этом возрастает число стыков на мосту. При температурных пролетах до 110 м укладывают по три или четыре пары рельсов длиной по 12,5 м каждый. Весной средние пары заменяют до осени на укороченные рельсы длиной 12,46 м. Зазоры в стыках должны соответствовать расчетным значениям.

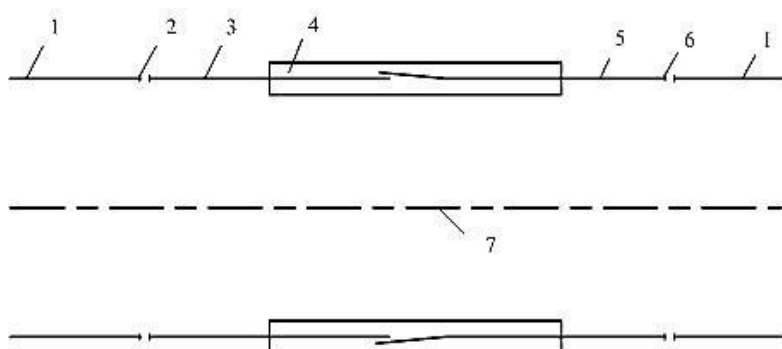


Рис.2.26. Упрощенная принципиальная схема рельсового уравнильного прибора: 1 – путевого рельс; 2 -стык остряка; 3 – остряк; 4 – плита (лафет); 5 – рамный рельс; 6 – стык рамного рельса; 7 – ось пути.

Для повышения надежности рельсового пути на больших мостах, а также подходах к ним, как правило, должны укладываться термоупрочненные рельсы типов Р65 и Р75. При грузонапряженности до 15 млн. т км брутто/км в год разрешается укладывать не термоупрочненные рельсы типа Р65. На больших мостах укладывают те же рельсы, что и на перегоне. На больших и средних мостах не допускается эксплуатация рельсов, пропустивших сверхнормативный тоннаж, а на металлических мостах не допускается использование рельсов с волнообразным износом более 1 мм с целью уменьшения вибраций их элементов.

Отклонения оси пути от проектного положения на мостах с мостовым полотном не должны превышать на прямых 30 мм, на кривых 20 мм, а при езде на балласте соответственно 50 и 30 мм. Допустимость больших отклонений необходимо проверять расчетом по условиям грузоподъемности пролетных строений и элементов мостового полотна. Недопустимые отклонения выправляют сдвижкой пути или пролетных строений.

2.7. Содержание подмостового русла и регуляционных сооружений

К числу основных факторов, неблагоприятно влияющих экс-

платационную надежность таких крупных водопропускных сооружений, как средние и большие мосты, относятся русловые процессы и ледовые воздействия на опоры мостов.

Мостовой переход изменяет естественный режим водного потока. Наибольшие изменения водного режима характерны для извилистых равнинных рек с широкими затопляемыми поймами. В этом случае для уменьшения длины моста на части поймы устраивают подходные насыпи, что приводит к существенному стеснению паводкового потока. Вследствие увеличения скорости его течения под мостом возникают различные русловые деформации.

Общий размыв подмостового русла, выражающийся в понижении отметок дна русла по всей его ширине, вызывается стеснением потока подходными насыпями и русловыми опорами. При этом в случае неудачного расположения отверстия моста относительно русла на части ширины русла может развиваться так называемый сосредоточенный размыв. Одновременно с общим (или сосредоточенным) размывом образуются воронки местного размыва у русловых опор. Их появление обусловлено тем, что при набегании водного потока на опору происходит отклонение части струй в сторону дна. Естественно, общие (или сосредоточенные) и местные размывы суммируются и в наиболее неблагоприятных ситуациях могут вызывать опасные подмывы русловых опор [7].

В настоящее время имеются методики, позволяющие рассчитывать различные виды возможных размывов, учитывать их при проектировании или предусматривать предотвращающие их мероприятия. Однако, сложность рассматриваемых процессов и определенное несовершенство их расчетного моделирования в отдельных случаях вызывают отклонение фактического хода процессов от прогноза. Кроме того, на сети железных дорог имеется значительное число мостов старой постройки, при

проектировании которых прогнозирование русловых процессов было осуществлено весьма приближенными методами. Вследствие указанных причин при эксплуатации мостов необходимы специальные мероприятия по содержанию подмостовых русел и устройств мостового перехода, состоящие в контроле за русловыми процессами и обеспечении надежной работы сооружения.

Для оценки гидрологических режимов реки и русловых деформаций в зоне мостового перехода в соответствии со специальными инструкциями производят постоянные наблюдения за уровнем и направлением течения воды, отметками высоких вод, профилем дна реки, изменением в плане положения русла и др. Данные наблюдений заносят в Книгу искусственного сооружения.

Неблагоприятные воздействия на эксплуатируемый мостовой переход общего и сосредоточенного размывов, сопровождающихся перемещениями больших объемов грунта, устранить весьма сложно, поскольку это связано с такими трудоемкими и дорогими работами, как срезка грунта с увеличением отверстия моста и др. Однако, осуществлять такие мероприятия в отдельных случаях приходится (рис. 2.27).

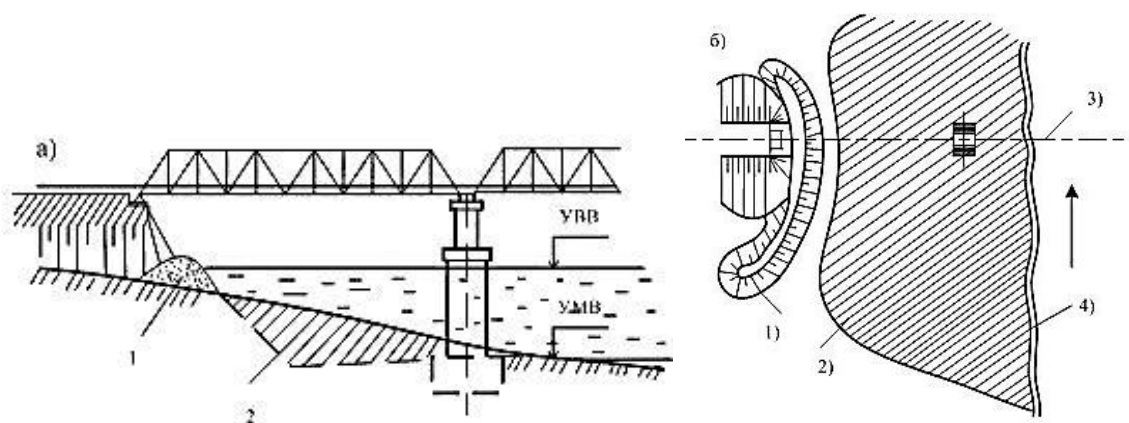


Рис. 2.27. Схема срезки поймы: а – продольный профиль; б - план;

1 – струенаправляющая дамба регуляционных сооружений; 2 – срезка; 3 – ось моста; 4 - линия уреза воды в межень; УМВ - уровень меженных вод; УВВ -уровень высоких вод

Местные размывы у опор особенно опасны для сооружения, поскольку могут вызывать недопустимые просадки и крены опор и связанные с ними расстройств опорных частей пролетных строений, рельсового пути на мосту, а в отдельных случаях даже обрушения мостов. Поэтому подмываемые в паводковый период опоры защищают от местного размыва. Профилактическим мероприятием такого рода в условиях слабых грунтов является, например, укрепление дна вокруг опоры фашинными тюфяками с каменной пригрузкой (рис. 2.28). Кроме того, в местах возможного появления размывов заранее сосредотачивают аварийные запасы материалов. В случае возникновения в паводок воронки местного размыва, глубина которой превышает допускаемую, воронку заполняют бутовым камнем, кулями или мешками с глиной. Опоры на горных реках с высокими скоростями течения воды защищают от размыва габионами - ящиками прямоугольной формы из проволочной сетки, заполненными камнем.

Повышенное внимание при содержании мостовых переходов с искусственным регулированием направлений течения водных потоков должно уделяться наблюдениям за состоянием и обеспечению надежности регулиционных сооружений и пойменных насыпей.

Речные откосы струенаправляющих дамб, траверсов регулиционных сооружений и насыпей (а при необходимости и берега) при строительстве моста укрепляют от размыва и подмыва текущей водой и разрушающего воздействия волн мощением сборными бетонными или монолитными железобетонными конструкциями по щебеночной подготовке (рис. 2.29). Полевые откосы дамб, как правило, укрепляют одерновкой. Сборные железобетонные плиты изготавливают различных размеров (например, 0,49х0,49х0,10 м), соединяя друг с другом по углам арматурными выпусками. Укрепление монолитным бетоном выполняют картами размером 3,00х1,80х0,12 м. Карты армируют металлическими сетками и

разделяют асфальтобетонными планками. Для защиты подошвы откоса дамб от подмыва устраивают вдоль откоса каменную рисберму шириной 2 м и глубиной не менее 1 м. Для защиты подошвы головы струенаправляющей дамбы от подмыва применяют тьюфаки из тех же сочлененных бетонных плит. Тьюфак заанкеривают в теле дамбы, и по мере развития размыва он опускается, занимая конечное положение с уклоном не более 1:1,5.

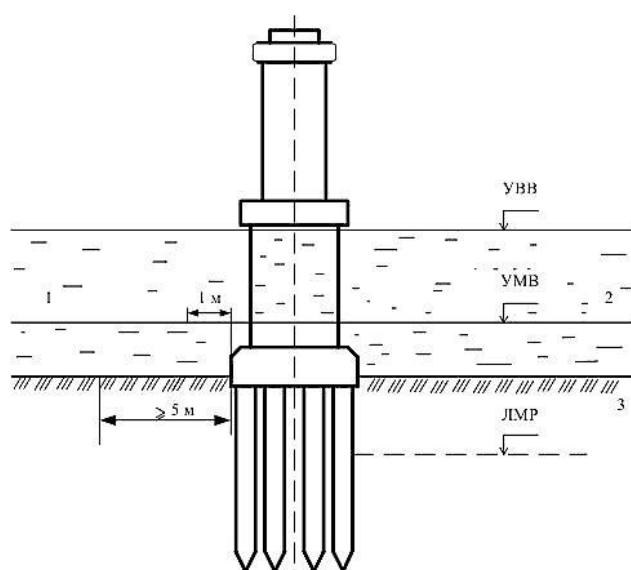


*Рис. 2.28. Схема укрепления дна
вокруг опоры от размыва:*

- 1 – обсыпка опоры камнем высотой 0,7–1,0 м;*
- 2 – каменная пригрузка;*
- 3 – фашинные тьюфаки; ЛМР – линия местного размыва*

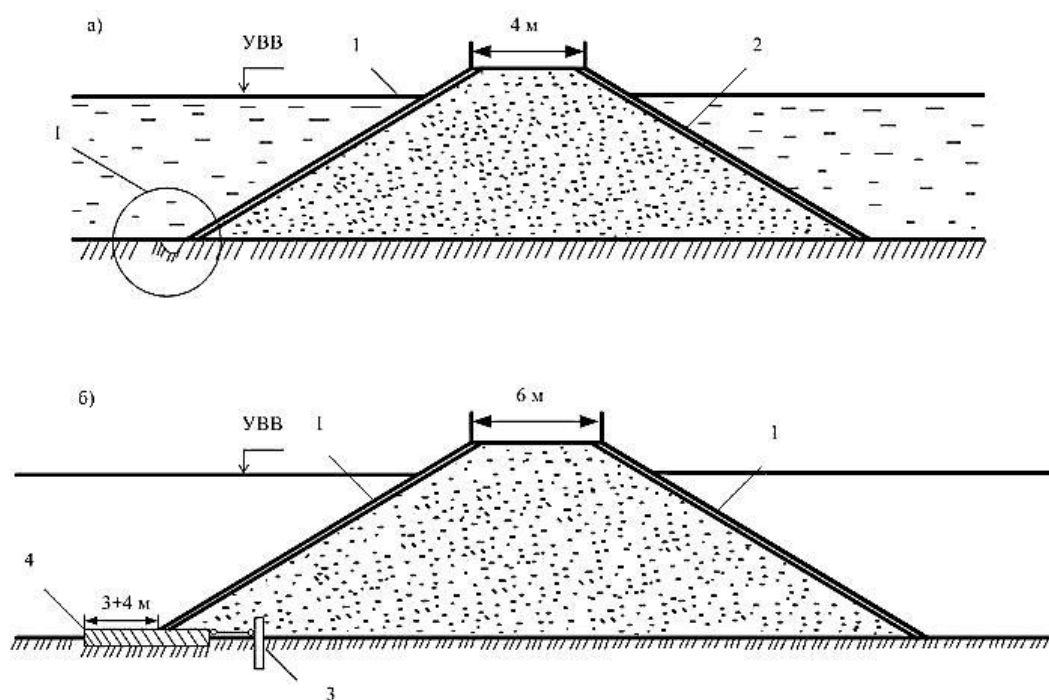


*Рис. 2.29. Конструкция и элементы струенаправляющей дамбы:
а – поперечный профиль средней части дамбы; б – то же головы дамбы;
1 – мощение откоса; 2 – дерновка откоса; 3 – анкерные сваи; 4 – гибкий
тюфяк*

При эксплуатации в случае возникновения в паводок непредвиденных размывов для заделки образовавшихся брешей используют заранее заготовленный на мосту аварийный запас бутового камня. После прохождения паводка восстанавливают проектную конструкцию укрепления откосов.

В отличие от средних и больших мостов, устраиваемых при пересечении железнодорожной магистрали постоянных водотоков, малые мосты и трубы в основном предназначены для пропуска водотоков, имеющих непостоянный, сезонный характер. В результате поверхностного стока воды при весеннем снеготаянии либо дождевого стока в летне-осенний период перед малыми искусственными сооружениями, стесняющими естественный паводковый поток, происходит скопление (аккумуляция) масс воды. Из-за образования подпора возрастает скорость воды в русле, вследствие чего могут быть размывы русла на выходе турбулентного потока из сооружения. При недостаточной водопропускной способности сооружения возможны также размывы земляного полотна фильтрационными потоками сквозь тело насыпи и вследствие перелива воды через нее. Последний случай наиболее опасен; так как разрушение насыпи при этом происходит особенно быстро.

Указанные повреждения сооружений железной дороги, вызывающие нарушение нормальной ее эксплуатации, являются следствием либо ошибок в проектах (назначение недостаточной водопропускной способности сооружения, неудачная конструкция мощения русла, конусов насыпи и др.), либо действия факторов, возникающих в процессе эксплуа-

тации. К ним можно отнести: зарастание русел малых мостов, отложение в них наносов, занесение их снегом, засорение карчеходом, образование наледей и др. Одной из проектных ошибок может быть недостаточное возвышение пролетных строений над уровнем воды. По современным нормам низ пролетных строений должен возвышаться над уровнем воды при максимальных расходах паводков в зависимости от категории линии не менее, чем на 0,50 - 0,75 м, а при наличии заторов льда или карче хода это возвышение возрастает до 1,0-1,5 м. Снизить подпор перед существующим сооружением возможно за счет увеличения его отверстия углублением русла. Русло должно быть плавно выведено по логу вверх и вниз сооружения.

Недостатки укрепления подмостового русла устраняют дополнительным его мощением камнем или сборными железобетонными плитами по щебеночной подготовке.

В процессе эксплуатации необходимо наблюдение за образованием искусственных водоемов перед малыми водопропускными сооружениями. Если отмечается преобладание стока от весеннего снеготаяния, иногда достаточно проводить сезонные мероприятия по п р о п у с к у п а в о д к а . Если же максимальные расходы воды формируются от дождевого стока, русло необходимо поддерживать в работоспособном состоянии в течение всего теплого периода года [7].

Мероприятия по подготовке малых искусственных сооружений к пропуску паводковых вод включают: расчистку русла от снега, льда, кустарника (кроме случаев, когда кустарник выполняет роль укрепления русла) на расстоянии не менее 20-30 м в верховую и низовую стороны, очистку кюветов, устранение дефектов укрепления русла, а также неисправностей труб, из-за которых возможна фильтрация воды в насыпь. Кроме того, для защиты труб от засорения плавущими предметами следует устраивать ограждения входных оголовков, например, в виде

столбиков из старогодных рельсов.

Неблагоприятные воздействия льда на опоры больших мостов определяются местными природно-климатическими условиями и особыми ситуационно-гидрологическими условиями мостового перехода. Они могут меняться по своему характеру в течение периода от образования льда на реке до окончания весеннего ледохода.

При проектировании мостов используют методики расчета опор на различные случаи ледовых воздействий. Однако, в силу упрощения расчетных моделей по отношению к реальным весьма сложным процессам, а также развития во времени слабо-предсказуемых деформаций русла реки, возможности образования заторов и зажоров льда, в отдельных случаях на опоры мостов могут действовать существенно большие ледовые нагрузки, нежели предусмотренные в проекте. Поэтому на реках с тяжелым ледоходом изучают и систематизируют данные о ледовом режиме водотока (возможность и время образования шуги, донного льда, зажоров и т. п.), ежегодно фиксируют в Книге искусственного сооружения время ледостава, первой подвижки льда, максимальную толщину льда, начало, продолжительность, характер и горизонт весеннего ледохода.

Мероприятия по защите мостов от вредного воздействия льда выполняют не только в период ледохода, но и на протяжении всего осенне-зимнего периода. Зимой на ряде рек и особенно в зоне водохранилищ возможны изменения уровня горизонта ледяного покрова. Примерзший к опорам лед может повреждать их кладку, а в ослабленных сооружениях вызывать и более опасные повреждения. Для их предотвращения вокруг опор устраивают проруби (майны) шириной 0,5 м. Толщина льда в них на протяжении зимы не должна превышать 0,15-0,20 м.

При подготовке моста к пропуску ледохода необходимо непрерывно получать сведения о ледовой обстановке, как в верховье реки, так и в низовье. При получении информации о том, что с верховья движутся ледяные поля

размерами в поперечнике более пролета моста, необходимо раздроблять их в 1,5–2 км от моста. При этом работы производят специалисты-взрывники, используя подводное взрывание льда через лунки. Аналогичным образом производится ликвидация донного льда. Взрывание шуги (осенний ледоход) производится зарядами, бросаемыми с берега и непосредственно с моста, но только в те места, где шуга уплотняется и образуется затор.

Заторы льда возникают также у поворотов реки, островов, мелей, кос и у других препятствий. При образовании затора ниже моста появляется опасность подпора воды и прохода льда под мостом выше проектных отметок. Кроме того, в случае несвоевременной ликвидации затора он будет постепенно приближаться к мосту. Затор выше моста также весьма опасен тем, что в случае его прорыва нагроможденные друг на друга льдины могут с большой силой ударить по опоре и разрушить ее. Ликвидация заторов производится взрывным способом, начиная с низовой стороны затора. Во время пропуска ледохода и паводка организуют постоянное наблюдение за режимом водотока и его воздействием на искусственное сооружение. При необходимости на мостах устанавливают круглосуточное дежурство служб наблюдения и специальных бригад.

Разрушения укреплений, подмывы опор, конусов, откосов насыпей и регуляционных сооружений и другие повреждения, создающие угрозу безопасности движения поездов, нужно исправлять немедленно. Остальные повреждения устраняют в плановом порядке до наступления следующего паводка.

Содержание подмостового русла предусматривает выполнение наблюдений за режимом водного потока у моста, пропуск высоких вод и ледохода, проведение работ по устранению опасных расстройств в подмостовом русле. Наиболее существенные расстройства в подмостовом русле, как известно, происходят в период паводков и ледохода. Для предупреждения и своевременного устранения этих расстройств

организуют систематические наблюдения за водным и ледовым режимом рек и деформациями русел. Так, на мостах длиной более 100 м, а также на мостах меньшей длины, если это требуется по состоянию опор, русла реки или по характеру паводков, следует вести наблюдения за горизонтом воды, профилем дна реки, состоянием льда, проходом высокой воды, изменением в плане положения русла и направления течений. У средних и малых мостов и труб требуется определять меженный и наивысшие горизонты воды, а у мостов через водохранилища – высоту волны, направление и скорость ветра во время штормов. Наблюдения за изменением горизонта воды, как во время паводков, так и в межень производят по водомерным рейкам у опор или по шкале, наносимой несмываемой краской на опоре. Как правило, ноль водомерной рейки совмещают с обрезом фундамента, а отметку привязывают к реперу. На мостах через большие реки организуют специальные водомерные посты. Наивысший горизонт паводка отмечают на одной из опор моста, а у труб – на входном оголовке с указанием даты.

Для выявления характера и причин размыва русел (общего и местного у опор) во время прохода паводка ведут наблюдения за скоростью течения, направлением потоков и водоворотами, а также периодически производят промеры глубин воды. Обычно это делают в зимнее время до паводка и весной после спада высокой воды, а также после крупных летних паводков. Глубины русла измеряют, как правило, в трех створах: по оси моста, а также на расстоянии 25 м выше и ниже моста. При интенсивных размывах русла промеры делают в большем числе створов, а при устойчивом русле – только по оси моста. Расстояние между точками промеров (не более 10 м) выбирают так, чтобы получить четкое представление о конфигурации дна реки. Для определения характера размыва русла у опор производят дополнительные промеры. Промеры русла в каждой точке выполняют не менее двух раз и за результат

принимают среднее из этих измерений. По данным промеров русла рекомендуется строить график с нанесением на него результатов предыдущего промера, а также отметок горизонтов воды, подошвы рельсов, низа конструкции и фундаментов опор. Для выявления развития процесса размыва русла составляют сводный график за ряд лет [7].

В силу того, что наибольшие расстройства в русле реки, регулиционных сооружениях и других элементах мостового перехода и труб происходят в период прохода высоких вод и ледохода, текущим содержанием предусматривается выполнение определенных работ и мероприятий защитного характера. Так, у средних и больших мостов до наступления паводков должны быть проверены и отремонтированы конусы насыпей, регулиционные сооружения и их укрепления. Малые мосты и трубы особенно чувствительны к воздействию высокой воды, поэтому их следует тщательно готовить к этому периоду. Заблаговременно осенью и зимой необходимо выполнять следующие работы: (а) трубы малых отверстий закрыть на зиму щитами во избежание заполнения их снегом; (б) до начала весеннего снеготаяния отверстия малых мостов и труб очистить от снега и льда на полное сечение, а вдоль русла прорыть канавы длиной не менее 20 м как в верховую, так и в низовую стороны; (в) расчистить русло от кустарника, камней, наносов и т. п. на протяжении не менее 30 м выше и ниже моста (трубы), а также проверить и при необходимости отремонтировать укрепление русла и конусов насыпи; (г) перед трубами для предупреждения засорения их во время паводка устроить улавливающие заграждения; (д) размываемые места, являющиеся одним из источников наносов в трубах, своевременно укрепить (мощением, посадкой кустарника, планировкой русла и т. п.).

На мостах, где имеются опасения размыва насыпи, регулиционных сооружений, конусов и подмыва опор, должны быть заготовлены материалы (глина, камень, мешки с песком и т. и.) для аварийной защиты

от действия высокой воды. После спада высокой воды необходимо проверить состояние всех элементов мостового перехода и особенно опор, конусов насыпей, регулиционных сооружений и подходов к мосту. Разрушения этих элементов, как создающие угрозу безопасности движения поездов, должны быть исправлены незамедлительно, а все прочие повреждения – до очередного паводка. Проход паводковых вод с повышенными против бытовых скоростями нередко приводит к следующим расстройствам элементов мостового перехода (трубы): (а) размыву насыпи из-за недостаточности отверстия моста, трубы; (б) размывам конусов насыпи с верховой и низовой стороны, вызываемым в большинстве случаев неудовлетворительным состоянием укреплений; (в) местным размывам русла, чаще всего происходящим из-за нарушения режима протекания воды, при засорениях (особенно у малых мостов и труб), катастрофических паводках, внезапных сбросах воды из водоемов выше моста и т. п.; (г) подмывам опор, как правило, вызываемым недостаточностью отверстия моста, косоструйностью течения, водоворотами, резким изменением скоростей потока вблизи моста и т. п.; (д) перемещениям русла, обычно проявляющимся в равнинных реках.

Для устранения указанных расстройств в элементах мостового перехода в каждом отдельном случае разрабатывают соответствующие мероприятия. В особо ответственных случаях выполняют проектно-изыскательные работы. Размывы откосов насыпей, конусов и регулиционных сооружений у мостов являются достаточно частым явлением. Укрепление откосов производят различными способами, в том числе дерновкой (рис. 2.30), каменным мощением (рис. 2.31) обычным и в плетневых клетках, фашинами, бетонными и железобетонными плитами и др. При укреплении откосов дерновкой плашмя дернины укладывают горизонтальными рядами по всему откосу, начиная с его подошвы, а при дерновке в стенку – с перевязкой швов в смежных рядах. Толщина дернин

должна быть не менее 6 см, а высота дерновой стенки – не менее 20 см [7].

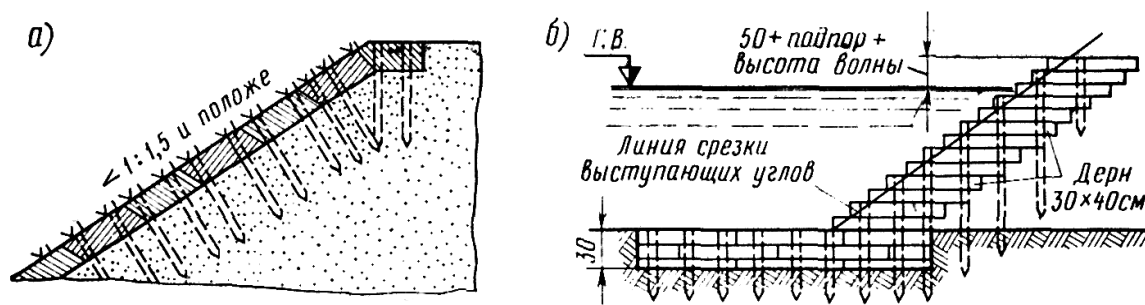


Рис. 2.30. Укрепление откосов дерновкой: а – плашмя; б – в стенку

Для быстрого приживания под дерн при дерновке плашмя подсыпают растительную землю слоем до 5 см. Каждую дернину к откосу крепят деревянными кольями (спицами). Каменное мощение одиночное или двойное (рис. 2.31) выполняют рваным камнем размером 15...30 см в зависимости от скорости воды и высоты волны. Камень укладывают на слой мха, соломы толщиной до 5 см или на слой щебня толщиной 10...15 см с подбивкой, трамбованием и расщебенкой пустот. Для предотвращения сползания камня в подошве откоса перед мощением устраивают упор. При опасных для опор размывах русла дно реки вокруг опор укрепляют каменной отсыпью, фашинными тюфяками (рис. 2.32,а,б) и другими средствами.

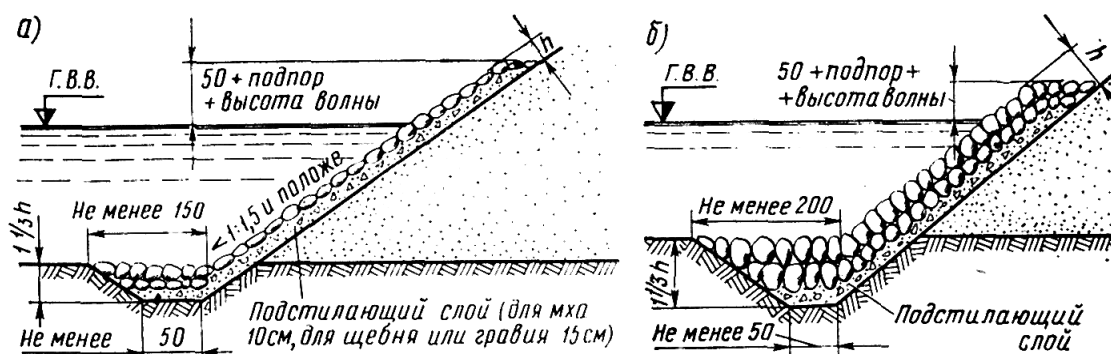


Рис. 2.31. Укрепление откосов каменным мощением: а – одиночным; б – двойным

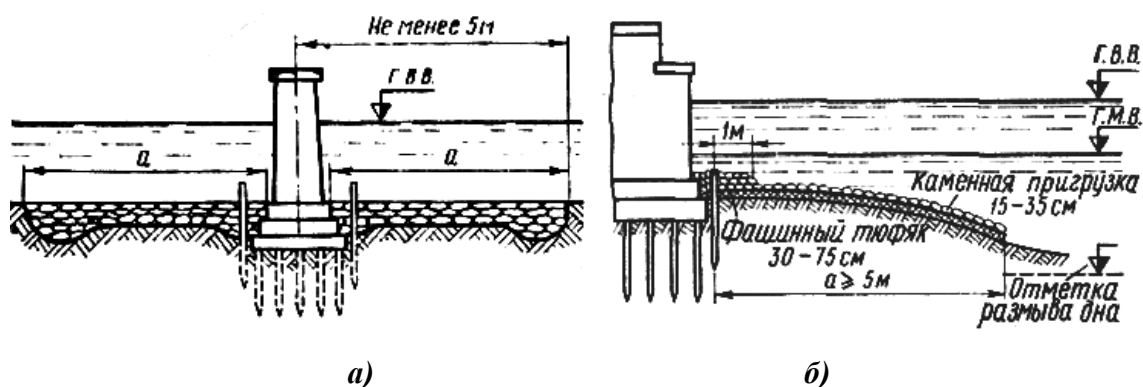


**Рис. 2.32. а) укрепление русла у опоры каменной отсыпью (расстояние от обреза фундамента опоры до кромки отсыпа поперек моста равно $\frac{4}{3}a$, вдоль – a);
б) укрепление русла фашинным туюфяком с каменной пригрузкой**

Состояние мостового полотна определяет безопасность движения поездов, характер прохождения подвижного состава и воздействия его на элементы моста. В силу этого содержанию мостового полотна на мосту и подходах к нему предъявляются весьма жесткие требования, обязывающие дорожных мастеров своевременно предупреждать, а при появлении немедленно устранять неисправности.

Правила содержания мостового полотна, включающего в себя рельсы, шпалы и балласт, деревянные или металлические поперечины, охранные и противоугольные устройства, боковые тротуары, настил, перила, а также скрепления и прикрепления указанных элементов подробно изложены в Инструкции по содержанию искусственных сооружений ЦП 3084 за 1973 г.

Рельсовый путь на мостах, устраиваемый на балласте, на деревянных, металлических поперечинах или непосредственно на железобетонной плите, в отношении содержания по шаблону и уровню должен удовлетворять требованиям, предъявляемым к пути на перегонах. В профиле железнодорожный путь должен быть плавным, без переломов и впадин. Для уменьшения динамического воздействия подвижного состава (эффект скорости) на металлических мостах в каждом пролете рельсовому

пути в профиле придают криволинейное очертание (по круговой кривой) со стрелой подъема в середине не свыше $\frac{1}{2000}$ пролета на участках скоростного движения поездов и не более $\frac{1}{1000}$ пролета на прочих. На железобетонных пролетных строениях, имеющих небольшие прогибы от поездной нагрузки, подъема рельсового пути, как правило, не устраивают (за исключением случаев, предусмотренных проектом). Поскольку профиль по верхним поясам продольных балок (ферм), как правило, имеет иное очертание, для получения необходимого профиля пути на металлических мостах с ездой на деревянных поперечинах разрешается: прирубка мостовых брусьев до 3 см; применение брусьев различной высоты, в том числе нестандартных; подкладка под брусья досок (не более одной) толщиной не менее 4 см.

На мостах в кривых участках пути возвышения наружного рельса при езде на поперечинах достигают установкой пролетных строений с поперечным наклоном или прикреплением под брусьями деревянных подкладок толщиной не менее 4 см, а при езде на балласте – за счет соответствующей его подбивки. Передача временной нагрузки на балки или фермы (как правило, две) считается равномерной, поэтому при содержании мостов следует стремиться, чтобы оси пути и пролетных строений совпадали. Несовпадение осей пути и пролетного строения допускается на прямых участках до 5 см, в кривых – до 3 см. Если эксцентриситет в виде исключения допущен свыше 5 см, то это необходимо учитывать при перерасчете пролетного строения и мостовых брусьев. На всех мостах с ездой понизу при этом необходимо строго соблюдать габарит приближения строений.

Одним из основных факторов динамического воздействия подвижного состава на мосты являются удары колес на стыках рельсов. В силу этого следует стремиться к возможно меньшему количеству стыков на мосту, а на мостах с малыми пролетами не допускать их. Рекомендуются

применять бесстыковой железнодорожный путь и длинномерные рельсы. Укладка «рубок» и разнотипных рельсов на мостах не разрешается. Сварка стыков рельсов электроконтактным способом является обязательной на мостах с уравнительными приборами в пределах температурного пролета либо на всех мостах длиной менее 30 м или в местах, расположенных ближе 2 м от конца главных ферм, прогонов, от шкафной стенки, а в арочных мостах – от деформационных швов и замка свода. Во всех остальных случаях зазоры в стыках рельсов должны иметь величину, соответствующую данной температуре. При езде на мостовых брусьях стыки рельсов типа Р 43 и более тяжелых можно делать как на весу, так и на брусьях, если расстояние между осями брусьев не более 40 см, а при более легких типах рельсов стыки устраивают на сближенных брусьях с расстоянием между их осями 27 см. Стыки рельсов легкого типа (IV-а и ниже) непосредственно на брусьях следует избегать, поскольку в этом случае вследствие малой жесткости рельсов удары колес подвижного состава получаются более сильные. При необходимости устройства стыков рельсов на брусьях, расположенных с большими промежутками, применяют специальные устройства, например «мостики». При езде на балласте стык рельсов на мостах следует устраивать того же типа, что и на перегоне. Передача угона пути с подходов на мост не допускается, и он должен быть полностью ликвидирован на подходах к мосту при помощи соответствующих противоугонных приспособлений, поставленных с каждой стороны моста. Если же это не устраняет угона пути в пределах моста, то на нем могут быть поставлены противоугонные устройства, причем конструкция их должна соответствовать типу принятого мостового полотна.

Для направления вдоль моста подвижного состава, сошедшего с рельсов, между рабочими рельсами укладывают контррельсы либо контруголки, сводя их за устоями в челнок. Для предупреждения

продольного угона и выкантовывания мостовых брусьев, а также для направления вдоль моста сошедшего с рельсов подвижного состава в случае повреждения контррельсов (контруголков) в качестве второй линии защиты ставят противоугонные (охранные) брусья или металлические уголки. Учитывая, что сходы подвижного состава с рельсов связаны с тяжелыми последствиями, взаимоположению и состоянию охранных устройств на мостах надлежит уделять особое внимание и содержать их в строгом соответствии с инструкцией. При устройстве мостового полотна на балласте для обеспечения устойчивости пути необходимо принимать соответствующие меры против осыпания балласта. Толщина балласта под шпалой на водораздельных точках должна быть, как правило, не менее 25 см и как исключение 15 см. При мостовом полотне на металлических поперечинах особое внимание следует уделять прикреплениям поперечин к продольным балкам и иметь в виду, что вследствие износа амортизирующих прокладок может происходить сужение колеи.

2.8. Содержание искусственных сооружений в суровых климатических условиях

Районы с суровыми климатическими условиями, относящиеся к северной строительно-климатической зоне, характеризуются зимами с устойчивыми низкими отрицательными температурами воздуха и большой толщиной снежного покрова, наличием вечномерзлых грунтов и мерзлотных процессов. Поэтому наряду с соблюдением общих требований к содержанию искусственных сооружений сети железных дорог, приведенных в п. п. 2.2 - 2.5, в северных условиях необходимо проведение ряда специальных мероприятий, главные из которых изложены ниже.

Значительные трудности в обеспечении нормальной эксплуатации мостов и труб в районах с суровыми климатическими условиями до-

ставляет вечная мерзлота.

При возведении мостов и труб, как и иных сооружений, в районах вечной мерзлоты в зависимости от местных условий могут использоваться два принципа их проектирования: из расчета сохранения вечной мерзлоты в основаниях сооружений на весь период их эксплуатации (принцип I) или из расчета допущения ее полного оттаивания (принцип II).

Поскольку прочность вечномерзлых пород при их оттаивании, как правило, существенно снижается, при проектировании фундаментов мостов и труб в основном придерживаются принципа I, что позволяет уменьшить их материалоемкость и стоимость строительства. Понятно, что возможность использования этого принципа определяется тщательно осуществляемыми и порой достаточно сложными мероприятиями по сохранению вечной мерзлоты как в период строительства моста, так и в стадии его эксплуатации.

К таким мероприятиям относятся, прежде всего, постоянные наблюдения за температурой вечномерзлых пород, проводимые с использованием специально оборудованных термометрических скважин, располагаемых вблизи сооружения, либо трубок, заделанных в сваи опор. При повышении температур выше расчетных или оттаивании вечномерзлых грунтов в основании сооружений необходимо принимать неотложные меры по укреплению и консервации мерзлых оснований, восстановлению мерзлого состояния протаявших вечномерзлых грунтов.

Весьма эффективным и простым способом искусственного поддержания требуемого уровня температуры вечномерзлых грунтов является применение охлаждающих систем, работа которых основана на свободном конвективном движении естественного холодного воздуха зимой. Такую систему охлаждения *можно создать из металлических или колонка: асбоцементных закрытых снизу труб-свай, полой зоны основания (рис. 2.33), по сваям-трубам происходит сток тепла из*

грунта в атмосферу. Замораживание грунта вокруг такой колонки (сваи-трубы) начинается при понижении температуры воздуха до минус 5°C и происходит в течение всей зимы. Верх замораживающих колонок выводится над поверхностью грунта, льда, водотока не менее чем на 50 – 80 см. При среднесуточной температуре воздуха выше 0°C система охлаждения изолируется с поверхности. Размещают охлаждающие колонки (рис. 2.33) с учетом определяемого специальным расчетом радиуса нижней части конуса мерзлого грунта R , который образуется к концу одного цикла промораживания. Применение охлаждающих систем определяется в основном на стадии проектирования сооружения. Но при отсутствии их и возникновении опасности деградации мерзлоты возможно устройство рассматриваемых систем и в процессе эксплуатации, для чего составляется специальный проект. При капитальном ремонте могут сооружаться также вентилируемые галереи, выморозочные траншеи и другие замораживающие устройства.

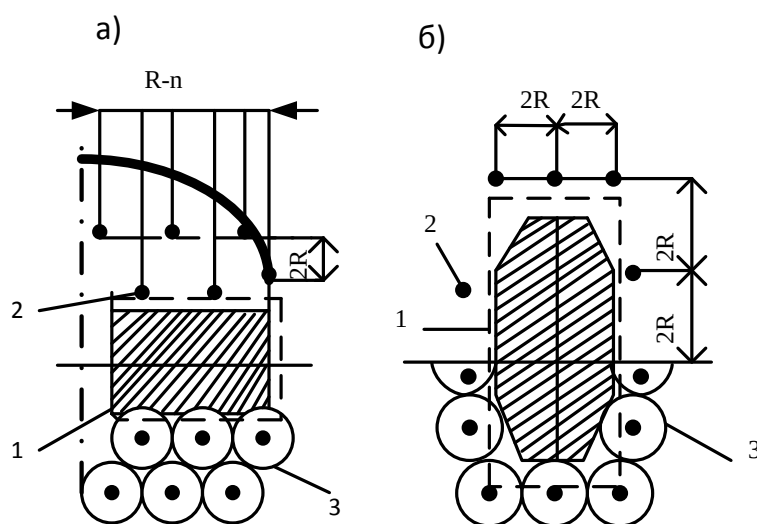


Рис. 2.33. Схема размещения охлаждающих колонок у береговых (а) и промежуточных (б) опор:
1 – контур фундамента;
2 – колонки; 3 – граница промораживания

Толстый слой снега, покрывающий за зиму поверхность земли, является хорошим термоизолирующим покрытием. Периодическое удаление его позволяет быстро промораживать мерзлоту на глубину нескольких метров. Однако при этом следует не допускать нарушения естественного растительного покрова, так как при его разрушении воз-

никает другая опасность – быстрой деградации мерзлоты в теплое время года из-за отсутствия естественного термоизолирующего слоя. Указанная опасность многократно усиливается в период весеннего снеготаяния, когда перед сооружением возникает скопление относительно теплых паводковых вод, которое может вызывать локальное протаивание вечной мерзлоты. Во избежание скопления воды отверстия малых искусственных сооружений расчищают от снега на полное сечение. Недопустимым является также пропуск через сооружение теплых промышленных и бытовых стоков, складирование горячих отходов производства (отвалы шлака, золы и т. п.) ближе 25 м от сооружения, устройство дорог под мостами и в трубах.

С целью предотвращения значительного протаивания мерзлоты в летний период, а также укрепления и консервации мерзлых оснований могут применяться также искусственные термоизоляционные покрытия в виде подушек и берм из термоизоляционных материалов (керамзита, пенопласта, минеральной ваты, шлака, дерева и т. п.). Для сооружений, расположенных на периодических водотоках, термоизоляционные покрытия устанавливают на деревянных сплошных настилах из старогодных шпал, на деревянных или железобетонных обрешетках, оконтуренных против размыва Г-образными железобетонными блоками (рис. 2.34).

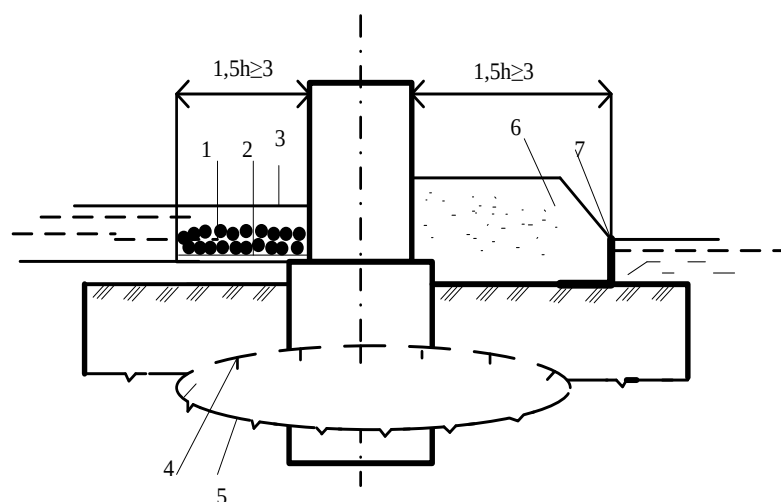


Рис. 2.34. Термоизоляционные покрытия у опоры моста из деревянного настила или пенопласта (слева) или в виде отсыпки (справа: 1 – каменная наброска;

2 – настил; 3 – уровень воды; 4 – положение ВГВМ после устройства термоизоляционного покрытия; 5 – то же до устройства; 6 – теплоизоляционный материал; 7 – контурный блок

Покрытие из пенопласта укладывают на грунт без настила и пригружают наброской из камня. Его толщина назначается из условия недопущения протаивания грунта ниже основания покрытия и определяется расчетами. При большой толщине покрытия его можно частично врезать в грунт.

Эффективность работы термоизоляционных покрытий, устраиваемых в конце зимы на сезоннопромерзшем грунте, определяется, с одной стороны, слабым проникновением тепла через это покрытие летом из-за малой его теплопроводности, а с другой – увеличенным проникновением холода зимой к грунтам основания покрытия благодаря повышенному коэффициенту теплопроводности термоизоляционного покрытия, которое почти всегда находится во время промерзания в водонасыщенном состоянии. Термоизоляционные покрытия не должны стеснять отверстие сооружения более чем на 10–15 %.

При содержании искусственных сооружений, запроектированных и построенных из расчета допущения полного оттаивания вечной мерзлоты (принцип II), необходимо следить за тем, чтобы процесс оттаивания происходил равномерно, и регулировать его.

Кроме вечной мерзлоты, значительную опасность для сооружений в северных строительно-климатических зонах представляют **налед**и. Наледями принято называть ледяные толщи и поля, которые ежегодно зимой в сильные морозы образуются в речных долинах в результате послойного намерзания излившейся на поверхность воды. Изливается она потому, что водоток в этом месте промерз до дна, а в русле и речных наносах выше по течению вода еще есть. Вырываясь на лед и растекаясь тонким слоем, вода быстро замерзает. Наледи речных вод кончают расти уже в декабре, а те,

которые получают воду из глубоких подземных горизонтов, растут до весны и достигают наиболее крупных размеров. Неблагоприятные воздействия наледей на сооружения проявляются весьма разнообразно. Заполнение отверстий мостов и труб льдом приводит к снижению водопропускной способности этих сооружений в весенний период, переливам паводковых вод через насыпь и к размыву последних. Горизонтальные давления льда на элементы сооружений при его термическом расширении, а также вертикальные воздействия при образовании наледных бугров могут вызывать деформации опор мостов и разрушение труб, повреждения конусов подходных насыпей. Длительный контакт наледи с элементами конструкций обуславливает размораживание поверхностного слоя бетона и его выщелачивание. Отепляющий эффект наледи, проявляющийся в обводнении грунтов, может приводить к деградации вечной мерзлоты.

Противоналедные мероприятия на малых мостах и трубах проводятся в случаях, когда их отверстия перед проходом паводка заполняются льдом более чем на половину. В борьбе с наледями важную роль играют специальные предупредительные устройства постоянного типа, устраиваемые при строительстве или при капитальном ремонте сооружения и обеспечивающие либо задержание наледи и наледной воды с верховой стороны, либо пропуск наледной воды в низовую сторону перехода.

Причиной нарушения нормальной эксплуатации малых мостов и труб в суровых климатических условиях может также явиться морозное пучение водонасыщенных грунтов. При взаимодействии увеличивающегося в объеме промерзающего водонасыщенного грунта (в пределах слоя сезонного замораживания и оттаивания) с фундаментом опоры по боковым граням фундамента возникают направленные вверх силы. Если эти силы превысят действующую на фундамент нагрузку от собственного веса сооружения, то опора начнет перемещаться вверх по мере развития пучения. Выпучивание опор мостов может приводить к существенным неисправностям пути и перебоям

в движении поездов.

При проектировании искусственных сооружений в северной строительноклиматической зоне обязательным является расчет опор на воздействие сил морозного пучения грунтов и применение при необходимости специальных мероприятий для их предотвращения. Противопучинные мероприятия в основном сводятся либо к замене окружающего фундамент грунта на непучинистый, либо к исключению (или резкому уменьшению) сил сцепления в контакте фундамента с пучинистым грунтом.

В процессе эксплуатации моста выполнение такого рода мероприятий без перерыва движения поездов затруднительно. Поэтому, если наблюдается перемещение опор вверх (что заметно по изменениям профиля железнодорожного пути), необходимо принятие специальных решений по его устранению, главным образом, при капитальном ремонте. При текущем содержании силами дистанций пути в качестве противопучинных мероприятий используются: обсыпки фундаментов непучинистым материалом (гравием, крупным песком, шлаком); устройство защитных покрытий боковых поверхностей фундамента в виде бандажей из асбоцементных листов, пленки, пластика, а также обмазка битумной мастикой, мазутом, солидолом; устройство термоизоляционных покрытий; применение охлаждающих систем.

Противопучинные обсыпки фундаментов сооружений на вечномерзлых основаниях рекомендуется устраивать в траншеях шириной не более 1 м с вертикальными гранями. Заполнять траншеи гидрофобным глинистым грунтом необходимо с тщательным трамбованием.

Устройство термопокрытий осуществляется по схемам рис. 2.34 и выполняется: осенью, до начала промерзания грунтов, для фундаментов сооружений на талых основаниях; весной – для фундаментов сооружений на мерзлых и протаивающих основаниях с целью использования эффекта повышения верхнего горизонта вечной мерзлоты (для увеличения анкеровки фундамента в мерзлом грунте).

Мероприятия по пропуску паводковых вод через искусственные сооружения применимы и в северных условиях. Но специфика состоит в том, что в вечномёрзлых грунтах невозможно углубление русла под мостом. Кроме того, общие и местные размывы вечномёрзлых грунтов в значительно меньшей степени поддаются прогнозированию, нежели размывы немерзлых грунтов. В этой связи полезным является профилактическое мероприятие, уменьшающее размывы русла - устройство мощения наброской из бутового камня размером 30–40 см. Такое мощение, кроме того, играет и другую положительную роль – является эффективным способом охлаждения проталивающей мерзлоты. Зимой в результате кондуктивного и конвективного теплообмена через каменную наброску холод интенсивно поступает к основанию. Летом же происходит только кондуктивная передача тепла, так как прекращается конвекция из-за застывания в пустотах засыпки (пористость которой составляет 40–50 %) охлажденного воздуха.

Вследствие использования каменной наброски по двоякому назначению размеры мощения в плане зависят как от характера русловых процессов (мест размыва и движения наносов), так и от величины требуемой зоны охлаждения основания. Толщина наброски в зоне промежуточных опор мостов должна быть не менее 1 м, а при мощении конусов насыпей и откосов регуляционных сооружений - не менее 0,5 м. При существующем дефиците камня в ряде регионов (например, в приполярной тундре) взамен его применяют и другие конструкции мощения, к примеру, мешки из геотекстиля (дорнита), заполненные песко-цементом (смесью мелкого песка с низкомарочным цементом в пропорции 3:1).

Важной особенностью эксплуатации подмостовых русел в северных условиях также является то, что малые водотоки здесь полностью промерзают до дна еще в начале зимы. И ледохода, как такового, в паводок не наблюдается, т. е. таяние ледового покрова и наледей происходит обычно на месте (хотя при проектировании опоры мостов рассчитывают на воздействие существенных по

величине ледовых нагрузок). Что же касается больших северных рек, то ледоход на них практически не отличается от ледохода в обычных условиях.

Влияние температурных и влажностных условий эксплуатации.

Сооружения обычно подвергаются воздействию температур наружного воздуха с годовыми, месячными, суточными циклами колебаний. Температура в конструкциях изменяется при изменении температуры окружающей среды, стремясь восстановить термодинамически равновесное состояние. Выравнивание температуры конструкций с температурой окружающей среды происходит по глубине элемента неравномерно: в наружных слоях материал прогревается или остывает интенсивнее, чем во внутренних. Поэтому температура конструкции на разной глубине от поверхности не одинакова. Неравномерность температуры в разных слоях материала приводит к неравномерности напряжений в теле конструкции. В результате в массивных конструкциях из материалов, обладающих небольшой теплопроводностью, таких, как бетон, возникают температурные волны, приводящие в ряде случаев к образованию трещин внутри бетонных и железобетонных конструкций [9].

В конструкциях из материалов, обладающих большой теплопроводностью, например из стали, могут возникнуть циклические деформации, достигающие иногда недопустимых величин или приводящие к разрыву конструкций. Например, разрушаются бандажы на дымовых трубах, появляются трещины в резервуарах и мостах.

Влияние изменения свойств строительных материалов во времени [3]. Материал в сооружениях, по аналогии с биологическими средами, «живет», т.е. его состояние и характеристики в известной степени (в зависимости от рода материала, условий эксплуатации и приложенных нагрузок) изменяются во времени. Рассмотрим несколько наиболее характерных примеров. Общеизвестно, что прочность бетона в сооружениях со временем возрастает. Однако при неблагоприятных условиях – при низких

температурах свежееуложенного бетона, недостаточном увлажнении его и, в особенности, при воздействии агрессивных сред, это нарастание прочности не только замедляется, но может приостановиться совсем, а в отдельных случаях – даже замениться обратным процессом. При приложении внешней нагрузки зависимость между напряжениями и деформациями в бетоне носит криволинейный характер. Но при повторных циклах нагружения (не превосходящих 40...50% от предела прочности) график деформаций постепенно выпрямляется, и бетон начинает работать практически упруго. В таких условиях находятся, например, железобетонные мосты, систематически загружаемые проходящей подвижной нагрузкой. Наоборот, длительная выдержка сооружения в ненагруженном состоянии ведет к частичному восстановлению криволинейности диаграммы деформаций.

Характеристики металла в элементах конструкций, работающих в упругой стадии, остаются практически стабильными. Пластические деформации вызывают явление *наклепа*, влияющего на физико-механические свойства материала (снижение пластичности, увеличение хрупкости, развитие анизотропии и т.д.). Длительная разгрузка отчасти восстанавливает первоначальные свойства. ***Наклеп и механическое старение*** металла создают условия для возникновения и развития, в особенности при пониженных температурах, опасных для целостности конструкций "хрупких" трещин. Постепенное изменение физико-механических свойств наблюдается и в других материалах – дереве, пластмассах и т.д., тем более значительное, чем в более сложных условиях протекает процесс эксплуатации сооружения. При оценке действительной работы и несущей способности конструкций выявление и учет возможных изменений характеристик материалов являются задачей первостепенной важности.

Влияние разуплотнения стыков и соединений элементов на

работу сооружения. При вводе сооружения в эксплуатацию при первых же загрузках возникают сдвиги и пластические деформации в соединениях и связях, сопровождающиеся появлением характерных для начальной работы конструкции так называемых "рыхлых" прогибов и перемещений. Постепенно элементы как бы взаимно "притираются" и приспособляются к условиям эксплуатации, однако сдвиги и остаточные деформации в соединениях и связях всё же возрастают. Элементы начинают работать менее слитно, ухудшаются условия их крепления и опирания, появляются трещины и другие повреждения, и возможность нормальной эксплуатации нарушается. Таким образом, состояние и работа сооружений переменны во времени. Последовательно при этом сменяются три периода [3–7]:

- 1) период «приспособления», продолжающийся до тех пор, пока деформации, как в основном материале элементов, так и в их соединениях, становятся практически стабильными в данных условиях эксплуатации;
- 2) длительный период нормальной работы;
- 3) период "старения", сопровождающийся расстройством соединений и связей, появлением различных повреждений и ухудшением показателей работы всего сооружения.

2.9. Задачи, состав и структура эксплуатации мостов

Определение, задачи эксплуатации мостов [12]. Эксплуатация мостов – совокупность организационных и технических мероприятий, обеспечивающих сохранность и работу в исправном состоянии в течение всего расчетного срока службы мостов, регуляционных сооружений и прилегающих непосредственно к ним территорий. Календарная продолжительность срока службы назначается в проекте для данного сооружения или в нормативной литературе.

В целом зона обслуживания мостов включает:

1) В продольном направлении: сам мост (путепровод) и прилегающие к нему участки подходов длиной по 6 м с двух сторон.

2) В поперечном направлении: На мостах по 25 м с верховой и низовой стороны от сооружения при конусах насыпи или длину регуляционных сооружений при их наличии. На путепроводах эта зона ограничивается шириной конуса сооружения.

3) За руслом водотока следят на длине 100 м выше и ниже по течению.

Эксплуатацией мостов занимается служба эксплуатации мостов.

Основными задачами службы эксплуатации мостов являются [12]: 1) Обеспечение круглогодичного, непрерывного, безопасного и комфортного движения транспортных средств с установленными расчетными для дороги скоростями и расчетными осевыми нагрузками, а также движения пешеходов.

2) Обеспечение технически исправного состояния сооружений и расчетного срока их службы при минимальных затратах труда и материально-технических ресурсов.

3) Систематическое улучшение транспортно-эксплуатационного состояния сооружений с учетом роста интенсивности движения и массы транспортных средств на железных и автомобильных дорогах.

4) Поддержание в надлежащем состоянии внешнего вида сооружений.

«Заказчик» - орган исполнительной власти, в оперативном управлении которого находятся дороги общего пользования, поручающий по Контракту проведение работ по эксплуатации мостов другому юридическому лицу. В качестве «Заказчика» – это Росавтодор, Региональные министерства (например – Министерство транспорта и дорожного хозяйства Республики Хакасия) или автодоры (например – Областное Государственное Управление «Управление автомобильных

дорог Томской области»).

«Подрядчик» - юридическое лицо, непосредственно осуществляющее по Контракту эксплуатацию мостов и отвечающий за обеспечение требуемого уровня эксплуатации. В качестве «Подрядчика» – это производственное мостовое подразделение в составе производственной дорожной службы (например – ДРСУ) или в виде специализированных организаций, независимо от формы собственности, имеющих допуск СРО на право выполнения работ по эксплуатации (при необходимости, согласно приказу № 624 Мин. регион. развития РФ) [10]. Максимальный срок действия контракта 5 лет и заключается только после проведения тендерных торгов «Заказчиком».

Уровень эксплуатации мостов - комплекс показателей, отражающих определенное техническое состояние конструктивных элементов и общий вид сооружений. Требуемый уровень эксплуатации мостов устанавливается Заказчиком в контракте с Подрядчиком в соответствии с выделяемым объемом финансирования, отражающим комплекс необходимых работ по эксплуатации.

Руководством по эксплуатации мостов в штате Заказчика занимается мостовое подразделение (Отдел мостов). Количественный состав определяется следующим критерием: 2500 п.м. длины мостов на одного специалиста, но минимальное количество специалистов – 2 человека.

Мостовое подразделение в штате «Заказчика» выполняет следующие основные функции:

- 1) осуществляет контроль и анализ технического состояния сооружений, закрепленных за Заказчиком, осуществляет сбор информации, осуществляет ведение автоматизированного банка данных о мостах: «Монстр –1, 2» (МАДИ, г. Москва, с 1991 г), «АИС ИССО» (ЗАО «Сибнит», г. Новосибирск, с 1997 г) и «PassInfo» (ВГАСУ, г. Воронеж, с 1998 г);

2) организует и, при необходимости, проводит инвентаризацию этих сооружений (выезд на мосты кураторов);

3) организует пропуск и осуществляет контроль за пропуском негабаритных и тяжеловесных грузов (СНН);

4) обеспечивает хранение технической документации (архив);

5) разрабатывает производственную программу эксплуатации сооружений, определяет средства на их выполнение (объем финансирования защищает в Росавтодоре, г. Москва);

6) осуществляет выбор на тендерной основе подрядных организаций (проводит конкурсные торги: электронные аукционы и котировки);

7) осуществляет постоянный контроль за производственной деятельностью подрядчиков и контролирует сроки выполнения работ (назначаются кураторы);

8) участвует в рассмотрении и утверждении проектной документации на ремонт, реконструкцию и новое строительство мостов;

9) участвует в работе приемочных комиссий перед вводом в эксплуатацию мостов;

10) оказывает организационно-техническую помощь при выполнении аварийно-восстановительных работ.

Назначение и состав работ по эксплуатации мостов [12]. По назначению работы по эксплуатации мостов разделяются на четыре группы:

1) **Надзор** – это определенная система наблюдений, с целью своевременного обнаружения дефектов и повреждений, которые снижают транспортно-эксплуатационные качества моста.

Дефект – это несоответствие элементов конструкции моста каким-либо параметрам, установленным проектом или нормативными документами (СП, СНиП, ГОСТ, ТУ, сертификатами, техническими паспортами).

Повреждение – любое нарушение целостности конструкции или отдельных элементов сооружения в процессе эксплуатации, вызванное наличием дефектов или воздействием агрессивных факторов внешней среды: водной, воздушной, техногенной и др.

Надзор за мостами включает следующие мероприятия [12]:

1.1) **Технический учет** – это фиксирование состояния и степени износа каждого элемента моста путем ведения технической документации.

Состав технической документации:

1) Карточка на мост. Содержит общие сведения о мосте, пролетных строениях, опорах, регуляционных сооружениях, подходах, об охране.

2) Технический паспорт моста. Содержит 6 форм: общие сведения о мосте, пролетных строениях, опорах, перечень имеющейся технической документации, дефектную ведомость, оценку технического состояния, фотографии и рисунки.

3) Ведомость наличия и технического состояния мостов на автомобильной дороге. Содержит следующие сведения: местоположение сооружения; сроки и виды ремонтных работ, выполненных на сооружении; техническая характеристика моста; оценка технического состояния.

4) Отдельная книга моста. Составляется на мосты: железобетонные – длиной более 300 м и металлические – длиной более 100 м. Содержит: местоположение моста; данные о грузоподъемности; сроки длительных ограничений движения; перечень происшествий на мосту; перечень проведенных осмотров и ремонтов: мостового полотна, пролетных строений, опор, регуляционных сооружений; состав наблюдений за дефектами моста (по элементам); профили промеров русла и планы их расположения; замечания и распоряжения по содержанию.

5) Общая книга. Составляется на малые и средние мосты. Содержит: то же самое, что и в отдельной книги, только для каждого моста выделяется отдельная глава.

Документы оформляются в 2-х экземплярах, а карточки в 5 экземплярах.

Заполнение документации производится мостовым мастером или могут привлекаться специализированные организации. Первый экземпляр документации с 4-мя экземплярами карточек на мосты передаются «Заказчику».

6) Дополнительно к технической документации относится: проектная и исполнительная документация (исполнительные чертежи элементов мостов; документы согласования отступлений от проекта; акты приемки скрытых работ; сертификаты на строительный материал).

Периодичность ведения технической документации: регулярно. В конце года вся документация проверяется начальником эксплуатирующей организации и «Заказчиком».

1.2) **Постоянный надзор** – это своевременное выявление возникающих дефектов и повреждений. Сроки проведения раз в 10 дней. Постоянный надзор выполняется мастером путем внешнего (визуального) осмотра сооружения.

1.3) **Текущий осмотр** – это определение общего состояния всех видимых частей и элементов сооружения, выявления в них дефектов и принятия мер к их устранению, а также для назначения мероприятий к пропуску ледохода и высокой воды и для организации противопожарных мер. Текущий осмотр включает визуальный осмотр сооружения с необходимыми контрольно-инструментальными измерениями. Сроки проведения зависят от вида строительного материала сооружения. Текущий осмотр проводится мастером. Весной осматривают сооружения после прохода ледохода и высокой воды, а осенью - перед ледоставом.

1.4) **Периодический осмотр**. Назначение такое же, как и у текущего осмотра, но проводится главным инженером или начальником. Сроки проведения весной и осенью, а также при аварийных ситуациях на мостах,

после завершения крупных ремонтов или реконструкции.

Все обнаруженные дефекты во время текущего и периодического осмотров должны быть занесены в книгу моста, служащие основанием для включения в план проведения сверхнормативных работ по устранению дефектов.

1.5) **Специальный осмотр** – это определение *фактической грузоподъемности моста* и его *эксплуатационной надежности* (безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохранность).

Специальный осмотр включает: обследование (визуальный осмотр, контрольно-инструментальные измерения, определение свойств строительного материала методами дефектоскопии) и проведение испытаний (статических и динамических). Осмотр проводят специализированные организации, имеющие допуск СРО на эти работы. Сроки проведения специального осмотра: плановый – в зависимости от вида строительного материала, внеплановый – после ремонта или реконструкции, до и после пропуска СНН и по результатам текущих и периодических осмотров. Результаты специального осмотра оформляются в виде акта (см. приложение) и технического отчета.

1.6) **Диагностика** – это оценка технического состояния сооружения, а также *определение безопасного режима эксплуатации* для составления или корректировки технического паспорта на мост. Сроки проведения 1 раз в пять лет.

Диагностику проводят специализированные организации и включает обследование и испытания.

1.7) **Режимные наблюдения** – это контроль за русловыми процессами в зоне моста. Режимные наблюдения включают: замеры уровня воды и составление профиля дна реки. Режимные наблюдения выполняют специализированные организации.

Периодичность проведения замеров уровня воды выполняется на

средних и больших мостах у опор с верховой стороны – 4 раза в месяц, а во время прохода ледохода и высокой воды – ежедневно. Результаты промеров оформляются в виде графика уровней и делается запись в книге моста.

Периодичность составления профилей дна реки на всех мостах два раза в год: зимой и после прохода высокой воды. Снимают профиль дна реки, промеряя глубины воды не менее чем в трех створах: в створе моста с низовой стороны, выше и ниже по течению на расстоянии 25 м. Промеры в каждом створе назначаются через 2–10 метров. Результаты оформляются в виде графика промеров русла и делается запись в книге моста.

2) **Содержание** – это вид работ по поддержанию безопасного и удобного движения по мостам в течение всего расчетного срока их эксплуатации, а также выполнение работ по предупреждению или устранению появившихся дефектов в элементах конструкций мостов, регулиционных сооружений и прилегающих территорий [13].

2.1) **Уход** – это работы, предотвращающие образование дефектов, т. е. сбор и удаление с поверхности элементов сооружения вредных веществ и посторонних предметов, а также работы по организации пропуска ледохода и паводковых вод.

Периодичность: постоянно в течение года.

2.2) **Профилактика** – это работы, обеспечивающие устранение дефектов на ранней стадии развития при износе элементов сооружения до 10 %. Примерный состав работ: для бетона и железобетона – гидрофобизация бетона, для древесины – антисептирование, для металла – окрашивание. Периодичность: 3–10 лет.

2.3) **Планово-предупредительный ремонт (ППР)** – это работы, обеспечивающие устранение дефектов при износе элементов более 10 %, но менее 25 %.

ППР выполняется на основе дефектной ведомости технического

паспорта. Примерный состав работ: Ямочный ремонт покрытия. Ремонт отдельных элементов ограждений безопасности, перил. Ремонт тротуаров и деформационных швов. Локальный ремонт гидроизоляции. Восстановление поверхности элементов опор, пролетных строений. Ремонт узлов сопряжения моста с насыпью подходов. Ремонт смотровых обустройств моста. Периодичность: 5–20 лет.

Состав работ по текущему содержанию. Работы по текущему содержанию являются важной частью системы текущего содержания. Работы, осуществляемые в рамках текущего содержания, не изменяют основные проектные технические и эксплуатационные характеристики сооружений и направлены на их восстановление и поддержание в процессе эксплуатации. Работы по текущему содержанию включают:

- регламентное и сервисное обслуживание сооружений, которое осуществляется сотрудниками подведомственных подразделений службы пути дороги на основании технологических карт, проектов эксплуатации сооружений;

- текущий ремонт, который не требует прохождения экспертизы проекта и осуществляется сотрудниками подведомственных подразделений службы пути дороги или специализированной подрядной организацией на основании проекта производства работ, утверждаемого начальником дистанции пути дороги;

- капитальный ремонт, требует прохождения экспертизы проекта и осуществляется сотрудниками подведомственных подразделений службы пути дороги или специализированной подрядной организацией.

Планирование работ по текущему содержанию осуществляется на основании нормативных технических актов, устанавливающих требования к сооружению и отдельным его элементам, проектной документации, результатов надзора и оценки его состояния и отдельных конструктивных элементов.

По своей структуре и содержанию работы по текущему содержанию представляют собой детально спланированные и обеспеченные ресурсами технологические процессы, связанные с обслуживанием сооружений, основанные на действиях ответственных должностных лиц в соответствии с требованиями, устанавливаемые на железных дорогах.

Сотрудники подведомственных подразделений и подрядных организаций, задействованные в работах текущего содержания должны обладать соответствующей квалификацией, компетенциями, навыками и умениями по выполнению видов сервисных и ремонтных работ. Они должны знать основные конструктивные особенности сооружений, свои обязанности, осуществляемые ими в рамках технологических процессов обслуживания и ремонта сооружений, а также общие и специальные правила безопасности, связанные с производством работ и движением поездов.

Технологические процессы в рамках работ по текущему содержанию сооружений должны выполняться с требуемым уровнем качества, показатели которого устанавливаются в технологических картах, проектах производства работ и проектах текущего или капитального ремонта. Эти документы должны отвечать следующим требованиям:

- содержать календарный, временной порядок, регламентирующий сроки реализации технологических операций, во временном масштабе, объединённые в единый технологический процесс;
- определять материальные и людские ресурсы, необходимые для всего технологического процесса и отдельных операций;
- основываться на производительности определённых машин и оборудования, приспособлений и технологической оснастки, обеспечивающих производство работ по выполнению технологических операций в установленные сроки в соответствии с порядком, установленным в процессе.

Необходимость детального планирования технологических процессов определяется требованием обеспечения безопасного и бесперебойного движения поездов в соответствии с графиком, а также особенностями, связанными с производством работ «в окна». Разработки технологических процессов по текущему обслуживанию и ремонту сооружений в подведомственных подразделениях осуществляется службой пути дороги.

В зависимости от обеспеченности подразделений материальными ресурсами, наличия машин, оборудования одни технологические процессы по выполнению одних и тех же видов работ, могут осуществляться различными способами или процедурами, различающихся по содержанию, порядку, срокам, стоимости производства работ. В содержательном плане технологическая процедура это конкретизированный способ реализации процессов в рамках работ текущего содержания(2.35).



Рис. 2.35. Технологический процесс окраски пролётного строения

Технологический процесс обслуживания и ремонта сооружения или отдельного его элемента может содержать одну или несколько процедур. На входе и выходе процесса устанавливаются требования к срокам, степени соответствия результатов работ проектным нормативным требованиям, допустимой величине отклонения, форме подтверждения качества, включая методы определения и форму регистрации результатов работ.

Требования к технологическому процессу текущего содержания регламентируются стандартами ОАО «РЖД», стандартами подрядных организаций, инструкциями, технологическими картами, утверждаемых руководителем подразделений, проектом производства работ (ППР), технологическими картами, технологическими регламентами, проектом капитального ремонта или другими документами, утверждаемыми начальником дистанции пути дороги.

3. Структура управления состоянием мостовых сооружений.

Управление состоянием мостовых сооружений как элемент управления дорожным хозяйством в нашей стране стало представлять практический интерес и частично реализовываться еще с 70-х годов прошлого столетия [14].

Состояние мостовых сооружений. Именно тогда, для эффективного управления была сформирована первая в Советском Союзе и Европе автоматизированная база данных по мостам (ИПС-«МОСТ»), подкрепленная информационными и управленческими прикладными программами.

В начале 90-х годов прошлого века были изменены подход к формированию и задачи отраслевой базы данных, которая стала называться «МОНСТР», пересмотрены некоторые нормативные

документы по ремонту мостов. Фактически к этому моменту была сформирована научно-методическая база содержания и ремонта. Но полновесной системы управления, которая обеспечивала бы своевременность и эффективность принимаемых мер для сохранности сооружения, не получилось. И дело здесь не только в том, что мало выделялось средств, но и в том, что не соблюдались основные принципы системного подхода и не были сформулированы принципы создания системы управления мостами (рис. 2.36).

Мировой и европейский опыт позволяет в настоящее время достаточно точно сформулировать эти принципы. В частности, выводы из реальных результатов работы зарубежных систем управления мостами в добавление к тем, которые приведены в подгл. 2.3 (об ее увязке с системой эксплуатации, оптимизации плана работы, разработке нормативной базы и необходимости прогнозирования состояния мостов), можно дополнить следующими [14]:

- система оценки состояния должна быть максимально приближена к объективной; многокритериальность – основа достоверности такой оценки;

- управленческий аппарат (менеджеры) должен принимать решения о рациональном распределении бюджета (фонда) на основании исследования и прогнозирования состояния мостов при как можно более частом получении информации;

- система должна базироваться на объективной базе данных, заложенных в компьютеры последнего поколения с практически неограниченными возможностями.

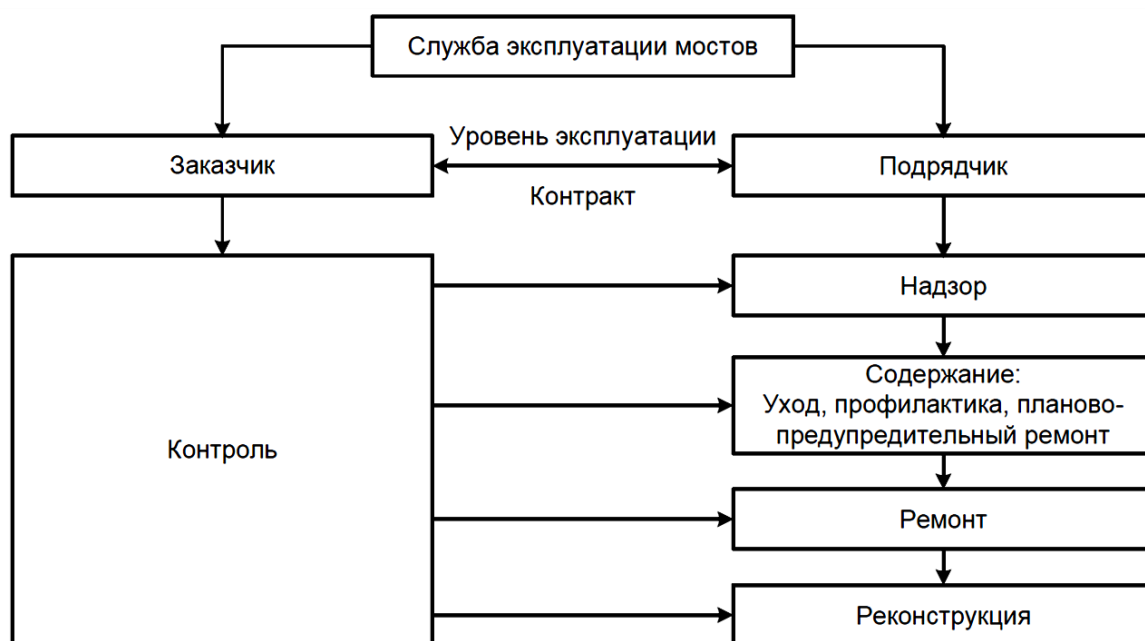


Рис.2.36. Структура службы эксплуатации мостов

Управление состоянием мостов должно учитывать современные условия, сложившиеся не только в последнее десятилетие, но и в последние годы, а также особенности состояния мостовых сооружений. Особенности современных условий:

- дефицит денежных средств;
- недостаточный объем финансирования работ по содержанию и ремонту мостов (существенно отличается от данных Программы [15]);
- не достигнуты целевые показатели на 2005 г. по количеству мостов, которые должны эксплуатироваться в режиме «перегрузки» (их оказалось больше планируемой величины) и находиться в «нормальном» эксплуатационном состоянии (их оказалось меньше планируемой величины);
- резкое увеличение (за последние три года) количества тяжелых и сверхтяжелых транспортных средств, обращающихся по дорогам федеральной сети (на некоторых участках их число доходит до 30%);
- возросли реальные скорости движения автомобилей по дорогам;

- устарела нормативная база эксплуатации мостов и в настоящее время она только начала перерабатываться;

- продолжает уменьшаться количество малых мостов, а число больших мостов увеличивается, включая внеклассные сооружения; растет количество стальных мостов.

Главной задачей дорожной отрасли России является улучшение состояния автомобильных и железных дорог и искусственных сооружений на них. Проблема улучшения состояния автодорожных и железных мостов в России, как наиболее сложных и ответственных элементов автомобильных и железных дорог, усугубляется большим количеством сооружений с неудовлетворительным состоянием, как на дорогах общего пользования России в целом, так и на Федеральной сети. В соответствии с «Концепцией улучшения состояния мостовых сооружений на федеральной сети автомобильных дорог России (на период 2002-2010 гг.)» по данным Федерального дорожного агентства (Росавтодор) на дорогах общего пользования страны, на 2000 г., эксплуатируется 41800 сооружений (в том числе 33464 шт. капитальных) протяженностью около 1600 км (в том числе 1500 км капитальных сооружений), из них ~ 20 % продолжает оставаться в неудовлетворительном состоянии.

Показателями неудовлетворительного состояния мостовых сооружений являются [14]:

- недостаточный габарит большого количества сооружений (как следствие низкая пропускная способность);

- недостаточная грузоподъемность мостовых сооружений, что приводит к ограничению по массе обращающихся транспортных средств и нагрузок на их оси;

- наличие дефектов и повреждений в конструкциях, снижающих срок службы сооружения;

- низкий уровень безопасности дорожного движения (в частности из-

за повреждения покрытия мостового полотна и расстройств конструкций ограждений безопасности), прохода пешеходов.

Неудовлетворительное техническое состояние мостов является серьезной угрозой нормальному функционированию дорожной сети, приводит к большим социально-экономическим потерям в стране. Эксплуатация мостов, в том виде, как это происходит сегодня, приводит к уменьшению срока их службы, снижению надежности, повышению рисков.

Возникает необходимость нового подхода для устранения приведенных недостатков. Методической основой эксплуатационной системы должны стать новейшие научные разработки автоматизированной оценки и прогноза технического состояния автодорожных и железнодорожных мостов, которые находятся в эксплуатации.

Накопленный опыт и анализ тенденций развития ремонтно-строительной отрасли в других странах показал, что основными свойствами такой системы должны быть:

- способность накапливать знания и использовать их при решении задач, возникающих в реальных производственных условиях;
- обеспечение безопасных условий движения по мостовым сооружениям с расчетной скоростью движения, установленной для каждой категории дороги;
- возможность использования:
- методов экономического планирования и многокритериальной оптимизации;
- методов прогнозирования рисков (с привлечением теории вероятностей и современных методов искусственного интеллекта);
- средств для накопления и применения экспертных знаний [14].

2.10. Особенности отечественных и зарубежных систем

управлением состояния мостовых сооружений

Рассмотрим различные подходы к решению проблемы эксплуатации мостовых сооружений в различных странах мира [15].

Накоплен большой практический опыт в эксплуатации мостовых сооружений за рубежом. В таких странах, как США, Япония, Германия, Израиль организация работы системы эксплуатации мостов обеспечивает высокий уровень технического состояния сооружений [16, 17]. Улучшение состояния эксплуатируемых мостовых сооружений в этих странах было достигнуто путем более частого проведения текущих ремонтов (посредством значительного увеличения финансирования ремонтных работ), что дало возможность увеличить срок эксплуатации сооружений без проведения капитальных ремонтов и реконструкций.

Существующая в США специальная служба занимается постоянным контролем технического состояния мостовых сооружений, а также организывает мероприятия по содержанию и ремонту конструкций мостов. Расчеты, проведенные специалистами в США, показали, что, для всех эксплуатируемых мостов расходы на периодические ремонты увеличиваются на 20 миллионов долларов по сравнению с традиционной системой эксплуатации мостовых сооружений, но, в целом происходит экономия 300 миллионов долларов за счет сокращения затрат на полную замену поврежденных мостовых сооружений [18].

Накопленный в Великобритании научный и практический опыт длительного содержания эксплуатируемых мостовых сооружений также показывает, что затраты на периодические ремонты мостовых сооружений и поддержание их в работоспособном состоянии значительно меньше, чем затраты на капитальные ремонты при отсутствии финансирования на содержание.

Обратим свой взгляд на Финляндию, в которой похожие на

российские климатические условия. Периодичность диагностики мостовых сооружений в Финляндии раз в 4-8 лет, в России в соответствии с нормативной документацией – раз в 5 лет, а на самом деле гораздо реже. Более частая периодичность диагностики мостовых сооружений, объясняется тем, что в Финляндии, так же как в США и Великобритании уделяют большее внимание проведению периодических обследований и не допускают развития дефектов и повреждений, устраняя их до прямого проявления [15]. Такой подход дает возможность не только поддерживать мостовое сооружение в требуемом техническом состоянии, но и увеличивает срок эксплуатации всего сооружения в целом.

На основе анализа опыта зарубежных стран по системам управления состоянием мостовых сооружений, в России в 1975 г. была создана первая в Европе база данных по мостам, призванная дать оценку их состояния, и на основании этой оценки более объективно, чем раньше, установить требуемый вид работ и источник финансирования. База данных получила название Информационно-поисковая система «МОСТ» (ИПС-«МОСТ»). В этот период специалистами института ГипродорНИИ и треста Росдороргтехстрой была собрана и обработана информация о мостах, расположенных на автомобильных дорогах общегосударственного и республиканского значения [19].

Основными целями при разработке ИПС-«МОСТ» были:

- сбор и систематизация информации о мостовых сооружениях и, как следствие, создание инструмента автоматизированного учета искусственных сооружений;
- принятие решений на основании анализа введенных данных о возможности оперативного решения задач по управлению мостовым хозяйством.

Созданная система позволила осуществлять сбор, накопление, хранение, поиск, группировку, сортировку и специальную обработку

данных по управлению эксплуатацией автодорожных мостов (определение условий пропуска нагрузок по мостам, оптимальное планирование перестройки и ремонта мостов).

ИПС-«МОСТ» содержала информация о каждом конкретном мостовом сооружении, а именно:

- географическое положение мостового сооружения с указанием автомобильной дороги и километража;
- пересекаемое препятствие;
- основные геометрические параметры моста;
- схема моста и характеристика его строительных конструкций;
- нормативные нагрузки на мостовое сооружение;
- год постройки сооружения, год последней ремонтной работы, год проведения диагностики;
- техническое состояние сооружения [20, 21].

Система ИПС-«МОСТ» существенно снизила затраты на поиск и обработку данных по мостовым сооружениям и позволила повысить эффективность управления в мостовом секторе во много раз. Однако, в процессе эксплуатации выявился и ряд недостатков. Ежегодное обновление информации о каждом мостовом сооружении было поручено территориальным органам управления. Информация о изменении данных о состоянии сооружения не всегда достигала функционального центра ИПС-«МОСТ». Ввиду того, что у территориальных органов управления отсутствовал модуль обновления информации, система не позволяла осуществлять дистанционную обработку данных, что негативно сказалось в работе системы в целом, и возникла необходимость ее переработки.

Для определения направлений, по которым должна быть переработана система управления эксплуатацией мостов, специалистами был выполнен анализ состояния мостовых сооружений на общей сети автомобильных дорог и анализ зарубежного опыта создания аналогичных систем.

Второй российской моделью системы управления стала база данных по мостам на федеральной сети автомобильных дорог – «МоНСтР» (мосты, нагрузки, статистические расчеты). Начало формирования было положено в 1991 - 1992 гг., однако, лишь к 1996 г. она была освоена, разработчиком системы стал – МАДИ, г. Москва.

«МоНСтР» позволял решать следующие задачи:

- мониторинг состояния сооружения и выявление аварийных или требующих детального обследования мостов;
- сбор и непрерывное обновление информации для прогнозирования состояния и принятия управленческого решения;
- получение различной информации по любой группе мостов на дороге или по региону России;
- статистическое исследование конструкций и их дефектов;
- определение технико-эксплуатационного состояния мостов, технико-экономический анализ затрат и приоритетность капитальных вложений в ремонт и реконструкцию;
- оценка возможности пропуска нагрузок, в том числе сверхнормативных;
- создание отчетно-справочной документации и диаграмм.

Система поиска позволяла производить выборку сооружений по любой содержащейся в базе информации. При определении возможности пропуска нагрузки в рамках информационно-расчетной системы производился статический расчет конструкции с использованием методов теории упругости (метода конечных элементов) с учетом ее реального состояния, дефектов и степени износа, которые содержатся в базе данных по результатам проведенных ранее натурных обследованиях сооружений [19].

Наряду с ИПС «МоНСтР» была создана автоматизированная информационная система по искусственным сооружениям на федеральных

и территориальных автомобильных дорогах России – АИС ИССО, разработанная ЗАО «СибНИТ», г. Новосибирск (с 1997 г.).

Система АИС ИССО установлена и внедряется в территориальных органах управления автомобильных дорог в регионах России.

Система предназначена для информационного обеспечения процесса управления содержанием искусственных сооружений (ИССО) на автомобильных дорогах России на основе автоматизации решения следующих основных задач:

- учет и оперативный доступ к информации по конструктивному описанию искусственных сооружений и их состоянию по дефектности;
- оценка и прогнозирование технического состояния сооружений;
- определение возможности пропуска нагрузки по сооружениям;
- расчет, планирование и оптимизация затрат на содержание и ремонт сооружений, в том числе:
 - планирование и учет реализации текущих программ проектно-изыскательских работ;
 - планирование и учет реализации текущих программ по ремонту и капремонту ИССО;
 - планирование и учет реализации текущих программ работ по содержанию (нормативному и сверхнормативному) ИССО.
- анализ состояния парка ИССО по произвольным параметрам для перспективного планирования и разработки технической политики в отношении ИССО, научно-исследовательских целей, совершенствования нормативно-методической базы и т.д.;
- формирование и печать стандартных форм отчетных документов.

В настоящее время в Федеральном дорожном агентстве (Росавтодор) создается автоматизированная система управления и обработки информации по искусственным сооружениям – АБДМ (автоматизированная база данных мостов) взамен устаревшей.

Целью создания автоматизированной базы данных мостов (АБДМ) является повышение эффективности системы управления состоянием искусственных сооружений на федеральной дорожной сети общего пользования на основе использования объективной информации о фактических транспортно-эксплуатационных показателях сооружений [18. 22].

Выявление фактического технического состояния искусственных сооружений на федеральных автомобильных дорогах. Планирование работ по содержанию и ремонту искусственных сооружений на основе использования информации о техническом состоянии сооружений.

Оценка технического состояния выполняется по основным показателям: по безопасности; по грузоподъемности; по долговечности; по ремонтпригодности.

Изучение технического состояния мостовых сооружений требует анализа каждого показателя оценки технического состояния. Проверки соответствия качества мостового сооружения осуществляются проведением технической диагностики на всех этапах жизненного цикла объекта в виде технических осмотров и обследований, входящих в систему надзора. Основными задачами обследований мостовых сооружений являются оценка технического состояния, определение категории технического состояния, разработка рекомендаций по устранению и предупреждению возникновения дефектов, определение сроков и видов ремонтных работ, а также разработка рекомендаций по дальнейшему режиму их эксплуатации. При оценке технического состояния искусственных сооружений выполняются следующие виды работ, представленные в табл. 2.2 [22].

Таблица 2.2

Основные виды работ	Перечень выполняемых работ
Изучение и анализ технической	• изучение и анализ проектной документации;
	• изучение и анализ исполнительной документации;

документации на сооружение	• изучение и анализ результатов предыдущих обследований.
Обмерные работы	• определение основных размеров сооружения, его конструкций и элементов; • измерение габарита приближения строений и элементов мостового полотна.
Геодезические измерения	• определение толщины слоёв дорожной одежды на проезжей части; • измерение продольных и поперечных уклонов покрытия проезжей части на сооружении и на подходах; • Измерение угла пересечения или угла косины сооружения.
Обследование визуально доступных конструкций сооружения с выявлением дефектов	• Обследование элементов мостового полотна, пролетных строений, видимой части опор, опорных частей антисейсмических устройств, смотровых и эксплуатационных обустройств, а также конусов и подмостового пространства; • оценка повреждения несущих элементов, влияющие на несущую способность: механические, силовые, коррозионные; • выявление затруднения для предусмотренных проектом деформаций и перемещений пролетных строений и опор; • просадка и повороты опор.
Приборное и инструментальное обследование конструкций	• проверка соответствия положения опорных частей на опорах требованиям проекта; • выполнение измерений необходимых для определения фактического состояния конструкций искусственного сооружения. • измерение трещин; • измерение ослабления сечений в местах коррозии; • определение прочности бетона.
Обработка данных по обследованию	• составление продольной схемы моста; • составление поперечных сечений сооружений; • составление ведомости дефектов; • обработка результатов геодезических измерений.
Расчетно-конструкторские работы	• расчетно-конструкторские работы, определение грузоподъемности сооружения.
Разработка технического заключения и рекомендаций	• анализ состояния конструкций сооружения, определение общей оценки его технического состояния, разработка технического заключения и рекомендаций по дальнейшей эксплуатации, назначение режима эксплуатации.
Составление отчетной документации по результатам работы	• технические сведения о мостовом сооружении; • сведения о дефектах; • сведения о работах нормативного содержания; • сведения для расчета условий пропуска нагрузок; • составление пояснительной записки.

По результатам оценки технического состояния по отдельным показателям назначается общая балльная оценка технического состояния по ОДМ 218.3.014-2011. В ОДМ предусмотрена шестибалльная система оценок технического состояния по каждому из рассматриваемых показателей. Соответствие общей балльной оценки технического состояния мостового сооружения по видам технического состояния приведено в табл. 2.3 [18].

Таблица 2.3

Соответствие балльной оценки технического состояния мостового сооружения по видам технического состояния

Балльная оценка	Техническое состояние		Вид технического состояния
5	Отличное	Исправное	Работоспособное
4		Хорошее	
3	Удовлетворительное	Неисправное	
2	Неудовлетворительное	Ограниченно-работоспособное	
1	Непригодное для нормальной эксплуатации (предаварийное)	Неработоспособное	
0	Аварийное	Предельное	

Критерии для выбора стратегии эксплуатации моста. Критерием для выбора стратегии эксплуатации моста при обеспечении его заданного срока службы являются суммарные финансовые затраты. Виды работ для каждой стратегии определяют в зависимости от степени деградации конструкций моста и прогноза изменения их состояния. Прогноз ведется на 20-25-летний период.

Выбора стратегии эксплуатации моста. Во всех странах, где функционируют СУМ, основное внимание уделяется оценке состояния мостовых сооружений. Не является исключением и Великобритания, где в 1987 г. началось выполнение 15-летней «Программы оценки состояния и усиления мостов», которая знаменовала собой переход на новую

концепцию управления гостами. Важнейшей частью этой Программы являлось изменение вложившейся оценки состояния мостов [22].

Для обеспечения принятия более правильного и гибкого решения по управлению мостами на федеральной сети автомагистралей i магистральных дорог Великобритании (9500 сооружений) в структуру управления мостами включают два различных метода оценки состояния – детерминированный и вероятностный. Детерминированный метод используется для сравнительно ч«молодых» конструкций с незначительными отклонениями от стандартного состояния или в случаях, когда имеются сомнения в адекватности конструкций, например, по показателю грузоподъемности. Вероятностный метод оценки состояния моста выполняют в случаях, когда необходимо решать вопросы очередности ремонта или перестройки в пределах существующих бюджетных ограничений. Фактически существует пять различных по сложности методов инспектирования, увязанных с пятью категориями состояния, которые и представляют собой оценку технического состояния моста.

Примерно аналогичный подход имеется и в Швеции [18]. Исходя из целей и задач, которые ставит перед собой дорожная служба Швеции на современном этапе, прежде всего, проводятся инвентаризация, инспектирование и оценка текущего состояния сооружений. Моделирование текущего состояния и прогноз его изменения в будущем дают возможность определить потребность в объемах работ на ближайшую и дальнюю перспективу. На основе этой информации предлагается несколько вариантов технических решений по реализации задач, т.е. указанных потребностей. Далее, как правило, проводят анализ альтернативных решений с точки зрения эффективности затрат с использованием аналитических и других методов. Оценка альтернативных решений по утвержденным критериям позволяет выбрать нужную

стратегию и составить список объектов для реализации в краткосрочной и долгосрочной перспективе.

При подготовке списка объектов для плана работ по содержанию или ремонту мостов осуществляют расстановку приоритетов. Несмотря на то, что каждая из европейских стран развивает собственную систему управления мостами, в последние годы заметно все же влияние американского подхода в определении главных принципов. Наибольшее применение нашла система Pontis, усовершенствованная версия которой эксплуатируется с 1993 г. и используется в 38 штатах США и ряде стран Европы.

Контрольные вопросы:

Классификация мостов?

Виды мостов в зависимости от назначения?

Виды мостов по материалу пролётных строений?

Виды мостов по длине?

Виды мостов по расположению над горизонтом высоких вод?

Виды мостов по статической схеме пролётных строений?

Виды мостов по расположению проезжей части?

Виды мостов по типу опор?

Виды мостов по условиям их работы и способу пропуска судов?

Виды мостов по сроку службы?

Основные принципы эксплуатации транспортных сооружений?

Физический износ?

Моральный износ?

Приведите кратких характеристик искусственных сооружений на железных дорогах.

Нормы проектирования и расчетные нагрузки?

Дефекты металлических пролетных строений?

Дефекты железобетонных пролетных строений?

Дефекты опор балочных мостов?

Организация содержания мостовых сооружений на железных дорогах?

Принципы организации текущего содержания?

Система надзора за состоянием эксплуатируемых искусственных сооружений на железных дорогах?

Периодические осмотры?

Капитальный ремонт искусственных сооружений?

Эксплуатационные обустройства на мостах?

Содержание мостового полотна и пути на мостах?

Конструкция и содержание мостового полотна?

Содержание подмостового русла и регулиционных сооружений?

Размыв подмостового русла?

Содержание искусственных сооружений в суровых климатических условиях?

Влияние температурных и влажностных условий эксплуатации?

Влияние изменения свойств строительных материалов во времени?

Основные задачи службы эксплуатации мостов?

Назначение и состав работ по эксплуатации мостов?

Надзор за мостами включает следующие мероприятия

Технический учет?

Постоянный надзор?

Текущий осмотр?

Периодический осмотр?

Специальный осмотр?

Диагностика?

Уход?

Профилактика?
Планово-предупредительный ремонт (ППР) ?
Состав работ по текущему содержанию?
Структура управления состоянием мостовых сооружений?
Структура службы эксплуатации мостов?
Особенности отечественных и зарубежных систем управления состоянием мостовых сооружений?

ГЛАВА 3. ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ МОСТОВ

3.1. Цели, задачи и методы технической диагностики транспортных сооружений

При диагностике и испытании сооружений выполняют совокупность операций, связанных с выявлением и проверкой состояния, а также работоспособности обследуемых строительных объектов и отдельных их элементов. Эти операции могут быть разбиты на следующие основные комплексы [1 – 5]:

1) освидетельствования, включающие операции по осмотру, проверке размеров, выявлению качества материалов, дефектоскопии и уточнению других факторов, определяющих состояние сооружения;

2) испытания, под которыми понимается проверка поведения исследуемого объекта при приложении к нему внешних нагрузок (статических и динамических), изменение температуры и влажности

внешней среды и т.д.;

3) перерасчеты на прочность, деформируемость, трещиностойкость как отдельных, входящих в состав сооружения конструкций, так и всего объекта в целом, проводимые на основании фактических данных, полученных в результате освидетельствования и испытания.

Классификация освидетельствований и испытаний может производиться по различным признакам. Приведем главнейшие из них.

Классификация по цели исследования [1 – 5]: а) приемочные освидетельствования и испытания законченных строительных объектов перед сдачей их в эксплуатацию; б) освидетельствования и испытания объектов, находящихся в эксплуатации, как плановые, так и назначаемые в особых случаях, например, для установления фактической несущей способности сооружения в связи с предстоящей его реконструкцией, после аварии и т.д.; в) испытания деталей и элементов на заводах–изготовителях; г) научно-исследовательские испытания.

Классификация по объектам исследования [1 – 5]: а) натурные освидетельствования и испытания, проводимые на реальных объектах; б) испытания отдельных конструкций и их элементов на специальных установках или стендах, проводимые как в лабораториях для испытаний строительных конструкций, так и на строительных полигонах и площадках; в) испытания на моделях, воспроизводящих в уменьшенном масштабе или исследуемое сооружение в целом, или отдельные его детали. Модельные испытания, как правило, проводятся в лабораторных условиях.

Классификация по характеру приложенной нагрузки [1 – 5]: а) статические испытания; б) динамические испытания.

Более подробная характеристика каждой из этих групп будет рассмотрена ниже.

Нормативные требования к строительным конструкциям и сооружениям [1 – 5]. К любым сооружениям предъявляются следующие

требования:

- все сооружения, а также отдельные их элементы должны быть прочны и устойчивы, т.е. должна быть обеспечена несущая способность сооружений при действии нагрузок статического, динамического или вибрационного характера;
- перемещения элементов не должны выходить за пределы, обусловленные требованиями, возможностью и удобством эксплуатации;
- не должны возникать трещины и повреждения, ухудшающие внешний вид, нарушающие возможность нормальной эксплуатации или снижающие долговечность сооружений.

В то же время не должны допускаться и излишние запасы как в отношении классов и марок применяемых материалов, так и в отношении сечений отдельных элементов, а также и в конструктивной системе сооружения в целом.

Наблюдения за состоянием построенных зданий и сооружений, уроки аварий и катастроф, опытные данные, получаемые в лабораториях и при натурных испытаниях конструкций, помогли понять, что принимаемые при проектировании теоретические расчетные схемы в той или иной мере не всегда соответствуют действительной работе возведенных объектов. Несоответствия, характерные для стадии проектирования, сохраняются в течение всего срока эксплуатации сооружения, дополняясь и преобразовываясь под влиянием новых факторов, возникающих на различных этапах эксплуатации сооружения. Уточнение знаний о действительной работе конструкций достигается на основе анализа опытных данных. Это и определяет практическое значение и актуальность экспериментальных методов исследования строительных конструкций сооружений. Надежность и долговечность строительных конструкций обеспечивается в том случае, когда поперечные сечения, узлы сопряжений, соединения, назначенные при проектировании с учетом генеральных размеров и

действия всевозможных нагрузок, обладают достаточной прочностью, устойчивостью, трещиностойкостью, а также обеспечивают развитие деформаций не более чем в допустимых пределах и необходимую коррозионную стойкость. Реализация этих требований должна достигаться при минимальных затратах материалов и денежных средств.

Дифференцированно с большой точностью учесть влияние каждого из факторов, влияющих на работу конструкций при проектировании обычно не удастся. Поэтому проектировщики составляют конструктивную схему здания и, оперируя комплексом нормативных нагрузок, прочностных характеристик материалов, системой частных коэффициентов запаса, принятых в СНиП, назначают расчетную схему, наиболее соответствующую, по их представлению, действительной работе конструкций. Заложенные в СНиП требования и параметры постоянно уточняются исследованиями и, соответственно, исправляются. Применяемые расчетные схемы являются идеализированными подобиями конструкций и в какой-то степени не соответствуют их действительной работе, а все расчеты содержат элементы условности, которые необходимо уметь правильно оценивать. Практика показывает, что при оценке состояния и работы сооружений, находящихся в эксплуатации, необходимо учитывать [1–5]:

- условность статических расчетных схем и возможные отклонения вычисленных по ним усилий от действительного распределения их в конструкциях сооружений;

- условность применяемых расчетных характеристик материалов;
- возможные отклонения нагрузок от расчетных значений;
- фактическое влияние внешней среды.

Оценить влияние всего комплекса перечисленных факторов теоретическим путем часто бывает невозможно. Выход из этого положения один – экспериментальное исследование материалов и конструкций. Таким

образом, испытание сооружений не теряет своей актуальности, оставаясь и в перспективе единственно достоверным способом для оценки влияния допущений, принимаемых в расчетах, соответственно влияющих на надежность и долговечность сооружений.

Условность расчетных схем конструкций и характеристик строительных материалов [1–5]. Расчетную схему сооружения назначают исходя из конструктивной схемы, стараясь обеспечить, возможно, более полное совпадение расчетных усилий с усилиями, которые будут возникать в натурной конструкции. Так как дифференцированно удовлетворять в расчетной схеме всем условиям работы конструкции бывает трудно, то часть второстепенных факторов обычно не учитывают, то есть подменяют действительную работу конструкций упрощенной «идеализированной» расчетной схемой – например, при расчетах железобетонных рам с жесткими узлами на вертикальную нагрузку ригель рассчитывают как изгибаемый элемент, а действием продольной силы и горизонтальным смещением узлов пренебрегают. При расчетах стальных ферм, например, принимают, что соединение элементов решетки с поясами в плоскости фермы шарнирное, тогда как в местах крепления стержней к фасонкам образуются жесткие узлы и, следовательно, возникают изгибающие моменты, вызывающие дополнительные напряжения в фасонках, а также изгиб стержней вблизи узлов. Расчет с учетом этих дополнительных усилий сложен и трудоемок поэтому жесткостью узлов пренебрегают. Так как принятое допущение снижает несущую способность ферм, то недостаток расчетной схемы восполняют конструктивными приемами. При опирании однопролетной балки на кирпичную стену эпюру напряжений в опорной части принимают прямоугольной или треугольной, хотя фактически она имеет более сложное очертание. В результате этих допущений изменяется расчетная длина пролета. Подобные допущения неизбежны при любых расчетных

схемах, поэтому важно правильно оценить их влияние на расчетные усилия в конструкции.

Все расчеты строительных конструкций производятся по нормативным и расчетным характеристикам, регламентированным СНиП. При определении расчетных нагрузок нормативные нагрузки умножают на коэффициенты надежности, установленные СНиПами в пределах статистически возможных отклонений с учетом климатических условий, назначения и очертания объекта. Нормативные величины сопротивления материалов корректируют коэффициентами надежности по материалам с учетом коэффициентов условий работы. Считается, что конструкция находится в предельном состоянии при достижении этих условных характеристик (напряжений, деформаций и т.д.), тогда как оценку состояний конструкции в натуре производят по действительным нагрузкам, прочности и деформациям. Отсюда возникает некоторое несоответствие расчетной схемы и действительной работы конструкции, которое приводят к недоучету перегрузки конструкции или, наоборот, к «фиктивному» перегружению ее.

В классических курсах сопротивления материалов, строительной механики, теории упругости и строительных конструкций исходят из того, что все материалы действительно являются «абсолютно» плотными, сплошными, однородными и изотропными телами, тогда как в действительности конструкции выполняются из реальных материалов, свойства которых отличаются от идеализируемых и которые всегда имеют поверхностные и внутренние трещины, поры, неоднородности и другие дефекты. В результате наличия дефектов прочность материалов может оказаться меньше проектной. Особенно опасны поверхностные дефекты с острыми углами, на краях которых при действии на тело внешних сил возникает концентрация напряжений, т.е. образуется вторичное поле напряжений.

Разрушение начинается, когда напряжения в пиках концентрации напряжений приближаются к физической (теоретической или идеальной) прочности материала. Наличие дефектов в реальных условиях работы конструкций приводит к снижению прочности до уровня технической, которой пользуются в практике. Она в сотни и даже иногда в тысячи раз меньше физической прочности. Например, прочность бетона на растяжение не превышает $R_{bt} < 0.00015E_b$, т.е. меньше $R_{теор}$, по крайней мере, в 600 раз. Например, неправильный уход за бетоном, может привести к увеличению его трещиноватости и еще большему снижению прочности. Значительное влияние на прочность материала оказывает также его анизотропность. Например, в древесине прочность вдоль и поперек волокон, разная, и это учитывается в расчетах, а разница прочности бетона вдоль и поперек направления уплотнения при вибрировании, или в металле вдоль и поперек проката в расчетах не учитывают. В таких случаях теоретические расчеты оказываются малоэффективными и для оценки отклонений от расчетных характеристик производят испытания в натурных условиях.

Целями и задачами технической диагностики любых конструкций и сооружений является разработка методов и средств, предназначенных для качественной и количественной оценки показателей, характеризующих конструктивные и эксплуатационные свойства и состояние функционирующих объектов, их элементов и материалов, а также составление рекомендаций по их дальнейшей эксплуатации в соответствии с техническими требованиями [1–5]. Техническая диагностика несущих конструкций мостовых сооружений имеет главную цель – определить действительное техническое состояние конструкций, их способность воспринимать действующие в данный период расчетные нагрузки и обеспечивать нормальную эксплуатацию здания. Основными компонентами технической диагностики являются обследование и

испытание сооружения и его отдельных элементов и конструкций. При обследовании выявляют дефекты конструкций, отступления от проекта и от действующих на данный период норм и технических условий, а также уточняют действительную работу конструкций на реальные эксплуатационные нагрузки. В результате обследования выявляют также степень физического износа отдельных конструкций, узлов и здания в целом, возможные причины нарушения нормальной эксплуатации или аварии. В задачи обследования могут входить поиски наилучших вариантов усиления и реабилитации конструкций, приспособляемости здания под новые нагрузки и условия эксплуатации при его предполагаемой реконструкции. Если обследование проводится после аварии, анализируют ее причины, целесообразность и возможность восстановления здания или отдельных его частей. При рыночной оценке стоимости здания также проводится обследование конструкций и здания в целом, на основании которого можно судить об износе конструкций и снижении первоначальной стоимости здания, о будущих затратах на устранение дефектов и расходах на ремонт.

Обследование может быть полным или выборочным – наиболее ответственных конструкций, находящихся в неблагоприятных условиях или уже получивших повреждения и вызывающих сомнения в надежности конструкций и безопасности людей. Обследование строительных конструкций зданий и сооружений содержит методы контроля качества изготовления и монтажа элементов конструкций, обеспечивающих соответствие объекта проектным значениям, а также отображение действительной работы систем. Так, на заводах железобетонных изделий выпускаемые железобетонные мостовые конструкции должны удовлетворять соответствующим техническим требованиям. Устанавливаются допускаемые отклонения от проектных размеров по длине, ширине, толщине, неплоскостности, разности длин диагоналей, смещению

закладных деталей, толщине защитного слоя. Материалы, применяемые для приготовления бетона, должны удовлетворять требованиям стандартов на эти материалы и обеспечивать получение бетона заданных классов по прочности и марок по морозостойкости. Толщина защитного слоя бетона для рабочей арматуры должна соответствовать значению, указанному в рабочих чертежах. Поверхности бетона должны быть гладкими, должны отсутствовать жировые и ржавые пятна, раковины и открытые воздушные поры, а стальные закладные детали и выпуски арматуры должны быть защищены от коррозии [1–5].

Изучение состояния монтируемой или эксплуатируемой конструкции при работе в реальных условиях обеспечивается теми же методами, что и при контроле качества их изготовления, но зачастую возникает ситуация, когда для эксплуатируемого объекта отсутствует проектная и рабочая документация. Тогда для восстановления последней требуется детальное изучение реальных условий работы системы. К подобной ситуации можно отнести и тот случай, когда необходимо определить работоспособность системы с учетом отклонения ее параметров от проектных. Повышенные требования предъявляются к методам обследования при анализе причин аварий вследствие повреждений конструкций в процессе монтажа и эксплуатации, а также катастроф – аварий, повлекших за собой человеческие жертвы. Проводимые обследования строительных конструкций и сооружений позволяют выявить наиболее характерные дефекты и разработать рекомендации по уточнению методов расчета тех или иных конструкций, улучшить их конструктивные схемы, технологию изготовления и монтажа.

Целью обследования эксплуатируемых мостов и искусственных сооружений является установление их физического состояния, с тем, чтобы полученные данные в последующем использовать при решении вопросов их дальнейшего содержания. При обследованиях ведут

детальный осмотр всех частей сооружения. В тех случаях, когда в этом есть необходимость, осмотр сопровождается инструментальными измерениями с применением различных приборов и аппаратуры.

Работы по обследованию обычно выполняют в два этапа. На первом этапе, которому предшествует детальное изучение технической документации, производят общий осмотр. На основании данных общего осмотра выявляют детали и элементы, которые затем подвергают более тщательному осмотру с измерениями приборами и инструментом. Такие элементы и детали выбирают из числа имеющих повреждений или дефекты. По мере необходимости определяют качество материалов и их прочностные и деформативные характеристики. Для проверки положения различных частей сооружения в горизонтальной и вертикальной плоскостях производят съемку плана и профиля. Обследование производят по заранее разработанному плану, а его результаты регистрируют в специальных журналах с зарисовками и эскизами. Характерные дефекты рекомендуется фотографировать.

По материалам обследований решают вопросы оценки качества транспортных сооружений, их пригодности к дальнейшей эксплуатации, определяют несущую способность конструкций, разрабатывают рекомендации по ремонту и усилению отдельных частей, устанавливают условия эксплуатации. В особо ответственных случаях материалы обследований дополняют испытаниями конструкций сооружения под нагрузкой.

Основная задача испытаний сооружений или конструкций заключается в установлении соответствия между их реальным поведением и выбранной для анализа расчетной схемой [1–5]. Сооружения представляют собой достаточно сложные технические системы, состоящие из большого числа элементов, работающих в условиях сложного напряженно-деформированного состояния и образующих

пространственные конструкции. Несмотря на существенное развитие современной строительной механики и широкое использование в расчетах сооружений современной компьютерной техники возникает необходимость идеализации расчетных схем, которые учитывают лишь основные свойства и поведение реальных конструкций. Кроме того, поведение строительных конструкций связано с рядом факторов, носящих случайный характер, например, прочностные характеристики даже такого однородного материала, как сталь, подвержены разбросу. Так, анализ пределов текучести для стали марки Ст. 3, проведенный ещё Н. С. Стрелецким, показал, что предел текучести может изменяться от 200 до 320 МПа. Еще больший разброс прочности имеют бетон и древесина. Значительной изменчивостью характеризуются нагрузки, действующие на строительные конструкции, здания и сооружения: собственный вес, ветер и снег, технологические и крановые нагрузки и др.

Процесс изготовления отдельных элементов конструкций, их транспортировка и монтаж также влияют на возможность появления случайных отклонений от заданных размеров. Эти отклонения регламентируются соответствующими технологическими допусками. Цель испытаний – выявление поведения инженерных сооружений, конструкций и материалов, из которых изготовлены их элементы. Испытания могут проводиться как в лабораториях на моделях, так и на реальных объектах.

3.2. Техническая диагностика общего состояния эксплуатируемых транспортных сооружений

Технической диагностикой называют науку о распознавании и определении технического состояния сооружения. Под *техническим состоянием* понимается состояние сооружения, которое характеризуется в определенный момент времени, при определенных условиях внешней

среды значениями параметров, установленными технической документацией. К видам технического состояния относят исправное, работоспособное, неисправное, неработоспособное в зависимости от значений параметров в данный момент времени [1–5].

Согласно ГОСТ 20911-89 методология технической диагностики эксплуатируемых искусственных сооружений включает два основных направления:

- оценку технического состояния в целях обеспечения режима дальнейшей эксплуатации;
- прогнозирование технического состояния в целях определения вероятностей сохранения работоспособного состояния на заданный интервал времени.

Техническое диагностирование искусственных сооружений, эксплуатируемых на железных дорогах, включает такой важный оценочный показатель, как *работоспособность*. В соответствии со стандартами работоспособное техническое состояние – состояние сооружения, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и конструкторской документации.

Работоспособность мостов и труб, эксплуатируемых на железных дорогах, оценивают [5]:

- по четырем категориям технического состояния, каждая из которых характеризует степень повреждения конструкций и устанавливает требуемый вид ремонта для обеспечения режима дальнейшей эксплуатации;
- по пяти категориям грузоподъемности, каждая из которых характеризует класс несущей способности конструкций с позиций обеспечения безопасного пропуска по ним классифицируемых временных подвижных нагрузок.

Целью технической диагностики эксплуатируемых искусственных сооружений является повышение их надежности. Под эксплуатационной надежностью понимают свойство сооружения сохранять во времени в установленных пределах значения контролируемых параметров, характеризующих способность обеспечивать безопасный режим эксплуатации в заданных условиях.

Эксплуатационная надежность является комплексным свойством, для мостов и труб ее оценивают *по трем основным показателям* [5, 6]:

- вероятности безотказной работы (безотказность);
- долговечности (остаточный срок службы, технический ресурс);
- ремонтпригодности (фактическая наработка на ремонт, межремонтный срок).

Оценку технического состояния искусственных сооружений на железных дорогах осуществляют в процессе контроля качества эксплуатации (см. табл. 1.1). При этом на основе анализа информации о наличии и степени развития повреждений дается оценка приоритетности ремонтных работ. Она производится одномоментно, по мере поступления достоверной информации (с использованием информационно-аналитической системы АСУ ИССО). Но при рассмотрении тенденций, которые приняты в стратегии эксплуатации мостовых сооружений, одним из определяющих является вопрос изменения технического состояния во времени. Виды ремонтов и объемы ремонтно-восстановительных работ для каждой стратегии определяют не только с учетом степени повреждения сооружений, но и прогноза изменения фактического состояния в реальных условиях эксплуатации.

Таким образом, техническая диагностика и оценка показателей эксплуатационной надежности искусственных сооружений базируются на изучении и анализе фактического поведения конструкций в реальных условиях эксплуатации с учетом воздействия комплекса природно-

климатических факторов окружающей среды, внешних силовых нагрузок, внутренних удерживающих от разрушения сил, свойств строительных материалов.

Объем обследования зависит от состояния пролетных строений и опор моста, а также от наличия полноты и достоверности имеющейся проектной и исполнительной документации.

При обследовании железобетонных мостов должны выявляться все неисправности, и в первую очередь, снижающие грузоподъемность или долговечность пролетного строения [6]:

- 1) коррозия арматуры;
- 2) потеря сцепления с бетоном стержней рабочей арматуры, в том числе выключение стержней из работы;
- 3) значительные раковины или сколы бетона, а также участки с бетоном пониженной прочности;
- 4) трещины, независимо от их раскрытия, заходящие в расчетную сжатую зону бетона; наклонные трещины любого раскрытия в стенке балок, опор; продольные трещины в месте сопряжения главной балки с плитой; трещины любого направления с раскрытием более 0,3 мм;
- 5) уменьшенная по сравнению с проектной площадь поперечного сечения стержней рабочей арматуры;
- 6) отклонения размеров расчетных поперечных сечений балок или плит от проектных, особенно в сторону уменьшения;
- 7) неправильности в расположении и недостаточная подвижность опорных частей;
- 8) другие повреждения, которые могут снизить грузоподъемность и долговечность пролетного строения и опор.

Все неисправности и другие данные обследования, характеризующие физическое состояние пролетного строения и опор, в том числе трещины, фиксируются и наносятся на опалубочные чертежи или специальные

схемы.

Коррозия арматуры может возникать в местах разрушения защитного слоя из-за недостаточной его толщины или вследствие проникновения влаги через трещины. Коррозия арматуры может быть обнаружена визуально в местах обнажения стержней, а также по ржавчине, выступающей на поверхности бетона. Отслоение защитного слоя может быть установлено путем его простукивания, а также по появившимся в нем трещинам вдоль арматурных стержней.

Коррозированная арматура подлежит замеру в местах ее обнажения и в местах разрушения защитного слоя – отслоения или пучения бетона. Для замера диаметра стержень должен быть предварительно очищен от ржавчины. Замер диаметра стержня может быть выполнен при помощи штангенциркуля или другого инструмента. На чертежах (схемах) должны быть отмечены стержни, пораженные коррозией, и указаны их фактические диаметры и расположение.

Потеря сцепления с бетоном рабочей арматуры может возникнуть в местах отслоения защитного слоя. К потерявшим сцепление относятся арматурные стержни, не имеющие сцепления с бетоном по всему периметру или на большей части периметра стержня. На схемах должно быть указано количество и положение стержней, потерявших сцепление с бетоном.

Сколы бетона, раковины и участки с нарушенной структурой бетона (ноздреватый бетон, бетон со следами выщелачивания, бетон с усадочными трещинами) обнаруживаются при осмотре или путем простукивания. Расположение этих дефектов с указанием их размеров приводится на чертежах (схемах).

На чертежах (схемах) указываются все трещины, обнаруженные на открытых поверхностях бетона. Замеры производятся в местах наибольшей ширины трещин, с записью результатов замеров на схеме.

Замеры трещин должны производиться в основном бетоне; на оштукатуренных поверхностях слой штукатурки в местах замеров должен быть снят.

Фактическая прочность бетона определяется при обследовании пролетных строений с помощью склерометра. Для плитных пролетных строений места испытания бетона следует выбирать в середине пролета и вблизи опорных сечений, в верхней зоне плиты и в местах сопряжения с тротуарными консолями.

Прочность бетона определяется с обеих сторон пролетного строения. Для ребристых пролетных строений участки испытания бетона намечают в середине пролета на нижней поверхности плиты и на ребрах в верхней их части. Кроме того, испытанию должны подвергаться участки бетона с нарушенной структурой (выщелачиванием, усадочными трещинами и др.).

В металлических мостах основными неисправностями и повреждениями являются: расстройство заклепочных и болтовых соединений; усталостные трещины, коррозия и механические повреждения. Расстройство заклепочных соединений является наиболее распространенной и прогрессирующей неисправностью металлических мостов.

Главная причина расстройства заклепок – механический износ соединений, который зависит, главным образом, от величины взаимных суммарных перемещений (сдвигов) соединяемых элементов по поверхностям их контактов. С возрастанием концентрации напряжений у заклепочных отверстий увеличивается скорость появления усталостных трещин.

Расстройство заклепочного соединения происходит неравномерно. Сначала ослабляются заклепки крайних наиболее напряженных рядов. Заклепочные соединения с односрезными заклепками при прочих равных условиях расстраиваются быстрее, чем двухсрезные. Слабые заклепки

обнаруживают отстукиванием их молотком массой 0,2 кг. Обнаруженные слабые заклепки следует заменить высокопрочными болтами.

Металлические пролетные строения мостов, длительное время находящиеся в эксплуатации, обычно имеют коррозионные повреждения, которые уменьшают площадь сечения элементов и снижают их грузоподъемность.

Механические повреждения наиболее часто возникают в процессе эксплуатации в результате ударов негабаритных грузов по элементам пролетных строений. Поврежденные элементы необходимо тщательно осмотреть с целью выявления трещин. Искривления элементов создают в них дополнительные напряжения и уменьшают сопротивляемость продольному изгибу.

При обследовании опор необходимо проверять состояние видимой части фундамента, подводной и надводной частей опоры и подферменников, проверять положения опоры в вертикальной плоскости и ее высотные отметки, а также качество работ по содержанию опоры.

В опорах и фундаментах, прежде всего, необходимо обращать внимание на плотность и прочность бетона или кладки массива, трещины, проверять состояние поверхности опоры, выявляя раковины, сколы, истирание, выщелачивание бетона. Трещины являются опасным дефектом, так как вода, проникая в трещины и не имея выхода наружу, постепенно разрушает бетон. Необходимо проверять воду на агрессивность к бетону.

При обследовании мостов необходимо применять систему обозначения и счета элементов, принятую в Инструкции по диагностике мостовых сооружений. Следует обозначить [6]:

- номера опор 1,2,3... по ходу километража;
- номера пролетов 1,2,3... по ходу километража, т.е. пролет между опорами n и $n+1$ имеет номер опоры n ;
- главные балки (фермы, арки и т.д.) пролетных строений и звенья

водопропускных труб – цифрами, начиная с единицы, с левой стороны;

- консоли и подвесные пролетные строения приписываются соответствующим пролетам. Номера левой и правой консолей пролета записываются в виде $n/1$, $n/2$, а подвесных пролетных строений - в виде $n/П$;

- номера поперечных балок (диафрагм) в пределах пролета 1,2,3... по ходу километража, начиная с опорной;

- тротуары, перила, ограждения: 1(левый), 2 (правый);

- номера берегов, конусов: 1 (начало моста), 2 (конец моста).

Подготовка к проведению обследования. Подготовительные работы осуществляют с целью [3]:

- ознакомления с объектом обследования, с планировочными и конструктивными решениями;

- сбора и анализа исполнительной и производственно-технической документации (комплект исполнительной документации; копии сертификатов соответствия на продукцию, подлежащую обязательной сертификации; копии технических свидетельств, паспорта и другие документы, удостоверяющие качество; акты освидетельствования скрытых работ и акты промежуточной приемки; журналы производства работ; журналы на специальные виды работ; протоколы и акты испытаний строительных материалов; журналы лабораторного контроля; карточки подбора состава цементобетона; материалы выполнявшихся ранее обследований, карточка и книга сооружения). Представление необходимой технической документации осуществляется при обследованиях и испытаниях:

- сооружений, законченных строительством, ремонтом или реконструкцией, – генподрядной строительной организацией или, по ее поручению, субподрядной строительной организацией, осуществлявшей строительство (ремонт, реконструкцию) моста;

•эксплуатируемых сооружений – организацией, в ведении (на балансе) которой находится сооружение. При ознакомлении с производственно-технической и исполнительной документацией при обследовании вводимых в эксплуатацию сооружений следует обращать внимание:

•на правильность оформления отступлений от утвержденного проекта;

•на соответствие физических, механических и химических характеристик примененных строительных материалов требованиям проекта и ТНПА; – на наличие сертификатов соответствия на продукцию, подлежащую обязательной сертификации; – на соответствие условий выполнения работ (погодные условия, температура воздуха, влажность и т. д.) требованиям проекта и ТНПА;

•на наличие и правильность оформления актов освидетельствования скрытых работ и актов промежуточной приемки согласно ТКП [6].

Состав производственно-технической и исполнительной документации эксплуатируемых мостов включает в себя карточку сооружения, книгу сооружения, материалы проведенных ранее обследований и испытаний, а также комплект исполнительной документации.

При ознакомлении с производственно-технической и исполнительной документацией при обследовании эксплуатируемых сооружений следует обращать внимание:

•на степень выполнения выданных ранее рекомендаций по поддержанию сооружения в исправном состоянии;

•выполнение работ по содержанию и текущему ремонту сооружения и длительных наблюдений по рекомендациям организаций, проводивших обследование.

В результате изучения и анализа производственно-технической и

исполнительной документации устанавливают:

- тип и конструктивную схему сооружения;
- грузоподъемность сооружения (проектную и на момент обследования);
- габариты по ширине и по высоте;
- проектную организацию, главного инженера проекта (ГИПа), основные ТНПА на проектирование и год проектирования;
- строительную организацию, время строительства;
- сведения о проведенных ранее капитальных ремонтах и реконструкциях;
- сведения об авариях при строительстве и эксплуатации сооружения;
- сведения о проведенных ранее обследованиях и испытаниях;
- сведения о примененных конструкциях, геометрические размеры элементов и сооружения в целом;
- характеристики материалов, из которых выполнены конструкции;
- сертификаты и паспорта на примененные изделия и материалы;
- сведения о грунтах основания;
- сведения о пересекаемом препятствии;
- отступления от проекта и др.

На этапе подготовительных работ, при необходимости, составляют программу работ по обследованию, в которой указывают: цели и задачи обследования, перечень подлежащих детальному обследованию узлов, элементов; места и методы инструментальных исследований; места вскрытия конструкций и отбора проб материалов, исследований образцов в лабораторных условиях, перечень необходимых поверочных расчетов и др. Необходимость разработки программы устанавливает заказчик по предложению организации, выполняющей обследования.

Детальное (инструментальное) обследование [7]. Основной задачей

детального обследования является уточнение данных, полученных в результате общего обследования, и сбор необходимых для расчета грузоподъемности исходных данных. Детальное обследование включает:

- работы по обмеру сооружения и определению размеров поперечных сечений, стыков и креплений для оценки соответствия фактических геометрических характеристик сооружения (с учетом установленных допусков) характеристикам, указанным в производственно-технической документации;

- работы по инженерно-геологическим изысканиям (при необходимости);

- инструментальное определение параметров дефектов и повреждений;

- определение фактических характеристик материалов основных несущих конструкций и элементов сооружений;

- определение расчетных усилий в конструкциях от действия эксплуатационных нагрузок;

- расчет грузоподъемности сооружения с учетом данных, полученных при детальном обследовании;

- анализ причин появления дефектов и повреждений, разработка рекомендаций по их устранению;

- составление итогового документа (технического заключения, отчета) с выводами по результатам обследования и рекомендациями по режиму эксплуатации сооружения.

Объем работ по детальному обследованию определяет руководитель работ по обследованию сооружения. Сведений, полученных при детальном обследовании, должно быть достаточно для оценки технического состояния сооружения и назначения режима его эксплуатации. Все инструменты и приборы, применяемые при детальном обследовании,

должны быть проверены в установленном порядке. При установлении геометрических размеров сооружения, элементов и конструкций применяют линейки стальные по ГОСТ 427, штангенциркули по ГОСТ 166, рулетки измерительные по ГОСТ 7502, лазерные дальномеры, оптические и электронные теодолиты. С помощью геодезических приборов (нивелиров, тахеометров и теодолитов оптических и электронных) при обследованиях выполняют съемки с целью:

- оценки условий движения по сооружениям (или под ними) транспортных средств и определения соответствия этих условий требованиям, установленным в ТНПА;

- выявления качества и точности монтажных работ (на вновь построенных сооружениях);

- проверки величин уклонов, предусмотренных проектом и ТНПА;

- точного геодезического закрепления положения отдельных частей и элементов сооружения для выявления при последующих обследованиях изменений (в том числе деформаций), возникающих в процессе эксплуатации сооружения.

С помощью геодезических инструментов следует устанавливать:

а) на железнодорожных мостах и на мостах под пути метрополитена:

- продольный профиль рельсового пути (по отдельным ниткам);
- план рельсового пути (с привязкой его к оси моста или к осям пролетных строений);

- продольные профили главных ферм (балок) пролетных строений (кроме пролетных строений малых мостов с ездой на балласте);

- план главных ферм (балок) пролетных строений при приемке мостов в эксплуатацию и в других случаях при обнаружении их смещения в плане;

- высотное расположение характерных частей опор моста (подферменников, ригелей, обрезов фундаментов и пр.);

б) на автодорожных и городских мостах:

- продольные профили проезжей или пешеходной части (на пешеходных мостах);
- поперечные профили проезжей или пешеходной части;
- продольные профили главных ферм (балок) пролетных строений;
- план главных ферм (балок) пролетных строений;
- высотное расположение характерных частей опор моста.

При проверке высоты подмостового габарита путепроводов и эстакад следует производить съемки продольных и поперечных профилей пересекаемых нижележащих дорог. Инструментальные съемки следует производить по надежно закрепленным точкам или по долговременным маркам (в случае специальных длительных наблюдений) при благоприятных погодных условиях. Высотные отметки, как правило, следует увязывать с постоянными геодезическими реперами.

В материалах по инструментальным съемкам необходимо указывать время проведения съемок, погодные условия, типы и точность применяемых геодезических инструментов, использованные реперы. В необходимых случаях (например, при обнаружении просадок или наклонов опор, смещении пролетных строений, развитии трещин, возрастании овальности круглых труб и др.) следует устанавливать специальные долговременные марки для ведения длительных наблюдений. Виды наблюдений (измерений), а также их периодичность и применяемое при этом оборудование устанавливают при обследовании и фиксируют в итоговом документе по материалам обследований, а также в книге сооружения. Длительные наблюдения выполняются силами эксплуатирующей организации или могут поручаться заказчиком организации, выполнявшей обследование. Контрольные измерения и геодезические съемки при обследовании водопропускных труб следует проводить в соответствии с указаниями, приведенными в приложении А.

Для измерения продольных и поперечных уклонов мостового полотна и подходов допускается применять рейку для измерения уклонов (механическую или электронную). Для определения прочностных характеристик бетона обследуемых конструкций следует применять механические методы неразрушающего контроля по ГОСТ 22690, ультразвуковые методы по ГОСТ 17624, методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций, по ГОСТ 28570. Перечень рекомендуемых приборов и методика статистической обработки результатов инструментальных исследований приведены в приложении Б. Для определения местоположения арматуры в обследуемой конструкции и фактического значения толщины защитного слоя бетона следует использовать приборы, действие которых основано на магнитном методе определения местоположения арматуры и толщины защитного слоя бетона по ГОСТ 22904: детекторы, металлоискатели и т. п. Для оценки морозостойкости и водонепроницаемости бетона при обследованиях допускается применять приборы, действие которых основано на измерении вакуумметрического давления, создаваемого внутри камеры типа «АГАМА-2», ВВ-2 и т. п. Влажность бетона и древесины конструкций следует определять по ГОСТ 21718, используя влагомеры, действие которых основано на диэлькометрическом методе, типа МГ-4, ВИМС-1, ВСМ.

Для определения размеров конструкции и положения фундаментов мостов, плотности и влажности грунтов основания сооружения следует использовать георадары, действие которых основано на получении импульсов электромагнитных волн и регистрации сигналов, отраженных от границ раздела слоев зондируемой среды, имеющих различие по диэлектрической проницаемости, типа «Зонд-10», «Зонд-12», «Око». Толщину покрытий на металлических поверхностях мостовых конструкций следует определять по ГОСТ 12997 с использованием

толщиномеров. Для съемки профиля русла и промеров глубин в зоне мостового перехода, выявления размывов и наносов следует использовать эхолоты с глубиной эхолокации не менее 25 м. Для обнаружения и оценки глубины трещин в стальных конструкциях сооружений следует использовать ультразвуковые дефектоскопы, обеспечивающие уровень чувствительности по ГОСТ 21105. Для определения ширины раскрытия трещин в конструкциях следует использовать микроскопы отсчетного типа (типа микроскопа Бриннеля). Оценку вероятности коррозии арматуры рекомендуется выполнять, применяя метод измерения разности электрических потенциалов, производя, при необходимости, контрольные вскрытия, или по СТБ 1168. Определение степени карбонизации бетона при обследовании следует производить согласно СТБ 1481. В полевых условиях для получения экспресс-информации о степени карбонизации защитного слоя бетона допускается применять оценочный метод измерения глубины карбонизации, который заключается в увлажнении свежего сухого бетонного скола поверхности индикаторной жидкостью (1%-ным спиртовым раствором фенолфталеина или тимолфталеина). Поверхность бетона, сохраняющего защитные свойства по отношению к арматуре, окрашивается в ярко-малиновый цвет, а поверхность прокарбонизированного бетона остается бесцветной. При применении этого метода в документации следует указывать среднюю измеренную глубину карбонизации и наибольшую единичную. Физико-механические свойства стали мостовых конструкций определяют согласно ГОСТ 1497, а химического состава – согласно ГОСТ 19281.

3.3. Методология обследования конструкций мостовых сооружений

Обследование строительных конструкций осуществляется на основе

технического задания и включает в себя следующие этапы и мероприятия [1–5]:

1. Составляется программа обследования с обязательными мероприятиями по технике безопасности при проведении работ.

2. Производится *предварительное или общее (рекогносцировочное) обследование* с общим визуальным осмотром объекта исследования в натуре, выявлением возможных аварийных участков. Определяются начало и период строительства, предполагаемых изменений в эксплуатации объекта (ремонта, перестройки, перепланировки, возможных аварий).

3. При этом приступают к изучению всей имеющейся по объекту технической документации. При обследовании сооружений, предназначенных к сдаче в эксплуатацию, необходимо ознакомиться с проектной и строительно-монтажной документацией, рабочими чертежами, обращая особое внимание на акты скрытых работ, журналы производства работ, заключения предшествующих обследований, паспортов на оборудование и т. д. При освидетельствовании объектов, находящихся в эксплуатации, дополнительно должны быть изучены акты сдачи в эксплуатацию, паспорта сооружений, журналы эксплуатации, документы о проведенных ремонтах, реконструкциях и другие имеющиеся материалы, характеризующие службу сооружения. Устанавливают соответствие между предъявленной документацией и сооружением в натуре. Выявленные расхождения фиксируются, оцениваются и устанавливаются их причины. В объектах, сданных в эксплуатацию, проверяется устранение недоделок, отмеченных в актах приемки.

4. Изучаются условия эксплуатации, включая температурно-влажностный режим, агрессивность среды. Берут пробы воздуха, пыли, воды и т. д. для химического анализа.

5. Осуществляются инженерно-геологические и гидрогеологические

исследования, позволяющие оценить состояние грунтов основания, наличие и агрессивность грунтовых вод. Эти изыскания рекомендуется проводить при отсутствии рабочих чертежей фундаментов сооружений, исполнительных документов об инженерно-геологических условиях площадки строительства либо при расположении объекта на сложных в геологическом отношении основаниях. При этом проводят бурение скважин или отрывают шурфы вблизи стен подвала или фундаментов и проводят лабораторные исследования грунтов.

6. Далее производится обмер конструкций, узлов и элементов с целью проверки соответствия фактических размеров проектным. Устанавливаются генеральные размеры конструкций (пролетов, высот и т. д.), контролируются сечения элементов, от соблюдения которых зависит напряженно-деформированное состояние элементов конструкций в процессе их службы. При наличии рабочих чертежей объекта необходимо дополнительно уточнить в натуре основные геометрические размеры, отметки, прямолинейность путей подкрановых конструкций, расположение, количество и диаметры заклепок, болтов, длины и катеты сварных швов, армирование сечений железобетонных конструкций, наличие связей, габариты опорных столиков, закладных деталей и многое другое, необходимое для проверочных расчетов конструкций.

При отсутствии проектной документации или рабочих чертежей – составляются обмерочные чертежи конструкций, узлов, планов, разрезов, фасадов здания или сооружения, производится их фотографирование. В отдельных случаях (если это важно с точки зрения эксплуатации или при наличии обнаруженных при осмотре отклонений) проверяются также горизонтальность перекрытий, соблюдение заданных уклонов, вертикальность несущих элементов и ограждений, условия опирания и т. д. Для относительно небольших сооружений эти контрольные измерения не являются сколько-нибудь сложными и выполняются с помощью стальных

рулеток, отвесов, нивелиров и т.п. При освидетельствовании крупных сооружений и объектов сложной конфигурации применяют специальные инструменты для обеспечения точности и скорости съемки.

При составлении обмерочных чертежей уточняют геометрические размеры конструкций с точностью до сантиметра; размеры сечений толщины и длины швов – с точностью до миллиметра. Сечения замеряют в двух - трех местах по длине стержня. В состав обмерочных чертежей должны входить: 1) планы этажей здания с указанием осей, расстояний между ними, отметок, расстановки оборудования и т. д.; 2) поперечные разрезы с показом основных конструкций здания и схематично-технологического оборудования. Например, в цехах необходимо показать мостовые краны, прессы и т. д.; 3) продольные разрезы (схематично); 4) план фундаментов; 5) схемы расположения колонн, балок и связей; 6) чертежи колонн, ферм, подкрановых и тормозных балок и т. д.; Для увеличения точности замеров большеразмерных конструкций пользуются рулеткой. Растягивают ее полностью вдоль, например, стены и отсчитывают расстояние до проема, далее простенка и т. д. с нарастающими значениями длины. Затем из последующего значения вычитают предыдущее и получают размеры окон, простенков и т. д. с большей точностью, чем при замерах последовательно одного проема, простенка и т. д.

При замерах подкрановых конструкций необходимо выполнить геодезическую съемку всех путей, определить их отклонения от базисной линии, найти отметки головки рельса и подкрановых балок. Затем составить профили путей и схемы их горизонтального положения.

7. Затем производится *детальное обследование* элементов объекта с выявлением повреждений конструкций в виде износов, дефектов, нарушений сплошности (отверстия, сколы, раковины и др.), расслоений, увлажнений и замораживания материалов конструкций. Детальный осмотр конструкции следует начинать с наиболее ответственных элементов. Несу-

щие элементы с дефектами условно можно разделить на две группы: 1) элементы, в которых имеют место отклонения, не вызывающие видимых разрушений; 2) элементы с локальными разрушениями. Выявляя в ходе осмотра *дефекты первой группы*, особое внимание следует обратить на опорные части, заделки и соединения и проверять их состояние и условия работы. Необходимо проверить правильность опирания и крепления опорных площадок, качество сварки, ослабления болтовых соединений. Проверая состояние сварных швов, в первую очередь следует осмотреть швы в узлах, к которым примыкают стержни с большими растягивающими и сжимающими усилиями. При осмотре необходимо зафиксировать лишние монтажные швы, которые могут изменить расчетную схему конструкции. С особой тщательностью необходимо осмотреть сжатые элементы металлических конструкций. Погнутости сжатых стержней являются одним из наиболее часто встречающихся дефектов металлических ферм. Детальному осмотру подлежат также вертикальные и горизонтальные связи, узлы примыкания связей к фундаментам, обеспечивающие пространственную жесткость сооружения.

К дефектам второй группы, выявляемым при детальном осмотре, относятся ослабления элементов, вызванные местными разрушениями. Это могут быть срезы болтов, надрезы, сколы, обрывы отдельных элементов конструкций и т. д.; выявляется наличие коррозии, гнили и других повреждений материала, ухудшающих работу конструкций и снижающих несущую способность сооружения.

Обязательно осматриваются связи, настилы и прочие элементы, обеспечивающие требуемую пространственную работу сооружения, и проверяется правильность их опирания и крепления. Отмечается (при осмотре – визуально) наличие осадок, деформирования и взаимных смещений элементов. Производится анализ причин дефектов. При этом возможны работы по вскрытию полов, чердачных перекрытий, заделанных

в стены опорных узлов балок и т. д. По результатам детального осмотра дается предварительная оценка состояния сооружения в целом и намечается план дальнейшего проведения освидетельствования (инструментальных съемок, проверки качества материала в сооружении и т.д.). Выявленные дефекты перечисляются в ведомости дефектов. К этой ведомости прикладываются необходимые чертежи, зарисовки и фотографии, по возможности указываются причины повреждений и степень их развития. Особо отмечаются дефекты, требующие немедленного устранения, и указываются рекомендуемые сроки проведения ремонтно-восстановительных работ.

8. На этапе детальных обследований проводят инженерно-геодезические работы по определению достоверного положения сооружения и его частей (отметки, крены и т. д.), в том числе установление точных геометрических осей конструкций и определение размеров труднодоступных частей сооружения.

9. Оценка качества материалов, примененных в конструкциях, включающая отбор образцов (проб) материала, химический анализ, стандартные испытания образцов, статистическую обработку данных испытаний и выводы о прочности, деформативности и других свойствах бетона, арматуры, марок кирпича и раствора и т. д.

10. Уточняются нагрузки, действующие на конструкции: масса конструкций и оборудования, временных нагрузок, влияние температур, осадков и т. д. Найти действительные нагрузки и возможные их сочетания можно опытным путем и руководствуясь нормами.

При обследовании конструкций необходимо также выяснить, как приложены нагрузки к несущим конструкциям. Встречаются случаи, когда в период эксплуатации были заменены деревянные прогоны и обрешетка на оцинкованные штампованные настилы. При этом они опирались на верхний пояс ферм, вызывая в нем дополнительный, не учтенный ранее,

изгибающий момент. Много случаев подвески к панелям ферм трубопроводов, воздухопроводов в промежутке между узлами, что также чревато перенапряжениями и большой деформативностью этих элементов. Особо следует обратить внимание на нагрузки, вызывающие колебания конструкций. Это могут быть станки, прессы и другое оборудование, которое установлено в соседних зданиях, но их работа также существенно влияет на напряженное состояние и может быть причиной дефектов обследуемых конструкций [1–5].

11. Обследуя конструкции, необходимо помнить, что при проектировании часто не учитывают действительные условия работы конструкции, так как их учет сопряжен с большими сложностями расчета. Поэтому выявление действительной расчетной схемы здания в целом и его отдельных конструкций является весьма важным. Расчетную схему сооружения назначают исходя из конструктивной схемы, стараясь обеспечить, возможно, более полное совпадение расчетных усилий с усилиями, которые будут возникать в натурной конструкции. Так как дифференцированно удовлетворять в расчетной схеме всем условиям работы конструкции бывает трудно, то часть второстепенных факторов обычно не учитывают, то есть подменяют действительную работу конструкций упрощенной «идеализированной» расчетной схемой – *например*, при расчетах железобетонных рам с жесткими узлами на вертикальную нагрузку ригель рассчитывают как изгибаемый элемент, а действием продольной силы и горизонтальным смещением узлов пренебрегают [1–5].

Необходимо определить характер закрепления концов стержней, их неразрезность, тип опор, возможность совместной пространственной работы ряда конструкций, пространственной работы здания в целом. Например, расчетную схему стропильной фермы принимают в виде шарнирно-стержневой модели, а при конструировании вводят узлы с

фасонками и сварными швами, что создает защемление стержневых элементов в узлах. Пока ферма работает упруго, жесткость соединения уменьшает прогибы фермы и частично осевые усилия в раскосах и стойках, а при переходе в пластическую стадию отмечается обратное. Расчет с учетом этих дополнительных усилий сложен и трудоемок. Поэтому жесткостью узлов пренебрегают. Принятое допущение снижает несущую способность ферм, поэтому недостаток расчетной схемы восполняют конструктивными приемами. Еще один пример: считают, что колонна защемлена в фундаменте, а в действительности из-за разных по величине напряжений в грунте под плитой фундамента происходит его неравномерная осадка и поворот фундамента, что изменяет напряженное состояние в стойках и ригеле рамы. При опирании однопролетной балки на кирпичную стену эпюру напряжений в опорной части принимают прямоугольной или треугольной, хотя в действительности она имеет более сложное очертание. В результате этих допущений изменяется расчетная длина пролета. Как видим, различные допущения неизбежны при любых расчетных схемах. Важно правильно оценить их влияние на расчетные усилия: идут ли они в ущерб надежности конструкции или нет, в какой степени и т.д.

Известно, что расчетные характеристики материала снижаются при нарушении сплошности материала и возникновении внутренних дефектов: трещин, пустот. С течением времени наблюдаются различные изменения внешних воздействий (температуры, влажности, нагрузок от кранов и машин). Например, прочность бетона при нормальном влажностном режиме растет, а в агрессивной среде падает. Имеет место расстройство стыков и соединений конструкций, ухудшаются условия их крепления и опирания и т. д.

Все вышеперечисленные факторы способствуют изменению представления об идеальной работе сооружения даже при относительно

удачном проекте и качестве строительства. Поэтому при обследовании конструкций необходимо выявить, в том числе и используя современные методики расчета с помощью ЭВМ, все возможные отклонения от решений, принятых в первоначальном проекте и их влияние на напряженно-деформативное состояние элементов конструкций и здания в целом. Возможно, при этом придется анализировать различные варианты расчетных схем, свойств материала, качества стыков и соединений и т. д., которые даже в пределах одного здания из-за множества однотипных конструкций могут отличаться в ту или иную сторону. Вероятностный расчет более точно отразит действительную надежность здания, если собрано достаточное количество данных по прочности материала, нагрузках и дефектах. Если статистических данных недостаточно, осуществляют обычный расчет по строительным нормам.

12. Проведение проверочных расчетов и контроля состояния узлов, стыков и соединений конструкций с учетом реальных расчетных схем, нагрузок, ослаблений сечений, кривизны элементов и других дефектов конструкций и уточненных расчетных сопротивлений материала конструкций. В отдельных случаях, например в предварительно напряженных конструкциях, приходится определять также усилия и напряжения, фактически имеющие место в исследуемых элементах. В некоторых случаях оказывается необходимым перерасчет обследованных конструкций, как например: при недостаточности или полном отсутствии расчетных данных, с чем часто приходится встречаться при освидетельствованиях давно возведенных сооружений с несохранившейся документацией; при наличии несоответствий между расчетными предпосылками и установленными при освидетельствовании фактическими данными в отношении принятой расчетной схемы, нагрузок, размеров, свойств материалов и т. д.; при наличии дефектов и повреждений, влияющих на несущую способность и деформативность

сооружения. По данным перерасчетов устанавливается возможность нормальной эксплуатации сооружения или даются рекомендации о необходимых ограничениях по величине нагрузки, скорости движения и т.д., а также выявляются элементы и соединения, требующие усиления.

Если в результате освидетельствования принимается решение о необходимости проведения испытаний, то перерасчет завершается подсчетом требуемой испытательной нагрузки и определением соответствующих усилий, напряжений, деформаций и перемещений в исследуемых конструкциях. Эти подсчеты должны проводиться наиболее точными методами для получения результатов, наиболее адекватно отражающих действительную работу проверяемого сооружения. На основании произведенного освидетельствования и выполненных перерасчетов составляются общая оценка состояния обследованного объекта и заключение о возможности его эксплуатации. Назначаются меры, необходимые для поддержания объекта в должном состоянии, и требования, которые должны соблюдаться при его эксплуатации.

13. Испытание конструкций пробной нагрузкой. Проводят редко, только когда неясна работа конструкции из-за недостаточности (неполноты) результатов обследования.

14. Составление заключения о техническом состоянии конструкций или технического паспорта на объект исследования.

15. Разработка рекомендаций по дальнейшей нормальной эксплуатации конструкций и, при необходимости, вариантов усиления конструкций или узлов и здания в целом.

По результатам освидетельствования с учетом данных соответствующих перерасчетов дается общая оценка состояния сооружения и, в случае необходимости, решается вопрос о проведении статических и динамических испытаний.

Представленная методика обследования зданий и сооружений может

быть сокращена или расширена при обследовании конкретных объектов, с учетом поставленных задач, намеченных сроков и возможностей исполнителей и заказчика. Это учитывается в программе обследования, в которой, кроме указанных этапов, должны быть определены сроки их проведения, конкретные исполнители и др. Необходимо выделить наиболее срочные мероприятия по предотвращению возникновения аварийных ситуаций. Сомнительные, с точки зрения надежности, конструкции должны быть, по возможности, освобождены от временной нагрузки, иногда под них подводят предохранительные леса. Эти участки ограждают и оповещают персонал, чтобы вблизи них не проводились работы, которые могут ухудшить состояние конструкций и создать аварийную ситуацию. Параллельно с составлением программы обследования для ее выполнения необходимо подготовить инструменты, приспособления, приборы и обучить персонал для их обслуживания. В программе обследования против каждой работы должны быть указаны конкретные исполнители и сроки проведения работ. Программу обследования, составленную исполнителями на основании официально-оформленного задания, согласовывает руководитель объекта. Он же, обычно, обязуется оказывать содействие и помощь в проведении обследования и выделяет своего представителя для участия в обследовании и составлении заключения о техническом состоянии объекта [1–5].

Испытания конструкций зданий и сооружений являются составным элементом обследования, но по своей методологии, аппаратному обеспечению и по методам обработки представляют самостоятельное направление экспериментальной механики. Цель этого направления состоит в создании методов и средств, позволяющих на базе экспериментальных исследований получить объективную информацию о свойствах конструкционных материалов, поведении элементов

конструкций и действительной работе сооружений. Никакой, даже самый точный, расчет не сможет дать объективную информацию о действительном поведении реальных систем. В строительной механике, теории упругости и пластичности, сопротивлении материалов излагаются самые современные методы расчета идеализированных расчетных моделей, но любой из этих методов должен быть построен на объективной информации, полученной из опытов. Однако ни один из них не может быть рекомендован к использованию для практических расчетов без его экспериментальной проверки.

Парадоксальным является то, что в рамках сформированных расчетных схем с использованием современных ЭВМ можно получать результаты расчета с погрешностью 10^{-8} и менее, тогда как исходная, вводимая в расчет информация по нагрузкам, прочностным характеристикам и отклонениям параметров действительного сооружения от его расчетной схемы характеризуется погрешностью, реально определяемой в пределах до 10...20%. Это не снижает роли современных методов теории расчета сооружений, а лишь подчеркивает необходимость взаимной увязки точности методов расчета сооружений с точностью исходных предпосылок, определяемых экспериментом, и точностью получаемых результатов, фиксируемых при проведении эксперимента. Существенное влияние на формирование методов и средств испытания конструкций оказывает характер изменения внешних нагрузок, действующих на строительные конструкции, здания и сооружения. Здесь различают статические нагрузки, которые постоянны по значению или медленно изменяются во времени, и динамические, быстро меняющиеся во времени. Можно сформулировать три основные задачи, которые решаются с помощью методов и средств испытания строительных конструкций, сооружений.

К первой задаче следует отнести определение теплофизических,

структурных, прочностных и деформационных свойств конструкционных материалов, а также выделение характера внешнего воздействия, передаваемого на конструкции.

Вторая задача связана с сопоставлением расчетных схем, усилий и перемещений в конструкции, которые определяются расчетным путем, с соответствующими усилиями и перемещениями, возникающими в реальной конструкции или ее модели.

Третья задача – идентификация расчетных моделей, которая получила развитие лишь в последние годы. Эта задача связана с синтезом расчетных схем, который основан на анализе результатов проведенных экспериментальных исследований. Теоретически решение этой задачи смыкается с проблемами кибернетики, в частности, с проблемой «черного ящика». Однако в отличие от классической постановки при рассмотрении практических задач известны некоторые характерные параметры системы, к которым можно отнести информацию о геометрии конструкций в плане, определяемой архитектурно-планировочным решением, о типе или характере несущих конструкций, о наборе конструктивных элементов, применяемых в сооружениях. На основании анализа экспериментально полученных данных о внешних воздействиях и реакций системы (прогибы, деформации, скорости, ускорения) в рамках заданной расчетной модели выявляются ее параметры, и оценивается ее эксплуатационная надежность, прочность, устойчивость, жесткость и трещиностойкость.

3.4. Приборы и инструменты для проведения обследований

В процессе проведения обследований строительных конструкций зданий и сооружений возникает необходимость в определении физико-механических и физико-химических свойств материалов, геометрических характеристик, прогибов и перемещений, дефектоскопии конструкций.

Проверке подлежат главнейшие параметры, характеризующие родом материала и соединений и условиями их работы. Для этого применяются самые разнообразные приборы и оборудование. Подробные данные о приборах и инструментах, которые могут быть использованы при обследовании, приведены в специальной литературе по испытанию конструкций и сооружений и изучаются в соответствующем курсе. Применительно к задачам, возникающим в процессе диагностики и оценки технического состояния, как отдельных конструкций, так и сооружений в целом, можно условно выделить следующие группы приборов [1–5].

1. Приборы, предназначенные для определения соответствий проектному положению строительных конструкций, включая деформации всех видов (для сооружений в целом и их элементов). Для этой цели применяются известные геодезические приборы и приспособления. Измерение горизонтальных и вертикальных углов производится теодолитом, определение положения точек по высоте и измерение превышения одних точек над другими – нивелиром. В практике обследований конструкций и сооружений чаще всего применяются теодолиты Т2, 2Т5К (с компенсатором), и нивелиры Н1, Н05, «Кон–007» (Германия). При этом нивелиры используются со специальной оптической насадкой. Для проектирования точек по вертикали при измерении кренов и колебаний сооружений применяются приборы вертикального проектирования, такие, как оптические центровочные приборы ОЦП–2 и «Зенит–ОЦП» или прецизионный «Зенит–ЛОТ» (PZL) фирмы «Карл Цейс Йена» (Германия). Известен и механический прогибомер, состоящий из двух вертикальных штанг, соединенных раздвижной планкой с размещенным на ней угломером или уровнем. Для быстрой и надежной фиксации наружного очертания и размеров свидетельствуемого объекта целесообразно применять *стереофотограмметрическую съемку*. Кроме того, используют фототеодолиты различных марок, с оборудованием для обработки данных

измерений типа универсальной измерительной и стереофотограмметрической камер, инженерных фотограмметров, стереокомпараторов и др. Для особо точных геодезических измерений могут быть использованы лазерные приборы. Так, проверки по вертикали производятся *инструментами вертикального визирования*, позволяющими производить сноску точек по высоте на 100 м и более с погрешностью, не превышающей ± 2 мм. Для нивелирования в тесных и труднодоступных местах целесообразно применять *гидравлические нивелиры*, обеспечивающие высокую точность измерений. При необходимости проверки больших пролетов (100 м и более), как например, расстояния между центрами опорных площадок уже возведенных мостовых опор, применяются новейшие *светодальномеры*, ускоряющие процесс съемки и обеспечивающие точность порядка 1/25000 определяемой длины. В тех случаях, когда проверяемые элементы доступны для измерений, замеры сечений и проверка очертаний достаточно просты и выполняются обычно средним техническим персоналом.

Более сложной является задача определения толщин в конструкциях, доступных для измерений лишь с одной стороны. Наиболее грубым (и, сравнительно ещё недавно, единственным) способом измерения толщин было просверливание или, что хуже, пробивка отверстий в соответствующих местах проверяемых конструкций, что связано с нарушением сплошности материала и возможностью повреждений. При освидетельствованиях же конструкций, требующих сохранения герметичности (как, например, в уже эксплуатируемых резервуарах) даже самое аккуратное сверление каких-либо отверстий вообще недопустимо. Все эти затруднения отпадают при использовании современных ***не-разрушающих методов контроля***. Применение этих методов требует наличия соответствующей аппаратуры и подготовленного для работы с ней персонала.

2. Приборы, предназначенные для определения прочностных и деформативных свойств материалов, из которых изготовлены конструкции и сооружения. Очевидно, что наиболее достоверные данные могут быть получены путем прямых испытаний образцов материалов, выборочно изъятых из сооружения. Однако извлечение опытных образцов из конструкций часто затруднительно, поэтому предпочтение при обследовании существующих конструкций следует отдавать неразрушающим методам испытаний. Большинство приборов для определения прочности бетона в изделиях и конструкциях неразрушающими механическими и физическими методами и их классификация приведены в [1–5].

3. При определении динамических характеристик используются механические приборы: вибромарки, индикаторы часового типа, амплитудометр конструкции Л. М. Емельянова и Б. Ф. Смотров, частотомер Фрама, виброграф ВР–1 и др.; электрические – осциллографы типа Н004М, Н008М, Н010М, Н030, Н041, Н023 и Н700), быстродействующие самопишущие электрические приборы (БСП) (типа Н–327–1, Н–338–4 и др.) и магнитографы (типа МП–1, Н036 и др.). При этом замер непосредственно деформаций осуществляется с помощью тензорезисторов и комплектами приборов типа К001.

4. Дефектоскопия строительных конструкций и материалов выполняется с привлечением приборов, используемых для установления прочности бетона физическими методами (см. табл. 3.2). Для измерения ширины раскрытия трещин применяют микроскопы типа МПБ–2 и МИР–2. Поиск скрытых в толще бетона и конструкций металлических деталей осуществляют с помощью специальных приборов, данные о которых приведены ниже.

5. Физико-химические параметры, характеризующие свойства материалов сопротивляться химической агрессии, температурным и

влажностным воздействиям, определяют с использованием специальных приборов и оборудования путем испытания образцов материалов, изъятых из конструкции в лабораторных условиях.

6. В процессе обследований может возникнуть необходимость испытания существующих конструкций для установления их жесткостных характеристик, а иногда и несущей способности. С этой целью используют традиционную аппаратуру и приспособления, применяемые для обеспечения статических и динамических испытаний строительных конструкций зданий и сооружений. Для измерения усилий, передаваемых на конструкции домкратами, лебедками, таями и др., применяют пружинные и гидравлические динамометры перемещения (деформаций), прогибомеры типа ПМ–3 конструкции Н.Н. Максимова, ПАО–5 конструкции А.А. Аистова, компараторы и индикаторы часового типа, тензометры Гугенбергера, Н. Н. Аистова, а также электрические тензометры с использованием тензорезисторов различного вида и регистрирующей аппаратуры типа АИД, ТЦМ, НДС и осциллографов. Кроме того, для определения прогибов, углов поворота конструкций используют клинометры, а для измерения перемещений конструкции в целом и ее узлов – описанные выше геодезические приборы.

3.5. Проверочные расчеты конструкций при обследовании транспортных сооружений

Проверочные расчеты основных несущих конструкций мостовых сооружений являются одним из важнейших этапов обследования сооружений. Они оказываются необходимыми в следующих случаях [5, 6]:

- при недостаточности или полном отсутствии расчетных данных, с чем часто приходится встречаться при обследованиях уже эксплуатируемых сооружений с несохранившейся документацией;

- при наличии несоответствий между расчетными предпосылками и установленными при обследовании фактическими данными в отношении принятой расчетной схемы, нагрузок, размеров, свойств материалов и т. д.;

- при наличии дефектов и повреждений, влияющих на несущую способность и деформативность сооружения.

Проверочные расчеты позволяют установить несущую способность и пригодность к нормальной эксплуатации конструкций в изменившихся условиях их работы, выявить элементы и соединения, требующих принятия своевременных мер (замены, усиления, ремонта), дать рекомендации о необходимых ограничениях по величине нагрузки, скорости движения и т. д. Расчеты выполняют с учетом результатов обследования: выявленных дефектов, отклонений от размеров, коррозионного износа, реальных прочностных свойств материала, действительных прочностные и деформативные характеристики материалов, расчетных схем и нагрузок, температурных воздействий, осадок фунтов и т. д. Выполняя проверочные расчеты фактической несущей способности реконструируемых мостовых сооружений, нагрузки и воздействия следует принимать, руководствуясь положениями норм, и уточнять на основании проведенных обследований. Если в результате обследования принимается решение о необходимости проведения испытаний, то проверочный расчет завершается подсчетом требуемой испытательной нагрузки и определением соответствующих усилий, напряжений, осадок, деформаций и перемещений в исследуемых конструкциях. Эти расчеты должны проводиться с использованием наиболее точных инженерных методов с учетом действительной работы проверяемого сооружения [1–5].

Проведение проверочных расчетов обследуемых строительных конструкций мостовых сооружений можно разделить на два этапа:

- 1) определение несущей способности отдельных элементов (расчет по

предельным состояниям первой группы);

2) определение усилий в конструкциях от внешних нагрузок и воздействий, соответствующих проектному заданию на реконструкцию.

В случаях, когда конструкции выполнены в соответствии с проектом и не имеют дефектов и повреждений, при наличии технической документации, включая данные о их несущей способности, проверочные расчеты могут быть выполнены в ограниченном объеме: производят сопоставление внутренних усилий, возникающих от расчетных нагрузок, с несущей способностью конструкций, приведенной в технической документации.

Действительные постоянные нагрузки от собственного веса конструкций должны быть установлены на основании определения плотности и фактических размеров элементов. Для стали и тяжелого бетона плотность устанавливается по справочным данным. Способ определения нагрузок от собственного веса путем установления плотности образцов предполагает их взвешивание, вычисление объема и на основании этих данных получение плотности, которая и является исходной для установления фактической нагрузки.

Временные длительные нагрузки необходимо устанавливать с учетом норм, с уточнением действительной схемы расположения на основании паспортных данных или рабочих чертежей, при их отсутствии – по обмерочным чертежам, а при возможности – путем взвешивания. При определении временных кратковременно действующих нагрузок на эксплуатируемых объектах необходимо пользоваться нормативными или паспортными данными, но при этом допускается учитывать фактический характер и величину.

Целесообразно выделить среди подлежащих проверке расчетом конструкций две группы: не имеющие дефектов (повреждений) и с дефектами (повреждениями), способными снизить несущую способность

элементов. Конструкции первой группы при условии их эксплуатации под проектной нагрузкой не менее 10 лет, а также в случаях, когда предлагаемые в дальнейшем изменения нагрузок не приведут к увеличению внутренних усилий (M , N , Q), могут проверяться расчетом по нормам, действующим во время их проектирования. В противном случае расчет конструкций следует выполнять по нормам, действующим на момент обследований. При этом необходимо внимательно относиться к выбору расчетных величин прочностных характеристик материалов, не забывая, что, например, для железобетонных конструкций класс бетона и арматурной стали и их прочностные нормативные и расчетные характеристики по действующим в настоящее время нормам установлены при обеспеченности 0,95, что соответствует технологическому уровню современных предприятий строительной индустрии и металлургической промышленности. Для определения исходных прочностных характеристик материалов, конструкций, возведенных в прошлом, необходимо воспользоваться обработкой опытных данных по методике, приведенной ниже. В процессе обработки результатов обследований сопоставляют действительные (полученные при испытаниях) прочностные характеристики материалов конструкций с заложенными в проекте. При этом для установления нормативных значений сопротивлений материалов по результатам испытаний, полученных в процессе обследований, как для отдельных образцов, так и для испытаний, выполненных на натурных конструкциях с применением безобразцовых методов, способами, рассмотренными ранее и утвержденными соответствующими ГОСТами или другими нормативными документами, используются вероятностные оценки. Переход от нормативных значений сопротивлений к расчетным, а также способы перехода от определяемой прочностной характеристики (предел текучести – для стали, класс по прочности на сжатие – для бетона и др.) к другим характеристикам прочности и деформативности

осуществляются в соответствии с требованиями СНиП. Конструкции, относящиеся ко второй группе, необходимо рассчитывать по нормам, действующим на период обследования с учетом их фактического состояния.

Задача определения усилий в несущих строительных элементах решается путем статического расчета конструкций, который осуществляется известными методами строительной механики, в том числе с использованием ЭВМ. В необходимых случаях выполняют расчет на действие динамических (технологических или сейсмического характера) нагрузок, а также проверяют устойчивость сооружения в целом и его элементов. Важнейшим этапом расчета является установление конструктивной расчетной схемы сооружения и нагрузок, наиболее отвечающих действительности. Здесь необходимо обратить внимание на фактическое исполнение узлов опирания и сопряжения элементов конструкций, на наличие и состояние связей, обеспечивающих пространственную жесткость сооружений и их элементов.

Следует учесть фактические и предполагаемые сочетания постоянных и временных нагрузок и другие принятые в расчете предложения.

На найденные расчетные усилия (изгибающие моменты, продольные и поперечные силы) проверяют сечения элементов конструкций, узлов соединений, стыков и т. д.

Для этого расчетную площадь поперечного сечения необходимо определять по формуле [1–5]:

$$A_{ef} = (1 - K_{sa} \Delta^*) A_0, \quad (3.1)$$

где A_0 – площадь поперечного сечения без учета коррозии; K_{sa} – коэффициент слитности сечения, равный отношению периметра,

контактирующего со средой, к площади поперечного сечения (для уголков $K_{sa} \approx 2/t$, для труб – $1/t$, швеллеров и двутавров – $4/(t+d)$, (t и d – толщины полки и стенки соответственно); Δ^* – величина проникновения коррозии, которую принимают равной Δ при односторонней коррозии замкнутых профилей и равной $\Delta/2$ при двухсторонней коррозии открытых профилей (двутавров, швеллеров, уголков и т. п.), где Δ – толщина металла, на которую уменьшалась толщина элемента, вследствие коррозии. Ниже приведены основные расчетные формулы для проверочных расчетов разных строительных материалов (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Основные расчетные формулы для проверочных расчетов

Материал элемент	Металл	Дерево	Камень	Бетон	Железобетон
Растянутый	$N \leq A_n R_n \gamma_c$	$N < A_n R_p$	$N < A_n R_p$	$N < A_b R_{bt}$	$N < R_a A_a$
Сжатый:					
–на прочность	$N \leq A_n R_\gamma$	$N \leq A_n R_c$	$N < m_g \varphi R A$	$N < \alpha A_b R_b$	
–на устойчивос ть	$N \leq \varphi A R_\gamma$	$N < \varphi A_p R_c$			
Изгибаемый	$M < W_{min} R_y \gamma_c$ $Q \leq (I R_{sy}) / S$ $f < [f]$	$M < W R_\mu$ $Q \leq (I_{op} b R_{ck}) / S_{op}$ $f < [f]$	$M \leq R_{tb} W$ $Q \leq 2/3 (R_{tw} b h)$	$M < \alpha R_{bt} W$ $W_{pl} < b h^2 / 3,5$	$M \leq R_b b_h (h_0 - 0,5x) +$ $+ R_a A_a (h_0 - a')$ $Q \leq 0,34 \varphi_{wl} \varphi_{bl} R_b \cdot b$ h_0 $f < [f]$
Внецентренно - растянутый	$(N/A + R_\gamma)^n +$ $+ M/c W \cdot R_\gamma < 1$ $N/A + M/W \leq R_\gamma$	$N/A + M R_p / W R_\mu < R_p$			$N_e < R_a A'_a (h_0 - a')$ $N_{e'} < R_a A_a (h_0 - a')$
Внецентренно- сжатый:					
–на прочность	$N/A + M/W \leq R_\gamma$	$N/A + M/W \leq R_c$	$N < m_g \varphi_1 \cdot R \cdot A_c \cdot$ $A_c < A(1 - 2l_0/h)$	$N \leq R_b \cdot A_b$	$N_e = R_b x (h_0 - 0,5x) +$ $+ R_a A'_a (h_0 - a')$
–на устойчивос ть	$N < \varphi_e \cdot A \cdot R_\gamma \cdot c$				

При расчете изгибаемых элементов момент сопротивления равен:

$$W_{ef} = (1 - K_{sw}\Delta^*)W_0, \quad (3.2)$$

где W_0 – момент сопротивления сечения без учета коррозии; K_{sw} – коэффициент изменения момента сопротивления от коррозионного износа. N , M – соответственно сила и изгибающий момент в рассчитываемом сечении элемента; b , h – высота и ширина сечения; A , W – соответственно площадь и момент сопротивления сечения элемента или арматуры; R – расчетное сопротивление материала элемента; t – толщина стенки балки; e – эксцентриситет; x – высота сжатой зоны; φ , γ , m_g , ω – коэффициенты, подбираемые из условий работы.

При расчетах необходимо стремиться к выявлению скрытых резервов несущей способности элементов, существенное увеличение которой может дать учет пространственной работы конструкций, рассчитанных ранее как плоские. В статически неопределимых конструкциях по возможности желательно учесть развитие пластических деформаций и вести расчет с учетом схемы предварительно выявленного месторасположения пластических шарниров. В частности, в железобетонных конструкциях пластические шарниры часто появляются в узловых соединениях неразрезных ригелей с колоннами из-за недостаточности площади опорной арматуры, некачественно выполненного сварного соединения, несоосности стыкуемых арматурных стержней ригеля и колонны и др. Некоторый запас прочности конструкции могут иметь за счет завышенных сечений, подбор которых до введения методов расчета по предельным состояниям производился по завышенным нормам нагрузок и заниженным допускаемым напряжениям.

По окончании всего цикла работ по обследованию, после анализа всех полученных материалов, членами комиссии составляется заключение о

техническом состоянии объекта, которое подписывается всеми членами комиссии и заверяется печатью соответствующего учреждения.

3.6. Дефектоскопия конструкций и неразрушающие методы оценки прочности материала и трещинообразования в элементах мостовых сооружений

В задачи дефектоскопии строительных материалов и конструкций входит выявление различных дефектов: микро- и макротрещин, пустот, включений инородных тел и др. Кроме того, методами дефектоскопии можно установить без вскрытия бетона расположение арматуры в железобетонных конструкциях, а также сечение металлических конструкций, скрытых в толще стен или перекрытий. Для поиска дефектов в бетоне и стали применяют *методы ультразвуковой дефектоскопии* (импульсный и непрерывного излучения), при этом используют способность ультразвуковых волн отражаться от границ материалов различной плотности. Различают метод (эхо), основанный на отражении ультразвуковых волн, и метод сквозного прозвучивания (метод теневой дефектоскопии). Сочетание этих методов позволяет определить наличие и место дефектов с достаточной точностью. Реализация ультразвуковой дефектоскопии осуществляется известными приборами типа УКБ–1 и другими по ГОСТ 17624–87.

Обнаруженные при осмотре сооружения трещины, сколы, раскрытия швов и другие аналогичные дефекты, не подлежащие немедленному устранению, должны быть тщательно измерены и отмечены как на самом объекте, так и на соответствующих схемах. Все эти данные передаются затем эксплуатационникам для дальнейших наблюдений за состоянием сооружения.

Ширину раскрытия трещин в строительных конструкциях обычно

определяют с помощью микроскопов МПБ2 с ценой деления 0,02 мм, пределом измерения 6,5 мм и прибора МИР–2 с пределами измерения от 0,015 до 0,6 мм. Динамику развития трещин во времени устанавливают с помощью маяков различного типа.

Гипсовые и стеклянные маяки устанавливают на стене, предварительно очищенной от штукатурки, на алебастровом или цементном растворе. Металлические маяки обычно изготавливают из кровельной стали и крепят к стене гвоздями или клеем и окрашивают краской. На маяках ставят номер и дату. Данные заносят в специальный журнал. Глубину трещин устанавливают, применяя иглы и проволочные щупы в сочетании с приведенными выше ультразвуковыми методами. Для фиксации, как раскрытия, так и уменьшения ширины трещин и швов, а также сдвигов вдоль них, используют ряд приемов. Простейшим является наблюдение за изменением взаимного положения пары меток, нанесенных на поверхность объекта по обе стороны наблюдаемой трещины или шва. Для длительных измерений пользуются различными перекрывающими трещину или шов приборами – *щелемерами* (в том числе и электрического принципа действия) как поверхностными накладками, так и глубинными. По своему устройству такие приборы аналогичны *тензомерам*. Для определения глубины трещин, выходящих на поверхность, строители применяют гибкие металлические щупы различной толщины, по глубине трещин постепенно, как правило, сужающиеся. Точные замеры производятся путем применения новейших физических методов исследования, как, например, с использованием ультразвуковых излучений.

В массивных бетонных блоках при исследовании глубоких трещин пользуются *методом подсечки* (рис. 3.1). Как видно из этого рисунка, под углом 45...60° к плоскости распространения трещины пробуривают ряд скважин. Отверстия их перекрывают тампонами и в скважины нагнетают воздух или воду под давлением в несколько атмосфер, переходя

последовательно от одной скважины к другой. О глубине проникновения трещины судят при этом по выходу из нее воздуха или появлению на поверхности у ее краев мокрых пятен.

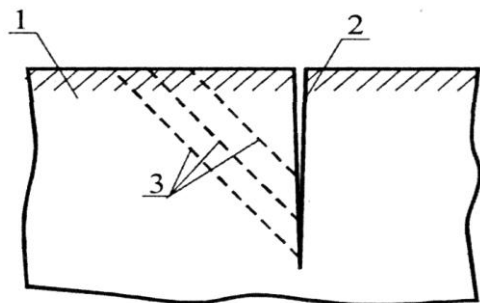


Рис. 3.1. Определение глубины распространения трещины методом подсечек: 1 – бетонный массив; 2 – трещина; 3 – буровые скважины

В заключение следует отметить, что поведение трещин, швов, соединений и т. п. Является важным показателем состояния сооружения. Внимательное наблюдение за швами и соединениями, а также и трещинами, если они имеются, при правильной оценке полученных данных позволяет своевременно поставить «диагноз» скрытых нежелательных явлений, происходящих вблизи сооружений, и принять необходимые профилактические меры, не дожидаясь серьезных нарушений их работоспособности.

Оценка поверхностного состояния строительных конструкций в труднодоступных местах на расстоянии до 7,5 м осуществляется с помощью оптического прибора РВП–451. Наличие металла в перекрытиях, стенах и других конструкциях можно определить, пользуясь металлоискателем МИ–1, выпускаемым в России заводом АКХ им. К. Д. Панфилова. Для определения диаметра арматуры и толщины защитного слоя бетона железобетонных конструкций и сечения металлических элементов конструкций, скрытых в перекрытиях, стенах и т. п., применяют приборы типа ВИМ, ИЗС, ТЗС, ИСМ и др. Принцип их действия основан на измерении магнитной проницаемости материалов по ГОСТ 22904 –78 или на радиационных методах по ГОСТ 17625–83. С этой же целью используют методы просвечивания и ионизирующих излучений –

радиоизотопные методы по ГОСТ 17623–87 (см. табл. 3.2). Для измерения механических напряжений в металле, возникших в результате сварки, и обнаружения трещин (ГОСТ14782–86) может быть использован прибор ИНТ–М2 в комплекте с выносимыми датчиками ВД–1 и ВД–2.

Неразрушающие методы являются наиболее приемлемыми для определения прочностных, деформативных и других физико-механических характеристик строительных материалов в условиях, когда эти свойства устанавливаются для конструкций возведенных и эксплуатирующихся зданий и сооружений. Места отбора образцов (проб) для лабораторных испытаний и места для проведения испытаний неразрушающими методами следует устанавливать на характерных участках конструкций с учетом действующих нагрузок и воздействий, напряженно-деформированного состояния обследуемых элементов, конструктивных решений. Эти места могут быть определены также по группам однотипных конструктивных элементов с целью получения совокупности данных для статистической обработки. Следует обратить внимание на обеспечение несущей способности и пригодности к эксплуатации конструкций, ослабленных отбором образцов (проб).

Неразрушающие методы применяют для установления прочности бетона на сжатие (имеется в виду кубиковая прочность бетона R), которая определяется как функция $R = f(x_i)$ какой-нибудь механической или физической характеристики бетона, полученной опытным путем. Различают механические методы, когда по результатам измерения приборами механических характеристик бетона x_i по таблицам и графикам определяют значение R , и физические методы, пользуясь которыми кубиковая прочность находится как функция физических характеристик, полученных также опытным путем.

3.7. Общие сведения неразрушающих и оптических методах

испытаний

Неразрушающие методы широко используются для контроля и обеспечения качественного технологического процесса в целом ряде отраслей народного хозяйства: металлургии, машиностроении, химической промышленности и т.п. В строительстве неразрушающие методы применяются главным образом для контроля сварных металлоконструкций, при изготовлении железобетонных деталей и элементов и т. д. и при освидетельствовании сооружений. Они являются также весьма перспективными для контроля качества строительных конструкций на заводах (в первую очередь заводах ЖБИ) не только для выявления уже допущенных дефектов и отступления от требований стандартов, но и, прежде всего, для предупреждения самой возможности таких нарушений. По физическим принципам различают следующие основные методы неразрушающих исследований [8, 9]:

- 1) при помощи проникающих сред (жидких, газообразных и др.)
- 2) механические методы испытаний;
- 3) акустические (ультразвуковые и более низких частот);
- 4) магнитные, электромагнитные и электрические;
- 5) при помощи ионизирующих излучений (рентгеновские, радиоизотопные и др.);
- 6) радиодефектоскопия и инфракрасная дефектоскопия.

1. Методы проникающих сред. В резервуарах, газгольдерах, трубопроводах и других аналогичных конструкциях, требующих обеспечения не только прочности, но и *плотности* соединений, контроль осуществляют с помощью проникающих сред. Кроме применявшихся ранее испытаний водой и керосином, в настоящее время разработаны и другие приемы.

Испытания водой. Проверяемые емкости заполняются водой до

отметки обычно несколько выше эксплуатационной. В закрытых сосудах давление жидкости повышается дополнительным нагнетанием воды или воздуха. Гидростатическим давлением проверяются как плотность, так и прочность соединений и всего сооружения в целом. Контроль швов и соединений заливкой воды совмещается, таким образом, со *статическим испытанием* исследуемой емкости. Отдельные швы металлоконструкций могут проверяться сильной струей воды из брандспойта, направленной под давлением примерно 1 *атм* нормально к поверхности шва. При наличии дефектов вода просачивается сквозь неплотности проверяемого соединения [8, 9].

Проба керосином. Благодаря своей малой вязкости и незначительному, по сравнению с водой, поверхностному натяжению керосин легко проникает через самые малые поры и выступает на противоположной поверхности. При опробовании поверхность шва с одной стороны обильно смачивается или опрыскивается керосином. Для облегчения наблюдений шов заранее подбеливается водным раствором мела. На этом подсохшем светлом фоне отчетливо выявляются затем ржавые пятна и полосы, возникающие при просачивании керосина [8, 9].

Проба сжатым воздухом. При наиболее простом применении данного метода проверяемые швы обмазываются мыльной водой. С другой стороны шов обдувается сжатым воздухом, подаваемым из шланга под давлением порядка 4 *атм* нормально к исследуемому шву. В замкнутые емкости сжатый воздух подается внутрь их объема. Признаком дефектности шва служит появление мыльных пузырей на обмазке. Более совершенным является применение ультразвуковых "течеискателей", принцип работы которых основан на регистрации ультразвуковых колебаний, возникающих в местах нарушения сплошности, под действием вытекающей здесь под давлением струи газа (воздуха). С помощью течеискателей можно выявлять неплотности размером до 0,1 мм при избы-

точном давлении порядка 0,4 атм. Место нахождения дефекта определяется с точностью до 1,5...2 см [8, 9].

Проба вакуумом. Проверка вакуумом требует доступа к конструкции лишь с одной ее стороны, что является существенным преимуществом данного метода. К шву приставляется металлическая кассета в виде плоской коробки без дна с прозрачным верхом, через который виден проверяемый шов. Вакуум-насосом со шлангом, присоединенным к кассете, в которой создается небольшое разрежение, внешним воздушным давлением стенки кассеты, снабженные по их нижнему периметру мягкой резиновой прокладкой, прижимаются при этом к конструкции. Исследуемый шов предварительно должен быть смочен мыльным раствором. В местах нарушений плотности шва воздух, проникая сквозь эти неплотности, образует в мыльной пене отчетливо видные стойкие пузыри. При сварке сосудов высокого давления и других особо ответственных, требующих полной герметичности, конструкций для увеличения надежности контроля применяется проверка плотности соединений химическими реагентами, например, воздушно-аммиачной смесью или другими газообразными соединениями, обладающими высокой проникающей способностью. Химические методы проверки плотности соединений обладают большой чувствительностью и дают возможность очень четко определять места нахождения дефектов, чем и обуславливается в наиболее серьезных случаях целесообразность применения этих более сложных приемов [8, 9].

Градуировочные таблицы и графики для конкретных конструкций уточняются по результатам испытаний бетонных образцов (кубов со стороной 7,07 см), вырезанных из тела конструкций (не менее трех образцов), или испытаний методом отрыва со скалыванием по ГОСТ 21293–75, описанным ниже. В процессе обследований при установлении данных о прочности бетона в одной конструкции или среди разных

конструкций рекомендуется выделить участки с общими прочностными характеристиками бетона исходя из того, что коэффициент вариации прочности бетона для каждой совокупности должен быть $v \geq 0,135$, а прочность бетона находиться в пределах $R = (0,7...1,3)\bar{R}$, где $\bar{R}$ – среднее значение прочности. Отдельные места конструкций или отдельные конструкции, имеющие значительные дефекты, в указанную выборку не включаются. Основные методы испытания, используемые для определения прочности бетона непосредственно в конструкциях эксплуатирующихся зданий и сооружений, приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Рекомендации по выбору методов испытаний

Методы	Приборы и способы исполнения	Область применения
Методы испытания прочности в образцах, бетон которых уплотнен совместно с конструкцией	Бурение с последующим испытанием кернов. Распиловка изделий из кубы	Для выборочного контроля прочности в изделиях, технология изготовления которых значительно отличается от технологии приготовления кубов, с целью установления переводных коэффициентов от R изделия к R в кубах. Для проведения предварительных испытаний с целью получения тарировочных зависимостей, используемых для контроля прочности бетона (неизвестных составов) другими методами
Метод пластической деформации растворной составляющей	Приборы ДПГ–4, ДПГ–5, ПМ, ХПС, эталонный молоток Н.П.Кашкарова и др.	Для испытания прочности бетона в изделиях и конструкциях толщиной 40, 60 см. Приборы ДПГ–4 и ДПГ–5 более удобны при испытаниях на горизонтальных плоскостях, но для испытания нижних горизонтальных плоскостей непригодны

Метод пластической деформации бетона	Приборы типа «Штамп НИИЖБ»	Сфера применения та же. Толщина изделий (в зависимости от типа прибора) до 30 см. Прибор менее удобен в работе, но обеспечивает большую точность испытаний
Методы, основанные на отделении бетона от бетона	Отрыв со скалыванием, приборы ГПНВ–5, ГПНС–4	Для определения прочности бетона в конструкциях толщиной не менее 15 см. метод позволяет учитывать влияние прочности крупного заполнителя и степени его сцепления с раствором на R бетона. Метод пригоден для испытания бетона высоких марок.
	Отрыв, прибор ГПНВ–5	Сфера применения та же, что и для отрыва со скалыванием, а также для испытания тонкостенных конструкций
	Скалывание ребра конструкций, приборы УРС и ГПНВ–5	Для испытания конструкций толщиной не менее 4 см с шириной испытываемого ребра и его длиной соответственно не менее 18 и 20 см
Метод упругого отскока	Прибор КМ, склерометры Шмидта	Для испытания прочности бетона в изделиях и конструкциях толщиной не менее 100 мм. Для определения изменения прочности бетона во времени
	Прибор Царицына–Корниловича–Осидчука	То же, но только для вертикальных поверхностей
Резонансный метод	ИЧМК–2, ИЧЗ–5, ИЧЗ–3	Для лабораторных исследований и испытаний образцов бетона
	Вибростенд	Для испытания сборных изделий и конструкций типа прямолинейного бруса (в опытном порядке)
Импульсный ультразвуковой метод	Ультразвуковые приборы УКБ–1, УКБ–1М, «Бетон–8», УРЦ, УК–16П, Ук–10П, УФ–90ПЦ	Для контроля прочности и однородности бетона в конструкциях при известных заполнителях
Радиоизотопный метод	8УР11, РПП–1, РПП–2, ИПР–Ц	Для испытания ячеистых бетонов и бетонов на пористых заполнителях

Из механических методов одним из наиболее распространенных является *метод пластической деформации*, основанный на взаимосвязи между прочностью бетона R и размерами отпечатков на бетонной поверхности, которые получают путем статического или динамического вдавливания штампа. Отпечаток на бетонной поверхности (его геометрические размеры) характеризует пластическую (или упругопластическую) деформацию бетона при статической нагрузке в гидравлическом прессе, при динамической – под действием удара копра.

Метод испытания на отрыв со скалыванием основан на определении R по усилию P , требуемому для отрыва и скалывания куска бетона из тела конструкции, для чего в бетоне в высверленные отверстия устанавливают с зачеканкой цементным раствором анкерные устройства, которые затем вырывают специальными приборами. Возможно, установить R по прочности бетона на отрыв, когда с помощью аналогичных приборов производят отрыв стального диска, приклеенного к поверхности бетонного элемента эпоксидным клеем. Прочность бетона можно определить и на основании измерения усилия скалывания части бетона в ребре конструкции. Кроме того, для испытания прочности ячеистых бетонов используют метод, заключающийся в выдергивании винтовых стержней, предварительно вкрученных в тело бетона. *Методом, основанным на измерении отскока подпружиненных молотков (склерометров) от бетонной поверхности*, характеризуют прочность бетона по величине отскока при ударе о бетон [8, 9].

Из физических методов определения прочности бетона в конструкции получили распространение *импульсные* и *радиоизотопные*. Из импульсных методов широко применяют ультразвуковые, основанные на измерении времени распространения ультразвука в бетоне и базы прозвучивания, по которым рассчитывают скорость ультразвуковой волны и как ее функцию

определяют прочность бетона R . Метод волны удара основан на измерении скорости распространения в бетоне продольных волн $v_{уд}$, вызванных механическим ударом ручным или электрическим молотком. Далее по зависимости $R - v_{уд}$ устанавливают прочность бетона. Радиоизотопный метод позволяет определить плотность бетона ρ_v и по заранее установленным зависимостям $R - \rho_v$ выявить прочность ячеистых бетонов. Он основан на использовании γ -лучей, источником которых являются радиоактивные изотопы. Часто при обследовании бетонных и железобетонных конструкций определение прочности бетона неразрушающими методами приходится производить при отсутствии зависимости «косвенная характеристика – прочность» для обследуемого бетона конкретной конструкции. Для уменьшения ошибки при определении R рекомендуется проводить комплексные испытания бетона, включающие определение прочности бетона разрушающими методами в образцах, полученных из тела обследуемой конструкции путем выпиливания образцов правильной формы (кубов цилиндров) по ГОСТ 10180–78 и кернов или образцов неправильной формы, методами штампа или раскалывания и параллельно установление прочности бетона несколькими неразрушающими методами. По их результатам находят наиболее достоверное значение величины R . При этом желательно сочетать как механические, так и физические методы определения прочности бетона.

Для установления деформативных характеристик бетона в эксплуатируемой конструкции может быть использован *метод испытания бетона путем скалывания*. Специальное устройство, принцип работы которого близок к работе прибора ГПНС–4, позволяет получить значение абсолютной деформации бетона при ступенчатой нагрузке, приложенной к вырываемому из бетона анкеру. По этим данным строят зависимости «деформация-напряжение» или «деформация – относительное напряжение» и вычисляют модуль деформации бетона.

Общие рекомендации по выбору методов испытаний в зависимости от области применения приведены в табл. 3.2, а по выбору типа прибора в зависимости от прочности бетона в табл. 3.3. Из всех рассмотренных физико-механических способов определения прочности бетона в конструкциях наиболее достоверные данные получают при испытаниях на отрыв и скалывание. Поэтому эти методы желательно применять параллельно с другими для контроля и уточнения результатов испытаний.

Физико-механические характеристики металлических конструкций и арматуры железобетонных конструкций устанавливают стандартными испытаниями проб (образцов), вырезанных из эксплуатируемых элементов.

Таблица 3.3. Рекомендации по выбору типа прибора в зависимости от прочности бетона

Методы испытания	Приборы	Пределы прочности бетона, МПа
Метод пластической деформации: раствора бетона	Эталонный молоток, приборы ДПГ-4, ХПС, ПМ	5...50
	ДПГ-5	20...55
	НИИЖБ	10...55
	КМ	10...40
Метод упругого отскока	Склерометр Шмидта	5...50
Метод отрыва со скалыванием	ГПНВ-5 со стержнями	10...80
	ГПНС-5 с разжимным конусом	10...50
	ГПНС-4	10...50
Метод отрыва	ГПНВ-5 с дисками	5...50 (для легких бетонов 5...30)
Метод скалывания ребра конструкций	УРС	10...70
Ультразвуковой импульсный метод	УКБ-1, УКБ-1М, «Бетон-транзистор», УК-10П, УФ-90ПЩ	10...50 (для легких бетонов 7,5...50)

Марка металла и его качество проверяются путем статического растяжения образцов (определяется временное сопротивление, предел текучести, относительное удлинение); испытания образцов на ударную вязкость при температурах + 20 и -20°C; химического анализа стали (устанавливается содержание углерода, кремния, марганца, серы и

фосфора и др.); выявления распространения сернистых включений способом отпечатков по Бауману. Из металлических конструкций образцы для механических испытаний вырезают в соответствии с ГОСТ 7564–73, из листовой стали – поперек направления прокатывания, из фасонной стали – вдоль. Образцы для выявления распространения сернистых включений способом отпечатков по Бауману вырезают из листовой и широкополосной стали – вдоль направления прокатки, а из сортового или фасонного проката – поперек по ГОСТ 5639–82. Пробы для определения химического состава отбирают в соответствии с ГОСТ 7565–81 в виде металлической стружки в количестве не менее 50 г с одного элемента. Стружку допускается отбирать путем высверливания ручной дрелью. Ударная вязкость стали при нормальной и пониженной температуре устанавливается на плоских образцах с V-образным надрезом. Для испытания отбирают пробы от партии элементов, т.е. однотипных видов проката, одинаковых по номерам, толщинам, маркам стали и входящим в состав однотипных конструкций одной поставки или одного периода изготовления. При выборе количества образцов для испытаний можно воспользоваться данными, приведенными в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Рекомендации по выбору количества образцов для определения
физико-механических характеристик стали

Вид испытаний	Количество элементов от торца	Количество проб (образцов)	
		От элемента	Всего от торца
Испытание на растяжение	2	1	2
Химический анализ	3	1	3
Ударная вязкость при: +20°C –20°C	2	3	6
	2	3	6
Отпечатка по Бауману	2	1	2

В железобетонных конструкциях образцы арматуры для механических испытаний отбирают (вырезают) из стержней эксплуатируемых элементов

минимум по два образца из одноименных стержней. В целом отбор должен производиться на участках наименьших силовых воздействий с обязательным обеспечением прочности и устойчивости ослабленных элементов.

3.8. Механические методы испытаний материалов

При испытаниях металла широко применяются так называемые "пробы на твердость". К ним относятся испытания путем вдавливания в поверхность металла стального шарика или алмаза (по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу и т.д.), измерения по упругому отскоку падающего шарика (испытания по Шору) и др. Благодаря своей простоте, удобству и возможности быстрой проверки состояния материала в целом ряде точек на поверхности конструкций эти косвенные методы нашли применение и при освидетельствовании сооружений. Полученные при этом данные переводятся в прочностные характеристики исследуемого материала по эмпирическим формулам или с применением соответствующих графиков и таблиц [8, 9].

Следует при этом иметь в виду, что само понятие "твердость" не является столь же определенным физическим критерием сопротивления материала силовым воздействиям как прочность, деформативность и т.д. В зависимости от вида испытания на твердость выявляются различные факторы: в методе отскока (по Шору) – способность к упругой работе при наличии поглощения части энергии деформирования; при вдавливании шарика по Бринеллю – пластические свойства на уровне предела текучести; при вдавливании алмаза – сопротивление значительному деформированию (на уровне предела прочности) и т. д.

1. Оценка прочности металла. Из полевых методов оценки прочностных характеристик стали наиболее широко распространен метод

вдавливания шарика в испытуемый материал. По этому методу определяют твердость металла, а по ней – предел прочности. Эти характеристики обладают наиболее устойчивой связью между собой. Определение предела текучести по твердости или пределу прочности дает значительные погрешности. Ошибка при определении предела прочности по твердости составляет примерно $\pm 7\%$; при переходе от предела прочности к пределу текучести погрешность достигает $\pm 30\%$.

Наибольшее применение в строительной практике для оценки твердости стали, а по ней прочности металла имеет прибор Польди (рис. 3.2) ударного действия. Прибор состоит из трубки 2, в которую вставляется боек 1, прижимаемый пружиной 6 к эталону 3 квадратного сечения, твердость которого $HB^{ЭТ}$ должна быть заранее определена. Наконечником прибора является шарик 2 диаметром 10 мм из твердой закаленной стали, дающий при ударе отпечаток одновременно на исследуемом металле 1 и на стальном эталонном бруске 3. Эталон зажимают между бойком и шариком 5. При испытании прибор устанавливают шариком нормально к предварительно зачищенной поверхности и по верхнему торцу стержня 4 наносят удар молотком: получают два отпечатка шарика – один на эталоне, другой на поверхности элемента. Более точные результаты получают в том случае, когда твердость материала эталона и элемента примерно одинаковы. По размерам полученных отпечатков определяют твердость металла элемента. Твердость HB исследуемого металла испытываемой конструкции определится из соотношения

$$HB = HB^{ЭТ} \times \frac{D - \sqrt{D^2 - d_{ЭТ}^2}}{D - \sqrt{D^2 - d^2}}, \quad (3.3)$$

где: D – диаметр стального шарика 2; d – диаметр отпечатка на поверхности исследуемого материала; $d_{ЭТ}$ – то же, на эталонном бруске.

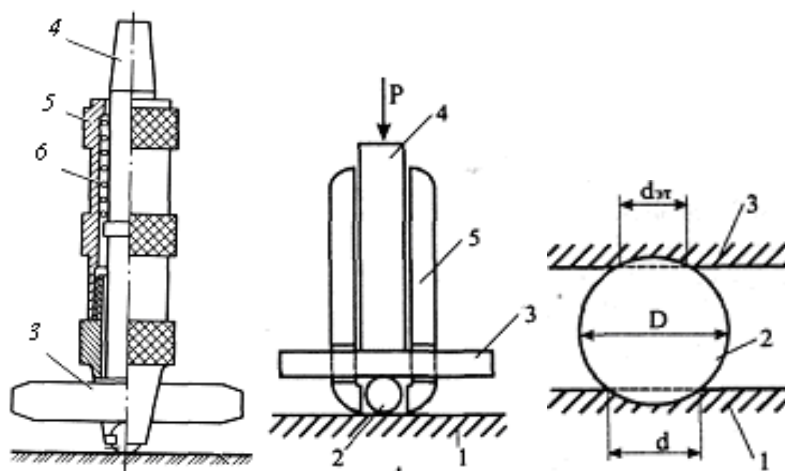


Рис. 3.2. Общий вид прибора Польди (а), его схема (б) и отпечатки, получаемые с его помощью (в):

1 – испытуемый элемент;
2 – стальной шарик; 3 – эталонный брусок; 4 – ударный стержень; 5 – обойма прибора; 6 – пружина

Нахождение HB и определение прочности и марки металла производятся с помощью соответствующих таблиц. Предел прочности, МПа, по твердости определяют по эмпирической зависимости

$$\sigma_s = k (HB), \quad (3.4)$$

где k – постоянный поправочный коэффициент для данного металла; HB – твердость металла, МПа.

Для углеродистой стали $k = 0,36$. По твердости можно приблизительно определить содержание углерода C в незакаленной углеродистой стали:

Содержание C , %.....	0,05	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50

Твердость металла, МПа ...	1100	1200	1350	1560	1650	1800

С помощью прибора Польди можно получать, однако, лишь ориентировочные характеристики. Но и с учетом этого применение прибора практически полезно, в особенности в следующих случаях: для ускоренной проверки однородности материала в различных элементах освидетельствуемых конструкций; при отбраковке (проверке марок металла) поступающих заготовок.

2. Оценка прочности бетона. При косвенной оценке прочности

бетона по твердостным характеристикам его поверхностного слоя приходится *учитывать следующие факторы*, усложняющие эту оценку:

1) большой разброс результатов испытаний на "твердость", обусловленный неоднородностью структуры бетона. Для получения надежных данных необходимо увеличить число проверяемых на поверхности точек и статистически обработать результаты испытаний;

2) возможная карбонизация поверхностного слоя, повышающая показатели твердости, а также увлажнение поверхности, снижающее эти показатели;

3) возможность расхождения прочностных характеристик на поверхности и в глубине массивных блоков. Это может быть проверено, например, контрольным бурением с выемкой образцов с разной глубины, а также применением рассматриваемых далее неразрушающих способов.

Необходимость в простых, доступных для массового применения способов оценки качества бетона настолько настоятельна, что, несмотря на указанные затруднения, для суждения о прочности бетона по механическим характеристикам его поверхностного слоя предложен целый ряд приборов и приспособлений. Краткий обзор практически наиболее оправдавших себя и методически интересных приемов приводится ниже.

Оценка прочности бетона с помощью эталонного молотка К. П. КаишкарOVA схематически показан на рис. 3.3. Принцип его действия аналогичен рассмотренному выше прибору Польди с той разницей, что удар наносится взмахом самого эталонного молотка. При ударе боек (стальной шарик диаметром 15 мм) оставляет на поверхности исследуемого бетона вмятину диаметром d_b , а на эталонном стержне (круглого сечения из Ст. 3 диаметром 10 мм) – отпечаток диаметром $d_{ЭТ}$, $d_b / d_{ЭТ}$; прочность бетона оценивается по корреляционной зависимости между $d_b / d_{ЭТ}$ и пределом прочности бетона на сжатие, устанавливаемой экспериментально. При этом должны учитываться конкретные условия

изготовления конструкции и твердения бетона, сроки испытаний, шероховатость, влажность и другие особенности состояния поверхности конструкции. Для эксплуатируемых сооружений указанная зависимость должна быть уточнена на образцах, выбуренных из соответствующих элементов. Эталонный молоток рекомендуется для разных операций: оценок отпускной прочности бетонных изделий на заводах железобетонных конструкций, прочности бетона при передаче напряжения от арматуры на бетон в предварительно напряженных железобетонных конструкциях, коэффициента изменчивости прочности бетона в конструкциях (что особенно существенно при обследовании сооружений) и т. д.

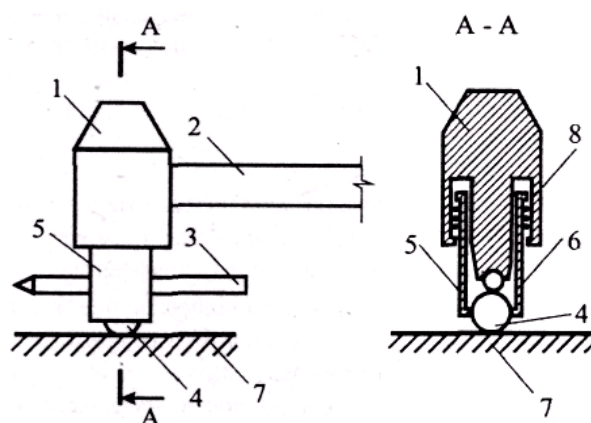


Рис. 3.3. Схема молотка К. П. Кашкарова: 1 – головка; 2 – рукоятка; 3 – эталонный стержень; 4 – стальной арик; 5 – стакан; 6 – торец стержня; 7 – испытываемый материал; 8 – пружина

Для десяти ударов, нанесенных по проверяемому элементу с удаленными штукатурными и окрасочными слоями, определяется усредненное отношение. Одним из наиболее простых приспособлений для сравнительной оценки прочности бетона является молоток *И. Л. Физделя*. Ударная часть этого стального молотка весом 250 г заканчивается шариком из твердой стали, легко вращающимся в гнезде. По диаметру отпечатков, полученных при ударе, определяют прочность бетона по эмпирическому графику. Результаты, несмотря на их ориентировочность, все же полезны в производственных условиях. Пользование молотком при некотором навыке не вызывает затруднений. В Германии серийно выпускается и стандартизирован (ДИН-424а) прибор с пружиной,

передающей при спуске удар заданной силы на шариковый наконечник, оставляющий отпечаток на бетоне.

Оценка прочности бетона склерометром. Приборы этого типа применяются главным образом за рубежом. Из их числа наиболее известен прибор Шмидта (Швейцария). В этих приборах, так же как в ударнике Шора для металла, о характеристиках материала судят по величине отскока стального бойка. Отскок фиксируется указателем на шкале. Удар наносится не непосредственно по исследуемой поверхности бетона, а воспринимается наконечником прибора, прижатого к конструкции. Этот промежуточный стальной элемент необходим, поскольку величина отскока при резкой разнице модулей упругости соударяемых материалов становится трудносопоставимой. Удар осуществляется спуском пружины, а не свободным падением бойка, как у Шора, что позволяет испытывать любым образом ориентированные поверхности. Прибор удобен в работе и дает довольно четкие результаты. Ударники Шмидта применяются почти исключительно в транспортном строительстве при освидетельствовании железобетонных мостов. Применяются также и несколько измененные конструкции прибора [8, 9].

Способ стрельбы. Данный способ является своеобразным вариантом динамических оценок прочности материала. В 1933 г. Б. Г. Скрамтаевым была предложена оценка качества бетона по объему лунки, выбиваемой в нем револьверной пулей. Выстрел из револьвера системы "Наган" производится с расстояния 6...8 м от конструкции перпендикулярно ее поверхности с ограждением стреляющего от осколков и возможного рикошета. Объем образовавшихся лунок определяется измерением или, что более точно, по объему замазки, расходуемой на заполнение выбоин. Разброс получаемых результатов, однако, является значительным. Дальнейшим развитием метода было предложенное несколько позднее Ф.Ф. Поляковым специально сконструированное ружье с подставкой,

приставляемой к поверхности элемента. При выстреле в бетон входил стальной ударник, глубина погружения которого и служила показателем прочности материала. Способ стрельбы нашел практическое применение в испытаниях деревянных конструкций.

Оценка прочности бетона по отпечатку при статическом воздействии. Из числа предложений, основанных на статическом принципе, отметим, как наиболее характерное, устройство для вдавливания штампов, разработанное в НИИЖБе Г. К. Хайдуковым, А. И. Годером и Д. М. Рачевским. В зависимости от марки бетона берутся сферы радиусом 24, 14 и 10 см и гидравлическим домкратом создается усилие 2400, 2000 и 2200 кгс соответственно. Конец стального поршня домкрата, служащий штампом, обработан по сферической поверхности заданного диаметра. Для замера отпечатка на бетоне под поршнем укладывают по листу белой и копировальной бумаги. Для крепления всего устройства на исследуемом элементе и создания упора для домкрата имеются стальные захваты в виде массивных скоб. Существенным преимуществом штампов большого диаметра является передача усилия более значительному объему материала, что позволяет судить о совместной работе всех компонентов бетона. Другие же из рассмотренных ранее приборов (с наконечниками небольших размеров) дают в основном представление о характеристиках затвердевшего раствора между крупными включениями. К недостаткам установки следует отнести сравнительно большой ее вес, а также возникающие в отдельных случаях трудности закрепления, ограничивающие ее применение.

3.9. Акустические методы

Акустические методы основаны на возбуждении упругих механических колебаний. По параметрам этих колебаний и условиям их распро-

странения судят о физико-механических характеристиках и состоянии исследуемого материала. В зависимости от частоты колебаний акустические методы делятся на ультразвуковые (от 20 тыс. Гц и выше) и методы, основанные на использовании колебаний звуковой (до 20 тыс. Гц) и инфразвуковой (до 20 Гц) частот [8, 9].

1. Ультразвуковые методы. Возбуждение и прием колебаний. Для возбуждения ультразвуковых волн на поверхности исследуемого материала устанавливают *преобразователи* переменного электрического тока, создающие колебания. Чаще всего применяются преобразователи, действующие по принципу *пьезоэффекта*. При этом для возбуждения колебаний используется так называемый «обратный», а в преобразователях для приема колебаний – «прямой» пьезоэффекты. Поскольку воздушные прослойки препятствуют передаче и приему ультразвуковых колебаний, между преобразователями и исследуемым материалом наносят *контактирующую среду*. Для металла применяют обычно минеральное масло, для бетона и других материалов с неровной поверхностью необходимы смазки более густой консистенции – солидол, технический вазелин, эпоксидные смолы и т.д.

Условия прохождения ультразвуковых волн. Ультразвуковые колебания могут быть введены в исследуемую среду узким направленным пучком – «лучом» с малым углом расхождения. Колебания частиц происходят при этом лишь в локализованном объеме материала, ограниченном контурами пучка, а исследуемый же элемент в целом остается неподвижным. Эта возможность прозвучивания материала в заданных направлениях является весьма существенной при проведении исследований. Ультразвуковые волны, переходя из одной среды в другую, преломляются, а также отражаются от граней, разделяющих эти среды, что используется для определения их распространения при данном методе контроля. В воздушных прослойках ультразвуковые колебания затухают почти

полностью, что позволяет выявлять и исследовать скрытые внутренние дефекты: трещины, расслоения, пустоты и т.д. Различают *продольные* и *поперечные* волны. В первом случае частицы материала колеблются по направлению ультразвукового луча, а во втором – перпендикулярно к нему. Используют также *поверхностные* волны, как продольные, так и поперечные, распространяющиеся лишь в поверхностном слое материала и позволяющие, например, в металле, обнаруживать самые мелкие поверхностные повреждения. *Скорость распространения волн* (своя для каждого из указанных видов материалов) является одним из основных показателей при оценке физико-механических характеристик бетона, древесины и др. материалов с переменными плотностью и влажностью.

Способы прозвучивания. По направлению ультразвуковых волн различают два основных приема прозвучивания:

а) *сквозное* – когда излучатель, возбуждающий колебания, и приемник, воспринимающий их, расположены с противоположных сторон исследуемого объекта (рис. 3.4,а,б). Направление ультразвукового луча по отношению к поверхности материала может при этом быть как нормальным, так и наклонным;

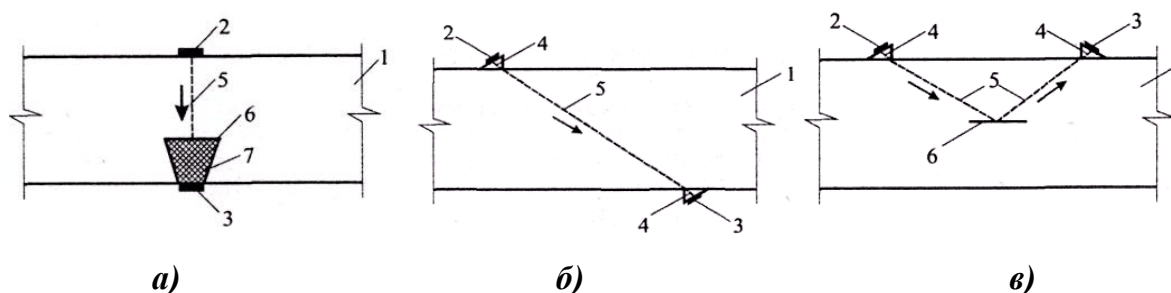


Рис. 3.4. Способы прозвучивания: а – сквозное прозвучивание нормально к поверхности элемента; б – диагональное прозвучивание; в – эхо-метод;
 1 – прозвучиваемый элемент; 2 – излучающая пьезоэлектрическая пластинка;
 3 – пьезопластинка, воспринимающая колебания; 4 – призма из оргстекла;
 5 – направление прозвучивания; 6 – выявляемый дефект; 7 – теневая зона

б) с использованием отражения или «эхо-метода», когда излучатель

и приемник располагаются на одной и той же стороне (рис. 3.4,в), что особенно существенно при возможности лишь одностороннего доступа к объекту. Кроме того, эхо-метод удобен при использовании не двух, а одного приемопередающего преобразователя, который последовательно посылает упругие волны и сам же принимает их отражения.

По характеру излучения необходимо различать:

а) *метод непрерывного* излучения с подачей к излучателю колебаний переменного тока постоянной частоты; по такому принципу были разработаны первые дефектоскопы (С.Я. Соколов, 1928 г.) для выявления дефектов в материале по направлению *звуковой тени* (рис. 3.4,в);

б) *импульсный метод*, получивший сейчас самое широкое применение как наиболее эффективный при исследованиях бетона, при дефектоскопии сварных швов металлоконструкций и др. В этом случае к преобразователю через определенные достаточно малые промежутки времени, например, 25 или 50 раз в 1 сек, подаются короткие серии («пакеты») колебаний высокой частоты. Регистрация ультразвуковых колебаний производится с помощью специальной аппаратуры. Наиболее распространенной является передача электрических колебаний от приемного преобразователя через усилитель на экран электроннолучевой трубки катодного осциллографа. С большой точностью при этом могут быть определены скорость прохождения ультразвуковых колебаний через исследуемый материал, интенсивность их затухания, а также другие показатели, используемые при оценке результатов измерений.

2. Область применения ультразвуковых методов. Определение динамического модуля упругости. Скорость распространения упругих колебаний v связана с динамическим модулем упругости $E_{\text{днн}}$ и плотностью ρ проверяемого материала соотношением

$$v = \sqrt{\frac{E_{дин}}{\rho}} \quad (3.5)$$

справедливым для случая продольных колебаний в стержне (одномерная задача). Определив экспериментально скорость распространения волны колебаний в элементе, длина которого велика по сравнению с его поперечными размерами, находим, $E_{дин} = v^2 \rho$, если плотность материала известна. В массивных и плитных конструкциях, т. е. для случаев трехмерной (пространственной) и двухмерной задач, а также для поперечных колебаний зависимость между $E_{дин}$ и v определяется более сложными соотношениями, в которые кроме ρ входит также коэффициент Пуассона μ рассматриваемого материала. Для одновременного нахождения всех трех параметров ($E_{дин}$, ρ и μ) необходимо сопоставление по крайней мере трех экспериментов по определению μ , произведенных в разных условиях с применением продольных и поперечных колебаний и в конструкциях разной размерности – пространственных, плитных и стержневых [8, 9].

Определение толщины элемента при одностороннем доступе. В серийно выпускаемых для этой цели *толщиномерах* используется непрерывное излучение продольных ультразвуковых волн регулируемой частоты. На рис. 3.5 показан график распространения колебаний (условно направленных не вдоль, а поперек направления луча) по толщине стенки. Дойдя до противоположной ее грани, волна отражается и идет в обратном направлении. Если проверяемый размер h точно равен длине полуволны (или кратен этой величине), а противоположная грань соприкасается с менее плотной средой, то прямые и отраженные волны совпадают. Амплитуды колебаний самой пьезопластинка при этом резко возрастают (явление резонанса), что сопровождается соответствующим увеличением разности потенциалов на ее поверхностях.

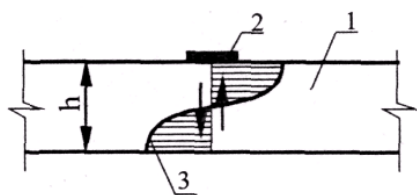


Рис. 3.5. Схема измерения толщины резонансным методом: 1 – исследуемая деталь;
2 – пьезоэлемент; 3 – совпадающие амплитуды прямой и обратной «стоячей» волны;
 h – толщина детали

Замерив соответствующую резонансную частоту f и зная скорость распространения волн по длине $2h$ (суммарный ход прямого и отраженного лучей), находим проверяемую толщину по формуле:

$$h = v / 2f \quad (3.6)$$

Для стали скорость продольных ультразвуковых волн практически постоянна ($v = 5,7 \times 10^5$ см/сек), что дает возможность, меняя частоту в пределах от 20 до 100 тыс. $гц$, надежно измерять толщину стенок от долей миллиметра до нескольких сантиметров.

Определение глубины трещины в бетоне. Излучающий и приемный преобразователи A и B располагаются симметрично относительно краев трещины на расстоянии a друг от друга (рис. 3.6). Колебания, возбужденные в точке A , попадут в точку B по кратчайшему пути: $ACB = \sqrt{4h^2 + a^2}$, где a – глубина трещины. При скорости v на это потребуется время $t_h = \sqrt{\frac{4h^2 + a^2}{v}}$, определяемое экспериментально.

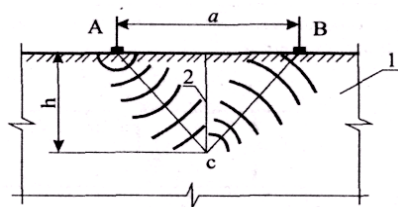


Рис. 3.6. Определение глубины поверхностной трещины в бетоне: 1 – бетонный массив;
2 – трещина; A – излучающий и B – приемный преобразователи

Глубину трещины находим из соотношения:

$$h = \frac{v}{2} \sqrt{t_h^2 - \left(\frac{a}{v}\right)^2}, \quad (3.7)$$

где скорость v определяется обычно на неповрежденных участках поверхности. По указанному методу могут быть исследованы трещины глубиной до нескольких метров.

Следует, однако, иметь в виду следующее: значения v на поверхности и в глубине массива могут несколько отличаться; длина пути ACB немного возрастет в случае неперпендикулярности трещины и, наоборот, может существенно уменьшиться при наличии в трещине воды, являющейся хорошим проводником ультразвуковых волн. В ответственных случаях, возможно, получить данные для глубоких трещин. Отметим также другие практически наиболее важные области применения ультразвуковых методов. В бетонных и железобетонных конструкциях производится:

- *определение прочности бетона* по корреляционным зависимостям между скоростью распространения ультразвуковых волн и прочностью бетона на сжатие, устанавливаемым путем параллельных ультразвуковых и прочностных испытаний образцов бетона заданного состава и режима изготовления (при контроле вновь изготавливаемых конструкций и деталей) или образцов, извлеченных из возведенных сооружений. В случае невозможности отбора образцов из уже эксплуатируемых конструкций ориентировочное определение прочности бетона возможно по тарировочной зависимости;

- *контроль однородности бетона* в сооружениях;

- *выявление и исследование дефектов в бетоне* сквозным прозвучиванием (возможным и при значительных толщинах бетона – до 10 м и более) и путем измерений на поверхности конструкций. О наличии и характере дефектов и повреждений судят при этом по изменениям

скорости прохождения ультразвуковых волн в пределах отдельных участков поверхности (так называемый метод годографа, т. е. графика скоростей);

– *определение толщины верхнего ослабленного слоя бетона*, расположения слоев разной плотности и т. п. Наличие арматуры в железобетонных конструкциях не мешает применению ультразвуковых методов, если направление прозвучивания не пересекает арматурные стержни и не совпадает с ними.

В металлических конструкциях:

– *импульсная дефектоскопия швов* сварных соединений в стальных и алюминиевых конструкциях;

– *дефектоскопия* основного материала;

– *толщинометрия* (определение толщин защитных металлических покрытий; выявление ослабления сечений коррозией).

В деревянных конструкциях и конструкциях с применением пластмасс:

– *проверка физико-механических характеристик*,

– *проверка качества* и дефектоскопия основного материала;

– *дефектоскопия* клеевых соединений и стыков.

3. Импульсные звуковые методы. Метод «ударной волны». Он основан на изменении скорости распространения *единичных импульсов*, возбуждаемых ударом легкого молотка или специальными приспособлениями, например электрического действия, для нанесения небольших ударов заданной силы. Для приема и регистрации сигналов может быть использована та же аппаратура, что и при ультразвуковом импульсном методе. Этот метод используется для контроля асфальтового и цементного бетонов в дорожных и аэродромных покрытиях и может быть применен также для испытания бетонных и железобетонных элементов длиной до 30 м [8, 9].

Вибрационный метод. Данный метод основан на использовании колебаний звуковой частоты и применяется при испытаниях образцов бетона (рис. 3.7). Рассматриваемый метод полезен при сооружении дорожных и аэродромных покрытий для получения быстрой и надежной информации о ходе технологического процесса и может также быть положен в основу автоматического управления. При этом о характеристиках материала судят по частотам, соответствующим резкому увеличению измеряемых амплитуд при наступлении явления резонанса (откуда и другое наименование метода – «резонансный»).

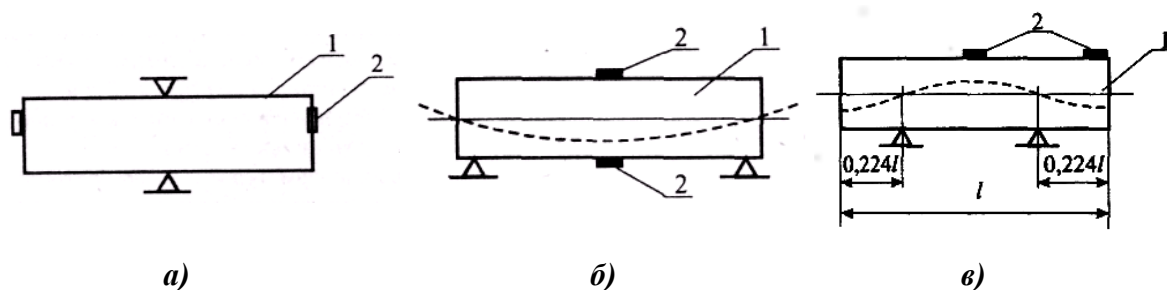


Рис. 3.7. Испытание образцов бетона резонансным методом: а – возбуждение продольных; б и в – изгибных колебаний; 1 – испытуемый образец; 2 – пьезопреобразователи

Метод «бегущей волны». При этом оригинальном методе к регистрирующему прибору, помимо сигналов, воспринимаемых приемным преобразователем, подводятся также сигналы генератора, возбуждающего непрерывные колебания. В результате сложения этих сигналов на экране электроннолучевой трубки появляются характерные изображения фигур Лиссажу. Меняя частоту в пределах ультразвукового и звукового диапазонов, а также положение и тип приемных преобразователей, можно наблюдать изображения, соответствующие продольным, поперечным и поверхностным волнам и по ним оценивать характеристики материала на разной глубине его нахождения [8, 9].

3.10. Магнитные, электрические и электромагнитные методы

5.1. Дефектоскопия металла. Сущность метода заключается в том, что магнитный поток, проходящий в металле и пересекающий трещину или иной дефект, встречает большое магнитное сопротивление в виде прослойки воздуха или неферромагнитного включения, а силовые линии, искривляясь, выходят на поверхность, что обуславливает возникновение местных потоков рассеяния. На рис. 3.8,*а* показано такое искажение потока, выходящее за контур исследуемого элемента. Рассеивание будет тем значительнее, чем больше вызывающий его дефект. В одинаковых условиях наибольшим является влияние дефекта, расположенного перпендикулярно к направлению силовых линий (рис. 3.8,*б*) [8, 9].

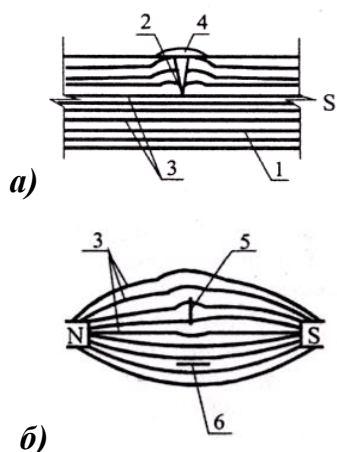


Рис. 3.8. Выявление дефектов по рассеиванию магнитного потока: *а* – образование местного магнитного потока рассеивания у трещины;
б – влияние ориентировки дефекта; 1 – исследуемый элемент; 2 – трещина; 3 – силовые линии магнитного поля; 4 – местный магнитный поток рассеивания; 5 – дефект, ориентированный перпендикулярно магнитным силовым линиям;
6 – то же, параллельно им

Намагничивание производится с помощью электромагнитов с использованием индукционных токов, циркулярным намагничиванием (т.е. с пропуском тока непосредственно через исследуемый элемент) и т.д. Необходимость намагничивания в двух взаимно перпендикулярных направлениях для выявления различным образом ориентированных дефектов отпадает при применении комбинированного метода – с одновременным воздействием, как постоянного поля электромагнита, так и циркулярного поля переменного тока, что обуславливает переменное направление намагничивания. Выявление дефектов производится различными методами.

Порошковый метод является самым простым и наиболее доступным. В нем применяют мелкоразмолотые ферромагнитные порошки – железный сурик, окалину и т. п., выбирая цвет порошка контрастным по отношению к цвету предварительно зачищенной проверяемой поверхности. Порошок наносится или сухим способом (напылением) либо в виде водной суспензии, что предпочтительнее при контроле строительных конструкций, или керосино-масляной (этот прием целесообразен при контроле смазанных маслом деталей механизмов). Над местами расположения дефектов порошок оседает в виде хорошо заметных скоплений. Четче всего выявляются поверхностные дефекты. Неровности сварных швов не мешают выявлению поверхностных дефектов, но затрудняют исследование расположенных в глубине. Так, например, в швах толщиной 10 мм удовлетворительно в виде прямых линий выявляются непровары, расположенные на расстоянии 2...4 мм от поверхности и идущие вглубь на 3...5 мм.

Магнитографический метод широко применяется при контроле сварных швов металлических трубопроводов. Намагничивание производится соленоидами, охватывающими или всю трубу или часть её периметра при больших диаметрах. Витки соленоида располагаются параллельно шву по обеим его сторонам. Для фиксации потоков рассеивания на шов накладывается магнитная лента, аналогичная применяемой в магнитной звукозаписи, но несколько большей ширины. И использованные ленты размагничиваются и становятся вновь пригодными к употреблению. Для расшифровки записи используют звуковые индикаторы или устройства для визуального наблюдения импульсов на экране электроннолучевой трубки и сопоставления их с импульсами от эталонированных дефектов. Имеются устройства, дающие и видимые изображения выявленных дефектов. Указанным методом может производиться сплошная проверка швов. Для контроля наиболее серьезные

из отмеченных дефектов дополнительно просвечиваются ионизирующими излучениями. Такое комбинированное использование разных методов оказывается весьма эффективным.

Применение магнитоскопов. В качестве примера на рис. 3.9 схематически показан принцип действия одного из наиболее известных приборов такого типа – дефектоскопа К. Х. Хренова и С. Т. Назарова. Сигналы о наличии дефекта в производственных условиях преобразуются обычно в звуковые, но могут быть использованы как показывающие так и регистрирующие приборы (измерители тока или напряжения, осциллографы и т.п.).

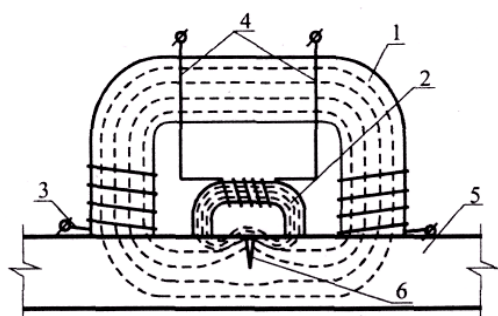


Рис. 3.9. Схема дефектоскопа К. Х. Хренова и С. Т. Назарова: 1 – электромагнит; 2 – электромагнитный датчик; 3 – проводка к сети переменного тока; 4 – то же, к усилителю; 5 – проверяемый элемент; 6 – дефект

Основным недостатком приборов рассматриваемого типа является довольно значительная длина базы их чувствительных элементов (в данном случае сердечника 2), что затрудняет уточнение границ и протяженности дефектов, поскольку регистрируются усредненные данные по длине базы искателя. Эти затруднения в значительной степени устраняются при пользовании *феррозондами* в виде малогабаритных линейных сердечников сечением до 1...3 мм с катушками.

2. Магнитные толщиномеры. С помощью магнитных и электромагнитных приборов толщина элементов из ферромагнитных металлов определяется с точностью до нескольких процентов, требуя доступа лишь с одной стороны. При этом используется существующая зависимость между регистрируемой величиной магнитного потока и толщиной исследуемого материала. Приборы такого типа просты и надежны в работе.

При доступе с двух сторон магнитными и электромагнитными методами могут быть определены толщины и неферромагнитных материалов, что и используется для управления технологическим процессом на поточной линии. В качестве примера на рис. 3.10 приведена схема магнитного толщиномера, где пара феррозондов 4 смонтирована вместе с постоянным магнитом 3 в "щупе" 2. С другой стороны элемента к нему прижат аналогичный магнит. Положение магнита в щупе регулируется так, чтобы при заданной толщине стенки ток от обоих феррозондов был равен нулю. Шкала измерительного прибора 5 отградуирована на отклонения от заданной толщины. Магнитными и электромагнитными методами с большой точностью могут быть измерены также толщины защитных покрытий на металлических элементах.

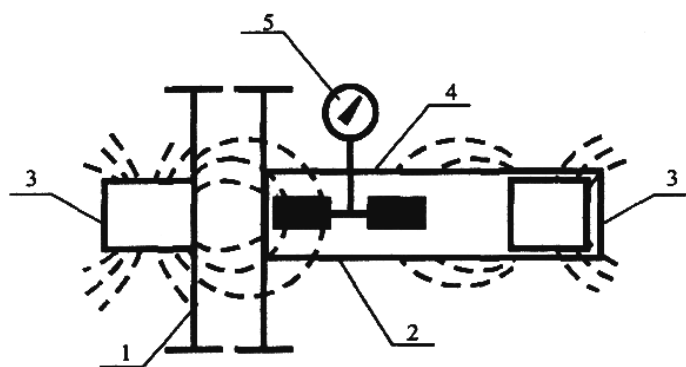


Рис. 3.10. Схема магнитного толщиномера для немагнитных материалов: 1 – проверяемый элемент; 2 – "щуп"; 3 – постоянные магниты; 4 – феррозонды; 5 – регистрирующий прибор

3. Определение напряжений с помощью магнитоупругого тестера. Метод, основанный на возникновении магнитной анизотропии под действием приложенных напряжений. Из числа приборов, работающих по данному принципу, следует отметить прибор конструкции Н. Н. Максимова, схема преобразователя которого (три сердечника с пятью катушками) показана на рис. 3.11. В центре сердечника расположена питающая катушка 1, а по диагоналям его – две пары измерительных катушек (2 и 3). Магнитный поток из средней катушки, попадая в исследуемый материал, рассредоточивается в основном по четырем направлениям. При одинаковой магнитной проницаемости потоки будут равны, а при наличии же магнитной анизотропии – различны, что и

измеряется прибором. Пунктиром со стрелками показано направление магнитных потоков в исследуемом элементе. Измерительная схема построена таким образом, что электродвижущая сила катушек может определяться как в каждой диагонали в отдельности, так и по их разности и сумме. При измерениях «на разность», поворачивая сердечник в плане, по экстремумам отсчетов выявляется направление главных напряжений в металле. По повторным измерениям при одинаковом положении сердечника можно судить о постоянстве напряженного состояния в данной точке или об его изменении.

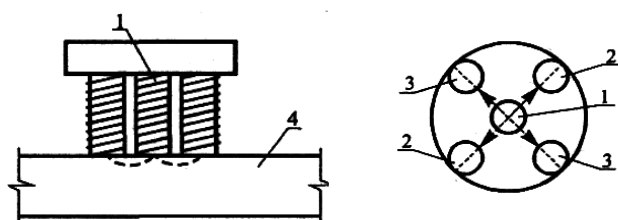


Рис. 3.11. Схема чувствительного элемента прибора Н. Н. Максимова для определения остаточных напряжений: 1 – питающая катушка; 2 и 3 – измерительные катушки; 4 – исследуемый элемент

При измерениях «по сумме» можно судить о величине главных напряжений. Необходимо иметь в виду что:

- магнитный поток, проходя в поверхностном слое металла, характеризует напряженное состояние лишь у поверхности элемента;
- на результаты измерений оказывает значительное влияние начальная магнитная анизотропия металла;
- при последовательных нагрузках и разгрузках появляются петли магнитного гистерезиса, не связанные с механическими напряжениями.

Другим перспективным направлением оценки напряженного состояния металла по его магнитным характеристикам является метод «магнитных меток». Сущность его заключается в наведении внешним магнитным полем остаточной намагниченности в отдельных локализованных зонах исследуемого металла. При изменении напряженного состояния последнего меняется и намагниченность этих "меток", являющихся таким образом своеобразными индикаторами механических напряжений.

Наведение и индикация намагниченности меток производится с помощью специальных переносных приборов. Рассматриваемый метод предложен для контроля натяжения арматуры в железобетонных конструкциях. Как наведение, так и индикация состояния гранитных меток, могут осуществляться на оголенной арматуре до ее бетонирования и в уже забетонированных деталях и конструкциях – через защитный слой бетона. Необходимо подчеркнуть следующее:

- данным методом выявляется лишь *изменение* напряженного состояния по сравнению с имевшим место при нанесении меток;
- переход от измерения остаточной намагниченности меток к механическому напряжению в арматуре может быть произведен лишь при наличии экспериментально установленной зависимости для *данной* арматуры, поскольку для разных меток металла эта зависимость не является стабильной;
- чередование нагрузок и разгрузок сопровождается появлением петель магнитного гистерезиса. Для исключения их влияния" требуется повторное нанесение меток перед переменной знака изменения напряжений.

Возможны и другие методы оценки напряженного состояния металла, например, по изменению электрического сопротивления (проводимости) и токовихревой, успешно разрабатываемые в настоящее время. Приборы рассматриваемого типа надежны и удобны.

4. Приборы магнитно-индукционного типа. Для выявления *положения и глубины залегания арматуры* предложены магнитометрические приборы, состоящие из двух постоянных магнитов, в центральной части магнитного поля, который расположен на оси небольшой магнит, соединенный со стрелкой–указателем. При приближении к арматуре напряженность магнитного поля в средней точке изменяется, что обуславливает возникновение магнитного момента, поворачивающего магнитик со стрелкой. Экстремум отклонения указателя соответствует

расположению прибора на поверхности контролируемого изделия над осями арматурных стержней, а отклонение стрелки указывает на толщину защитного слоя бетона [8, 9].

Принцип действия одного из наиболее распространенных приборов *индукционного типа* схематически показан на рис. 3.12. Индуктивный преобразователь 1 передвигается по поверхности исследуемой железобетонной конструкции или детали. Отдельно от него в корпусе прибора помещен аналогичный преобразователь с ферромагнитным смещаемым элементом 3, предназначенным для изменения индуктивного сопротивления при балансировке схемы. По мере приближения преобразователя 1 к арматурному стержню разбаланс, зависящий от толщины защитного слоя, диаметра стержня и ориентировки преобразователя по отношению к его направлению, будет уменьшаться. Шкала отсчетного устройства прибора проградуирована в миллиметрах защитного слоя для арматурных стержней разного диаметра.

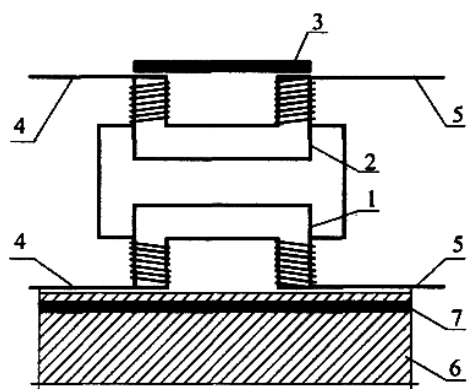


Рис. 3.12. Индукционный прибор для проверки положения и диаметра арматуры и толщины защитного слоя: 1 – выносной индуктивный преобразователь; 2 – преобразователь в корпусе прибора; 3 – стержень для регулирования индуктивного сопротивления; 4 – проводка к источнику переменного тока; 5 – проводка к отсчетному устройству; 6 – железобетонный элемент; 7 – арматурный стержень

Установив расположение стержней, передвигают преобразователь вдоль контролируемого стержня до положения, соответствующего минимальному отсчету, следя за тем, чтобы преобразователь находился между пересечениями арматуры. Записав толщины защитного слоя по шкалам всех диаметров, повторяют отсчет, поместив между бетоном и преобразователем прокладку, толщиной, например, 10 мм из оргстекла,

дерева или другого диамагнетика. Диаметр арматуры будет соответствовать той из шкал, разность отсчетов по которой окажется равной именно 10 мм.

3.11. Методы, основанные на использовании ионизирующего излучения

Неразрушающий контроль с помощью ионизирующих излучений эффективно используют во всех областях народного хозяйства. В настоящее время в строительстве широко применяют контроль рентгеновскими и гамма-излучениями для оценки физико-механических характеристик материалов и качества конструкций. При определении влажности материала оказывается целесообразным использование потока нейтронов. Преимуществом применения ионизирующих излучений является возможность быстрого и четкого получения определяемых характеристик. Работа с соответствующей аппаратурой хотя и не сложна, но требует наличия подготовленного для этой цели персонала. Необходимо также тщательное соблюдение требований техники безопасности во избежание вредного влияния ионизирующих излучений на организм человека [8, 9].

Область применения рентгеновского и гамма-излучений.
Наиболее важные направления для исследования дефектов в металлических конструкциях:

1. Дефектоскопия сварных соединений. На рис. 3.13 схематически показано просвечивание сварного шва. Наличие и положение дефекта выявляется на получаемом фотоснимке по более затемненному участку, воспроизводящему очертания отмечаемого дефекта. О величине его в направлении просвечивания судят сравнивая интенсивность вызванного им затемнения с затемнением, соответствующим пропилам разной

глубины на *эталоне чувствительности* (рис. 3.13,б) из аналогичного материала, проецируемым на тот же снимок. Глубина расположения дефекта выявляется смещением источника излучения параллельно фотопластинке. Схема определения положения дефекта незначительной толщины показана на рис. 3.14. При этом расстояние x от дефекта до поверхности снимка определяется из соотношения

$$x = \frac{cF}{c + c'},$$

где c , c' и F – размеры, показанные на рис. 48.

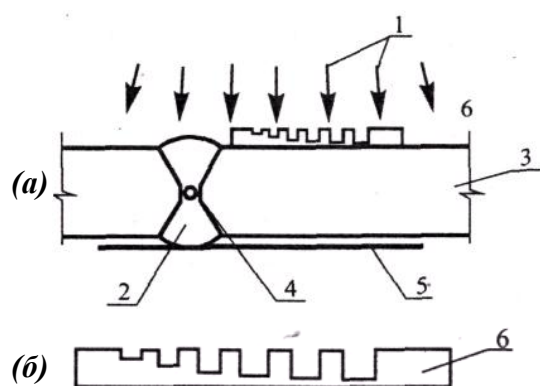


Рис. 3.13. Выявление дефекта в сварном шве: а – схема просвечивания;
б – эталон чувствительности (дефектометр); 1 – ионизирующий поток; 2 – наваренный металл шва; 3 – основной металл; 4 – дефект; 5 – фотопленка; 6 – эталон чувствительности

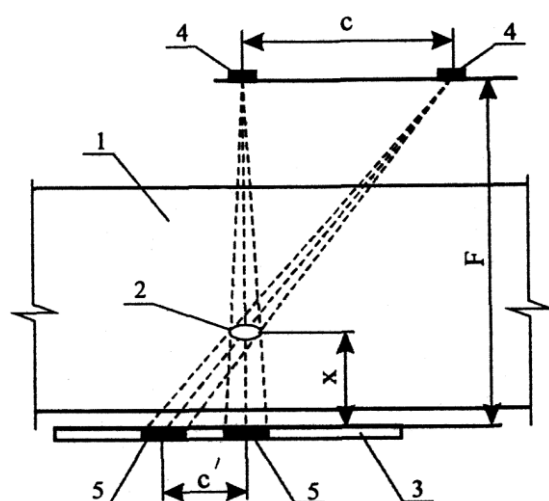


Рис. 3.14. Определение глубины расположения дефекта:
1 – просвечиваемый элемент;
2 – дефект; 3 – фотопленка;
4 и 4' – источник излучения в двух позициях; 5 и 5' – затемненные участки фотопленки; c – смещение источника излучения; c' – смещение центра заснятого изображения; F – фокусное расстояние; x – расстояние от фотопленки до горизонтальной оси дефекта

Дефекты незначительной толщины могут при этом остаться и не-обнаруженными. Отсюда следует важный вывод, что при применении ио-

низирующих излучений могут быть пропущены серьезные дефекты, но с малым раскрытием в направлении просвечивания (например, расслоение металла). Во избежание этого просвечивание следует производить по двум несовпадающим направлениям. В то же время именно перпендикулярные к заданному направлению дефекты наиболее четко устанавливаются ультразвуковыми методами, поскольку даже самые незначительные воздушные прослойки почти полностью гасят волны ультразвуковых колебаний. Оба метода контроля – ультразвуковой и с помощью ионизирующих излучений – таким образом, дополняют друг друга.

При дефектах одинакового размера и формы интенсивность потемнения будет наибольшей при совпадении направления дефекта с направлением просвечивания (рис. 3.15, поз. 2). При расположении дефекта под некоторым углом (рис. 3.15, поз. 2') излучения будут пересекать его по меньшему протяжению. Минимальная длина до пересечения, а следовательно, и наименьшая интенсивность потемнения, соответствует ориентировке дефекта перпендикулярно направлению просвечивания (рис. 3.15, поз. 2'') [8, 9].

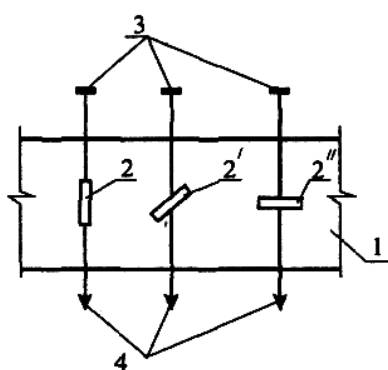


Рис. 3.15. К влиянию ориентации дефекта: 1 – просвечиваемый элемент; 2, 2', 2'' – различные ориентации дефекта; 3 – источники излучения; 4 – направления просвечивания

2. Определение напряженного состояния металла. Зная длину волны монохроматического рентгеновского излучения и угол падения его лучей на поверхность проверяемой детали, можно на основании замеров на соответствующих рентгенограммах вычислить основной параметр кристаллической структуры исследуемого материала – расстояние между центрами атомов в его кристаллической решетке. Сопоставляя полученное

значение с величиной того же параметра в ненапряженном состоянии, можно определить упругую деформацию материала. Таким образом, может быть выделена (что без нарушения сплошности неосуществимо другими методами) *упругая* составляющая деформированного состояния металла: в сварных швах после их остывания, в зонах резких перепадов напряжений, в деталях, обработанных давлением, например гнутых профилях, и т. д. Измерения при этом производятся (что также очень существенно) на весьма малых участках поверхности (порядка десятых долей мм). Однако рассматриваемый метод требует применения сложной аппаратуры и большой тщательности всех измерений. В то же время напряжения могут быть оценены лишь со сравнительно незначительной точностью (для стали – порядка $100 \dots 200 \text{ кгс/см}^2$). Дальнейшие разработки по усовершенствованию рентгеноскопического метода определения напряжений продолжаются. В бетоне и железобетоне производятся [8, 9]:

1) *определение объемной массы (плотности)* как уплотненной бетонной смеси, так и бетона в изделиях и конструкциях путем измерения ослабления или рассеивания потока гамма-излучений в бетоне. На рис. 50 схематически показано проведение соответствующих измерений. В *бетонную смесь* погружают зонды различной формы, при помощи, которых получают значения плотности или послойно (рис. 3.16,а), или усредненно для всей высоты контролируемого слоя (рис. 50,в). Возможно также применение преобразователя поверхностного типа, регистрирующего рассеянное излучение и не требующего погружения в толщу бетонной смеси. Контроль бетона в *готовых изделиях и конструкциях* толщиной до 500 мм, имеющих параллельные грани, осуществляется просвечиванием с применением П-образной скобы (рис. 3.16,б). При толщине более 500 мм, а также при одностороннем доступе к конструкции используется метод регистрации рассеянного излучения. В массивных конструкциях возможно также применение зондов, опускаемых

в специально пробуренные отверстия. Измерения должны проводиться на расстоянии не менее 100 мм от края конструкции или формы (для бетонной смеси) и от арматуры диаметром от 8 мм. Значения плотности берутся по шкале регистрирующего прибора, проградуированной в единицах плотности;

2) *контроль однородности и дефектоскопию* бетона производят сопоставлением результатов просвечивания в различных участках и точках конструкции. Отдельные дефектные участки целесообразно фиксировать на снимках. Для отчетливого выявления трещин просвечивание следует вести под углом не более 5° к их направлению;

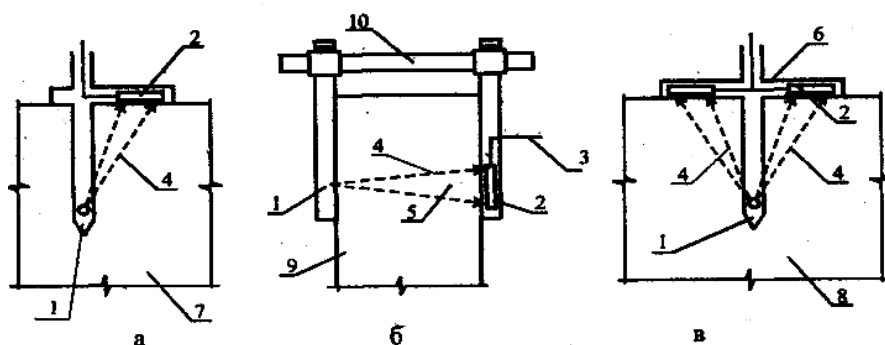


Рис. 3.16. Определение плотности бетона и бетонной смеси: а – Г-образный зонд;

б – П-образная скоба; в – Т-образный зонд; 1 – источник излучения;

2 – приемник излучения; 3 – проводка к регистрирующему прибору; 4 – пучок излучений; 5 – рассеивание излучения; 6 – защитный экран; 7 – бетонная смесь; 8 – бетонная смесь или бетон (в изделиях и конструкциях); 9 – бетонный элемент; 10 – металлическая скоба

3) *определение положения и диаметра арматуры, а также толщины защитного слоя бетона.* Схема просвечивания показана на рис. 3.17. Диаметр арматуры d и толщина защитного слоя бетона b определяются из выражений:

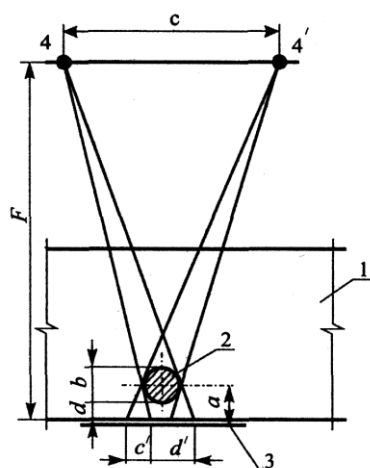


Рис. 3.17. *Определение диаметра арматуры и толщины защитного слоя бетона:*

1 – просвечиваемый бетонный элемент;
 2 – арматурный стержень; 3 – фотопленка, приложенная к нижней поверхности элемента;
 4 и 4' – положения источника излучения;
 а – расстояние от центра стержня до нижней грани элемента; b – толщина защитного слоя;
 с – перемещение источника излучения; с' – сдвиг края проекции при перемещении источника излучения из 4 в 4'; d – диаметр стержня; d' – проекция стержня на фотопленку; F – фокусное расстояние

$$d = d' \frac{c}{c + c'}, \text{ где размеры } c, c', d' \text{ и } F \text{ показаны на рис. 3.17.}$$

Перспективным является применение легких переносных бетатронов, обладающих высокой чувствительностью и большой проникающей способностью излучения.

3. Область применения нейтронного излучения. Для просвечивания деталей и конструкций применяют переносные источники нейтронных излучений. Поскольку нейтроны, как электрически нейтральные частицы, непосредственно на фотопленку не действуют, пользуются следующими приемами:

1) при «*прямом*» методе рядом с фотопленкой помещают нейтрон-активизируемый металлоэкрэн. Проходя через последний, нейтроны возбуждают в нем поток гамма-излучений, фиксируемый на пленке;

2) при «*косвенном*» методе облучению нейтронами подвергается металлический экрэн, который тотчас переносится в фотокассету, где наведенное гамма-излучение облучает пленку. Этот способ дает более четкие изображения. Применяются также и другие методы регистрации.

Особенностью нейтронного потока является то, что как замедление скорости нейтронов, так и их рассеивание тем значительнее, чем легче ато-

мы просвечиваемого материала, и они оказываются наиболее эффективным, поэтому применение нейтронов для определения *влажности материалов* – бетона, древесины и др. (различаются при этом атомы водорода как свободной, так и химически связанной воды); выявления в бетоне *пор, заполненных водой*, которые почти совершенно не обнаруживаются другими методами; просвечивания *пластмасс*, в том числе расположенных за металлическими оболочками и т. д.

В сварных швах металлоконструкций нейтронными излучениями выявляются *ликвации* (неоднородности химического состава сплавов, возникающие при кристаллизации), не обнаруживаемые рентгеновскими и гамма-методами.

3.12. Радиодефектоскопия и инфракрасная дефектоскопия

Радиодефектоскопия (*радиоволновой метод*) основана на проникающих свойствах радиоволн сантиметрового и миллиметрового диапазонов. С помощью этого метода выявляются как прошедшие через материал электромагнитные колебания («теневого» метод), так и отраженные и рассеянные излучения путем изменения резонанса системы, образованной излучателем и исследуемым элементом (резонансный метод), обнаруживаются поверхностные дефекты в неметаллических материалах типа пластмасс, древесины (в том числе и в клееных конструкциях), бетона, железобетона. Радиоволновой метод дает возможность исследовать как начальную стадию зарождения очагов нарушения сплошности, так и ход дальнейшего развития дефектов. Принцип использования метода следующий. От генератора, работающего в непрерывном или импульсном режиме, радиоволны проникают в конструкцию и с помощью усилителя регистрируются приемным устройством. С помощью радиоволнового метода представляется

возможность определения влажности материалов [8, 9].

В *тепловых методах (инфракрасная дефектоскопия)* регистрируются: 1) инфракрасное излучение от внешнего источника, отраженное от исследуемой конструкции или прошедшее сквозь него и 2) местные отклонения собственных инфракрасных излучений поверхности проверяемого элемента, нагретого, например, пропуском тока через электропроводящие материалы. Местные нарушения картины температурного поля являются чувствительными показателями наличия дефектов, в том числе и скрытых, не выявляемых при применении других методов контроля.

Инфракрасное излучение является электромагнитным излучением, занимающим спектральную область между красным концом видимого спектра с длиной волны $\lambda = 0,74$ мкм и коротковолновым радиоизлучением с длинами волн $\lambda = 1 \dots 2$ мм. Инфракрасное излучение используется для обнаружения непрозрачных для видимого света включений. Инфракрасное изображение дефекта можно получать в проходящем, отраженном и собственном излучении исследуемого объекта. Нагретые твердые тела испускают непрерывный инфракрасный спектр. При низких температурах (ниже 600°C) излучение нагретого твердого тела почти целиком расположено в инфракрасной области. При повышении температуры доля излучения в видимой области увеличивается, и тело вначале кажется темно-красным, затем красным, затем желтым и, наконец, при высоких температурах – белым. Многие вещества, прозрачные в видимой области, оказываются непрозрачными в некоторых областях инфракрасного излучения и наоборот. Так, слой воды в несколько сантиметров непрозрачен для инфракрасного излучения; пластинки германия и кремния, непрозрачные в видимой области, прозрачны в инфракрасной. У большинства материалов отражательная способность для инфракрасного излучения значительно больше, чем для видимого света. Мощным

источником инфракрасного излучения является солнце, около 50% излучения которого лежит в инфракрасной области. Значительная доля (от 70 до 80%) энергии излучения ламп накаливания с вольфрамовой нитью приходится на инфракрасное излучение.

Приемники инфракрасного излучения основаны на преобразовании энергии инфракрасного излучения в другие виды энергии, которые могут быть измерены обычными методами. В тепловых приемниках инфракрасного излучения регистрируется повышение температуры термочувствительного элемента. В фотоэлектрических приемниках поглощенное инфракрасное излучение приводит к появлению или изменению электрического тока или напряжения. Фотоэлектрические приемники обладают селективными свойствами, т. е. являются чувствительными лишь в определенной области спектра. На специальных фотопленках и пластинках в инфракрасном излучении могут быть получены фотографии. Отмеченное свойство позволяет оперативно дистанционно анализировать качество ограждающих конструкций зданий и сооружений.

Для преобразования инфракрасного излучения в видимое используются так называемые *тепловизоры*. В этих приборах воспроизводится разность температур на поверхности предмета визуально. Прибор производит развертку поля зрения и передает инфракрасные излучения на детектор, который преобразует инфракрасный сигнал в электрический. После усиления этого сигнал регулирует интенсивность пучка в трубке телевизионного устройства. Пучок разворачивается на экране и дает изображение, наблюдаемое с помощью прибора. На экране возникает тепловая картина: более светлые участки соответствуют поверхностям предмета с более высокими температурами. Тепловизоры позволяют оценить качество заделки швов.

3.13. Оценка качества и состояния строительных материалов и соединений

Проверке подлежат главные параметры, характеризующие родом материала и соединений и условиями их работы. Выполняемые при этом операции разделяются на следующие группы [8, 9]:

1) определение *физико-механических характеристик* – прочности, деформативности (в частности, значения модуля упругости), однородности, объемной плотности, влажности;

2) *дефектоскопия* материалов и соединений – нарушения сплошности (трещины, сколы, расслоения, пустоты и т. п.), посторонние включения, поражения коррозией, гнилью и т. п.;

3) *толщинометрия* – в основном для конструкций, доступных при измерениях лишь с одной стороны (когда без устройства отверстий не могут быть выполнены обычные геометрические замеры);

4) в отдельных случаях приходится, кроме того, проверять *химический состав* и структуру примененных материалов.

В результате произведенных измерений устанавливается марка или класс материала, т. е. оцениваются фактические физико-механические характеристики материала в данном сооружении, и проверяется состояние материала и соединений, а также соответствие их требованиям эксплуатации. При приемочных освидетельствованиях основной задачей является сопоставление проектных значений и действительных характеристик примененных материалов. При повторных освидетельствованиях, если они имеют место, выявляются изменения этих характеристик в условиях эксплуатации.

По *способу* проведения необходимых исследований и измерений применяемые методы могут быть отнесены к следующим основным группам [8, 9]:

1 – способы, связанные с *отбором образцов*, характерным для этой группы способов является нарушение сплошности материала, неизбежное при выемке образца даже самого незначительного размера;

2 – *неразрушающие методы*, когда все измерения проводятся непосредственно на объекте без повреждения его элементов;

3 – к *промежуточной группе* относятся методы, не требующие выемки каких-либо образцов, но все же в большей или меньшей степени оставляющие на объекте следы производственных операций (например, вмятины поверхности).

Отбор образцов для традиционных лабораторных испытаний. Взятие образцов материала производится для лабораторных испытаний. Отбор любого образца связан с ослаблением исследуемого элемента. Однако для массивных бетонных блоков извлечение образцов практически нечувствительно, т.к. образовавшиеся пустоты могут быть надежно заполнены бетоном. В металлических конструкциях вырезка даже небольших кусков металла из ответственных элементов весьма нежелательна и требует затем тщательной работы по восстановлению полной работоспособности ослабленных сечений.

С учетом трудностей, связанных с отбором образцов и заделкой повреждений, естественной является тенденция к всемерному ограничению числа отбираемых проб, а также стремление предоставлять для их отбора по возможности менее ответственные и даже второстепенные элементы и участки сооружения. Однако этим нарушается основная цель взятия образцов материала для исследования, поскольку наиболее существенным с точки зрения оценки работоспособности сооружения является состояние материала именно в *ответственных* элементах конструкций. С другой стороны, образцы, взятые из второстепенных элементов, могут оказаться не характерными для сооружения в целом, так как нередко в процессе строительства для менее

ответственных частей, в силу необходимости, используют и "случайные", имеющиеся под рукой, материалы, которые не могли бы быть применены для основных элементов.

Для получения сколько-нибудь исчерпывающего представления о работе всего сооружения в целом и для суждения об однотипности материала недостаточно единичных образцов, а требуется большее количество проб, взятых из десятков, а для крупных сооружений – и из сотен точек. Между тем извлечение такого количества образцов является трудоемкой задачей, выполнение которой не всегда может быть обеспечено в требуемые, обычно сжатые, сроки.

В то же время результаты испытаний образцов могут в отдельных случаях дать и не вполне правильное представление о состоянии материала непосредственно в сооружении. Расхождения могут быть вызваны повреждением материала образца в процессе его извлечения, а также изменением характеристик материала образца от момента его взятия до момента испытания. Несмотря на все эти недостатки, испытания образцов продолжают все же достаточно широко применяться, поскольку этот способ прост; проведение же самих испытаний в лабораторных условиях осуществляется в соответствии с указаниями действующих нормативных документов. Взятие образцов и отправка их для испытаний может производиться силами обычного техперсонала, без привлечения высококвалифицированных специалистов.

Отбор образцов металлических конструкций. Заготовки для образцов берутся обычно путем огневой резки. При разметке образцов для их последующей механической вырезки следует отступать не менее чем на 10 мм от грани заготовки для исключения образующейся при огневой резке зоны термического влияния с измененной структурой материала. Весьма перспективным является применение электроэрозионной резки, обеспечивающей возможность извлечения образцов любого очертания без

последующей обработки кромок.

Для уменьшения ослабления сечения образцы обычно берутся минимальных размеров. Вырезки в элементах конструкции должны быть заполнены сваркой соответствующих вставок с усилением их, в случае необходимости, дополнительными накладками. Очень важно, чтобы остаточные напряжения сварки у вновь осуществляемых швов не ухудшали условий работы элементов и не создавали бы возможности появления в них хрупких трещин.

Отбор образцов бетона. В отличие от металла для бетона, как материала неоднородного с заполнителями разной крупности, затруднена возможность испытания на малых образцах. По ГОСТ 10180–78 размеры (длины ребер) кубиков для испытания на сжатие даже при наименьшей крупности заполнителя должны быть не менее 70,7 мм; балочки для испытания на изгиб должны иметь сечение от 100х100 мм при длине 400 мм и т.д. Выборка образцов такого размера может быть выполнена без нарушения работы элемента лишь в массивных бетонных и железобетонных конструкциях и блоках. В других случаях приходится прибегать к испытаниям нестандартных образцов с размерами, обусловленными сечениями исследуемых элементов. Основным затруднением при извлечении бетонных образцов является возможность их повреждения. Наилучшим способом является выбуривание бетонных цилиндров с помощью алмазных коронок. Разработаны передвижные станки для резки бетона (например, в плитах) с помощью кругов и дисков из синтетических алмазов. Можно пользоваться для той же цели стальными дисками и ленточными пилами, усиленными, например, наваркой крошки сверхтвердых сплавов. Значительно худшие результаты получаются при часто применявшемся ранее перфораторном бурении ввиду неизбежных при этом повреждений и нарушений сплошности наружного слоя бетона заготовок.

Пустоты, образовавшиеся в элементах сооружений после выемки заготовок для образцов, должны быть сразу же заделаны. Желательно применять для этой цели бетон на безусадочном цементе – во избежание появления трещин по поверхностям стыкования заполнения со старой кладкой. Если образцы, взятые из сооружения, испытываются не тотчас же после их извлечения, то приходится считаться с возможностью постепенного изменения физико-механических характеристик бетона образцов при их хранении. Известно, например, что в крупных блоках бетон внутри массива может по своим характеристикам, в том числе и по прочности, может отличаться от бетона наружных слоев того же массива. После извлечения из блока глубинного образца последний при хранении оказывается уже в других условиях, и его прочность может быстро возрастать. Образец перестает, следовательно, характеризовать состояние аналогичного материала, оставшегося в глубине сооружения. Основным требованием является скорейшее испытание бетонных образцов взятых из сооружения. Указанный недостаток в значительной степени устраняется при подготовке образцов бетона по способу, предложенному для дорожных, аэродромных и иных покрытий: в плите в процессе ее бетонирования устанавливаются металлические бездонные формы, смазанные техническим маслом для предупреждения сцепления их с бетоном. После твердения бетона формы извлекаются, а образовавшиеся зазоры заполняются песком.

Техническая диагностика мостов с применением метода акустической эмиссии для исследования факторов, влияющих на появление дефектов в железобетонных частях мостов активно внедряют во многих странах, так как это наиболее информативный из известных методов диагностики [5]. В отличие от традиционных методов неразрушающего контроля, в методе акустической эмиссии регистрируемое поле создается самим объектом и несет полный объем

информации о процессах, происходящих в данный момент и прогнозируемых во времени. Полученные результаты заставляют серьезно задуматься. Основная масса мостов возведена 40-60 лет назад. Средний срок их службы составляет 50 лет, а максимальный –105 лет [6].

3.14. Диагностика характерных дефектов

Причины аварий и повреждений сооружений. Уже на заре первобытного человечества люди сооружали жилища, мосты, культовые и другие сооружения, не имея никакого представления о теориях расчетов и конструировании, не сознавая, что вступают в невидимый конфликт с силами природы, в первую очередь с силами гравитации, которые, воздействуя на конструкцию сооружения, создают в ней внутреннее сопротивление разрушению либо создают условия, приводящие со временем к деградации свойств строительных материалов и конструкций. Если конструкция была в состоянии противостоять этим силам, то строительство завершалось успешно. В противном случае происходили аварии, и даже катастрофы с большими материальными потерями и даже человеческими жертвами. Единственным руководством для строителей с первобытных времен вплоть до средневековья был опыт возведения различных сооружений накапливаемый и передаваемый из поколения в поколение. Опыт подсказывал возможность построения подобных или более крупных объектов, чем уже построенные, если они удовлетворительно выполняли свои функции, а примерами аварий предостерегал от повторения ошибочных решений при назначении формы и размеров конструкций, выборе материалов и определении условий их работы. Наиболее успешно построенные сооружения дошли до нас в виде выдающихся памятников древнего зодчества [1–5].

Первым, известным (по документам и из Библии) случаем драмати-

ческой развязки конфликта между замыслами человека и реальными возможностями, является обрушение Вавилонской башни. В начале нашей эры в Фиденгах обрушился амфитеатр, под обломками которого погибли многие тысячи человек. Аварии конструкций возникали по разным причинам на протяжении всей истории строительства. Случаются они и в настоящее время.

Так, например, в 1879 году, через 19 месяцев после начала эксплуатации, в Англии обрушился Тейский мост длиной 3,5 км, шириной 4,5 м. Мост был рассчитан на вертикальную нагрузку с двадцатикратным запасом прочности. Пролетные строения опрокинулись от воздействия горизонтальной ветровой нагрузки. Катастрофа послужила толчком для уточнения расчетов на ветровую нагрузку. В 1891 года также в Англии, у станции Норзуд обрушился железнодорожный чугунный мост пролетом 9 м, после эксплуатации в течение 31 года. Причиной аварии послужила хрупкость чугуна. После этой аварии чугун для строительства мостов не применяют. В 1905 году в Петербурге обрушился Египетский мост, когда по нему проезжала конница. Обрушение произошло в результате резонанса, порожденного ритмичным шагом большой массы конницы, в результате стали учитывать возможность возникновения резонанса.

В 1907 году произошло обрушение Квебекского моста в Канаде через реку Св. Лаврентия длиной 988 м, с главным пролетом 549 м. Обрушение произошло во время строительства. Из 86 работников погибло 75 человек. 28 января 1922 года в Вашингтоне обрушилось покрытие над зрительным залом кинотеатра «Никарбокар». Погиб 91 человек и 200 получили тяжелые ранения. Причиной аварии послужили перегрузка перекрытия снегом и низкая температура наружного воздуха, вызвавшие дополнительные сжимающие напряжения в верхних поясах стропильных ферм. Стали больше внимания уделять температурным воздействиям. В 1940 году в США обрушился узкий, гибкий висячий мост Такома Нерроуз

через реку Такома длиной 1662 м, с главным пролетом 854 м (рис. 3.18).



Рис. 3.18. Висячий мост Такома Нерроуз через реку Такома: сверху – разрушение моста, снизу – тот же мост, усиленный фермами, обеспечившими жесткость плиты пролетного строения

Обрушение произошло через 4 месяца после начала эксплуатации в течение 45 минут в результате больших динамических колебаний, вызванных ветром, имевшим скорость 18,8 м/с. В настоящее время динамический характер ветровых воздействий учитывается при проектировании мостов.

Как видим, к авариям приводят разнообразные причины, которые возникают на всех этапах проектирования, строительства и эксплуатации объектов. Иногда они являются результатом недостаточного уровня знаний о работе конструкций, а иногда – халатности и недобросовестности строителей и эксплуатационников. Для устранения возможности возникновения аварий требуется длительное накопление опытных данных, а также повышение профессиональной подготовки специалистов. Увеличение надежности и улучшение конструктивных решений должно базироваться на опыте строительства и на научных исследованиях, имеющих многовековую историю.

Согласно действующим в настоящее время принципам проектирования и расчета несущих конструкций по предельным состояниям при обследовании все обнаруженные дефекты (отклонения от нормативных требований) необходимо разделять на следующие типы: де-

фекты, указывающие на угрозу снижения или необеспечения несущей способности; дефекты, недопустимые с позиций пригодности конструкций к нормальной эксплуатации.

При этом необходимо иметь в виду, что одни и те же дефекты могут указывать на неудовлетворение, как по несущей способности, так и по пригодности к эксплуатации. Например, ширина раскрытия трещин, нормальных к продольной оси изгибаемого элемента (без предварительного напряжения), в растянутой зоне $a_{crc} \gg 0,4$ мм свидетельствует о превышении требований по второй группе предельных состояний, ограничивающих ширину раскрытия величиной $a_{crc} \leq 0,3$ мм, и одновременно указывает на возможность достижения предела текучести арматурной стали А – II, что сопряжено с потерей несущей способности элемента.

Одним из наиболее характерных дефектов бетонных и железобетонных конструкций являются трещины. В соответствии с требованиями СНиП в зависимости от категории трещиностойкости, связанной с условиями эксплуатации, видом (классом) арматуры, напряженным состоянием сечений (растяжение, сжатие) и продолжительностью раскрытия, предельно допустимая ширина раскрытия трещин в условиях неагрессивной среды колеблется от $a_{crc} \leq 0,1$ мм до $a_{crc} \leq 0,4$ мм. Для 1-й категории трещиностойкости образование трещин вообще не допускается. Следует различать трещины, появление которых вызвано напряжениями, проявившимися в железобетонных конструкциях в процессе изготовления, транспортировки и монтажа, и трещины, обусловленные эксплуатационными нагрузками и воздействием окружающей среды.

К трещинам, появившимся в доэксплуатационный период, относятся: усадочные трещины, вызванные быстрым высыханием поверхностного слоя бетона и сокращением объема, а также трещины от набухания бетона;

трещины, вызванные неравномерным охлаждением бетона; трещины, вызванные большим гидратационным нагревом при твердении бетона в массивных конструкциях; трещины технологического происхождения, возникшие в сборных железобетонных элементах в процессе изготовления, доля которых в общем количестве дефектов в сборных железобетонных конструкциях достигает 60 %; трещины в сборных железобетонных элементах силового происхождения, вызванные неправильным складированием, транспортировкой и монтажом, при которых конструкции подвергались силовым воздействиям от собственного веса по схемам, не предусмотренным проектом.

Трещины, появившиеся в эксплуатационный период, можно разделить на следующие виды [3, 72]: трещины, возникшие в результате температурных деформаций из-за нарушений требований устройства температурных швов или неправильности расчета статически неопределимой системы на температурные воздействия; трещины, вызванные неравномерностью осадок грунтового основания, что может быть связано с нарушением требований устройства осадочных деформационных швов, аварийным замачиванием грунтов, проведением земляных работ в непосредственной близости от фундаментов без обеспечения специальных мер; трещины, обусловленные силовыми воздействиями, превышающими способность железобетонных элементов воспринимать растягивающие напряжения.

Трещины силового характера необходимо анализировать с точки зрения напряженно-деформированного состояния железобетонной конструкции. Так, в изгибаемых элементах, работающих по балочной схеме, возникают трещины, перпендикулярные (нормальные) продольной оси, вследствие появления растягивающих напряжений в зоне действия максимальных изгибающих моментов, и трещины, наклонные к продольной оси, вызванные главными растягивающими напряжениями в

зоне действия существенных перерезывающих сил и изгибающих моментов (рис. 3.19).

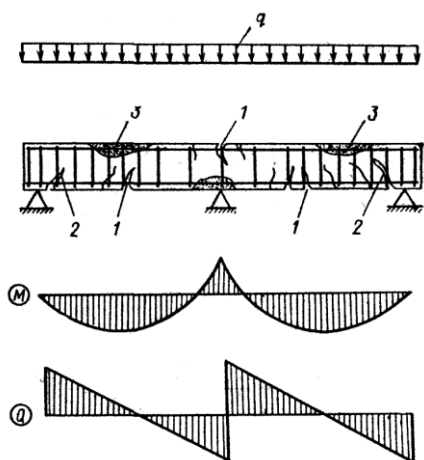


Рис. 3.19. Характерные трещины в изгибаемых железобетонных элементах, работающих по балочной схеме: 1 – нормальные трещины в зоне максимального изгибающего момента; 2 – наклонные трещины в зоне максимальной поперечной силы; 3 – трещины и раздробление бетона в сжатой зоне элемента

Нормальные трещины имеют максимальную ширину раскрытия в крайних растянутых волокнах сечения элемента. Наклонные трещины начинают раскрываться в средней части боковых граней элемента – в зоне действия максимальных касательных напряжений, а затем развиваются в сторону растянутой грани. Раздробление бетона сжатой зоны сечений изгибаемых элементов указывает на исчерпание несущей способности конструкции. Характерно развитие трещин силового происхождения на нижней растянутой поверхности плит с различным соотношением сторон (рис. 3.20). При этом бетон сжатой зоны может быть не нарушен. Смятие бетона сжатой зоны указывает на опасность полного разрушения плиты. Появление продольных трещин вдоль арматуры (рис. 3.21) в сжатых элементах свидетельствует о разрушениях, связанных с потерей устойчивости (выпучиванием) продольной сжатой арматуры из-за недостаточного количества поперечной (косвенной) арматуры. Вообще же дефекты в виде трещин и отслоения бетона вдоль арматуры железобетонных элементов могут быть вызваны и коррозионным разрушением арматуры. В этих случаях происходит нарушение сцепления продольной и поперечной арматуры с бетоном. Нарушение сцепления арматуры с бетоном за счет коррозии можно установить простукиванием

поверхности бетона, при этом прослушиваются пустоты.

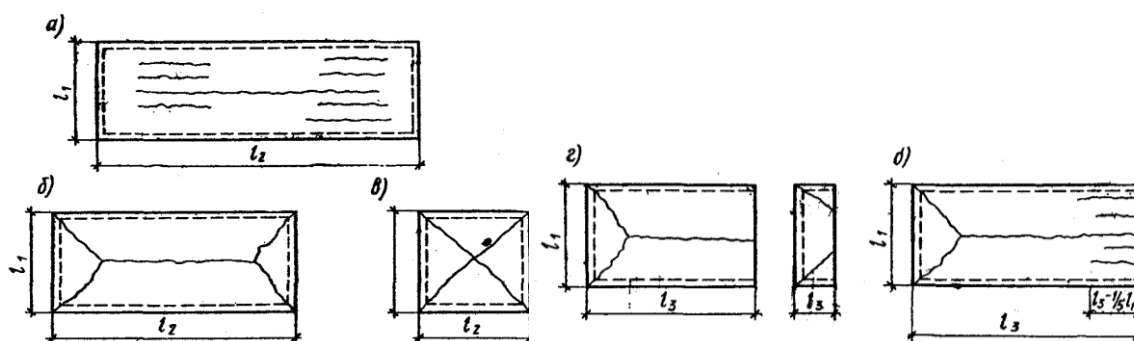


Рис. 3.20. Характерные трещины по нижней поверхности плит:

а – работающих по балочной схеме при $l_2/l_1 \geq 3$; б – опертых по контуру при $l_2/l_1 < 3$; в – то же, при $l_2/l_1 = 1$; г – опертых по трем сторонам при $l_2/l_1 \leq 1.5$; д – то же, при $l_2/l_1 > 1.5$

Продольные трещины вдоль арматуры с нарушением сцепления ее с бетоном могут быть вызваны и температурными напряжениями при эксплуатации конструкций с систематическим нагревом свыше 300°C или после действия пожара. Появление в изгибаемых элементах поперечной, практически перпендикулярной продольной оси элемента трещины, проходящей через все сечение (рис. 3.22), может быть связано с воздействием дополнительного изгибающего момента в горизонтальной плоскости, перпендикулярной плоскости действия основного изгибающего момента (например, от горизонтальных сил в подкрановых балках). Такой же характер имеют трещины и в растянутых железобетонных элементах, но при этом трещины просматриваются на всех гранях элемента, опоясывают его.

Необходимо обращать внимание на трещины, обнаруженные на опорных участках у торцов железобетонных конструкций. Трещины у торцов предварительно напряженных элементов, ориентированные вдоль арматуры, указывают на нарушение анкеровки арматуры. Об этом же свидетельствуют и наклонные трещины в приопорных участках, пересекающие зону расположения предварительно напряженной арматуры и распространяющиеся на нижнюю грань края опоры (рис. 3.23). Элементы

решетки раскосных железобетонных ферм, как известно, могут испытывать сжатие, растяжение, а в опорных узлах – действие перерезывающих сил.

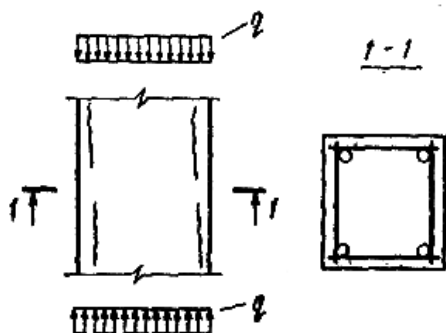


Рис. 3.21. Трещины вдоль продольной арматуры в сжатых элементах

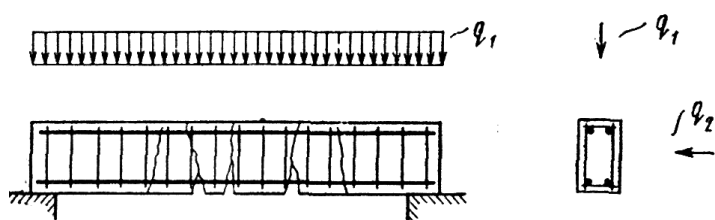


Рис. 3.22. Трещины по всей высоте сечений элементов, изгибаемых в двух плоскостях

Характерные повреждения при разрушении отдельных участков таких ферм приведены на рис. 3.24. Так, в опорном узле могут возникнуть помимо трещин 1, 2 (рис. 3.23) повреждения типа 1, 2, 4 (рис. 3.24). Появление горизонтальных трещин в нижнем преднапряженном поясе типа 4 (рис. 3.24) свидетельствует об отсутствии или недостаточности поперечного армирования в обжатом бетоне. Нормальные (перпендикулярные к продольной оси) трещины типа 5 (рис. 3.24) появляются в растянутых стержнях при необеспеченности трещиностойкости элементов, т. е. при $N > N_{crs}$. Следует обратить внимание на то обстоятельство, что снятие внешней нагрузки на ферму, уменьшая растягивающие усилия в нижнем поясе, приводит к закрытию трещин типа 5, но при этом может вызвать увеличение раскрытия горизонтальных трещин типа 3. Появление повреждений в виде лещадок типа 2 свидетельствует об исчерпании прочности бетона на отдельных участках сжатого пояса ($\sigma_b = R_b$) или на опорах. В изгибаемых элементах, как правило, появлению трещин сопутствует увеличение прогибов и углов

поворота. Недопустимыми (аварийными) можно считать прогибы изгибаемых элементов более $1/50$ пролета при ширине раскрытия трещин в растянутой зоне более 0,5 мм.

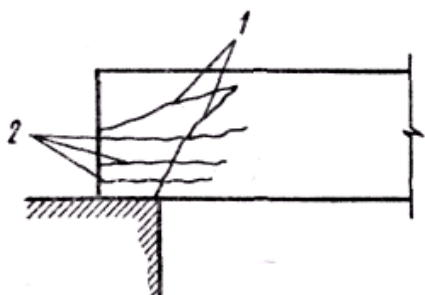


Рис. 3.23. Трещины в опорной части предварительно-напряженного элемента:
1 – при нарушении анкеровки напряженной арматуры; 2 – при недостаточности косвенного армирования сечения на действие усилия обжатия

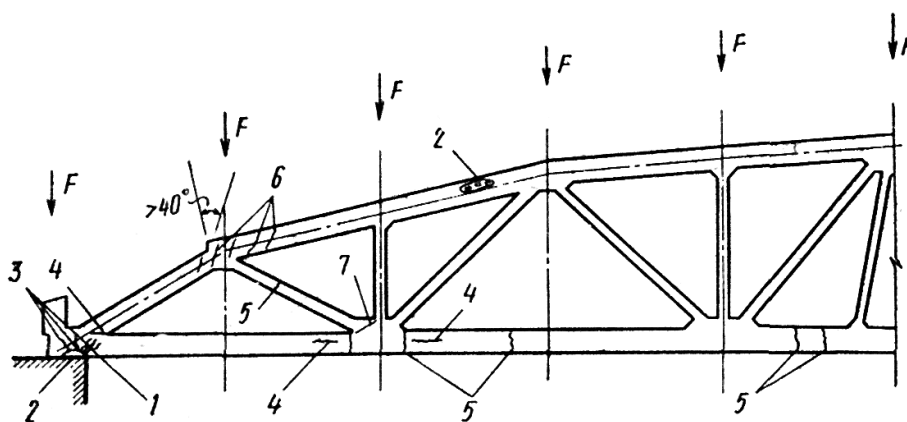


Рис. 3.24. Характерные повреждения силового происхождения в железобетонных фермах с нижним предварительно напряженным поясом:
5 – наклонная трещина опорного узла; 2 – откол лещадок; 3 – лучеобразные и вертикальные трещины; 4 – горизонтальная трещина; 5 – вертикальные (нормальные) трещины в растянутых элементах; 6 – наклонные трещины в сжатом поясе фермы; 7 – трещины в узле нижнего пояса в месте примыкания растянутого раскоса

Опыт обследования многих сооружений позволяет обобщить наиболее характерные дефекты, которые могут быть в конструкциях. В каждой конкретной конструкции имеются свои дефекты и повреждения.

Характерные дефекты каменных конструкций: 1) отсутствие перевязки швов и некачественная кладка; 2) трещины в каменной кладке; 3) насыщение влагой и промерзание; 4) расслоение и осыпание кладки, выпадение облицовочных плиток; 5) нарушение вертикальности стен и

столбов; 6) отсутствие связей–анкеров с перекрытиями; 7) отсутствие арматурных сеток в простенках, арматуры в перемычках; 8) недостаточная прочность и морозостойкость кирпича и раствора; 9) недостаточная пространственная жесткость здания; недостаточное количество поперечных стен, отсутствуют связи и диафрагмы; 10) некачественная вертикальная и горизонтальная гидроизоляция в стенах подвала; 11) малый вынос карниза, что ведет к увлажнению стен; 12) механические повреждения от транспорта и др.

Характерные дефекты железобетонных конструкций: 1) отслоение защитного слоя бетона; 2) коррозия арматуры и закладных деталей; 3) отступление от проекта в армировании; несоответствие класса и диаметра шагов арматуры проектным; 4) трещины: усадочные, температурные, осадочные и деформационные; 5) негерметичность стыков панелей, раскрытие их; 6) низкая прочность бетона по сравнению с проектом; 7) увлажнение и промерзание стеновых панелей; 8) нарушение сцепления бетона и арматуры, например, после пропитки маслами; 9) коррозия поверхности бетона от агрессивности среды, воды и ветра; 10) механические повреждения и износ от истирания; 11) недопустимые прогибы, крены и горизонтальные отклонения; 12) изъяны, раковины, пустоты в бетоне, связанные с расслоением бетонной смеси, неправильным подбором состава бетона; 13) недостаточная площадь опирания конструкций; 14) некачественное выполнение сварных соединений.

Характерные дефекты металлических конструкций: 1) искривления стержневых элементов; 2) выпучивание полок и стенок составных сечений балок и колонн; 3) коррозия элементов и соединений; 4) трещины всех видов; 5) пересечения или примыкания сварных швов друг к другу; 6) резкие перепады сечений элементов; 7) прикрепление узловых фасонок к поясам ферм прерывистыми швами; 8) входящие углы в деталях; 9) дефекты сварных швов (отсутствие подварки корня шва, наплывы,

прожоги, перерывы, неполное проплавление, шлаковые включения, поры, трещины, незаваренные кратеры, зарубки, надрезы); 10) отсутствие плавного перехода от металла сварного шва к основному металлу в конструкциях, воспринимающих динамические нагрузки.

Характерные дефекты предварительно напряженных конструкций:

1) непроектная величина предварительного напряжения (чаще недостаточная); 2) плохая анкеровка концов затяжек в металлических и деревянных и арматуры в железобетонных конструкциях; 3) некачественное инъектирование каналов и заделка стыков монтажных элементов; 4) трещины в зоне анкеровки предварительно напряженной арматуры в железобетонных конструкциях; 5) вертикальные трещины в пролетных участках железобетонных балок и плит и в деревянных конструкциях; 6) коррозия арматуры, затяжек и конструкций в целом, вызванная агрессивностью среды; 7) недостаточная прочность материалов, из которых изготовлены конструкции; 8) механические повреждения в период транспортирования и монтажа конструкций; 9) нарушение технологии предварительного напряжения конструкций, например, приложение усилий преднапряжения на бетон с малой прочностью, неодновременное натяжение парных затяжек и т. д.; 10) разрушение защитных покрытий; 11) недопустимые деформации конструкций.

Выявить действительную причину возникновения трещин в несущей конструкции достаточно сложно. Они могут возникнуть в период изготовления конструкции, при ее транспортировке, при монтаже или, чаще всего, при эксплуатации объекта. Остановимся на наиболее характерных причинах, вызывающих появление трещин в различных конструкциях: 1). Перегрузка конструкции, вызывающая перенапряжение элементов и сечений или большие деформации. 2). Местная перегрузка участков или сечений конструкций от сосредоточенных сил, передающихся на небольшую зону конструкции. Например, опора балки загружает

кирпичную пилястру без распределительной опорной подушки. 3). Усадка материалов, например бетона или древесины при высокой температуре и малой влажности, особенно, в период изготовления. 4). Отсутствие температурных швов в здании. 5). Осадки, просадки, пучение, оползни грунтов основания под фундаментами. 6). Нарушение сцепления арматуры с бетоном или связи в других композиционных материалах. 7). Коррозия арматуры в железобетонных конструкциях. 8). Пожары и другие резкие перепады температуры, в том числе полив раскаленных конструкций водой. 9). Низкая прочность материалов. Механические повреждения. 10). Неправильное армирование конструкций: большой шаг стержней, недостаточная анкеровка и т. д. 11). Многократные намокания и промерзания конструкций. Попадания воды в каналы конструкций с последующим ее замерзанием, например в многопустотные плиты перекрытий. 12). Неправильное выполнение соединений: сварных швов, болтов, заклепок, нагелей и т. д. 13). Усталость материала, способствующая приобретению хрупких свойств, например в пластмассах. 14) Коррозионное растрескивание в агрессивной среде или при высокой температуре. 15). Динамические воздействия, вибрации, колебания, удары, взрывы и т. д. 16). Резкие перепады сечений в конструкциях, вырезы, отверстия. 17). Биологическое повреждение за счет попадания в щели и роста семян трав, кустарников; попадания в поры микроорганизмов и грибов.

Для каждой конкретной конструкции необходимо определить причину или возможное сочетание указанных выше причин возникновения трещин и принять необходимые конструктивные меры. Отметим, что причинами возникновения дефектов и аварий могут быть некачественное проектирование, изготовление и монтаж конструкций, неправильная эксплуатация, а также внешние воздействия среды, стихийные бедствия теракты и боевые действия. Рассмотрим наиболее часто встречающиеся

причины.

Ошибки при проектировании: 1) неудачно выбранная расчетная схема всего здания или отдельных конструкций, полностью или частично несоответствующая действительной работе здания; 2) проектирование здания без достоверных или неполных геологических или гидрогеологических исследований грунтов основания; 3) недоучет или занижение сочетаний расчетных нагрузок и других воздействий (перепада температур, динамики, осадок опор и т. д.); 4) недостаточная прочность, устойчивость и жесткость запроектированной конструкции из-за ошибочного расчета, недоучета требований СНиП; 5) ошибки в назначении марок стали, классов бетона и арматуры и других характеристик материалов; 6) неправильное размещение связей и жестких диафрагм; 7) неудачные технологичные решения конструкций, узлов и соединений; 8) применение недолговечных материалов. Отсутствие указаний по защите конструкций от коррозии; 9) отсутствие авторского и технического контроля за выполнением строительных работ; 10) малая глубина заложения фундаментов; 11) отсутствие учета влияния новых фундаментов пристраиваемых зданий на существующие.

Ошибки в процессе строительства: 1) неправильная геодезическая разбивка осей, несоблюдение вертикальности стен, колонн и т. д.; 2) отступления от правил производства работ в период строительства, особенно в зимний период; 3) применение некачественных материалов или неудачная замена арматуры или профилей, классов стали и бетона; 4) несвоевременная постановка связей; 5) несоблюдение технологий бетонных работ, толщины защитного слоя бетона, расстояний между стержнями; 6) некачественное выполнение соединений на сварке, болтах, заклепках и клее; 7) перегрузка конструкций увеличенной массой элементов (слоев) по сравнению с проектом; 8) плохая антикоррозийная защита металлических элементов, стыков, закладных деталей и т. д.; 9)

пропуск деформационных швов, отсутствие гидроизоляции и др.

Неправильная эксплуатация конструкций: 1) отсутствие периодического осмотра и профилактических ремонтов конструкций и защиты их от коррозии; 2) перегрузка конструкций оборудованием, снегом и пылью. Настилка новых конструктивных слоев, внеузловая подвеска к фермам коробов и трубопроводов во время ремонтов; 3) устройство непредусмотренных проектом отверстий в несущих конструкциях, разрезка профилей и арматуры и т. д.; 4) пролив жидкостей, кислот, масел на несущие конструкции; 5) попадание атмосферной и технической воды и замачивание грунтов основания; 6) выемка грунтов вблизи существующих фундаментов. Их замачивание и промерзание; 7) промерзание стен, фундаментов, грунтов основания [8, 9].

Внешние воздействия: 1) температура, осадки, воздушный поток, радиация; 2) газы, химические вещества; 3) биологические вредители; 4) шум, звуковые колебания, вибрации; 5) землетрясения, ураганы, наводнения; 6) блуждающие токи; 7) оползни, морозное пучение грунтов; 8) боевые действия и теракты.

3.15. Основные положения оценки технического состояния транспортных сооружений

Определение категории мостов по грузоподъемности [10].
Полученные в результате расчетов по грузоподъемности классы пролетных строений и анализ результатов их испытаний являются основанием для определения категории моста. В практике эксплуатации железнодорожных мостов установлены **пять категорий грузоподъемности:**

Первая: мосты, рассчитанные под нагрузку Н8 и С14 при отсутствии в них дефектов и повреждений, снижающих грузоподъемность.

Вторая: мосты, обеспечивающие обращение поездов с вагонами, имеющими погонную нагрузку до 105 кН/м пути (10,5 тс/м пути) при нагрузке от осей локомотивов и вагонов на рельсы до 270 кН (27 тс), а также допускающие пропуск транспортеров грузоподъемностью до 300 т со скоростью не менее 40 км/ч и со скоростью не менее 25 км/ч при их грузоподъемности 301–500 т.

Третья: мосты, обеспечивающие обращение поездов с вагонами, имеющими погонную нагрузку до 90 кН/м пути (9,0 тс/м пути) при нагрузке от осей локомотивов и вагонов на рельсы до 270 кН (27 тс), а также допускающие пропуск транспортеров грузоподъемностью до 300 т со скоростью не менее 25 км/ч и со скоростью не менее 15 км/ч при их грузоподъемности 301–500 т.

Четвертая: мосты, обеспечивающие обращение поездов с вагонами, имеющими погонную нагрузку до 75 кН/м пути (7,5 тс/м пути) при нагрузке от осей локомотивов и вагонов на рельсы до 260 кН (26 тс), а также допускающие пропуск транспортеров грузоподъемностью до 300 т включительно со скоростью не менее 15 км/ч.

Пятая: все остальные мосты, не обеспечивающие пропуск нагрузок, указанных для первой – четвертой категорий. Для определения эквивалентных нагрузок и классов нагрузок, принятых в качестве эталонных и соответствующих грузоподъемности мостов первой – четвертой категорий, следует пользоваться специальными таблицами П.25.2–П.25.4 «Руководства по определению грузоподъемности металлических пролетных строений железнодорожных мостов».

Оценка технического состояния сооружений по результатам обследований и испытаний [10]. Оценка технического состояния и эксплуатационной надежности сооружения должна производиться путем всестороннего анализа данных, полученных при обследованиях и испытаниях. Рекомендации по анализу и оценке полученных при

обследованиях данных приведены в приложении В. Полученные при обследованиях данные контрольных измерений и съемок необходимо проверить на соответствие требованиям ТНПА на проектирование и содержание мостов, а также сравнить их с результатами предшествующих обследований. При анализе должна быть проведена оценка влияния зафиксированных отклонений на эксплуатационные характеристики сооружения. Выявленные при обследовании дефекты и повреждения следует оценивать по их влиянию на грузоподъемность и долговечность сооружения, а также на безопасность пропуска транспортных средств и пешеходов. Определение грузоподъемности по данным обследований и испытаний мостовых сооружений следует выполнять, руководствуясь действующими ТНПА на определение грузоподъемности мостов. По материалам обследований и испытаний, а также по результатам оценки расчетной грузоподъемности сооружения должны разрабатываться меры по обеспечению нормальной и безопасной эксплуатации.

При обследовании мостов, эксплуатирующихся более 25 лет, рекомендуется осуществлять прогноз долговечности и эксплуатационной надежности сооружения на основе полученных при обследовании данных о снижении прочности бетона, скорости карбонизации бетона, наличии и ширине раскрытия трещин, величине защитного слоя бетона и т. д. в соответствии с указаниями действующих ТНПА на проектирование и содержание мостов. В зависимости от характера, значимости и распространения обнаруженных дефектов, повреждений и несоответствий требованиям ТНПА на проектирование и содержание мостов следует предусматривать проведение ремонтов, усиление отдельных элементов, введение ограничений для обращающихся нагрузок (в том числе уменьшение количества рядов или увеличение интервалов между транспортными единицами на автодорожных и городских мостах), ограничение скорости движения транспортных средств и др.

Определение грузоподъемности пролетных строений необходимо для установления наибольшей допустимой величины полной нагрузки от автомобилей и других транспортных средств, которые могут проезжать по мосту. Грузоподъемность выражается через нормативные временные подвижные нагрузки: автотранспортную класса АК, колесную НК-80 и гусеничную НГ-60. Весовые параметры указанных нагрузок уменьшают (или увеличивают) на соответствующий коэффициент. Например, на основе расчета грузоподъемность принята в виде нормативной нагрузки НК-80 с понижающим коэффициентом 0,9.

Грузоподъемность пролетного строения принимают по грузоподъемности наиболее слабого несущего элемента (главной или поперечной балки, плиты проезжей части и др.). Определение грузоподъемности выполняют из условия прочности и трещиностойкости элементов пролетного строения по действующим нормам проектирования СНиП 2.05.03-84* с учетом физического состояния элементов, выявленных при обследовании сооружения. Усилия определяют только в основных расчетных сочетаниях и сочетаниях с дефектами, снижающими несущую способность пролетного строения.

При расчетах грузоподъемности по условию прочности при нормативных нагрузках АК, НК-80 и НГ-60 согласно СНиП 2.05.03-84* учитывают динамический коэффициент, а коэффициент надежности - только для нагрузки АК.

При расчетах грузоподъемности по условию трещиностойкости коэффициент надежности и динамический коэффициент не учитывают.

При проверке возможности пропуска по пролетному строению конкретного тяжеловесного транспортного средства усилия определяют от данной нагрузки с учетом условий движения по пролету (по уложенным на проезжей части колеем). Если скорость движения транспортного средства ограничивается до 10 км/ч, то динамический коэффициент принимается

равным 1,0. Расчеты по определению возможности пропуска по мосту тяжелого транспортного средства выполняют только из условия прочности элементов.

При разрушении покрытия проезжей части на всей длине проезжей части с периодически повторяющимися выбоинами, наплывами и глубине разрушения не менее 50 мм значения динамических коэффициентов принимают следующими [10]:

- для автомобильной нагрузки при скорости движения 60 км/ч и более $1+\mu=1,7$ - для главных балок и плитных пролетных строений; $1+\mu=2,0$ – для плиты проезжей части и диафрагм; для автомобильной нагрузки при скорости движения 30 км/ч $1+\mu=1,5$ - для всех случаев; для остальных скоростей движения – интерполяцией;

- для тяжелой одиночной нагрузки $1+\mu=1,15$ – для главных балок; $1+\mu=1,45$ – для плиты проезжей части и диафрагм.

При единичных выбоинах (ямах, наплывах, порожках) глубиной до 100 мм динамические коэффициенты имеют следующие значения: для автомобильной нагрузки $1+\mu=1,4$ – для главных балок и плитных пролетных строений; $1+\mu=1,7$ – для плиты проезжей части и диафрагм.

При определении грузоподъемности старых мостов за нормативное сопротивление стержневой арматуры принимают минимальные гарантируемые значения предела текучести с понижающим коэффициентом надежности по формуле

$$R_s = \frac{R_{sn}}{\gamma} = \frac{2280 \text{ кг}}{1,13 \text{ см}^2} \quad (3.8)$$

Марку бетона определяют по технической документации; если документация отсутствует, то по соответствующим типовым проектам или нормам, соответствующим году проектирования (135 кг/см²).

Определение грузоподъемности моста может быть произведено способами:

1. Перерасчета пролетного строения по опалубочным и арматурным чертежам (способ 1). Это наиболее точный и надежный способ.

2. Путем привязки данных существующего пролетного строения к одному из типовых проектов (способ 2).

3. Путем сопоставления расчетных норм, по которым проектировалось пролетное строение, с современными нормами (способ 3).

4. Путем испытания существующего пролетного строения (способ 4).

Целью оценки технического состояния искусственных сооружений является установление их эксплуатационной пригодности, а также определение требуемого вида ремонта и объема ремонтно-восстановительных работ на текущий период.

В процессе периодических (весенних и осенних) осмотров искусственных сооружений получают информацию о наличии и степени развития в них дефектов и повреждений (табл. 3.5). Эта информация служит базой для оценки технического состояния и содержания эксплуатируемых мостов и водопропускных труб.

Оценку технического состояния и содержания искусственных сооружений, эксплуатируемых на железных дорогах России, осуществляют по разработанной балльной системе [11, 12].

Система балльной оценки имеет два ключевых момента.

Первый включает определение *приведенных балльных коэффициентов* оценки качества состояния и содержания каждого эксплуатируемого сооружения [13].

Для этих целей разработана система классификации дефектов и повреждений эксплуатируемых искусственных сооружений по качественным и количественным признакам в контексте их влияния на

содержание и проведение требуемого ремонта. Классификация дефектов и повреждений конструктивных элементов искусственных сооружений произведена по их численным значениям и категориям технического состояния, характеризующим степень их влияния на ремонтпригодность.

Все дефекты и повреждения по качественным и количественным признакам разбиты на четыре категории состояния: 0 категория – «отличное», I категория – «хорошее», II категория – «удовлетворительное», III категория – «неудовлетворительное».

Приведенные балльные коэффициенты оценки состояния и содержания $K_{\text{баз}}^{\text{сост}} = K_{\text{пр}}^{(\text{сод})}$ искусственных сооружений определяют по формуле [12]

$$K_{\text{баз}}^{\text{сост}(\text{сод})} = K_{\text{пр}}^{\text{сост}(\text{сод})} - (n_I \alpha_I + n_{II} \alpha_{II} + n_{III} \alpha_{III}), \quad (3.9)$$

где $K_{\text{баз}}^{\text{сост}(\text{сод})}$, $K_{\text{пр}}^{\text{сост}(\text{сод})}$ – базовые относительные оценки состояния и содержания сооружения, определяемые дефектом наибольшей категории, обнаруженным в процессе эксплуатации (табл. 3.5) [14]; n_I , n_{II} , n_{III} – количество дефектов соответственно I, II и III категорий без учета одного дефекта, сформировавшего базовую оценку; α_I , α_{II} , α_{III} – коэффициенты, учитывающие категорию дефектов, соответственно для I, II и III категорий [15].

Таблица 3.5

Характеристика дефектов и повреждений для оценки состояния и содержания эксплуатируемых искусственных сооружений

Характеристика дефекта	Категория дефекта	Базовая балльная оценка $K_{\text{баз}}$, балл	Коэффициенты, учитывающие категорию дефекта (в долях балла)

1. Дефекты, влияющие на безопасность, отсутствуют. На сооружении необходимо выполнять только профилактические и предупредительные работы	-	5	-
2. Мелкие отдельные дефекты на ранней стадии развития, не оказывающие влияния на безопасность. Дефекты могут быть устранены при текущем содержании	I	4,50	$\alpha_I = 0,05$
3. Дефекты, развитие которых снижает долговечность и создает угрозу безопасности. Дефекты могут быть устранены работами, направленными на поддержание прочностных характеристик элементов сооружения и на продление срока их службы и выполняемыми в рамках капитального ремонта , как правило, без проекта	II	3,50	$\alpha_{II} = 0,20$
4. Серьезные дефекты, оказывающие влияние на безопасность, требуют особых условий эксплуатации вплоть до введения ограничений. Дефекты могут быть устранены работами, направленными на обновление элементов сооружения и выполняемыми в рамках капитального ремонта по специальному проекту	III	2,50	$\alpha_{III} = 0,40$

Состав дефектов и повреждений приведен в Инструкции по оценке технического состояния и содержания искусственных сооружений на железных дорогах Российской Федерации [16].

По приведенным балльным коэффициентам оценки состояния $K_{\text{пр}}^{\text{сост}}$ и содержания $K_{\text{пр}}^{(\text{сод})}$ искусственных сооружений устанавливают показатели их качества, категорию технического состояния и требуемый вид ремонта [12] (табл. 3.6).

Таблица 3.6

Категории технического состояния искусственных сооружений

Категория технического состояния	Приведенная балльная оценка $K_{\text{пр}}^{\text{сост}(\text{сод})}$	Показатель качества	Требуемый вид ремонта

0 категория	4,5 и более	Отличное состояние	Работы профилактического характера
I категория	От 3,5 до 4,5	Хорошее состояние	Работы текущего содержания
II категория	От 2,5 до 3,5	Удовлетворительное состояние	Капитальный ремонт
III категория	Менее 2,5	Неудовлетворительное состояние	Реконструкция или срочный капитальный ремонт

Приведенные балльные оценки $K_{\text{пр}}^{\text{сост}}$ и $K_{\text{пр}}^{(\text{сод})}$ рассчитывают ежемесячно, оформляя при этом документ специальной формы – акт периодического осмотра.

Второй момент балльной системы включает в себя определение *средних баллов* оценки состояния и содержания группы или всех сооружений, эксплуатируемых на рассматриваемом отдельном участке, дистанции пути или дороге в целом.

Средние балльные оценки состояния $K_{\text{пр}}^{\text{сост}}$ и содержания $K_{\text{пр}}^{(\text{сод})}$ искусственных сооружений в пределах дистанции пути (участка) определяют как среднеарифметические значения из соответствующих приведенных балльных оценок всех сооружений по формуле [12]

$$K_{\text{ср}}^{\text{сост}(\text{сод})} = \sum_{i=1}^m K_{\text{пр}}^{\text{сост}(\text{сод})} / m, \quad (3.10)$$

где $K_{\text{пр}}^{\text{сост}}$, $K_{\text{пр}}^{(\text{сод})}$ – приведенные балльные оценки состояния и содержания i -го сооружения; m – количество сооружений на дистанции пути (отдельном участке дистанции пути).

Балльную оценку производят мостовые (тоннельные) мастера по результатам периодического осмотра сооружений или данных об устранении дефектов.

Объективность оценок состояния сооружений проверяют комиссионными осмотрами, а также в процессе обследований,

выполняемых мостоиспытательными станциями ОАО «РЖД», дорожными мостоиспытательными станциями и специализированными организациями.

В настоящее время оценку технического состояния и содержания эксплуатируемых искусственных сооружений производят с применением информационно-аналитической компьютерной системы АСУ ИССО [16]. Использование компьютерной технологии значительно ускоряет процесс оценки технического состояния искусственных сооружений и способствует повышению объективности в решении задач ремонтнопригодности конструкций.

Таким образом, система управления состоянием искусственных сооружений, принятая на Российских железных дорогах (РЖД), включает в себя три основных уровня: сбор информации; оценку технического состояния; принятие решения о требуемом виде ремонта, объеме и составе ремонтно-восстановительных работ.

В странах Европы (Германия, Франция, Англия, Финляндия, Дания, Швеция) и США оценку технического состояния эксплуатируемых мостов производят также по балльной системе с учетом градации состояний, отражающей уровни повреждений в различных конструкциях. При этом приняты различные оценки, включающие в себя 4- – 10-балльные системы состояний: отличное, очень хорошее, хорошее, удовлетворительное, неопасное, приемлемое, плохое, критическое, опасное, аварийное. Данным состояниям соответствуют определенные виды работ, к числу которых относят содержание, профилактический ремонт, ремонт, капитальный ремонт, обновление, восстановление, функциональную модернизацию, замену. Принятая за рубежом система управления состоянием мостов обеспечивает планирование работ по их содержанию ремонту, а также, в отличие от отечественной системы, разработку различных стратегий эксплуатации.

Система оценки технического состояния искусственных сооружений,

принятая РЖД, обеспечивает традиционный прием по четырем состояниям, что приемлемо в сложившейся структуре различных подразделений по содержанию и ремонту.

Следующий этап оценки эксплуатационной пригодности искусственных сооружений связан с расчетами грузоподъемности наиболее слабых и дефектных конструкций, установленных по результатам оценки технического состояния (соответствующие II и III категориям, см. табл. 3.6).

3.16. Составление заключения о техническом состоянии мостовых сооружений

Результаты обследований и испытаний мостов оформляют в виде технических заключений и отчетов. По результатам обследований сооружений, завершенных строительством (капитальным ремонтом, реконструкцией), как правило, составляются технические заключения. Техническое заключение по результатам обследования должно содержать следующие разделы:

1. Общие сведения о сооружении. В разделе приводится информация, полученная на стадии подготовительных работ.

2. Данные о сооружении с учетом результатов общего обследования. В разделе приводится информация о принятой системе нумерации элементов сооружения, об элементах сооружения, с указанием геометрических размеров примененных типовых конструкций. В этом же разделе приводятся результаты инструментальных исследований и контрольных съемок и их сопоставление с проектными и (или) нормативными значениями.

3. Ведомость дефектов по состоянию на момент обследования. В разделе приводятся схемы расположения, описания, фотографии

выявленных дефектов и повреждений с указанием основной причины их появления и размеров, а также рекомендации по их устранению.

4. Выводы по результатам обследования.

5. Режим эксплуатации сооружения. Предварительное техническое заключение может составляться по результатам обследований и испытаний сооружения при необходимости передачи полученных данных приемочным комиссиям в сжатые сроки. Срок действия предварительного технического заключения устанавливается до оформления и утверждения технического отчета. По результатам обследований и испытаний после полной обработки полученной информации, выполнения расчетов и анализа полученных данных составляются технические отчеты. Технический отчет должен содержать следующие разделы:

- а) реферат;
- б) общие сведения;
- в) данные о сооружении с учетом результатов обследований, включая результаты инструментальных измерений;
- г) ведомость дефектов;
- д) расчет грузоподъемности (при проведении испытаний – определение грузоподъемности);
- е) выводы по результатам обследований;
- ж) рекомендации по режиму эксплуатации.

В отчет по результатам обследований сооружений, эксплуатирующихся более 25 лет, рекомендуется включить раздел «Прогнозирование эксплуатационной надежности». В отчет следует включать чертежи, схемы, фотографии, другие иллюстрационные материалы. Вспомогательные материалы, расчетные таблицы и т.п. следует приводить в приложениях. В приложения к отчету также следует включать: программу испытаний, исполнительные чертежи, акты и материалы по работам, выполненным с привлечением

специализированных организаций и др. По результатам общих обследований эксплуатируемых сооружений для разработки проектов ремонта или реконструкции, как правило, составляются технические отчеты по результатам обмерных работ.

Технический отчет по результатам обмерных работ должен содержать следующие разделы:

- общие сведения о сооружении;
- данные о сооружении с учетом результатов общего обследования: информация о принятой системе нумерации элементов сооружения, об элементах сооружения, с указанием геометрических размеров примененных конструкций, результаты инструментальных исследований и контрольных съемок;
- ведомость дефектов по состоянию на момент обследования: схемы расположения, описания, фотографии выявленных дефектов и повреждений с указанием их размеров и объемов.

При разработке проектов ремонта или реконструкции сооружений может выполняться детальное обследование (например, определение фактических характеристик материалов конструкций и расчет (определение) грузоподъемности). Необходимость выполнения детального обследования определяет заказчик.

Составление дефектных ведомостей при обследовании сооружений. При обследовании конструкций выявляются дефекты, которые целесообразно заносить в ведомости или таблицы. Они могут быть произвольной формы, например, в виде таблицы, и дают привязку дефекта (местоположение, расстояния от осей, этаж и т. д.); обозначают схематично дефект и дают его геометрические размеры; подробно описывают дефект и указывают предполагаемые причины его возникновения; методы устранения дефекта, предполагаемые в данный период и др. Если обследуется большеразмерная конструкция, в которой

много дефектов.

Должно быть указано количество дрожащих заклепок, болтов, степень поражения металла коррозией, ослабление сечений отверстиями, вырезами и т. д. Осмотр сварных швов должен выявить все трещины, незаплавленные кратеры, несплавление по кромкам, подрезы, наплывы, прожоги, пористость поверхности и т. д. Желательно все дефекты сфотографировать и фотографии приложить к дефектной ведомости. Пример составления дефектной ведомости приведен в табл. 3.5. Выявление причины дефекта или повреждения является трудной задачей. Например, трещина в бетоне может образоваться от перенапряжения (перегрузок) или от температурно-усадочных явлений. Поэтому окончательные выводы делают после полного обследования конструкций, включая проверочные расчеты.

Среди перечисленных разделов заключения ключевым является вопрос о несущей способности конструкций сооружений. Ответ на него получают в результате проведения проверочного расчета несущей способности оснований и конструкций объекта, используя результаты данных обследования. В каждом конкретном случае структура заключения, также как и программа обследования, может уточняться организацией, которая в дальнейшем будет заниматься строительным проектированием или реконструкцией объекта. Если заключение составляется для оценки рыночной стоимости объекта, необходимо указать в нем физический износ отдельных конструкций и сооружения в целом, перечень устранимых и неустранимых физических дефектов и др. При более глубоком обследовании целесообразно составлять паспорт технического состояния несущих конструкций здания или сооружения. В нем представляются схемы планов и разрезов здания, типы основных несущих конструкций, их техническое состояние и фактическая надежность, имеющиеся дефекты и повреждения и рекомендации по усилению или профилактике

конструкций. В паспорте также указывается организация, проводившая обследование, дата обследования и рекомендуемые сроки восстановления конструкций и последующего обследования.

Перерасчет конструкции по фактическим показателям, полученным при обследовании, выполняется с целью окончательной оценки несущей способности и эксплуатационной пригодности сооружения; определения напряжений, деформаций, перемещений несущих конструкций при различных уровнях полезной нагрузки (результаты используются на втором этапе обследования – в ходе испытаний конструкций статической нагрузкой). Для окончательной оценки пригодности сооружений перерасчет выполняется в соответствии с существующей на момент обследования методикой расчета по предельным состояниям. В результате такого перерасчета определяются завышенные внутренние усилия, деформации и перемещения конструкции в предположении сочетания неблагоприятных отклонений исходных параметров. Результаты расчета необходимы также для сравнения с данными проводимых впоследствии испытаний, то есть исходные параметры и уточненная методика ориентированы на ожидаемый в эксперименте результат. Перерасчет проводится по средним фактическим характеристикам с построением доверительных интервалов и соответствующих вероятностей. Перерасчет проводится с учетом реальных отклонений в расчетной схеме и перераспределения усилий, вызванных неравномерной осадкой основания; различием в деформативности соседних несущих элементов; нелинейностью деформирования материалов; концентрацией напряжений на дефектах, конструктивных и структурных неоднородностях. В расчет закладываются фактические параметры геометрии конструктивных элементов, нагрузок и реальные физико-механические характеристики материалов.

Окончательный поверочный расчет по результатам первого этапа

обследования, если испытания пробной нагрузкой не предусматриваются, проводится согласно методике, установленной нормативными документами для соответствующих конструкций. Перерасчет конструкций по данным обследования представляет собой аналитическую схему, в которой присутствует и реальная конструкция с ее отказами различной степени опасности, и действительные отклонения расчетных параметров. Для решения практических задач обследований можно рекомендовать полувероятностный (с частичным использованием данной схемы) или даже детерминированный перерасчет по фактическим показателям с окончательным критерием оценки состояния конструкций по несущей способности.

Заключение о состоянии конструкций представляет собой краткий отчет, в котором должны быть отражены результаты по всем видам работ обследования. Если обследованная конструкция относится к сооружениям, для которых существует нормативно-техническая документация, то заключение о состоянии конструкции и рекомендации по усилению могут быть построены на основе результатов сравнения параметров характерных дефектов конструкций с признаками износа для этих конструкций.

Методические рекомендации по обследованиям типовых конструкций классифицируют объект обследования по степени физического износа. Степень физического износа обследуемой конструкции с целью удобства обработки и анализа информации о надежности и долговечности типовых конструкций оценивается в процентах. Так, для обследованных конструкций гражданских зданий состояние дефектных элементов должно быть оценено в соответствии с указаниями, содержащимися в методике определения физического износа гражданских зданий.

Поскольку конструктивные решения сооружений, методы и средства контроля их состояния постоянно улучшаются, нормативно-техническая документация по методикам обследования должна развиваться и

дополняться. В связи с этим, в заключении должны содержаться рекомендации, направленные на совершенствование критериев количественной оценки состояния конструкций. Кроме того, информация по результатам обследования и вероятностного перерасчета конструкций должна дополнить статистическую выборку отказов, необходимую для развития методики расчета на надежность и долговечность проектируемых сооружений, а также для прогноза надежности реальных конструкций сооружений, построенных по типовому проекту или с применением аналогичных конструктивных решений.

По окончании всего цикла работ по обследованию, после анализа всех полученных материалов, членами комиссии составляется заключение о техническом состоянии объекта, которое подписывается всеми членами комиссии и заверяется печатью соответствующего учреждения. В заключении должны быть освещены такие вопросы:

- 1) на основании какого приказа или распоряжения назначена комиссия по обследованию. Состав комиссии, сроки проведения обследования. Задание на обследование и кем оно выдано;
- 2) перечень документов, используемых комиссией при обследовании; использованные первоисточники (техническая документация и т.п.);
- 3) краткое описание архитектурно-планировочного решения здания или сооружения и основных несущих конструкций;
- 4) технология производства на объекте, условия эксплуатации конструкций;
- 5) результаты натурного обследования конструкций, основные выявленные дефекты, их причины и возможные последствия; даты выполнения обследований и проверочные расчеты;
- 6) прочностные характеристики материалов конструкций;
- 7) данные о фактических нагрузках на конструкции;
- 8) результаты проверочных расчетов конструкций с учетом реальных

расчетных схем, нагрузок, дефектов и ослабления сечений и т. д.

9) выводы о несущей способности основных конструкций и первоочередные мероприятия по обеспечению безопасности людей. Рекомендации по ремонту или усилению конструкций, необходимости дальнейшего наблюдения за объектом и т. д.

Итоговым документом обследования является акт, в котором дается окончательная оценка проектного решения, качества заводского изготовления строительных деталей, строительно-монтажных работ, соответствия условий эксплуатации конструкций сооружения техническим требованиям. На основании результатов перерасчета в акте дается заключение о возможности дальнейшей эксплуатации сооружения или необходимости усиления конструкций. Заключение о техническом состоянии сооружений служит основой для предварительного решения о целесообразности реконструкции строительной части объекта.

Контрольные вопросы:

Цели, задачи и методы технической диагностики транспортных сооружений?

Классификация по цели исследования?

Классификация по объектам исследования?

Классификация по характеру приложенной нагрузки?

Нормативные требования к строительным конструкциям и сооружениям?

Условность расчетных схем конструкций и характеристик строительных материалов?

Основная задача испытаний?

Работоспособность мостов, эксплуатируемых на железных дорогах?

Основные показатели эксплуатационной надежности?

Подготовка к проведению обследования?

Детальное (инструментальное) обследование?
 Методология обследования конструкций мостовых сооружений?
 Методы и средства испытаний строительных конструкций, сооружений?
 Приборы и инструменты для проведения обследований?
 Неразрушающие методы контроля?
 Основные расчетные формулы для проверочных расчетов?
 Дефектоскопия конструкций?
 Методы оценки прочности материала и трещинообразования в элементах мостовых сооружений?
 Методы ультразвуковой дефектоскопии?
 Определение глубины распространения трещины методом подсечек?
 Общие сведения неразрушающих и оптических методах испытаний?
 Методы проникающих сред?
 Испытания водой?
 Проба керосином?
 Проба сжатым воздухом?
 Проба вакуумом?
 Метод испытания на отрыв со скалыванием?
 Метод, основанный на измерении отскока подпружиненных молотков (склерометров) от бетонной поверхности?
 Импульсные и радиоизотопные методы?
 Метод испытания бетона путем скалывания?
 Механические методы испытаний материалов?
 Оценка прочности металла?
 Оценка прочности бетона?
 Оценка прочности бетона с помощью эталонного молотка К. П. Кашкарлова?
 Оценка прочности бетона склерометром?

Способ стрельбы?

Оценка прочности бетона по отпечатку при статическом воздействии?

Акустические методы?

Ультразвуковые методы?

Условия прохождения ультразвуковых волн?

Способы прозвучивания?

Область применения ультразвуковых методов?

Определение динамического модуля упругости?

Определение толщины элемента при одностороннем доступе?

Схема измерения толщины резонансным методом?

Определение глубины трещин в бетоне?

Импульсные звуковые методы?

Метод «ударной волны» ?

Вибрационный метод?

Метод «бегущей волны»?

Магнитные, электрические и электромагнитные методы?

Дефектоскопия металла?

Порошковый метод?

Магнитографический метод?

Приборы магнитно-индукционного типа?

Методы, основанные на использовании ионизирующего излучения?

Область применения рентгеновского и гамма-излучений?

Определение глубины расположения дефекта?

Выявление дефекта в сварном шве?

Определение плотности бетона и бетонной смеси?

Определение диаметра арматуры и толщины защитного слоя бетона?

Область применения нейтронного излучения?

Радиодефектоскопия и инфракрасная дефектоскопия?

Оценка качества и состояния строительных материалов и соединений?

Отбор образцов металлических конструкций для испытания?

Отбор образцов бетона для испытания?

Диагностика характерных дефектов?

Причины аварий и повреждений сооружений?

Трещины, появившиеся в доэксплуатационный период?

Трещины, появившиеся в эксплуатационный период?

Характерные трещины в изгибаемых железобетонных элементах?

Характерные трещины по нижней поверхности плит?

Трещины вдоль продольной арматуры в сжатых элементах?

Трещины по всей высоте сечений элементов, изгибаемых в двух плоскостях?

Характерные дефекты железобетонных конструкций?

Характерные дефекты металлических конструкций?

Характерные дефекты предварительно напряженных конструкций?

Причины возникновения дефектов и аварий?

Наиболее часто встречающиеся причины аварий?

Ошибки при проектировании?

Ошибки в процессе строительства?

Неправильная эксплуатация конструкций?

Внешние воздействия?

Определение категории мостов по грузоподъемности?

Оценка технического состояния сооружений по результатам обследований и испытаний?

Категории технического состояния искусственных сооружений

Составление заключения о техническом состоянии мостовых сооружений?

ГЛАВА 4. СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ МОСТОВ

4.1. Экспериментальные основы проведения инженерных испытаний

4.1.1. Методология экспериментальных исследований

Задачи и общие методы обследования и испытания сооружений. В условиях ускорения научно-технического прогресса происходит интенсивное совершенствование различных технологических процессов. Это влечет за собой замену устаревшего оборудования на новое, высокопроизводительное, работающее на более высоких скоростях, что может привести к повышению нагрузок, передаваемых на строительные конструкции, изменению архитектурно-планировочных решений эксплуатируемых сооружений. Реконструкция сооружений, приведение уровня их надежности к современным требованиям также обуславливают необходимость оценки их действительного состояния. Требования реконструкции сооружения, а также длительный физический износ, вынужденные изменения режима нагрузок, последствия различных повреждений, перенесенных землетрясений и других стихийных бедствий, аварий и катастроф ставят перед инженерами-строителями задачу оценки состояния строительных конструкций сооружений, выявление

возможностей их дальнейшей эффективной эксплуатации. Решение поставленных задач тесно связано с обследованием и испытанием конструкций и сооружений, результаты которых позволяют подготовить соответствующие рекомендации. На их основе проектировщики разрабатывают необходимые конструктивные решения [1, 2].

При обследовании сооружений широко применяются методы инженерной геодезии, с помощью которых измеряются осадки сооружений, их сдвиги, параметры трещин и деформационных швов, прогибы элементов конструкций. Методами инженерной фотограмметрии определяются перемещения точек и деформации элементов конструкций при статических и динамических воздействиях. В последнее время эффективно развиваются методы лазерной интерференции.

Аналогичные методики используются при контроле качества изготовления элементов строительных конструкций и их монтажа на строительных площадках. Контроль качества изготовления элементов строительных конструкций производится с использованием неразрушающих и разрушающих методов испытаний. Однако подвергать каждое изделие испытаниям до разрушения абсурдно, хотя при этом информация о действительной работе изделия будет обладать 100%-ной обеспеченностью. Неразрушающий метод не всегда дает достаточно полную характеристику испытываемого объекта, поэтому два метода используются в совокупности. Если провести неразрушающие и разрушающие испытания определенного количества объектов, а затем сопоставить результаты испытаний, то можно установить определенную взаимосвязь между ними. Испытания конструкций сооружений являются составным элементом обследования, но по своей методологии, аппаратному обеспечению и по методам обработки представляют самостоятельное направление экспериментальной механики. Цель этого направления состоит в создании методов и средств, позволяющих на базе

экспериментальных исследований получить объективную информацию о свойствах конструкционных материалов, поведении элементов конструкций и действительной работе сооружений. Никакой, даже самый точный, расчет не сможет дать объективную информацию о действительном поведении реальных систем. В строительной механике, теории упругости и пластичности, сопротивлении материалов излагаются самые современные методы расчета идеализированных расчетных моделей, но любой из этих методов должен быть построен на объективной информации, полученной из опытов. Однако ни один из них не может быть рекомендован к использованию для практических расчетов без его экспериментальной проверки [1, 2].

Парадоксальным является то, что в рамках сформированных расчетных схем с использованием современных ЭВМ можно получать результаты расчета с погрешностью 10^{-8} и менее, тогда как исходная, вводимая в расчет информация по нагрузкам, прочностным характеристикам и отклонениям параметров действительного сооружения от его расчетной схемы характеризуется погрешностью, реально определяемой в пределах до 10...20%. Это не снижает роли современных методов теории расчета сооружений, а лишь подчеркивает необходимость взаимной увязки точности методов расчета сооружений с точностью исходных предпосылок, определяемых экспериментом, и точностью получаемых результатов, фиксируемых при проведении эксперимента. Существенное влияние на формирование методов и средств испытания конструкций оказывает характер изменения внешних нагрузок, действующих на строительные конструкции, здания и сооружения. Здесь различают постоянные или медленно изменяющиеся статические нагрузки, и динамические, быстро меняющиеся во времени.

Можно сформулировать три основные задачи, которые решаются с помощью методов и средств испытания строительных конструкций,

сооружений [1, 2].

К первой задаче следует отнести определение теплофизических, структурных, прочностных и деформационных свойств конструкционных материалов, а также выделение характера внешнего воздействия, передаваемого на конструкции.

Вторая задача связана с сопоставлением расчетных схем, усилий и перемещений в конструкции, которые определяются расчетным путем, с соответствующими усилиями и перемещениями, возникающими в реальной конструкции или ее модели.

Третья задача – идентификация расчетных моделей, которая получила развитие лишь в последние годы. Эта задача связана с синтезом расчетных схем, который основан на анализе результатов проведенных экспериментальных исследований.

Однако в отличие от классической постановки при рассмотрении практических задач известны некоторые характерные параметры системы, к которым можно отнести информацию о геометрии конструкций в плане, определяемой архитектурно-планировочным решением, о типе или характере несущих конструкций, о наборе конструктивных элементов, применяемых в сооружениях. На основании анализа экспериментально полученных данных о внешних воздействиях и реакций системы (прогибы, деформации, скорости, ускорения) в рамках заданной расчетной модели выявляются ее параметры, и оценивается ее эксплуатационная надежность, прочность, устойчивость, жесткость и трещиностойкость.

Цели и задачи испытаний конструкций. При испытаниях конструкций в зависимости от объекта и цели испытаний устанавливаются: 1) *несущая способность*, характеризующаяся нагрузкой, при которой наступает потеря прочности или устойчивости объекта испытания; 2) *жесткость*, характеризующаяся значениями перемещений, предельными с точки зрения возможности нормальной эксплуатации

объекта; 3) *трещиностойкость* (в первую очередь для бетонных и железобетонных конструкций); трещины должны или вообще не появляться или их раскрытие не должно исчерпать или затруднять эксплуатацию вследствие потери непроницаемости, развития коррозии и т.д.; при определении трещиностойкости устанавливают также значения нагрузки, при которой образуются трещины, допустимые по условиям эксплуатации [1, 2].

Существуют четыре разновидности испытаний: приемочные испытания, испытания эксплуатируемых объектов, испытания конструкций и деталей при их серийном производстве, научно-исследовательские испытания.

1. При *приемочных испытаниях* (при передаче законченных сооружений в эксплуатацию и промежуточных приемках в процессе строительства) проверяются состояние объекта и соответствие показателей его работоспособности проектным и нормативным требованиям.

2. *Испытания уже эксплуатируемых сооружений* проводятся: для проверки возможности продолжения нормальной службы объекта под эксплуатационной нагрузкой; для проверки эксплуатационной надежности объекта при появлении значительных повреждений, например, после пожара и в других аналогичных случаях, ставящих под сомнение работоспособность сооружения; для выяснения возможности повышения эксплуатационной нагрузки при реконструкции объекта или изменении характера его использования.

3. *Испытания конструкций и деталей* при их серийном изготовлении выполняются путем выборочных испытаний отдельных образцов (продукции) с доведением до разрушения. Задачей испытаний в данном случае является установление фактической несущей способности и других характеристик испытываемых образцов либо продукции с распространением полученных результатов на всю изготовленную партию.

4. *Научно-исследовательские испытания* и испытания опытных объектов проводятся: при применении новых конструктивных решений и при апробации новых методов расчета; при использовании новых строительных материалов с характеристиками, требующими проверки под действием нагрузки; при особых режимах эксплуатации. Такие испытания могут производиться непосредственно в натуре или лабораторным путем с обеспечением требуемого режима.

4.1.2. Основы метрологии и стандартизации в строительстве

В условиях ускорения научно-технического прогресса и строительства особое значение придается унификации методов испытания строительных конструкций, деталей и узлов, повышению качества изготовления и монтажа строительных конструкций. Решение этих задач требует существенного повышения роли метрологии и стандартизации в строительстве [1, 2].

Метрология – это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. В метрологии рассматриваются: общая теория измерений, единицы физических величин и их системы, методы и средства измерений, методы определения точности измерений, основы обеспечения единства измерений и единообразия средств измерений, методы передачи размеров единиц от эталонов или образцовых средств измерений к рабочим средствам измерений. Метрология является научной основой метрологического обеспечения, под которым понимают установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений. Метрологическое обеспечение включает следующие системы:

- 1) *государственных эталонов* единиц физических величин, обес-

печивающих воспроизведение единиц с наивысшей точностью;

2) передачи *размеров единиц* физических величин от эталонов всем средствам измерений с помощью образцовых средств измерений и других средств поверки;

3) разработки, постановки на производство и выпуска в обращение *рабочих средств измерений*, обеспечивающих определение с требуемой точностью характеристик продукции, технологических процессов и других объектов в сфере материального производства, научных исследований и других видов деятельности;

4) *разработки стандартных справочных данных* о физических константах и свойствах веществ и материалов, обеспечивающих достоверными данными научные исследования, разработку технологических процессов получения и использования материалов и конструкций.

Кроме того, в метрологическое обеспечение входят такие мероприятия как:

- *государственные испытания* или *метрологическая аттестация* средств измерений, предназначенных для серийного или массового производства и ввоза их из-за границы, обеспечивающих единообразие средств измерений при их разработке и использовании;

- *обязательная государственная и ведомственная поверки* средств измерений, обеспечивающие единообразие средств измерений при изготовлении, эксплуатации и ремонте, а также установление стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов, обеспечивающих воспроизведение единиц величин, характеризующих состав и свойства веществ и материалов.

Определим основные понятия, связанные с поверкой средств измерений [1, 2].

Поверка средств измерений – это определение метрологическими органами погрешностей средств измерений и установление их

пригодности к применению. Различают государственную (производится органами государственной метрологической службы) и ведомственную (органами ведомственных метрологических служб) поверку средств измерений.

Метрологическая аттестация средств измерений – исследование средств измерений, выполняемое метрологическими органами для определения метрологических свойств этих средств измерений, и выдача документа с указанием полученных данных.

Поверочная схема – это утвержденный в определенном порядке документ, устанавливающий средства, методы и точность передачи размера единицы физической величины от эталона к рабочим средствам измерений. Различают общегосударственные и локальные (отдельных органов метрологической службы) поверочные схемы.

Средства поверки – это технические средства, необходимые для осуществления поверки средств измерений в соответствии с требованиями нормативно-технических документов на методы и средства поверки. Средства поверки включают в себя рабочие эталоны, образцовые средства измерений, в том числе стандартные образцы и образцовые меры, вспомогательные приборы, устройства и материалы, поверочные приспособления.

Средства измерений – это технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические характеристики. Они состоят из системы мер, измерительных приборов и преобразователей, а также измерительных установок и систем.

Под **измерительным прибором** понимают средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателя. Измерительный преобразователь – средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для

передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию с помощью наблюдения.

Измерение – это процесс нахождения какой-либо физической величины с помощью технических средств и сравнения её с эталоном. Измерение включает следующие элементы:

- объект измерения, свойства которого характеризует измеряемая величина;
- единицу измерения;
- техническое средство измерения, градуированное в выбранных единицах;
- метод измерения;
- регистрирующее устройство, воспринимающее результат измерения;
- окончательный результат измерения.
- Измерения характеризуются рядом параметров:
- погрешностью измерения – разностью между истинными и измеренными значениями величин;
- точностью измерения, т. е. степенью приближения результатов измерения к истинному значению;
- достоверностью измерения – вероятностью отклонения измерения от истинного значения;
- диапазоном измерений – областью значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средств измерений;
- ценой деления шкалы – разностью значений величины, соответствующей двум соседним отметкам шкалы;
- пределом измерений – наибольшим и наименьшим значениями диапазона измерений;
- чувствительностью измерительного прибора – отношением изменения сигнала на выходе измерительного прибора к вызвавшему его из-

менению измеряемой величины.

Различают три класса измерений:

- **особо точные** – связаны с установлением эталона;
- **высокоточные** измерения проводятся при градуировании измерительных систем, а также при проведении измерений в особо ответственных испытаниях;
- **технические** – применяются в практике испытаний строительных конструкций.

Всякое измерение неизбежно связано с **погрешностями** измерений. Погрешности, порожденные несовершенством метода измерений, неточной градуировкой и неправильной установкой измерительной аппаратуры, называют **систематическими**. Систематические погрешности исключают введением поправок, найденных экспериментально. В настоящее время для устранения систематических погрешностей применяется микропроцессорная техника [1, 2].

Случайные погрешности обусловлены влиянием на результаты измерений неконтролируемых факторов (случайные колебания температуры, вибрация и т. д.). Такие погрешности оцениваются методами математической статистики по данным многократных измерений [1, 2].

При измерениях могут возникать **грубые ошибки**, вызванные неисправностью измерительных систем, ошибками регистратора и т.д. Эти ошибки также могут быть выявлены методами математической статистики. Проблемы метрологического обеспечения измерений неразрывно связаны с задачами, стоящими перед стандартизацией.

Стандартизация – это установление и применение правил для упорядочения деятельности в определенной области на пользу и при участии всех заинтересованных сторон, в частности, для достижения всеобщей оптимальной экономии при соблюдении функциональных условий и требований техники безопасности. Объектами стандартизации

являются конкретная продукция, нормы, требования, методы, термины, обозначения и т. д., имеющие перспективу многократного применения, используемые в науке, технике, строительстве. В области строительства стандартизации подлежат методы расчета и проектирования конструкций и сооружений, требования к материалам и изделиям, допуски конструкций сооружений на стадии монтажа и строительства, методы испытаний и проведения измерений, методы представления и обработки получаемых результатов измерений и т. д.

В зависимости от сферы действия стандарты разделяются на четыре категории: государственные (ГОСТ), отраслевые (ОСТ), республиканские (РСТ) и стандарты предприятий (СТП). Государственные стандарты в области строительства и строительных материалов утверждаются Госкомархстроем РУз. В настоящее время проводится большая работа по переработке отечественных стандартов в соответствии с международными требованиями и международными стандартами. В области строительства наряду со стандартами действуют строительные нормы и правила (СНиП). Эти документы содержат отдельные общие элементы, но в целом они существенно различны. СНиПы устанавливают требования ко всей строительной продукции и содержат нормы строительного проектирования, тогда как ГОСТы содержат требования к строительным материалам и изделиям массового производства, методам испытания материалов и конструкций, измерений, обработки и представления результатов [1, 2].

В зависимости от содержания стандарты подразделяются на ряд отдельных видов. С точки зрения освидетельствования и испытания конструкций и сооружений наибольший интерес представляют следующие:

1) *стандарты технических условий*, которые, в частности, содержат всесторонние требования к продукции при ее изготовлении, поставке и эксплуатации, регламентируют методы испытаний, правила приемки;

2) *стандарты технических требований*, которые нормируют показатели качества, надежности и долговечности продукции, устанавливают срок службы и т. д.;

3) *стандарты методов испытаний*, которые включают требования о порядке отбора проб или образцов, методы испытаний материалов и изделий, используемые для оценки качества продукции; эти стандарты обеспечивают единство методов и средств испытаний; в стандартах на методы испытаний содержатся также требования к измерительным приборам, инструментам и установкам, используемым для контроля показателей качества изделий;

4) *стандарты правил приемки, маркировки, упаковки, транспортирования и хранения*, которые регламентируют, в частности, порядок приемки изделий, вид и программу испытаний при приемке.

В большинстве строительных стандартов даны совмещающие данные, свойственные стандартам нескольких видов. Стандарты существенно влияют на темпы развития и уровень производства. Базируясь на последних достижениях науки, техники и практического опыта, стандартизация во многом не только фиксирует достигнутый уровень производства, но и является одним из рычагов прогресса науки и техники.

4.1.3. Основные метрологические характеристики средств измерений

При испытании сооружений и их моделей получение информации о работе изучаемой системы основано на измерении физических величин с помощью технических средств. Достоверность полученных экспериментальных данных зависит от выбранных параметров средств измерений, от того, в какой мере метрологические характеристики средств измерений отвечают требованиям проводимого эксперимента. К основным

параметрам, характеризующим средства измерения, относятся: статическая градуировочная характеристика, чувствительность измерительного прибора (преобразователя), коэффициент преобразования, порог чувствительности, диапазон измерений, информативность, динамические характеристики – амплитудно- и фазочастотная, переходная, а также время установления показаний [1, 2].

Вид функции преобразования средства измерений определяет его градуировочная характеристика, устанавливающая зависимость между значениями величины на входе и выходе. Такая зависимость представляется в виде таблицы, формулы или графика (рис.4.1).

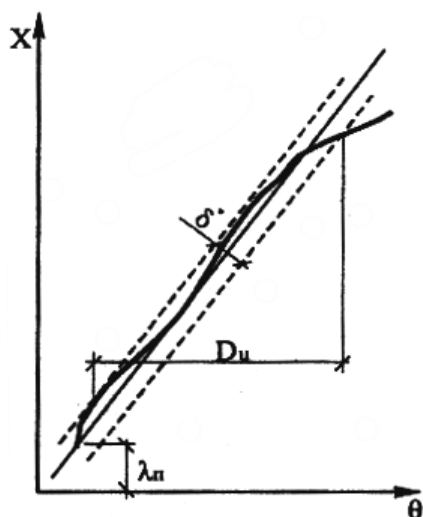


Рис. 3.1. Статическая градуировочная характеристика

Отношение изменения сигнала на выходе измерительного прибора $\Delta\theta$ к вызывающему его изменению на входе ΔX – называется *чувствительностью прибора S*. Если градуировочная характеристика преобразователя линейна, то его чувствительность может определяться *коэффициентом преобразования* $K_p = \theta/X$. Протяженность линейного участка – *диапазон измерений* D_u – зависит от свойств измерительного прибора и от допускаемой, т. е. нормированной для данного средства измерения погрешности δ (рис.4.1). Верхний и нижний пределы измерения определяются уровнем принятой погрешности измерений. За нижний предел – порог чувствительности λ_p – принимается минимальное значение

измеряемой величины, при котором обнаруживается сигнал на выходе прибора. Диапазон измерений и порог чувствительности позволяют определить обобщенную характеристику средства измерения – его информативность или разрешающую способность Ω [1, 2]:

$$\Omega = I_n (D_n / 2 \lambda_n), \quad (4.1)$$

которая тем больше, чем шире диапазон и ниже уровень суммарной погрешности используемого комплекса измерительных средств.

При динамической градуировке измерительных преобразователей регистрируется их реакция на эталонные сигналы в виде гармонических колебаний различной частоты или импульсных воздействий. В условиях установившихся гармонических колебаний получают амплитудно-частотную характеристику и устанавливают степень нелинейности амплитудной характеристики [1, 2].

Амплитудно-частотная характеристика представляет зависимость чувствительности градуируемого средства измерений от частоты колебаний, а степень нелинейности – зависимость чувствительности от амплитуды сигнала при фиксированной частоте. На рис. 4.2,а показана амплитудно-частотная характеристика измерительного прибора. Ординаты кривой представляют собой отношение чувствительности на рассматриваемой частоте к K_n , полученному при статической градуировке. Нижний предел диапазона f_n так же, как и верхний предел f_h частотной характеристики, определяются заданным допуском Δc нормированной погрешности относительно средней частоты соответствующих диапазонов.

Переходная характеристика приборов устанавливает связь между заданным скачкообразно изменяющимся во времени входным сигналом и мгновенным значением выходного сигнала. На рис. 4.2,б приведена переходная характеристика акселерометра. Ординаты кривой 1 представляют собой отношение сигнала на выходе к его установившемуся

значению X_y . Входной сигнал показан приближенно в виде прямоугольного импульса 2. Искажение фронта импульса характеризуется временем установления показаний и пиковым значением переходной характеристики X_n . За время установления показаний принимается промежуток времени t_y с момента скачкообразного изменения измеряемой величины до момента, когда значение выходного сигнала войдет в зону установившегося состояния (заданной ширины θ_y) [1, 2].

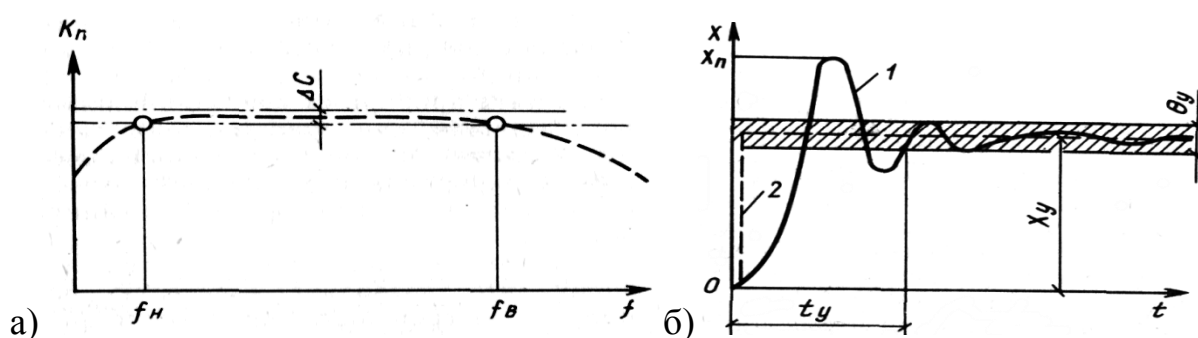


Рис. 4.2. Характеристики измерительных преобразователей

Инструментальная погрешность отражает конструктивные особенности измерительного преобразователя и включает погрешности его градуировки.

Методические погрешности возникают от того, что первичный преобразователь неправильно воспринимает или искажает измеряемую величину. Эти погрешности могут быть обусловлены, например, несоответствием между размером базы тензометра и градиентом измеряемой деформации, а также влиянием прибора на исследуемые свойства объекта. Каким бы идеальным ни был тензометр с точки зрения линейности и чувствительности, но помещенный внутрь твердого тела, он в той или иной степени вносит искажение в исследуемое напряженное состояние. Выходной сигнал такого тензометра отражает искаженное им деформированное состояние, а не то, что существовало бы в исследуемой

области при отсутствии тензометра. В приведенных примерах причина погрешности полученных результатов заключена в самом методе измерения. Для анализа методических погрешностей требуется проведение теоретических исследований, а также разработка специальных метрологических приемов и образцовых устройств, которые воспроизводили бы все условия и особенности данного измерения [1, 2].

На работу измерительных приборов оказывают влияние внешние факторы – атмосферные, температурные, электрические помехи и др. В лабораторных условиях влияние этих факторов можно снизить до допустимых пределов. Суммарная погрешность средства измерения, возникающая при нормальных условиях аттестации прибора (при температуре воздуха 20°C, влажности 60% и др.), называется **основной погрешностью**. Изменение погрешности преобразователя, вызванное помехами, рассматривается как дополнительная погрешность. **Дополнительные погрешности** приводятся обычно в виде коэффициентов или функций влияния $\psi(\xi)$, которые нормируются отдельно для каждого влияющего фактора: температуры, влажности и т. д. Основная и дополнительная погрешности включают случайные и систематические составляющие.

Случайная составляющая погрешности измерений возникает по неизвестным причинам и проявляется в том, что при повторных измерениях постоянной величины получают различные ее значения, т. е, имеет место некоторый разброс значений результатов измерений. Для уменьшения случайной составляющей погрешности измерения увеличивают число повторных измерений, статистическая обработка которых позволяет усреднить полученные результаты и выделить среднее значение случайных отклонений. Уменьшать случайную составляющую погрешности целесообразно до тех пор, пока средняя квадратическая ошибка не окажется значительно меньше величины систематической погрешности. Необходимое число повторных отсчетов можно установить

только после оценки суммарной систематической погрешности средств измерений [1, 2].

Систематическую погрешность вызывает неправильно определенная чувствительность, несовпадение градуировочных характеристик при прямом и обратном ходе (гистерезис) и пр. Систематические погрешности вызывают также постоянно действующие влияющие факторы. В метрологии разработаны специальные приемы, позволяющие снизить или исключить из результата измерений ряд систематических погрешностей. К таким приемам относятся [1, 2]:

1) *стабилизация параметров* средств измерений, т. е. выбор стабильных режимов работы прибора, предварительное старение нестабильных элементов и др.;

2) *защита прибора* от действия влияющих величин или стабилизация значений влияющих величин: гидроизоляция, экранирование магнитных полей, надежность источников питания и т. д.;

3) *автокомпенсация* погрешностей по знаку, что позволяет известную по природе погрешность вводить в результат измерения дважды, но с разными знаками;

4) проведение *вспомогательных измерений* влияющих величин, что дает возможность при известной функции влияния вносить в результаты измерений поправки.

Широкое применение находит и так называемый способ *замещения*, заключающийся в том, что в процессе эксперимента вместо измеряемой величины производится периодическое подключение образцовой меры. Получаемые при этом отклонения измеренных значений меры от ее действительной величины характеризуют изменение масштаба преобразования и используются для внесения поправок в результаты измерений. Указанные приемы исключения систематических погрешностей будут проиллюстрированы при рассмотрении конкретных

измерительных средств.

При проведении испытаний непосредственно измеряются физические величины: перемещение, скорость перемещения, ускорение, деформация и др. Вместе с тем, механическое напряжение σ_x , внутренние усилия в сечении (изгибающий момент M_x , поперечная сила Q_x) не могут быть непосредственно измерены и для их определения в эксперименте необходимо воспользоваться аналитическими выражениями, устанавливающими связь между σ_x , M_x , Q_x и измеряемыми физическими величинами. С помощью косвенных измерений устанавливают фактическую жесткость EI_x изгибаемых элементов, жесткость узлов, податливость опорных закреплений и другие параметры, характеризующие действительную работу конструкций. Поскольку при проведении косвенных измерений используется зависимость искомой величины y от непосредственно измеряемых – $x_1, x_2, \dots, x_n$:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (4.2)$$

то достоверность результата будет зависеть не только от инструментальной погрешности измерений величин $x_1, x_2, \dots, x_n$, но и от того, в какой степени выражение (4.2) соответствует действительным условиям работы элемента конструкции, т.е. от методической погрешности. Инструментальную погрешность, косвенно определяемой величины можно вычислить по формуле:

$$\Delta y / y = \sqrt{\sum_1^n [(\partial \ln y / \partial x_i) \Delta x_i]^2}, \quad (4.3)$$

где $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$ – абсолютные погрешности измерений величин $x_1,$

$x_2, \dots, x_n$ зависимости (4.2).

4.1.4. Основы теории планирования эксперимента

Первым этапом планирования эксперимента является построение математической модели исследуемого явления. Для этого необходимо установить соотношения между изучаемыми параметрами и измеряемыми величинами, что позволяет обоснованно подобрать средства измерения, уровень допустимых погрешностей, выбрать способ обработки опытных данных и форму представления результатов исследования. Процедура построения математической модели зависит от задач эксперимента и основывается на анализе априорной информации об исследуемом явлении. Если еще не получены соответствующие уравнения, описывающие изучаемое явление, то на основе априорной информации составляют перечень всех возможных величин, которые могут быть существенными для рассматриваемого явления, и математическую модель записывают в виде зависимости (4.2), где измеряемые независимые переменные $x_1, x_2, \dots, x_n$ в терминах теории планирования эксперимента называются факторами, результаты эксперимента y – параметром оптимизации (откликом), а f – функцией отклика [1, 2].

После того как сформулированы задачи исследования и составлена модель изучаемого явления, должны быть установлены: *область определения факторов; способы их измерения; число уровней и значения интервалов варьирования каждого фактора*. Область определения факторов, как правило, ограничена. Ограничением верхнего предела является, например, некоторый предельный уровень возможных деформаций (перемещений), а нижнего предела – точность измерения. Чем ниже точность измерений, тем меньше возможное число дискретных значений или уровней фактора.

Назначение числа уровней факторов зависит также от характера функции отклика. В случае, когда функция отклика известна, уровни выбирают такими, чтобы получить значения экспериментальных данных вблизи характерных точек (например, в области ожидаемого перехода в пластическую область деформирования, появления микротрещин, состояния потери устойчивости и т.д.). Если для описания исследуемого явления принимается линейная модель, то достаточно установить лишь два уровня: верхнюю и нижнюю границу интервала варьирования. В относительных координатах, отнесенных к значению интервала варьирования факторов, эти уровни обозначаются $+1$ и -1 (или просто «+» и «-»). Уровни, записанные в таких обозначениях, называются нормированными. Таким образом, область определения факторов и принятое число уровней позволяют установить факторное пространство плана. Каждая ось факторного пространства соответствует одному фактору, а совместная область определения образует k -мерный объем (k – число независимых факторов).

Составим план проведения однофакторного эксперимента, в котором одна независимая варьируемая переменная x и одна зависимая (измеряемая в процессе испытаний) переменная y , например, определение модуля упругости стали при растяжении образца. Здесь варьируемой переменной является нагрузка или напряжение σ , действующее в образце, а зависимая переменная ε – деформация, измеряемая в процессе нагружения. Поскольку само понятие модуля упругости предполагает линейную зависимость $\sigma - \varepsilon$, то математическую модель результата опыта можно представить в виде:

$$y = a_0 + bx. \quad (4.4)$$

Переменную x достаточно варьировать на двух уровнях ($+1$ и -1) но в

общем случае, когда необходима проверка пригодности модели, число уровней увеличивают до трех, четырех. Нижняя граница интервала варьирования x определяется, как отмечалось, погрешностью измерения зависимой переменной y , а верхний уровень в данном опыте имеет конкретный физический смысл: это предполагаемый предел пропорциональности испытываемого материала $\sigma_{\text{пп}}$.

Рассматриваемый эксперимент относится к категории воспроизводимых экспериментов, т. е. один и тот же образец можно нагружать, многократно возвращаясь, всякий раз к его исходному состоянию. Согласно принятой модели (4.2) изучаемого явления при аппроксимации результатов опытов некоторой прямой должно выполняться условие:

$$y_i - a_0 - bx_i = 0. \quad (4.5)$$

Однако при подстановке в данное уравнение фактических значений y , и x , в силу рассеивания результатов это условие примет вид:

$$y_i - a_0 - bx_i = \delta_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (6)$$

где δ_i – отклонения от центра распределения; i – номер опыта; n – число опытов.

Прямая, проходящая вблизи множества экспериментальных точек должна занимать положение, при котором сумма квадратов отклонений от этой прямой минимальна:

$$\sum \delta_i^2 = \min. \quad (4.7)$$

Преобразование и решение системы уравнений дает для искомых

коэффициентов выражения (4.2) следующие расчетные формулы [1, 2]:

$$a_0 = \frac{\sum y_i \sum x_i^2 - \sum y_i x_i \sum x_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}; \quad (4.8) \quad a_0 = \frac{n \sum y_i x_i - \sum y_i \sum x_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}. \quad (4.9)$$

Метод наименьших квадратов с успехом применяется и в случае аппроксимации нелинейных зависимостей, когда ставится задача отыскания функции, отражающей осредненную зависимость величины y от x . Такая функция называется регрессией, а связанный с этим методом регрессионный анализ является основным инструментом обработки опытных данных при планировании эксперимента.

В рассмотренных планах учитывались ошибки измерения лишь одной переменной y , а значения независимой переменной x принимались строго фиксированными. В действительности, например при варьировании нагрузки, показания динамометра могут зависеть от того, получено ли заданное усилие в процессе увеличения или уменьшения нагрузки, при непрерывном или ступенчатом нагружении. Для компенсации таких факторов используют прием рандомизации последовательности нагружения, заключающийся в том, что при повторных испытаниях уровни нагружения назначаются в произвольной последовательности.

Если эксперимент невоспроизводимый, как в случае получения диаграммы деформирования материала, то сама последовательность нагружения не может быть назначена произвольно, поэтому в таком эксперименте может быть применен только последовательный план. Однако и здесь при проведении повторных опытов возможна рандомизация условий эксперимента с целью усреднения влияния внешних неконтролируемых факторов или факторов, которые не учитываются принятой математической моделью исследуемого явления.

Например, при испытании образцов для получения диаграммы деформирования бетона экспериментатор располагает кубиками четырех типоразмеров. Для сокращения времени проведения эксперимента кубики предполагается испытывать параллельно на четырех прессах разной мощности. При этом известно, что и масштабный фактор, и различие накопленной упругой энергии в системе «образец – машина» оказывают влияние на результаты испытаний. Однако учесть влияние этих факторов не представляется возможным: эксперимент по-прежнему однофакторный и внешние переменные необходимо компенсировать. Рандомизированный план такого эксперимента составляется в зависимости от марки испытательного пресса, типа деформометров и типоразмеров образцов и имеет следующий вид (табл. 4.1). Из таблицы видно, что каждый вариант испытаний встречается только один раз. Построенный план эксперимента называется *латинским квадратом*. В рассматриваемом **однофакторном эксперименте** результаты, полученные для каждой комбинации факторов, необходимо усреднить. Планы подобного типа могут быть использованы и в многофакторном эксперименте: в сочетании с дисперсионным анализом они позволяют исследовать влияние на результаты испытаний каждого фактора в отдельности.

Таблица 4.1. Рандомизированный план эксперимента

Марка испытательного пресса	Тип деформометра			
	I	II	III	IV
	Типоразмер образцов			
A	1	2	3	4
B	3	4	1	2
C	2	1	4	3
D	4	3	2	1

Многофакторный эксперимент. Если изучаемое явление описывается функцией нескольких независимых переменных, то такой

эксперимент называется многофакторным и при его планировании используют либо факторный план, либо классический план. Классический план строится так, чтобы в каждом опыте варьировалась лишь одна переменная, а значения всех остальных независимых переменных поддерживались на определенном, постоянном уровне. Поочередно варьируя каждую независимую переменную, устанавливают исследуемые зависимости. Например, изучается зависимость механических характеристик материала от температуры испытания. Это – двухфакторный эксперимент, математическую модель которого $y = \varphi(x, z)$ можно представить в виде последовательности отдельных функций $y = \varphi(x)$ при различных значениях параметра z . С этой целью в пределах изучаемого температурного диапазона устанавливают необходимое число уровней переменной z и затем для каждого температурного уровня проводят испытание образцов в заданных изотермических условиях. Таким образом, классический план многофакторного эксперимента представляет собой совокупность однофакторных экспериментов.

Такому подходу свойственны следующие недостатки. *Во первых*, не всегда удается стабилизировать все независимые переменные и поддерживать их значения на заданном уровне. *Во вторых*, при равных объемах экспериментов, построенных по схеме классического и факторного плана, точность последнего существенно выше. Кроме того, *факторное планирование* позволяет исследовать сложные системы, в которых последовательно разграничить влияние переменных практически невозможно. Приведем основные понятия факторного планирования и примеры использования факторных планов при определении внутренних усилий в стержневых системах. Пусть изучаемый параметр y линейно связан с k независимыми переменными $x_1, x_2, \dots, x_k$. Уравнение регрессии записывается в виде:

$$y = a_0x_0 + a_1x_1 + \dots + a_kx_k, \quad (4.10)$$

где x_0 – переменная, введенная для оценки свободного члена a_0 .

Эту задачу можно решать однофакторным методом, варьируя каждую переменную по очереди. Если при этом для каждой переменной сделано m повторных опытов и переменные варьируют только на двух уровнях $+1$ и -1 , то коэффициенты регрессии $a_i = \operatorname{tg} \beta$ (рис. 4.3) оцениваются по результатам двух опытов:

$$a_i = (y_i - y_0) / 2, \quad (4.11)$$

а дисперсия коэффициентов регрессии определяется как:

$$S_{ai}^2 = S_y^2 / 2m, \quad (4.12)$$

где S_{ai}^2 характеризует погрешность измерения параметра y при условии, что в каждом опыте погрешность измерения одинакова.

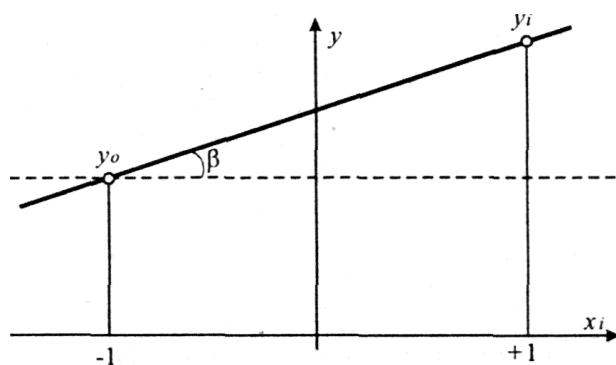


Рис. 4.3. Оценка коэффициента регрессии при варьировании переменной на двух уровнях

Следовательно, значения S_{ai}^2 , не зависят от общего числа переменных x_k , поскольку каждая переменная изучается в отдельности. Изменим план эксперимента. Пусть в каждом опыте варьируются все переменные сразу. Рассмотрим для определенности трехфакторный эксперимент и воспользуемся матрицей планирования, приведенной в табл. 4.2. Из таблицы видно, что минимальное число опытов равно четырем ($3+1$), то

есть на один больше числа независимых переменных. Особенностью такого плана является то, что все коэффициенты регрессии могут быть определены независимо друг от друга по формуле:

$$a_i = \Sigma x_{ij} y_i / (k + 1), \quad (4.13)$$

где: y_i – значение измеряемого параметра в j -м опыте; k – количество факторов; x_{ij} – значение i -го фактора в j -м опыте.

Таблица 4.2. Матрица планирования

Номер опыта	Факторы			
	x_0	x_1	x_2	x_3
1	+ 1	–1	–1	+ 1
2	+ 1	+1	–1	–1
3	+ 1	–1	+ 1	–1
4	+ 1	+1	+1	+ 1

Дисперсии оценок коэффициентов регрессии вычисляются как:

$$S_{ai}^2 = S_y^2 (k + 1). \quad (4.14)$$

Возвращаясь к рассмотрению линейной задачи с тремя независимыми переменными, сравним значения коэффициентов регрессии в случае применения однофакторного и многофакторного плана. При одинаковом общем числе опытов дисперсия коэффициентов регрессии многофакторного плана равна: $S_{ai}^2 = S_y^2 (4m)$, т.е. в 2 раза меньше, чем в первом случае. Если число независимых переменных $k = 7$, то применение многофакторного планирования дает выигрыш в точности по сравнению с классическим планом в 4 раза. Следовательно, с ростом числа независимых переменных эффективность многофакторного эксперимента

возрастает. Таким образом, при выборе плана эксперимента одним из критериев его оптимальности является минимум дисперсии коэффициентов регрессии исследуемой модели [1, 2].

В полном факторном плане реализуются все возможные комбинации уровней всех независимых переменных. Так, при двух переменных, варьируемых на двух уровнях, план состоит из четырех опытов, матрица планирования которых подобна табл. 2, где столбец x_3 заменен столбцом x_1x_2 . Результаты эксперимента можно представить неполным квадратным уравнением в виде:

$$y = a_0x_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_{12}x_1x_2, \quad (4.15)$$

которое содержит один нелинейный член $a_{12}x_1x_2$. Коэффициент a_{12} является оценкой эффекта взаимодействия факторов x_1 и x_2 . Планы такого вида называются *полным факторным экспериментом* типа 2^k , где k – число независимых переменных, а 2 – число уровней варьирования переменных.

4.1.5. Пример составления плана полного факторного эксперимента

1. *Определение внутренних усилий в сечении стержня.* С позиций планирования полного факторного эксперимента рассмотрим задачу об определении внутренних усилий в сечении стержня. С этой целью в процессе эксперимента предполагается определить в n точках нормальные напряжения σ_j . Пусть связь между действующими в сечении внутренними усилиями N , M_x , M_y и нормальными напряжениями линейна. Функция отклика (математическая модель) в этом случае известна:

$$\sigma_j = NA^{-1} + M_x y_j I_x^{-1} + M_y x_j I_y^{-1}, \quad (4.16)$$

где: y_j, x_j – координаты точек измерения σ_j ; A – площадь сечения; I_x, I_y – моменты инерции относительно соответствующих осей.

При решении этой задачи классический план применить нельзя, поскольку разделить переменные, т. е. фиксировать в эксперименте значение каждого внутреннего усилия по отдельности невозможно. В уравнении (16) контролируемые переменные y_j и x_j достаточно варьировать лишь на двух уровнях ($k = 2$), поскольку уравнение (4.16) линейное. Таким образом, можно воспользоваться планом типа 2^2 . Для того чтобы уровни варьирования привести к нормализованному виду (+1, -1), преобразуем масштаб *факторного пространства*. Положение центра плана относительно главных осей сечения найдем по формулам:

$$y_0 = I_x^{-1} \Sigma y_i / 4; \quad x_0 = I_y^{-1} \Sigma x_i / 4. \quad (4.17)$$

Масштабы в направлении осей y и x получим из выражений:

$$k_y = \sqrt{\Sigma (y_j I_x^{-1} - y_0)^2 / 4}; \quad (4.18) \quad k_x = \sqrt{\Sigma (x_j I_y^{-1} - x_0)^2 / 4}; \quad (4.19)$$

а переход к нормализованным уровням переменных произведем по формулам:

$$y_{oj} = (y_j I_x^{-1} - y_0) / k_y; \quad (4.20) \quad x_{oj} = (x_j I_y^{-1} - x_0) / k_x. \quad (4.21)$$

При этом область планирования оказывается заданной координатами вершин квадрата (рис. 4.4). Полученные таким способом координаты точек

установки тензометров максимально удалены от центра плана, что позволяет полностью использовать факторное пространство и обеспечить минимальную дисперсию коэффициентов регрессии. Сравнивая уравнение регрессии (15) плана типа 2^2 и математическую модель исследуемого явления (16), нужно отметить, что в последней взаимодействие координат y_j и x_j не имеет реального смысла, поэтому коэффициент $a_{12} \rightarrow 0$ и матрица планирования принимает вид, приведенный в табл. 4.3. Здесь число опытов $(k + 1)$ равно 4. Такой план называется *ненасыщенным*; кроме оценки всех неизвестных, он позволяет также произвести проверку адекватности выбранной математической модели.

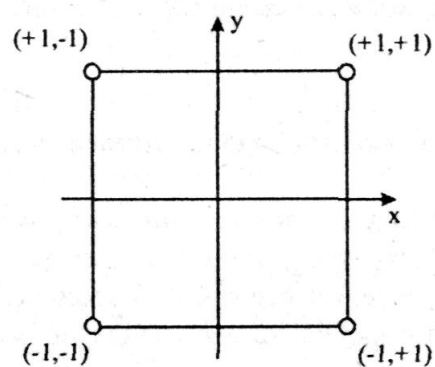


Рис. 4.4. Графическое изображение заданной вершинами квадрата области планирования

Таблица 4.3. Матрица планирования

Номер опыта	Факторы		
	x_0	y_j	x_j
1	+ 1	-1	-1
2	+ 1	+ 1	-1
3	+ 1	-1	+ 1
4	+ 1	+ 1	+1

По результатам опытов искомые оценки внутренних усилий находят из выражений:

$$M_{0x} = \sum \sigma_j y_{oj} / n; \quad (4.22) \quad M_{0y} = \sum \sigma_j x_{oj} / n. \quad (4.23)$$

Поскольку нормальное усилие N не зависит от координат измерения σ_j , то его оценку вычисляют как:

$$N_0 = n^{-1} \sum \sigma_j. \quad (4.24)$$

Переход от N_0 , M_{0x} , M_{0y} вычисленных в нормализованных переменных, к реальным значениям оценок N , M_x , M_y осуществляют по формулам:

$$N_0 = N_0 A; \quad (4.25) \quad M_x = M_{0x} k_y^{-1}; \quad (26) \quad M_y = M_{0y} k_x^{-1}. \quad (4.27)$$

Для проведения статистического анализа уравнений регрессии необходимо располагать результатами параллельных и повторных измерений. Для проведения параллельных измерений в каждой исследуемой точке сечения устанавливают несколько измерительных приборов. Воспроизводимые эксперименты, например, исследование работы конструкции в упругой стадии деформирования позволяют реализовать и повторные, и параллельные измерения.

Невоспроизводимые эксперименты допускают постановку только параллельных измерений. Поскольку оценка дисперсии результата измерений зависит от объема повторных или параллельных измерений, то минимальное их число должно быть не менее 3. Оценка дисперсии результатов измерения, считая результатом измерения напряжения σ_{uj} в каждой u -й точке установки, вычисляется по формуле:

$$s_{yu}^2 = \sum_{j=1}^m (y_{uj} - \bar{y}_u)^2 / (m - 1), \quad (4.28)$$

где: m – число повторных опытов; σ_u – среднее значение напряжения в

точке u .

Для получения усредненной оценки, характеризующей рассеяние результатов по всему исследуемому сечению в целом, вычисляется дисперсия

$$\bar{s}_{ou}^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\sigma_{ju} - \bar{\sigma}_u)^2 / n(m-1), \quad (4.29)$$

где n – число не дублированных точек измерения в сечении.

Дисперсии оценок внутренних усилий вычисляют по формуле:

$$\hat{s}_{ON}^2 = \hat{s}_{OM}^2 = n^{-1} \hat{s}_{\sigma}^2, \quad (4.30)$$

если переменные представлены в нормализованном виде, и по формулам:

$$\hat{s}_N^2 = n^{-1} A^2 \hat{s}_{\sigma}^2; \quad \hat{s}_{Mx}^2 = I_x^2 \hat{s}_{\sigma}^2 / \sum_{j=1}^n y_j^2 \quad (4.31)$$

в случае реальных значений оценок. Из выражений (4.31) следует, что точность оценок внутренних усилий повышается пропорционально сумме квадратов координат установки тензометров, т. е. минимизацию оценок дисперсий дает план, в котором значения координат размещения измерительных средств (x_j, y_j) по модулю максимальны. Помимо нахождения оценок внутренних усилий, статистический анализ рассматриваемых уравнений регрессии включает проверку значимости оценок найденных усилий, а также определение для них доверительной области и проверку адекватности полученных уравнений регрессии исходной математической модели.

2. Проверка значимости оценок. Если при планировании рассмотренного эксперимента перечень неизвестных внутренних усилий не может быть составлен с полной определенностью, то в уравнение регрессии следует включить максимально возможное их число; проверка значимости позволит исключить несущественные внутренние усилия. Основой для оценки значимости искомых неизвестных служит построение для них доверительных интервалов [1, 2]:

$$|\Delta\theta_j| = \pm t_{p,n-k} \widehat{S}_{\theta}, \quad (32)$$

где: θ_j – внутреннее усилие; $t_{p,n-k}$ – значение критерия Стьюдента при выбранном уровне значимости (обычно 5%) и числе степеней свободы, равном $n - k$; k – число независимых переменных.

Если абсолютное значение доверительного интервала превышает абсолютное значение соответствующего усилия, то последнее признается незначимым и исключается из уравнения регрессии. При независимой оценке достоверности каждого найденного усилия используются полученные доверительные интервалы (4.32), которые с заданной вероятностью P определяют область возможных значений этих усилий, т. е. характеризуют надежность найденных оценок.

3. Проверка адекватности полученных уравнений регрессии исходной математической модели. Если по условию стержень работает в линейной области деформирования и математическая модель (4.16) известна, то такая проверка не требуется. Если на стадии планирования эксперимента вид математической модели неизвестен, то проверка адекватности обязательна; она производится с помощью критерия Фишера F ,

$$F = \widehat{S}_{a\delta}^2 / \widehat{S}_{\sigma}^2 \quad (4.33)$$

где $\hat{S}_{\sigma}^2$ – дисперсия, вычисляемая по (4.29); $\hat{S}_{a\sigma}^2$ – дисперсия, характеризующая рассеяние результатов эксперимента относительно найденного уравнения регрессии, вычисляется по формуле:

$$\hat{S}_{a\sigma}^2 = \sum (\sigma_j - \hat{\sigma}_j)^2 / (n - k - 1), \quad (4.34)$$

где: $\hat{\sigma}_j$ – напряжение, вычисленное для j - го опыта с помощью уравнения регрессии; σ_j – напряжение, полученное экспериментально.

Значение критерия Фишера сравнивают с табличным значением для выбранного уровня значимости (обычно 5%). Такие таблицы приведены в любой литературе по математической статистике. Для отыскания табличного значения критерия F нужно также знать числа степеней свободы, которые использовались при вычислении дисперсии $\hat{S}_{\sigma}^2$ и $\hat{S}_{a\sigma}^2$. Согласно выражениям (4.29) и (4.34) эти числа:

$$f_1 = n(m - 1); \quad f_2 = n - (k + 1). \quad (4.35)$$

Гипотеза адекватности принимается (т. е. рассматриваемую модель следует признать адекватной), если расчетные значения критерия F не превышают табличного значения.

4.1.6. Конструктивные и технические особенности измерительных средств

При проведении испытаний сооружений и их моделей обычно выполняются измерения большого числа параметров, характеризующих и

процесс нагружения, и поведение элементов конструкции под нагрузкой. Такими параметрами являются силовые и температурные воздействия, линейные и угловые перемещения элементов конструкции, скорость перемещений, ускорение и др. Измерение компонентов относительных деформаций позволяет определять напряженное состояние и внутренние усилия, действующие в исследуемых сечениях. Для измерения перечисленных параметров используются десятки видов приборов и измерительных преобразователей, основанных на различном принципе действия, отличающихся конструктивным решением, чувствительностью, измерительным диапазоном и другими характеристиками [1, 2].

Требования, предъявляемые к используемой аппаратуре, определяются, прежде всего, задачами проводимых испытаний. При проведении натурных испытаний предпочтение отдается приборам, которые могут быть быстро установлены на объектах, имеющих автономное электрическое питание, достаточно широкий измерительный диапазон. Эти качества достигаются за счет снижения чувствительности приборов и применения простейших механических преобразователей с визуальным считыванием показаний со шкалы прибора.

При *испытании моделей* сооружений (обычно в лабораторных условиях) становится возможным проведение более полных исследований, включающих моделирование различных режимов силовых и температурных воздействий, измерение в большом числе точек исследуемых сечений конструкции деформаций, перемещений, температур. В этом случае на модели устанавливаются сотни и тысячи преобразователей различного назначения. Поскольку деформации и перемещения элементов моделей во много раз меньше, чем в реальных сооружениях, важнейшими требованиями к средствам измерений становятся их высокая чувствительность и помехозащищенность (низкий уровень погрешностей измерений). Установка большого числа приборов

выдвигает требования к их минимальной массе и габаритам, необходимым условием становится высокая скорость регистрации их показаний. Перечисленными достоинствами обладают современные электрические измерительные *преобразователи*, применяемые в сочетании с автоматизированными информационно-вычислительными комплексами.

1. Измерительные приборы для статических испытаний и область их применения. При испытании строительных конструкций статическими нагрузками измеряются как действующая сила, так и основные виды деформаций: прогибы (перемещения), продольные фибровые деформации, углы поворота конструкций и ее элементов, сдвиги отдельных элементов конструкции или их волокон относительно друг друга, кроме того, контролируется изменение напряженного состояния и свойств самого материала конструкции под действием внешней нагрузки. При статических испытаниях используют приборы, как с непосредственным отсчетом значений измеряемой величины, так и измерительные преобразователи, позволяющие осуществлять измерения дистанционно, что на практике существенно расширяет возможности инженерного эксперимента. Указанные преобразователи позволяют автоматизировать процесс измерения и регистрации значений контролируемых величин и выполнять измерения в местах, недоступных для приборов с непосредственным отсчетом. При значительном количестве установленных датчиков и приборов, а также в случае необходимости проведения неоднократных измерений, на практике в настоящее время возможно создание следящих электронных систем с автоматическим опросом и автоматической регистрацией показаний приборов с непосредственным вводом исходных данных проводимых испытаний на ЭВМ и проведением математической обработки полученных результатов.

2. Силоизмерительные приборы. При испытании строительных конструкций статическими нагрузками, создаваемыми грузовыми

механизмами – домкратами, лебедками, талями; измерение интенсивности нагрузки осуществляют **динамометрами**. На практике различают два вида динамометров – стационарные и переносные. *Стационарные* динамометры применяют в основном для поверки рабочих переносных динамометров и называются образцовыми. Образцовые динамометры должны иметь государственное свидетельство с таблицей зависимостей между нагрузками и показаниями индикатора для нескольких реперных точек.

По конструктивным особенностям рабочие динамометры подразделяются на *пружинные, гидравлические и электромеханические*. В зависимости от способа регистрации измеряемой силы различают динамометры со стрелочным указателем, со счетным приспособлением и записывающие. Динамометры со стрелочным указателем используют, главным образом, для измерения статических усилий, а счетно-регистрирующие и записывающие – для переменных усилий.

Динамометры, имеющие записывающие устройства, называются *динамографами*. Конструктивные особенности образцовых пружинных динамометров, гидравлических и электромеханических представлены на рис. 4.5 – 4.7. В полевых и лабораторных условиях действующую силу, прикладываемую к строительной конструкции, можно измерить и самым простым способом. В установку для измерения силы вместо динамометра вставляют металлический стержень и индикатором часового типа измеряют его относительную деформацию ε на возможно большей базе с точностью 0,001 мм. Тогда действующую силу N в металлическом стержне в зависимости от его площади сечения A и модуля упругости материала стержня E можно определить по следующей формуле:

$$N = \varepsilon \cdot A \cdot E. \quad (4.37)$$

В последнее время все шире стали применяться электромеханические

динамометры с тензорезисторной измерительной системой, представленной на рис. 4.7. Рассмотренные динамометры обладают очень высокой чувствительностью, широким диапазоном измеряемых усилий. Одновременно они очень компактны по размерам и сопрягаемы с существующей вычислительной техникой, позволяющей автоматизировать все операции, связанные с измерениями и обработкой получаемых результатов [1, 2].

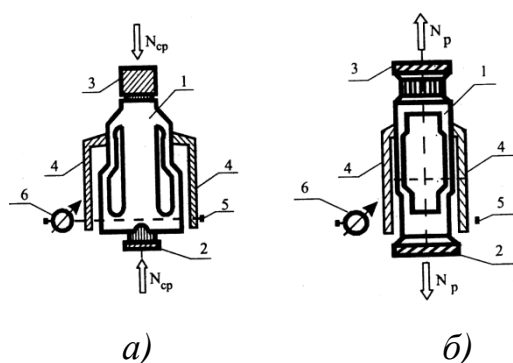


Рис. 4.5. Образцовые динамометры:
а – сжатие, б – растяжение;
1 – корпус, 2 – нижняя пятка,
3 – верхняя пятка, 4 – флажки,
5 – рабочая игла, 6 – индикатор

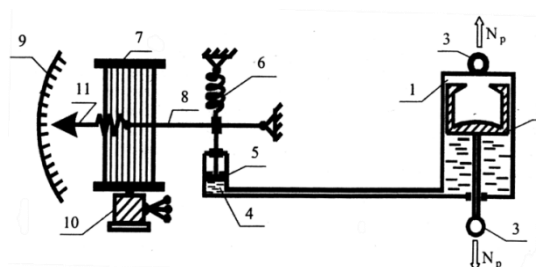


Рис. 4.6. Схема гидравлического динамометра:
1 – рабочий цилиндр,
2 – рабочий поршень, 3 – серья,
4 – измерительный цилиндр, 5 – поршень
измерительного цилиндра, 6 – пружина,
7 – барабан, 8 – рычаг, 9 – рабочая шкала,
10 – электродвигатель, 11 – указатель давления

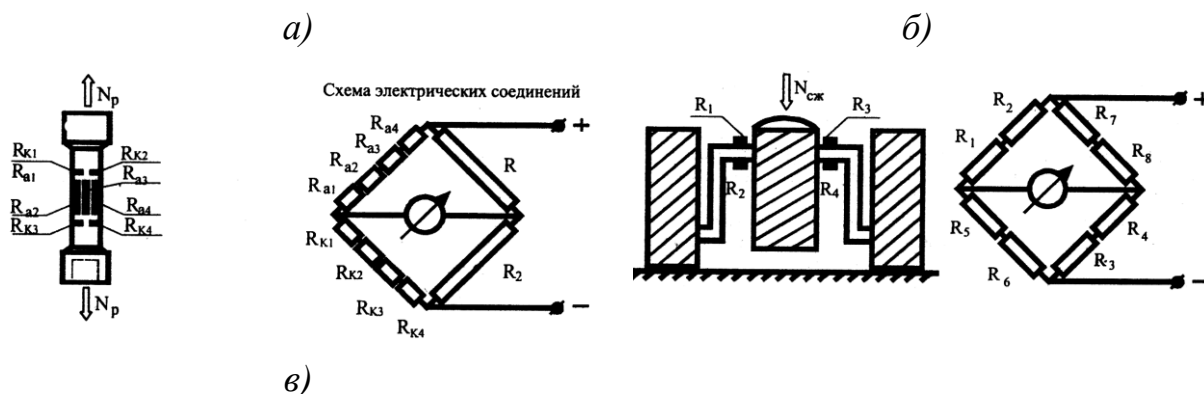
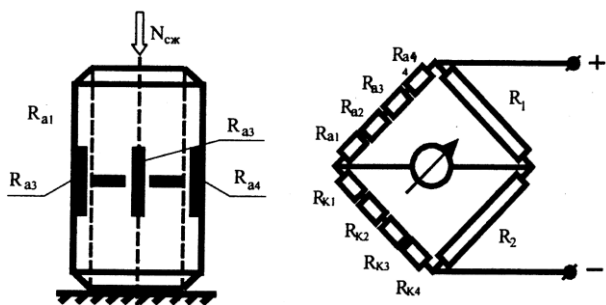


Рис. 4.7. Конструктивные особенности электромеханических динамометров:
а – для измерений растягивающих усилий,
б, в – для измерений сжимающих усилий



3. Приборы для линейных измерений. При испытаниях деревянных конструкций, в особенности большепролетных, приходится измерять перемещения порядка нескольких сантиметров. Перемещения различных точек металлических конструкций колеблются в зависимости от размеров испытываемого объектов – от нескольких миллиметров до десятков миллиметров. Наиболее жесткими являются железобетонные конструкции, где перемещения относительно не большие. Особенно повышенные требования предъявляются при наблюдении за характером затухания приращения перемещений во времени в ходе выдерживания нагрузки. В большинстве случаев при этом необходимы измерения с точностью: порядка миллиметра – для деревянных конструкций; десятых и сотых миллиметра – для металлических конструкций; а в отдельных случаях и даже тысячных миллиметра – для железобетонных несущих и ограждающих конструкций. Для удовлетворения всех этих требований и достижения максимальной объективности и достоверности выполненных измерений на практике необходимы приборы с высокими метрологическими характеристиками.

Прогибомеры. Приборы для измерения перемещений называют *прогибомерами*. В зависимости от назначения прогибомеры могут иметь различную конструкцию. В одних случаях это могут быть простейшие устройства, позволяющие замерять перемещения загруженных строительных конструкций с точностью не выше 0,1...1 мм. При больших перемещениях такая точность бывает достаточной. В других случаях, когда требуется высокая точность измерений, достигающая 0,01мм и

выше, используются более чувствительные приборы со сложными измерительными устройствами.

Рассмотрим элементарные прогибомеры. К наиболее простым прогибомерам относится устройство, представляющее собой две планки, одна из которых закреплена на железобетонном основании, а другая – на конструкции. По взаимному смещению планок судят о деформации конструкции. Точность измерений таким устройством, как правило, невысокая, но если металлические планки тщательно выполнены и сопряжены между собой, прочно закреплены и снабжены нониусным устройством, то точность измерений можно довести до 0,1 мм (рис. 4.8,а).

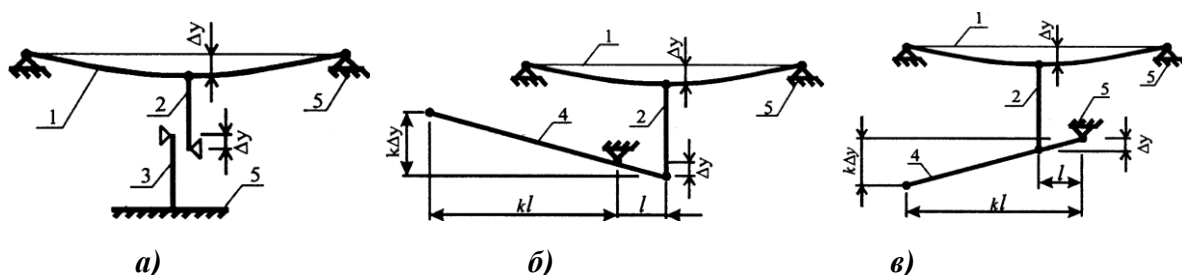


Рис. 4.8. Конструктивные схемы элементарных прогибомеров: а – прогибомер прямого измерения; б, в – прогибомеры с рычажными усилителями; 1 – изогнутая ось загружаемой конструкции; 2 – рабочее плечо прогибомера; 3 – неподвижное плечо прогибомера; 4 – рычаг; 5 – неподвижные опоры

Для более точных измерений применяют прогибомеры, в которых используется редукторная кинематическая схема с проволоочной связью, рис. 4.9. Прогибомер соответственно закрепляют в перемещающейся (или неподвижной) точке, а к свободному концу проволоки, огибающей шкив прогибомера, подвешивают груз, создающий в ней постоянное натяжение. При смещении прибора на f шкив повернется на угол $\varphi = f / r$. Угловое перемещение шкива через систему передач отклоняет стрелку прибора. Указанная система передач обеспечивает необходимое увеличение измеряемого перемещения (прогиба) [1, 2].

В настоящее время в статических испытаниях мостов широко

используется прогибомер Н. Н. Максимова, рис. 4.10. Хорошо зарекомендовали себя еще две их разновидности конструкции А. М. Емельянова и Н. Н. Аистова, кинематические схемы которых представлены на рис. 4.10,б, в. В *прогибомере Максимова* (рис. 4.9,а) перемещение гибкой нерастяжимой нити 1, охватывающей шкив 2 и соответствующей такому же перемещению испытываемой конструкции, вызывает поворот диска 3 на угол $\Delta\varphi$ и стрелки 3 на угол $k\Delta\varphi$ (k – соотношение диаметров диска и фрикционного барабана). При этом точность отсчета по рабочей шкале достигает 0,05 мм. Диапазон измерений – неограниченный. Одним из главных недостатков прибора является наличие в кинематической схеме прибора – нежесткого фрикционного соединения.

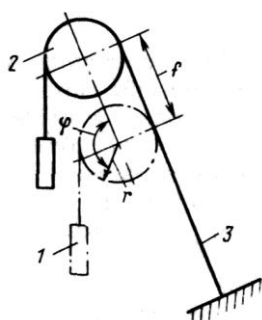
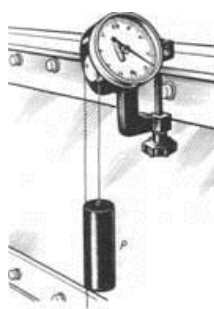
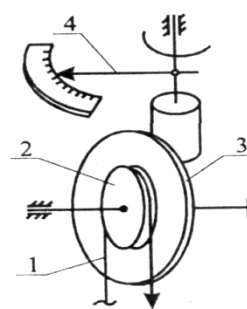


Рис. 4.9. Схема работы прогибомера с проволоочной связью: 1 – груз; 2 – шкив; 3 – проволока



а)



б)

Рис. 4.10. Общий вид (а) и кинематическая схема прогибомера Максимова (б): 1 – нерастяжимая нить; 2 – рабочий шкив; 3 – рабочий диск; 4 – регистрирующая тарелка

В *прогибомере Емельянова* (рис. 11,а) передача вращения осуществляется с помощью шестерен. При этом шкив шестерен и стрелки находятся в параллельных плоскостях. По одной шкале отмечаются целые миллиметры, по другой – до 0,01мм. При этом диапазон измерений в одном приборе также неограничен. Люфт зубчатого соединения устраняется с помощью пружины разворачивающей шестерни в противоположные стороны.

У *прогибомера Аустова* (рис. 4.11,б) принципиальная кинематическая схема практически аналогична предыдущей схеме. Однако используемые в ней некоторые усовершенствования позволяют одновременно на трех рабочих шкалах оценивать перемещения испытываемой конструкции с точностью: на первой до 1 см (полный поворот равен 10 см), на второй – до 1 мм (полный поворот равен 10 мм), на третьей – до 0,01 мм (полный поворот равен 1 мм). Способы установки прогибомеров зависят от удобства снятия отсчетов и месторасположения неподвижной (нулевой) точки отсчета.

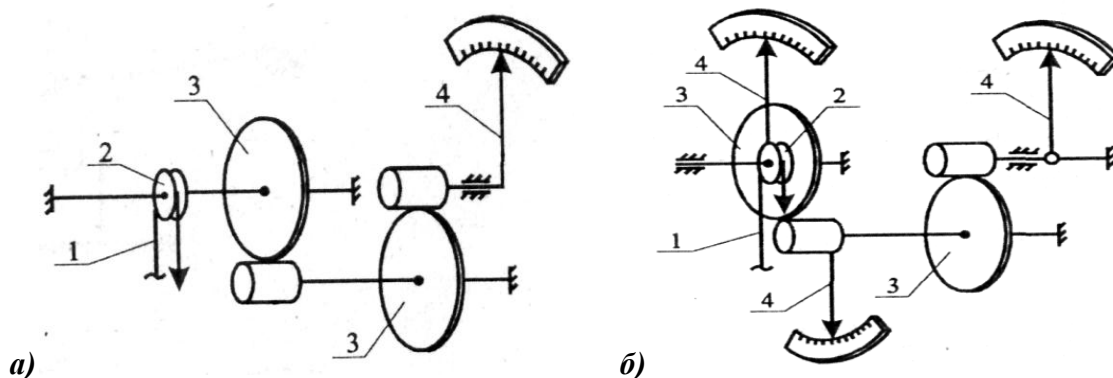


Рис. 4.11. Кинематические схемы прогибомеров Емельянова (а) и Аустова (б):

1 – нерастяжимая нить; 2 – рабочий шкив; 3 – рабочий диск;
4 – регистрирующая стрелка

1. При наличии доступной неподвижной точки – схема на рис. 4.12,а (прибор внизу) и схема на рис. 4.12,б (прибор наверху). Для учета влияния осадок опор требуется установка дополнительных прогибомеров в опорных сечениях. При испытаниях строительных конструкций над водой, при отсутствии быстрого её течения, на дно может быть опущен тяжелый якорь (рис. 4.12,в), к которому предварительно прикрепляется нижний конец соединительной нити (проволоки).

2. При недоступности или большом расстоянии до неподвижных точек, а также с целью исключения влияния осадок опор на практике достаточно часто применяют систему шпренгелей. В частности, на рис.

13,а показан подвешенный проволочный шпренгель, который оттягивается вниз вертикальной проволокой с пружиной, обеспечивающей практическое постоянство натяжения шпренгеля и тем самым требуемую неподвижность точки крепления рабочей проволоки 4 и прогибомера 3. На рис. 4.13,б показан шпренгель, оттягиваемый подвешенным грузом, а на рис. 4.13,в видно, как постоянство натяжения шпренгеля обеспечивается пружиной, соединяющей его вершину с верхним поясом испытываемой балки.

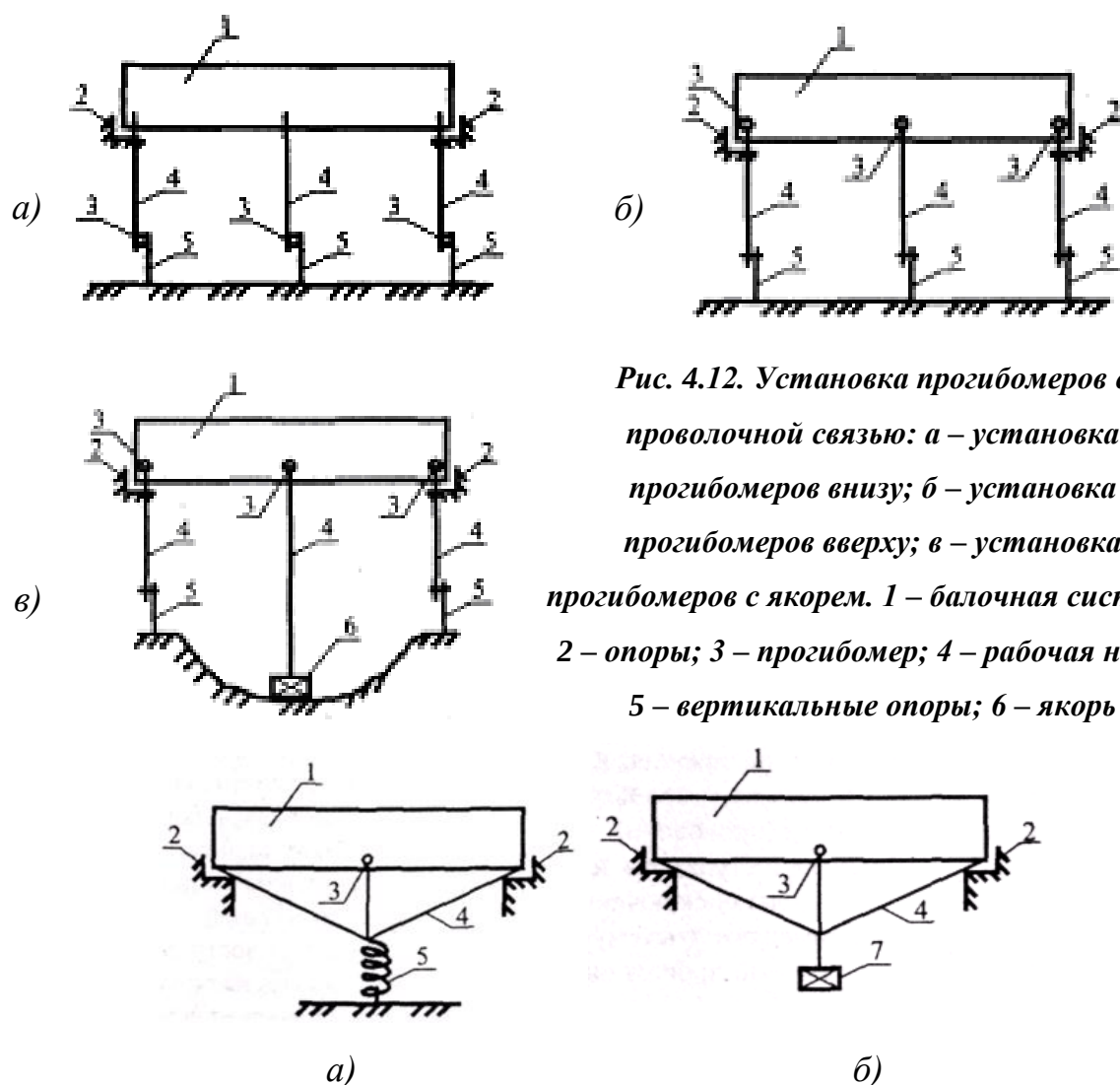
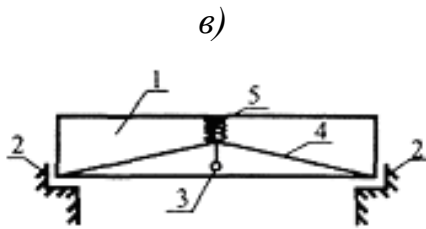


Рис. 4.12. Установка прогибомеров с проволочной связью: а – установка прогибомеров внизу; б – установка прогибомеров вверх; в – установка прогибомеров с якорем. 1 – балочная система; 2 – опоры; 3 – прогибомер; 4 – рабочая нить; 5 – вертикальные опоры; 6 – якорь

Рис. 4.13. Установка прогибомеров с применением рабочей нити к шпренгелю с целью исключения влияния осадок опор: а – шпренгель с пружиной;



1 – балочная система; 2 – опоры; 3 – прогибомер; 4 – шпренгель; 5 – пружина; 6 – рабочая нить (провода); 7 – груз

Пример установки прогибомеров для измерения **горизонтальных перемещений** испытываемого объекта приведен на рис. 4.14. Одновременно следует отметить, что на результаты измерений перемещений, с помощью рассмотренных прогибомеров значительное влияние оказывает изменение длины проволоки в зависимости от температуры воздуха и нагрева её лучами солнца. Так, стальная проволока длиной 1 м при повышении температуры на 10°C удлиняется более чем на 1 мм, что должно тщательно учитываться при обработке результатов проведенных испытаний.

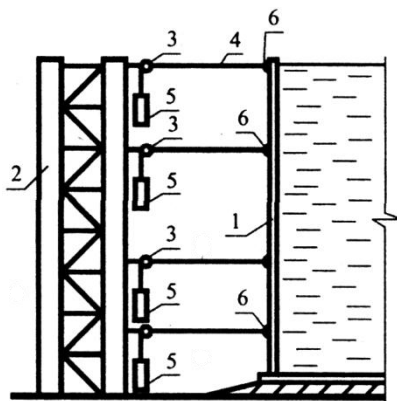


Рис. 4.14. Установка прогибомеров для измерения горизонтальных перемещений стенки резервуара: 1 – стенка резервуара; 2 – временная опора; 3 – прогибомеры; 4 – рабочая нить; 5 – противовес; 6 – элемент крепления

Индикаторы (мессуры). Для измерения небольших по абсолютной величине перемещений применяют индикаторы часового типа, которые устанавливаются на неподвижной опоре с упором подвижного измерительного стержня в испытываемую конструкцию или закрепляются на испытываемой конструкции с упором подвижного стержня в какую-либо

неподвижную точку. Поэтому очень часто индикаторы называют *контактными прогибомерами*. На практике применяют следующие индикаторы: (а) с ценой деления 0,01мм и пределом измерения 0...50 мм; 0...25мм; 0...10мм; 0...5мм; 0...2мм; (б) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения 0...1мм. Индикатор часового типа (рис. 4.15) состоит из цилиндрического корпуса, внутри которого размещена вся кинематическая система прибора. На лицевой стороне прибора под стеклом располагается кольцевая шкала и большая стрелка для регистрации отчета с ценой деления либо 0,01мм, либо 0,001мм. Для отсчета целых оборотов большой стрелки индикатора предусматривается вторая малая шкала со стрелкой. Схемы установки индикаторов часового типа для испытаний строительных конструкций могут быть идентичны ранее описанным схемам установки обычных прогибомеров с проволоочной связью.

Индикатор укрепляют таким образом, чтобы обеспечить передачу измеряемых перемещений на шток. Закрепляется индикатор специальными подставками, струбцинами или винтом через ушко у корпуса. Их обычно закрепляют на одном месте на весь период испытаний. На базе индикатора созданы разновидности прибора, который называется *деформометром* (рис. 16). Этот прибор устанавливают на место измерения только для снятия отсчетов, что значительно расширяет его использование.

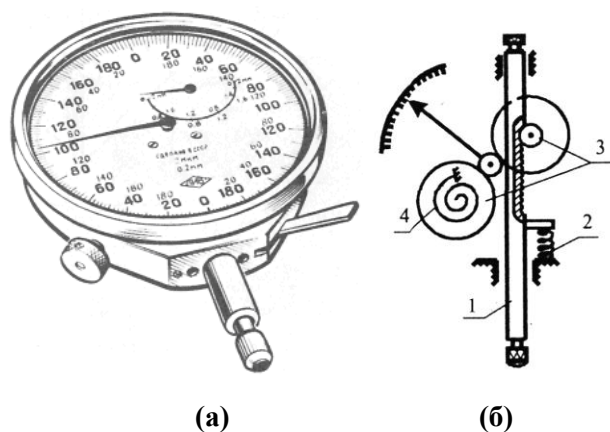


Рис. 4.15. Индикатор часового типа (а) и его кинематическая схема (б):

1 – рабочий шток с рейкой –
кремальерой; 2 – возвратная пружина; 3
– зубчатые шестерни;
4 – система ликвидации люфта

Деформометрами измеряют различного рода перемещения, раскрытие

трещин, деформации (напряжения) и др. Одним таким прибором можно выполнять измерения во многих местах и в течение длительного времени. Основная часть деформометра – индикатор, к задней его крышке наглухо прикреплена пластинка 4 с конусной ножкой. К штоку 1 закреплена конусная ножка 2. Прибор устанавливают на этих ножках в специально просверленные в марках отверстия диаметром около 1 мм и глубиной 2...3 мм. Если измерения выполняются на металлических конструкциях, то отверстия сверлят непосредственно в них, а в деревянных, железобетонных и каменных конструкциях в местах установки ножек деформометра заделывают специальные металлические стержни (марки) диаметром 3...5 мм и длиной 10...20 мм с просверленными в них отверстиями для установки деформометра. Расстояние между конусами ножек является базой измерения. Деформометры такого конструктивного исполнения изготавливают с базами от 50 до 250 мм. Приборы с большей базой (до 1 м) имеют жесткую конструкцию, чтобы исключить влияние деформации прибора на его показания. Созданы деформометры других конструкций с опорными шариками, которыми прибор опирается на марки (рис. 17).

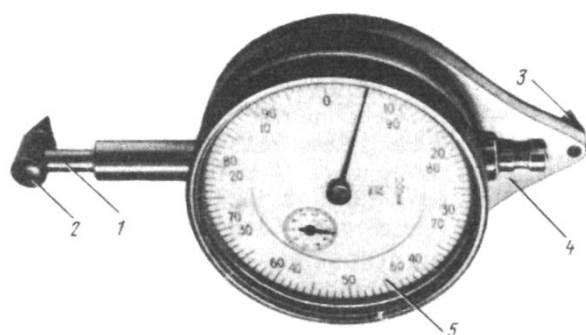


Рис. 4.16. Деформометр:

1 – шток; 2 – подвижная конусная ножка; 3 – неподвижная ножка; 4 – пластинка, 5 – индикатор

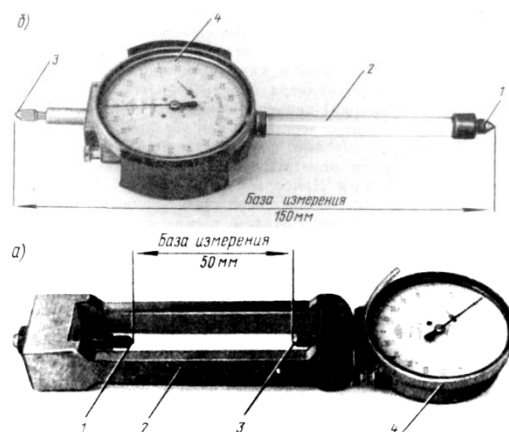


Рис. 4.17. Съёмные

деформометры с базами измерения 50 мм (а) и 150 мм (б): 1 – неподвижная шаровая опора; 2 –

*удлинитель; 3 – шток с подвижной шаровой опорой;
4 – индикаторная головка*

При больших расстояниях между индикаторами и точками упора между ними помещают жесткие соединительные элементы, например легкие штанги (рис. 4.18).

Наличие подобною рода буферных элементов связано, однако, с возможностью возникновения дополнительных ошибок измерений в результате хотя и малых, но трудно устранимых дискретных смещений и обмятый в дополнительных соединениях, коробления деревянных реек, изменения длины связующих металлических элементов при переменной температуре и т.д. Возможны колебания также буферных реек при порывах ветра, что делает более целесообразным применение проволоочной связи с индикатором по схеме, представленной на рис. 4.18.

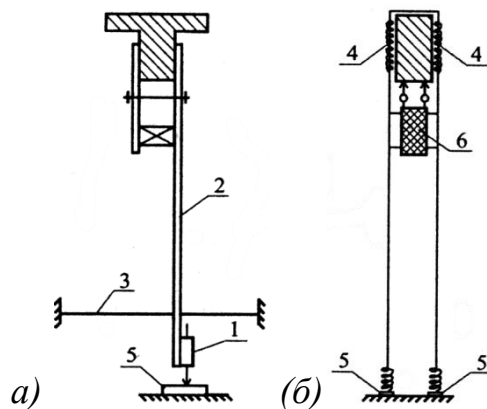


*Рис. 4.18. Схема установки индикаторов при удаленных измерениях перемещений:
а – с использованием рейки-удлинителя;
б – с применением проволоочной связи;
1– индикатор; 2 – рейки-удлинители;
3 – проволоочная растяжка; 4 – пружины;
5 – опора; 6 – буферная неподвижная опора*

Прогибомер закрепляют к конструкции струбцинами. Для связи используют стальную проволоку диаметром около 0,5 мм, масса груза должна быть 1...2 кг. Прогибомерами можно измерить взаимные перемещения точек в различных направлениях; направление измеряемого перемещения будет совпадать с направлением проволоки, связывающей взаимно перемещающиеся точки.

При испытании мостов прогибомерами измеряют вертикальные

прогибы пролетных строений под статической нагрузкой. Если пролетное строение расположено над открытой поверхностью земли, то прогибомер можно устанавливать на пролетном строении (в подвижной точке) или на забитой под пролетным строением свайке (в неподвижной точке). Выбор места установки прогибомера в этом случае зависит от удобства снятия отсчетов. Если пролетное строение находится над водой, то прогибомер закрепляют на пролетном строении. Для обеспечения связи с землей (неподвижной точкой) под прогибомером на дно водоема опускают груз массой около 10 кг, к которому привязывают конец проволоки. При большой длине проволоки из-за температурных изменений в ней могут возникнуть значительные деформации: их нужно учитывать, иначе будут погрешности в измерении прогибов. Для учета температурных деформаций температуру воздуха измеряют при снятии каждого отсчета.

Для измерения прогибов на пролетном строении устанавливают не менее трех прогибомеров: два у концов и один в месте измерения прогиба. Это позволяет исключить осадки опор и опорных частей, которые определяются по показаниям концевых прогибомеров [1, 2].

Электромеханические измерители перемещений. В настоящее время существует большое количество электромеханических систем измерений, позволяющих преобразовать механические перемещения в электрические сигналы, усиливаемые и передаваемые на любые расстояния от места проведения статических испытаний строительных конструкций. Указанные системы сопрягаемы с любой вычислительной техникой, что позволяет обрабатывать полученные сигналы по запланированной программе и одновременно управлять проводимыми экспериментами. В частности, к подобным измерителям перемещений относятся различные конструктивные решения, основанные на преобразовании механических перемещений в изменение их емкости, либо индуктивности или электрического сопротивления. Все вышеперечисленные системы преобра-

зования относятся к пассивным. Наряду с пассивными системами в технике статических испытаний существуют и активные системы преобразования, основанные на генерировании непосредственно самим преобразователем электрических сигналов. Подобные системы используются в так называемых "следающих" системах, называемых сельсинами. *Сельсины* – это генераторные электрические устройства для синхронной передачи углов поворота. При этом запись либо углов поворота, либо линейных перемещений на регистрирующем приборе можно проводить с заданным увеличением, в отличие от обычного классического механического прогибомера. На практике наиболее часто для дистанционного измерения перемещений используют электромеханические измерители перемещений на базе применения тензопреобразователей (рис. 4.19, а, б), которые позволяют измерять перемещения в диапазоне от 0 до 50 мм с точностью, превышающей 0,001 мм [1, 2].

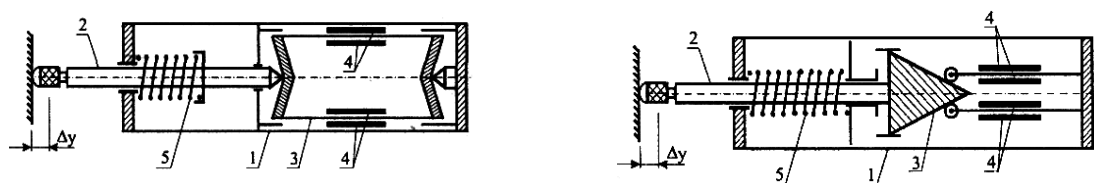


Рис. 4.19. Электромеханический измеритель перемещений: а – в диапазоне 0 – 1 мм с ценой деления 0,0001 мм; б – в диапазоне 0 – 10 мм с ценой деления 0,001 мм; 1 – корпус; 2 – рабочий шток; 3 – система преобразования перемещений; 4 – тензосопротивления; 5 – пружина

4. Клинометры. Углы наклона элементов, подлежащие определению при испытаниях в пределах расчетных нагрузок, как правило, не велики. В большинстве случаев приходится учитывать доли градуса и минуты, а при испытаниях особо жестких железобетонных конструкций – и секунды. Приборы и приспособления, применяемые для измерения столь малых углов, должны обладать высокой чувствительностью.

При нагружениях за пределами расчетных нагрузок, и в особенности при приближении к стадии разрушения, угловые перемещения начинают резко возрастать, и для определения их оказываются более целесообразными геодезические методы и фотосъемка. Ниже рассмотрены основные типы клинометров и приспособлений для измерения малых угловых перемещений [1, 2].

1. Способ жесткого рычага. К наблюдаемому сечению крепится металлическая консоль (рис. 4.20). Линейные перемещения двух точек консоли, обусловленные наклоном сечения, измеряют с помощью прогибомеров. Зная разность перемещений на базе B , определяем угол наклона α .

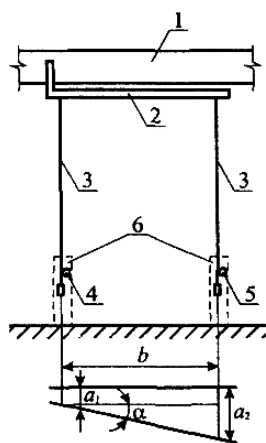


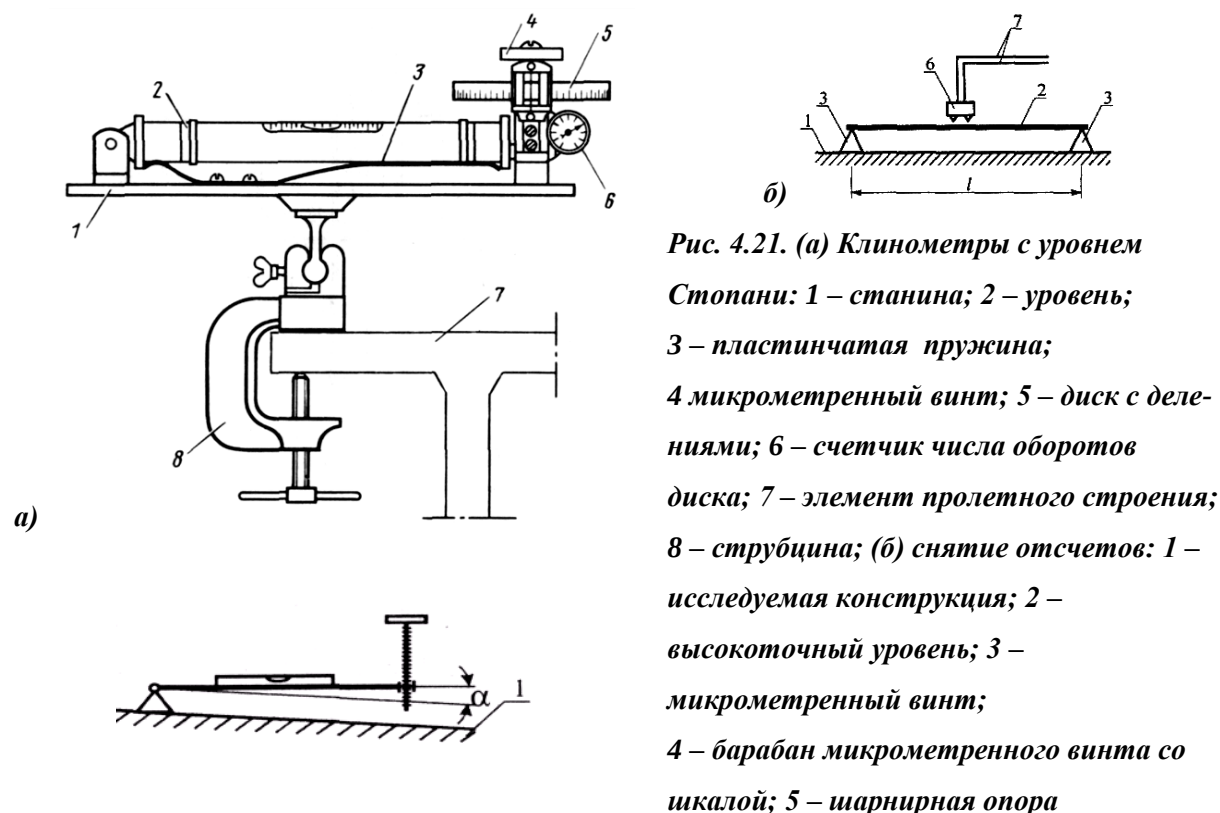
Рис. 20. Измерение угла наклона при помощи жесткой консоли: 1 – испытываемый элемент; 2 – жесткая консоль; 3 – соединительная проволока; 4, 5 – прогибомеры; 6 – неподвижные опоры для крепления прогибомеров; a_1 и a_2 – перемещения, измеренные прогибомерами

2. Клинометр с уровнем. Общий вид и кинематическая схема их показана на рис. 4.21. Прибор состоит из станины 1, к которой слева шарнирно прикреплен уровень 2, поддерживаемый пластинчатой пружиной 3. Правый конец уровня микрометричным винтом 4 можно перемещать в вертикальной плоскости. К микрометричному винту жестко прикреплен диск 5 с делениями. На испытуемой конструкции прибор закрепляется струбциной 8, соединенной шаровым шарниром со станиной. Для измерения угла поворота конструкции к ней в определенной точке струбциной 8 прикрепляется клинометр. Продольная ось уровня должна находиться в плоскости измеряемого угла поворота.

Уровень устанавливается поворотом шарового шарнира и

микрометрическим винтом 4. Это положение фиксируют снятием отсчета по счетчику 6 числа оборотов микрометрического винта (счетчик показывает целое число оборотов винта) и по шкале диска 5 (показывает долю оборота винта). При повороте конструкции, нагруженной испытательной нагрузкой, уровень повернется на тот же угол. Для определения угла поворота уровень микрометрическим винтом возвращают в горизонтальное положение и снова снимают отсчет.

Разность отсчетов, умноженная на шаг винта, равна перемещению конца уровня Δ . Отношение Δ/l равно тангенсу измеренного угла поворота. Цена деления на горизонтальном диске 5 в клинометрах этого типа равна $1...2''$.



3. Маятниковые клинометры. Схема прибора показана на рис. 22, б, в. Отвес 2 опирается при помощи призмы 3 на опору, расположенную внутри корпуса 4 клинометра. Положение отвеса фиксируется микрометрическим винтом 5. Отсчеты берутся по шкале 6 барабана винта с

ценой деления в 2×10^{-2} мм. Разность отсчетов, соответствующих положениям рис. 20,б, в, дает определяемый угол наклона α . Во избежание смещения отвеса микрометрическим винтом контакт их отмечается электросигналом (при соприкосновении острия винта 5 с отвесом 2 замыкается слаботочная электрическая цепь с лампочкой или звонком). Рассмотренный прибор не требует связи с каким-либо репером, что является (в особенности при длительных наблюдениях) серьезным преимуществом представленного клинометра по сравнению с другими.

Маятниковый клинометр конструкции Н. Н. Аистова (рис. 4.22,а). Прибор состоит из закрытого корпуса, внутри которого подвешен маятник 2. Нижний конец маятника может контактировать с микрометрическим винтом 5, на наружном конце которого расположен диск 4 с делениями.

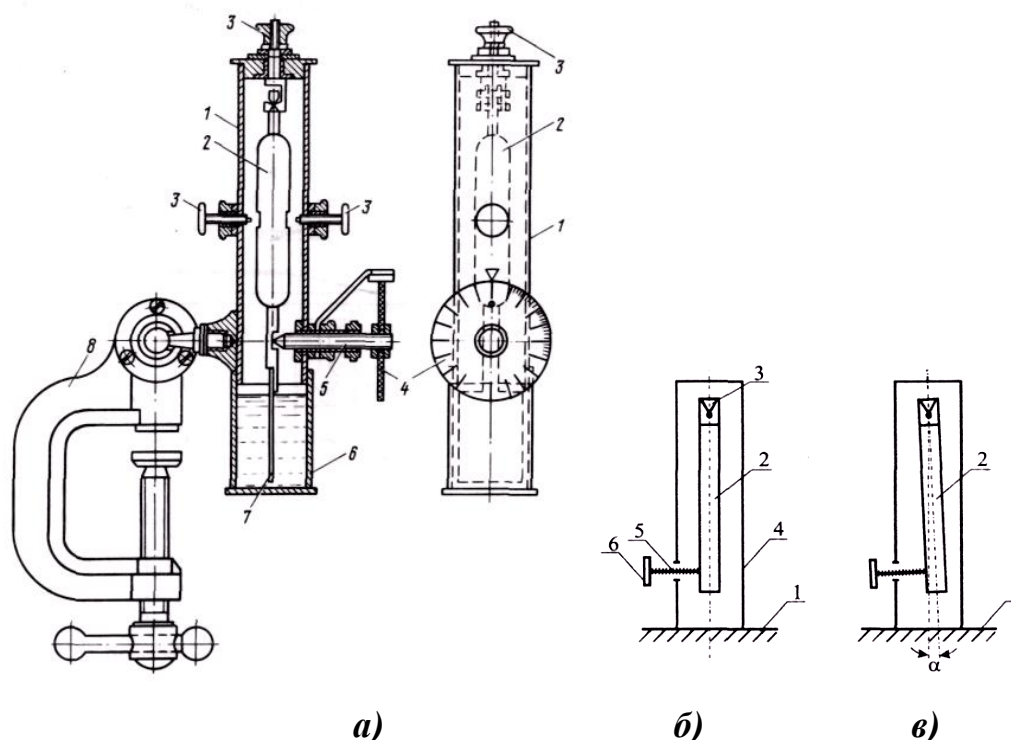


Рис. 4.22. (а) Клинометр Н. Н. Аистова КА-4: 1 – корпус; 2 – маятник; 3 – клемма, 4 – диск с делениями; 5 – микрометрический винт; 6 – сосуд с жидкостью; 7 – весло; 8 – трубка; (б), (в) схема определения угла наклона: 1 – исследуемая конструкция; 2 – отвес; 3 – опорная призма; 4 – корпус прибора; 5 – микрометрический винт; 6 – барабан

Через клеммы 3 прибор включается в электрическую цепь с лампочкой или звонком. Эта цепь может замыкаться через маятник с микрометрическим винтом. Клинометр струбциной с шаровым шарниром закрепляется вертикально на испытуемой конструкции таким образом, чтобы плоскость качания маятника совпадала с плоскостью измеряемого угла поворота. Затем микрометрический винт 5 вращают до контакта его с маятником (появления светового или звукового сигнала). В этот момент снимают отсчет по шкале диска и отводят микрометрический винт от маятника. При загрузке конструкции корпус прибора повернется вместе с конструкцией относительно маятника на измеряемый угол. Для его определения вращением винта снова замыкается цепь и снимается отсчет по шкале диска. Разность отсчетов в определенном масштабе дает угол поворота.

Угол поворота в любой плоскости можно измерить при помощи рычажного устройства (рис. 4.23). Для этого к исследуемому участку конструкции (балки) одним концом наглухо прикрепляют рейку 1. При деформации конструкции эта рейка будет поворачиваться на тот же угол, что и сечение балки, в котором она прикреплена. Для определения угла поворота измеряют прогибомерами 2 или индикаторами перемещение двух точек рейки A и B в направлении ее поворота. По измеренным перемещениям Δ_1 и Δ_2 определяется тангенс угла поворота и угол α [1, 2]:

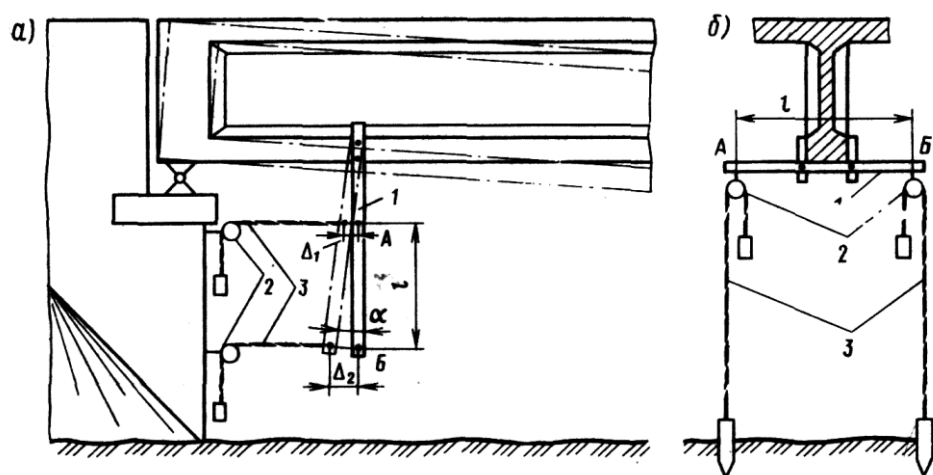


Рис. 4.23. Схема рычажного устройства для измерения углов поворота сечений пролетного строения: а) – в продольном направлении; б) в – поперечном; 1 – рейка; 2 – прогибомеры; 4 – проволоочная связь

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{l},$$

где l – расстояние между точками измерения перемещений.

Рычажным устройством можно определить взаимные повороты каких-либо двух сечений элемента конструкции. Для этого в каждом сечении укрепляют рейки и измеряют взаимные перемещения их точек.

4. *Оптический клинометр.* К наблюдаемой точке прикрепляется небольшое зеркальце (отсюда и другое название – «зеркальный способ»). Зеркало 1 (рис. 4.24) ориентируется так, чтобы с помощью зрительной трубы 2 (обычно, геодезического инструмента) мог быть сделан отсчет по шкале 3 измерительной рейки, расположенной рядом с инструментом. При изменении наклона исследуемого элемента на угол α зеркальце проворачивается вместе с ним на тот же угол, что сопровождается поворотом «оптического рычага» CB на угол 2α . Зная расстояние L между рейкой и зеркальцем и изменение a отсчетов по рейке, находим значение α :

$$\alpha \approx a / 2l. \quad (4.38)$$

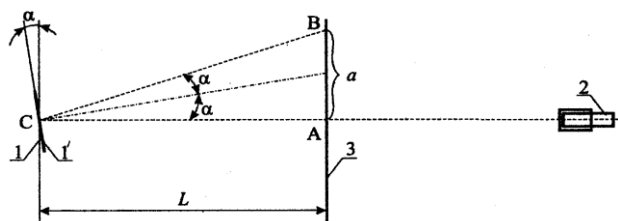


Рис. 4.24. Схема измерения углов наклона с помощью оптического клинометра: 1 – зеркало в положении до деформации и 1' – после деформации; 2 – зрительная труба;
3 – шкала зрительной рейки;
 $a = AB$ – разность отсчетов по рейке до и после деформации

Для облегчения ориентировки зеркало шарнирно крепится к установочной трубине так, чтобы оно могло проворачиваться вокруг двух взаимно перпендикулярных осей I и II. Применение зеркального способа особенно целесообразно при наблюдении за отдаленными точками сооружения, трудно доступными во время испытания. Другая область применения – наблюдения за изменением углов наклона весьма гибких элементов (например, на моделях), где исключена установка сравнительно тяжелых клинометров или крепление консолей с прогибомерами.

3. Электрические тензометры. В настоящее время для измерения деформаций при испытаниях сооружений, строительных конструкций и деталей наиболее широко используются электрические проволочные (петлевые), фольговые или полупроводниковые тензометры, в основу которых положены тензорезисторы различной конструкции. Тензорезисторы предназначены для дистанционных измерений деформаций. Принцип действия тензорезисторов основан на изменении омического сопротивления R проводников при деформации. Основной характеристикой тензорезистора является его коэффициент тензочувствительности [1, 2]:

$$K = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l}, \quad (4.39)$$

т.е. отношение относительного изменения электросопротивления $\Delta R/R$ тензорезистора к вызывающей это изменение деформации $\varepsilon = \Delta l/l$ исследуемого материала, где l – длина базы тензорезистора.

Для изготовления тензорезисторов используются обычно сплавы меди и никеля (константан, элинвар и др.), характеризующиеся высоким коэффициентом тензочувствительности K , постоянством значений K в требуемом диапазоне деформаций, большим удельным омическим сопротивлением $\rho = R/Al$ (где A – поперечное сечения проводника, которое может быть взято достаточно малым) и практически постоянством значений ρ при колебаниях температуры, возможных в условиях пользования тензорезисторами при испытаниях строительных конструкций. Следует отметить, что с помощью тензорезисторов измеряется относительное удлинение ε , а не изменение Δl длины базы (как у механических тензометров). Однако длина базы имеет существенное значение и для тензорезисторов, поскольку при исследованиях материалов с неоднородной структурой для получения усредненных значений деформаций в рассматриваемой зоне длина базы должна в несколько раз превосходить размеры наиболее крупных составляющих материала. Однако при исследовании деформаций в зонах концентрации напряжений длину базы следует брать по возможности наименьшей.

Петлевые проволочные тензорезисторы (рис. 4.25,а) из тонкой проволоки (диаметром 12...30 мк), приклеенной к бумажной или пленочной подложке, были еще сравнительно недавно основным типом приборов, применявшихся при испытании сооружений. Эти тензорезисторы (с базой 5, 10, 20, 50 и 100 мм) удобны в работе и несложны в изготовлении. Однако им свойственна в большинстве случаев поперечная чувствительность, обусловленная наличием закруглений, соединяющих прямые участки тензорешетки и воспринимающих деформации, направленные

перпендикулярно к продольной оси тензорезистора. Наличие поперечной чувствительности тензорезистора снижает его осевую тензочувствительность. От этого недостатка свободны беспетлевые тензорезисторы (рис. 4.25,б) с низкоомическими медными перемычками.

Из-за отсутствия поперечной тензочувствительности и лучших условий передача деформаций (ввиду продолжения прямолинейных участков тензорешетки и за перемычки) база их может быть уменьшена до 2...3 мм. В настоящее время все большее распространение получают фольговые тензорезисторы (рис. 4.25,в) из металлической фольги толщиной не более 4...6 мк. Этими тензорезисторами при изготовлении фотолитографским способом могут быть приданы любые очертания, требуемые условиями эксперимента. Вследствие низкой поперечной чувствительности и плоского сечения элементов тензорешетки, они имеют при той же площади сечения более развитую поверхность приклейки, что улучшает условия их работы.

Полупроводниковые тензорезисторы (рис. 4.25,г) по сравнению с рассмотренными выше типами обладают значительно большей тензочувствительностью, меняющейся, однако, при деформации и при изменениях температуры. Несмотря на это, они эффективно применяются в упругих элементах различных измерительных приборов (например, динамометров), где большое значение имеет их высокая чувствительность, а отмеченные недостатки могут быть компенсированы. Тензорезисторы, применяемые при испытаниях сооружений, должны давать возможность измерения деформаций в диапазоне до 10^{-5} : при исследовании упругой стадии работы материала – до $5...7 \times 10^{-3}$ и упругопластической до 10^{-1} и более. Необходимым условием является также стабильность показаний тензорезисторов, их влагостойкость т.п.

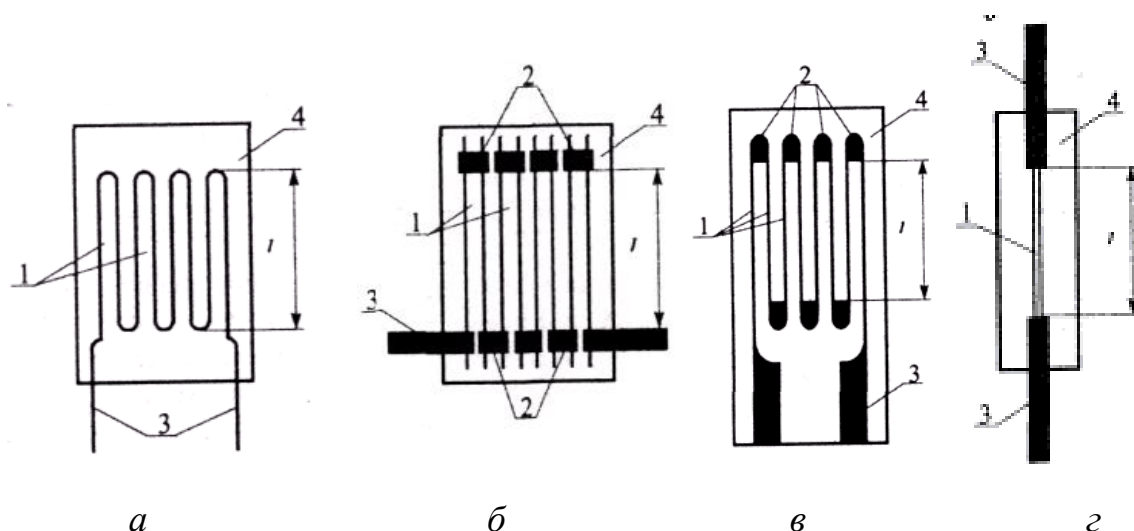


Рис. 4.25. Типы тензорезисторов: а – проволочный петлевой; б – проволочный беспетлевой; в – фольговый; г – полупроводниковый; 1 – тензочувствительные элементы; 2 – низкоомные перемычки; 3 – выводные контакты; 4 – подложка («основа») и наклеенный над тензорешеткой защитный слой тонкой бумаги; l – база тензорезистора

Влияние температурных погрешностей, обусловленных температурным коэффициентом изменения сопротивления тензонитей β и разностью температурного коэффициента расширения материала тензорезистора α_t и исследуемого материала α_m , исключают установкой компенсационных тензорезисторов. В случаях, когда установка компенсационных тензорезисторов невозможна или они не могут быть помещены в те же температурные условия, используют так называемые самокомпенсированные тензорезисторы, материал которых должен удовлетворять условию $\beta = (\alpha_m - \alpha_t)K$, где K – коэффициент тензочувствительности тензорезистора.

Повышенные требования предъявляются к глубинным тензорезисторам разной конструкции, закладываемым в толщу схватывающегося материала (например, бетона), когда должна быть обеспечена их безотказная работа в течение длительного времени. Изменения сопротивления тензорезисторов в процессе испытаний весьма

малы (тысячные доли ома). Для измерения столь малых колебаний сопротивления применяют в большинстве случаев *мостовые измерительные схемы* (рис. 4.26).

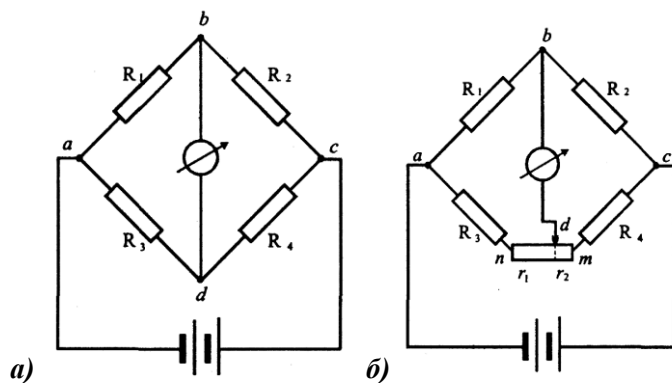


Рис. 4.26. Измерительные мосты: *а* – схема моста Уитстона; *б* – мост с реохордом; R_1, R_2, R_3, R_4 – сопротивления, включенные в плечи моста; r_1 и r_2 – сопротивление реохорда

Во *внешние* плечи моста включены «рабочий» тензорезистор с сопротивлением R_1 , воспринимающий наблюдаемые деформации, и «компенсационный» тензорезистор с сопротивлением $R_2 = R_1$, помещаемый в одинаковых с ним температурных условиях в непосредственной близости от рабочего, но не подверженный воздействию измеряемых деформаций. Во *внутренние* плечи включены тензорезисторы с сопротивлениями R_3 и R_4 , помещаемые в регистрирующем приборе и связанные с рабочим и компенсационным тензорезисторами электропроводами. Как известно, мост будет сбалансирован (т.е. ток в его измерительной диагонали bd будет равен нулю) при условии:

$$R_1 R_4 = R_2 R_3. \quad (4.40)$$

Возможны два метода измерений:

1) метод *отклонений* (называемый также «методом непосредственных отсчетов»), когда изменение сопротивления ΔR_1 рабочего тензорезистора определяется по силе тока, возникающего в измерительной диагонали ранее сбалансированного моста,

2) *нулевой* метод (более совершенный), при котором относительные изменения сопротивления $\Delta R_1/R_1$ определяют балансировкой моста с помощью включенного в цепь (рис. 29,б) реохорда mn изменением отноше-

ния сопротивлений r_1/r_2 . Этот метод является основным при статических испытаниях.

В настоящее время разработано большое количество различных систем коммутаторов, которые позволяют последовательно присоединять к отсчетному устройству большое количество (до нескольких сот) тензорезисторов. При использовании автоматически действующей аппаратуры на регистрацию показаний каждого тензорезистора требуется всего несколько секунд. Поэтому возможен непосредственный ввод данных в ЭВМ для их обработки. Все это, а также дешевизна, крайне малый вес, малые габариты тензорезисторов и возможность крепления (приклейки) в любых точках исследуемой конструкции, обуславливают широкое их применение на практике.

4. Сдвигомеры. Приборы, измеряющие деформации сдвига, называются сдвигомерами. Широкое распространение из этой группы приборов получил тензомер – сдвигомер Аистова (ТСА). Он может быть использован как тензомер или сдвигомер. При этом кинематическая схема указанного сдвигомера практически полностью аналогична представленному выше электромеханическому тензомеру на рис. 26, с той лишь разницей, что у тензомера–сдвигомера Аистова имеется еще дополнительно оснастка (рис. 4.27) для установки прибора на строительную конструкцию, состоящую из нескольких элементов, между которыми в процессе испытания возможны сдвиговые деформации.

5. Геодезические методы измерения перемещений. Классические геодезические методы. Под геодезическими методами понимают обычно совокупность приемов для измерения перемещений в исследуемых конструкциях с помощью геодезических приборов – теодолитов и нивелиров. *Измерение вертикальных перемещений* отдельных элементов сооружений производится на основе нивелирования – либо технического, либо высокоточного. Нивелирование во время испытания может

производиться по маркам и реперам, установленным для длительных наблюдений за деформационным поведением обследуемых сооружений. При использовании нивелиров с приспособлением для оптического смещения линии визирования возможна оценка определенных перемещений сооружения с точностью до 0,01 мм.

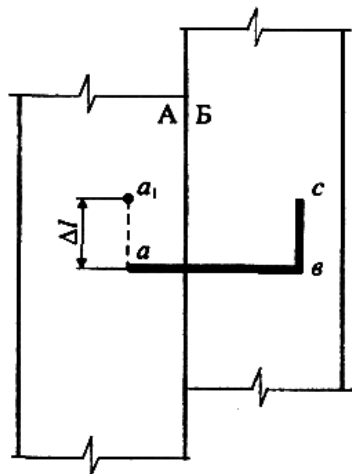


Рис. 4.27. Дополнительная оснастка и схема установки тензометра – сдвигометра на строительную конструкцию

Измерение горизонтальных перемещений сооружений или отдельных элементов несущих и ограждающих конструкций производят на практике с использованием теодолитов. На практике теодолит центрируют под неподвижной точкой, выбранной на расстоянии 25...40м от сооружения в зависимости от его высоты. При этом на необходимых точках сооружения прикрепляют временные марки; при определении горизонтальных перемещений наиболее часто используются 2 способа.

1. *Способ измерения углов* при повторных наведениях теодолита на наблюдаемые марки. При этом, зная расстояние от теодолита до наблюдаемой марки и абсолютную величину приращения измеряемых горизонтальных углов, находят расчетным путем линейные горизонтальные перемещения наблюдаемых точек.

2. *Способ так называемого "бокового" нивелирования*, в котором при каждом отсчете рабочую трубу теодолита сначала наводят на наблюдаемую марку, а затем поворотом в вертикальной плоскости на 180° – на горизонтальную рейку с миллиметровой шкалой, закрепленной так, чтобы

она заведомо всегда оставалась неподвижной во время испытаний. Разность последовательных отчетов, взятых по рейке, и дает искомое перемещение наблюдаемых точек в горизонтальном направлении. Однако на практике имеют место случаи отсутствия прямой видимости для наблюдаемых точек, что не позволяет широко использовать геодезические методы для глобальной оценки деформационного поведения обследуемого сооружения.

Гидростатическое нивелирование. Гидростатическое нивелирование нашло широкое применение в геодезии и машиностроении при построении различных профилей местности и установке в проектное положение оборудования различных технологических линий. Этот способ основан на определении взаимного превышения проверяемых точек на уровне стояния жидкости в сообщающихся сосудах. Схема установки показана на рис. 4.28.

Чувствительность метода может быть значительно повышена установкой в трубках с внутренним диаметром 5 см специальных микрометрических головок, оканчивающихся специальным коническим острием. При этом уровень жидкости в рассматриваемом случае определяется путем световой, либо звуковой сигнализации в момент касания острия головки поверхности жидкости. Рабочие отчеты берутся по шкале головки с точностью 0,01мм [1, 2].

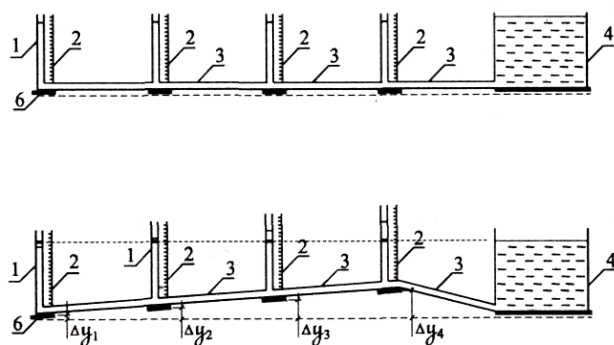


Рис. 4.28. Схема измерения вертикальных перемещений сооружений с помощью системы гидростатического нивелирования:

- 1 – стеклянная трубка;
- 4 – уравнивательный бак; 2 – рабочая шкала; $\Delta y_1, \Delta y_2, \dots, \Delta y_n$ – измеряемые перемещения; 3 – гибкие шланги;
- 6 – базовая (нулевая) линия измерения

Отвесы. Отвесы применяют для определения взаимных горизон-

тальных смещений точек сооружения, расположенных на одной вертикали. На практике различают два типа отвесов: прямой и обратный. Конструктивная схема прямого отвеса показана на рис. 4.29, а обратного отвеса – на рис. 4.30.

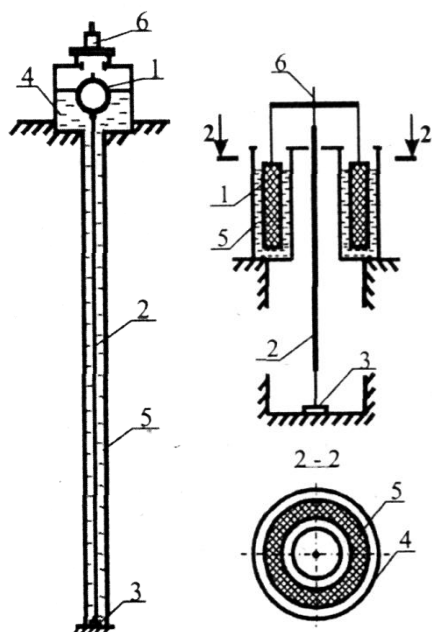


Рис. 4.29. Конструктивная схема прямого отвеса: 1 – исследуемое сооружение; 2 – марка с горизонтальной шкалой; 3 – отвес в сосуде с маслом; 4 – кронштейн для отвеса; 5 – линейная шкала; 6 – микроскоп; 7 – струна

Прямой отвес используют наиболее часто для определения горизонтальных смещений наземных частей сооружений, возникающих при неравномерных деформациях грунтовых оснований, а также от крановых горизонтальных нагрузок либо от копровых установок.

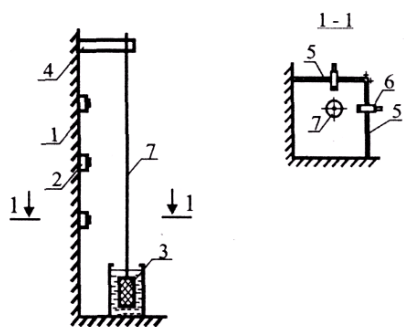


Рис. 4.30. Конструктивная схема обратного отвеса: а – схема, требующая полной герметизации и большого объема масла; б – совершенствованная схема; 1 – поплавок; 2 – струна; 3 – марка; 4 – корпус; 5 – рабочая жидкость; 6 – отсчетное устройство

Обратный отвес используют для выноса на внешнюю поверхность через вертикальную шахту положения рабочей марки заложенной, например, в основании бетонной плотины.

Метод натянутой нити. Для точек, расположенных по прямой (в горизонтальном "створе"), перемещения, перпендикулярные перемещению

створа, могут измеряться с помощью натянутой проволоки. Это целесообразно при отсутствии прямой видимости или при большой длине створа, т.е. в случаях, требующих переноса оптических геодезических инструментов на промежуточные марки, что на практике снижает точность получаемых результатов. На рис. 4.31 показана конструктивная схема метода натянутой нити. Горизонтальные перемещения, перпендикулярные направлению створа, возникающие в сооружении, определяются с точностью до 0,1мм соответственно по изменению положения поплавков относительно корпуса их ванночек.

Отчеты на практике берутся по линейкам с нониусами. Рассматриваемый метод разработан для наблюдений перемещений в гидротехнических сооружениях. В ходе обследования плотин при длине створов до 600 м разброс показаний при повторных отсчетах не превышает $\pm 0,2\text{мм}$.

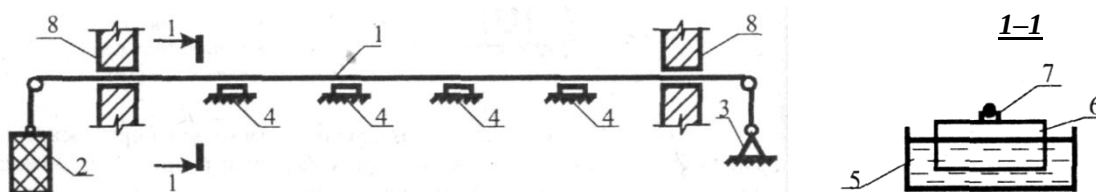


Рис. 4.31. Конструктивная схема метода натянутой нити для определения горизонтальных смещений обследуемых строительных объектов: а – общая схема; б – схема плавающих опор; 1 – стальная проволока; 2 – натягивающий груз; 3 – неподвижная опора; 4 – плавающая опора; 5 – ванночки; 6 – поплавок; 7 – вилка фиксатора проволоки; 8 – ограждающие конструкции объекта

4.1.7. Тарирование измерительной аппаратуры и приборов

Для определения основных характеристик измерительных устройств проводят их тарировочные испытания. При проведении таких испытаний используют градуировочные установки, обеспечивающие воспроизведение

заданных действительных значений измеряемой величины. Для каждой из определяемых характеристик разрабатывают схему градуировки, которая включает оценку коэффициентов влияния различных факторов: температуры, влажности, магнитных полей и др. На основе полученных данных определяется схема анализа погрешностей [1, 2].

Градуировка силоизмерительных устройств обычно осуществляется с использованием испытательной машины или гидравлического пресса; для контроля усилия последовательно с проверяемым преобразователем устанавливают образцовый динамометр. Класс точности (относительная погрешность градуировки, отнесенная к максимальному значению на шкале и выраженная в процентах) образцовой меры должен не менее чем в 3 раза превышать класс аттестуемого силоизмерителя. Статическую градуировку *датчиков давления* производят с помощью грузопоршневых устройств или гидравлических установок с образцовыми манометрами. Универсальные *измерители перемещений* и *тензометры* градуируют на механических или оптико-механических компараторах с ценой деления шкалы 1...5 мкм.

В процессе выполнения градуировки преобразователи нагружают и разгружают ступенями, составляющими 0,1 от верхнего предела диапазона; полный цикл повторяют не менее шести раз. По полученным результатам вычисляют средние значения сигналов преобразователя на каждой ступени и по этим данным строят статическую градуировочную характеристику, а также определяют чувствительность, относительную нелинейность, механический гистерезис.

Датчики нормальных напряжений, предназначенные для установки внутри дисперсных сред, сначала градуируют в гидростатической камере по той же методике, что и обычные датчики давления. По результатам гидростатических испытаний определяют чувствительность, нелинейность характеристики и механический гистерезис; устанавливают основную погрешность и класс точности. Однако, в отличие от обычных датчиков

давления, необходимо дополнительно определить влияние на статическую характеристику условий взаимодействия преобразователя со средой. Так, для проведения испытаний фунтов применяют различные вспомогательные устройства (одометры), воспроизводящие на границах пробы грунта или сыпучей среды со стандартными механическими свойствами заданные значения компонентов напряженного состояния.

При градуировке *виброметров* перемещения и ускорения для возбуждения заданных гармонических колебаний применяют градуировочные и испытательные вибростенды. Наибольшее распространение получили эксцентриковые и электродинамические вибростенды. В *эксцентриковых* стендах возвратно-поступательное движение рабочей платформы создается кривошипно-шатунным механизмом, приводимым в движение электродвигателем, с диапазоном частот от 0,2...5 до 80...100 Гц. В *электродинамических* стендах используется мощный магнито-электрический преобразователь, питаемый от специального блока управления и допускающий плавную регулировку частоты и амплитуды колебаний виброплатформы. Для воспроизведения гармонических колебаний с частотой менее 1 Гц и амплитудой до 500 мм применяются астатические маятники с плоскими вертикальными пружинами, физические маятники большой длины и другие приспособления.

При *определении амплитудно-частотной характеристики* виброметр или акселерометр закрепляют на виброплатформе стенда соосно с направлением генерируемых колебаний. К вибропреобразователю присоединяют соответствующие элементы измерительного канала (усилитель, регистрирующий прибор), после чего небольшими ступенями изменяют частоту колебаний виброплатформы. Обычно вибростенды оснащены преобразователем индукционного типа и электроннолучевым осциллографом. В качестве *поверочного средства* может быть использован образцовый вибропреобразователь, установленный рядом с калибруемым.

При другом способе контроля измеряются частота и размах колебаний. Для определения частоты на лету с виброграммой, полученной с помощью калибруемой аппаратуры, параллельно записывается сигнал заданной частоты. Наиболее точным методом измерения амплитуды (или размаха) колебаний виброплатформы является оптический.

Используют *измерительные микроскопы* с окулярным микрометром. Микроскоп фокусируют на торцевую поверхность виброплатформы и измеряют длину размытого изображения (двойную амплитуду) какой-либо характерной точки (например, отпечатка, оставленного алмазной пирамидкой). При высоких частотах 5...10 кГц и очень малых амплитудах 1...2 мкм применяют интерферометрический метод измерения перемещений.

В отличие от тензометров, тензорезисторы не могут быть установлены повторно и, следовательно, не могут быть индивидуально проградуированы. Поэтому характеристики определяются для некоторой выборки тензорезисторов, составляющей 5...7% оцениваемой партии. Полученные результаты обрабатываются статистическими методами. Установленные для испытанной выборки средние значения характеристик тензорезисторов и средние квадратические отклонения от этих значений, а также аппроксимированные функции влияния температуры, влажности и других факторов присваивают всей партии тензорезисторов.

В качестве эталонного упругого элемента, обеспечивающего деформирование тензорезисторов, рекомендуется использовать балку равного сопротивления (рис. 4.32) или постоянного сечения, нагруженную в пределах рабочего участка моментом (рис. 4.33). Деформацию рабочей зоны балки принимают за действительную величину. Тензорезисторы устанавливают вдоль оси балки на растянутую или сжатую поверхность; при нагружении балки измеряют стрелу выгиба балки и вычисляют относительную фибровую деформацию поверхностных волокон балки

соответственно для консольной балки равного сопротивления по формуле:

$$\varepsilon = f \frac{3 S}{2 l^2}, \quad (4.41)$$

где f – максимальный прогиб балки консольного типа в месте приложения нагрузки; S – толщина балки, м;

l – длина балки, см; для балки постоянного сечения (рис. 36) – с использованием формулы:

$$\varepsilon = f \frac{4S}{l_0^2}, \quad (4.42)$$

где f – выгиб балки в пределах пролета балки, равного l_0 , S – толщина балки, см.

На градуировочном устройстве определяют статическую характеристику преобразования, механический гистерезис, ползучесть, функцию влияния температуры на чувствительность тензорезисторов. Усталостная характеристика тензорезистора может быть определена с использованием установки, схема которой показана на рис. 4.34.

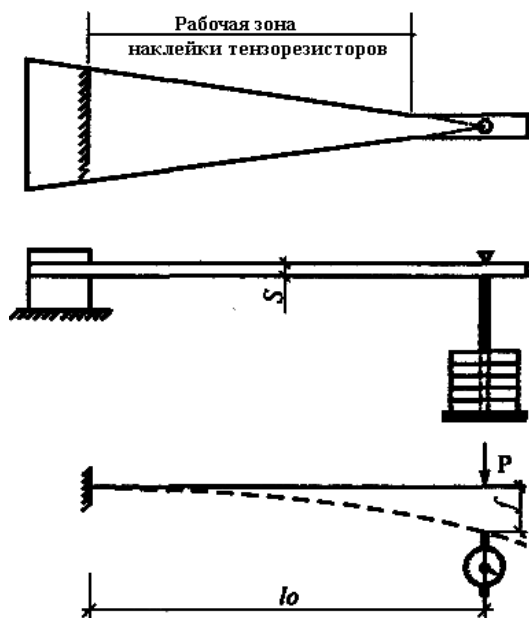


Рис. 4.32. Схема тарировочного устройства с балкой равного сопротивления

Перемещение свободного конца консольной градуировочной балки с тензорезисторами осуществляется качающейся кулисой, которая приводится в движение кривошипным механизмом. Амплитуду колебаний балки и, следовательно, деформацию ее поверхности регулируют изменением плеча кривошипного механизма. При смещении по вертикали опоры можно варьировать и коэффициент асимметрии цикла. Число циклов деформирования регистрируется

счетчиком. При определении усталостной характеристики циклическое деформирование производят при нескольких уровнях амплитуды и фиксируют число циклов, при котором происходит отказ тензорезисторов.

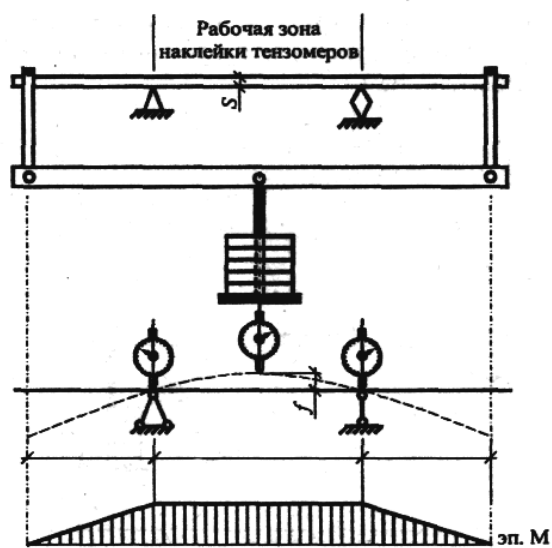


Рис. 4.33. Схема тарировочного устройства с балкой равного сечения

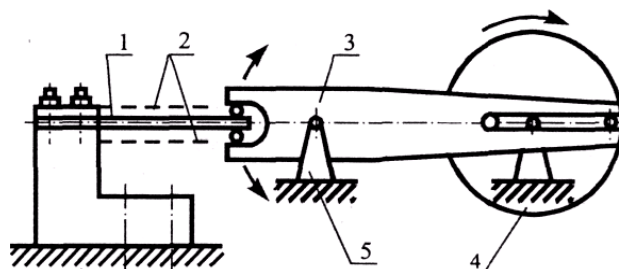


Рис. 4.34. Устройства для градуировки тензорезисторов при циклической нагрузке: 1 – градуировочная балка; 2 – тензорезисторы; 3 – кулиса; 4 – кривошипный механизм; 5 – опора

Поскольку в процессе циклического деформирования накапливаются усталостные повреждения в материале чувствительного элемента, а также происходит расстройство адгезионных связей в связующем слое, то постепенно начинает проявляться эффект ухода нуля, т. е. изменение сопротивления тензорезисторов при нулевой или постоянной средней деформации. Признаком отказа тензорезистора в этом случае является не обрыв чувствительного элемента, а достижение заданного уровня относительного смещения нуля, например, 0,005...0,01%.

Информационно-измерительные системы. В настоящее время в измерительной технике получили распространение многофункциональные многоканальные автоматизированные устройства, названные информационно-измерительными системами (ИИС), предназначенные для автоматического сбора, обработки и выдачи по заданной программе

информации, поступающей от многих источников. При проектировании ИИС пользуются принципом агрегатно-модульного построения системы, состоящей из ограниченного набора унифицированных блоков и модулей, выпускаемых промышленностью и входящих в государственную систему приборов (ГСП). Такое построение обеспечивает метрологическую, информационную, конструктивную и эксплуатационную совместимость отдельных модулей и блоков для получения информации и ее преобразования, хранения и выдачи в требуемом виде на печать. На рис. 4.35 приведена структурная схема универсальной информационно-измерительной системы. Входящие в эту систему электрические средства измерений обеспечивают весь комплекс преобразования информации, начиная от восприятия измеряемой величины и кончая ее автоматической обработкой и регистрацией. Первичные преобразователи представляют собой линейную механическую систему, способную воспринимать значения измеряемой величины (перемещения, ускорения, усилия и др.) и преобразовывать их в относительные перемещения или деформации собственных упругих элементов.

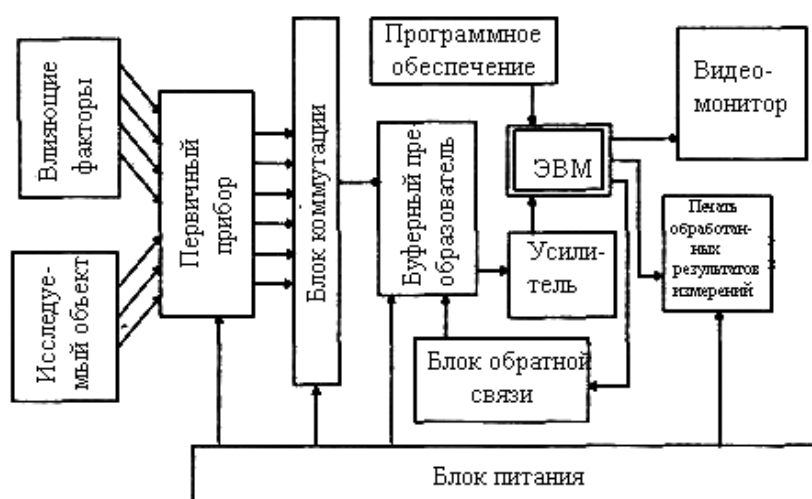


Рис. 4.35. Структурная схема универсальной информационно-измерительной системы

Измерение различных параметров и откликов при испытании

строительных конструкций производится на практике с помощью электрических преобразователей или датчиков с электрическими преобразователями, отличающимися исключительной универсальностью.

С помощью электрических датчиков измеряют деформации, перемещения, усилия, ускорения. Они могут применяться как в лабораторных условиях, так и в условиях натурного эксперимента, как при статическом, так и при динамическом воздействии. При этом выходной сигнал электрических преобразователей удобен для последующего преобразования (усиления, интегрирования) и дистанционной передачи и регистрации.

4.2. Статические испытания строительных конструкций и мостов

4.2.1. Общие положения инженерных испытаний мостов

Обследования и испытания мостов должны выполняться специализированными организациями в области мостостроения, оснащенными необходимой приборной базой и имеющими в своем составе квалифицированных и опытных специалистов. Обследования технического состояния больших мостов проводятся не реже 1 раза в 5 лет, остальных мостов и труб – не реже 1 раза в 10 лет. Обследования и испытания мостов и труб предназначены для выявления дефектов, оценки технического состояния сооружений и назначения режима их эксплуатации. Обследования могут проводиться как самостоятельный вид работ (без проведения испытаний). Испытания и обкатку сооружений допускается выполнять только после выполнения обследования и с учетом полученных результатов. Для решения отдельных вопросов, возникающих при проведении обследований и испытаний, по предложению организации, выполняющей обследование, заказчик должен привлекать к совместной работе организации, осуществляющие специальные виды работ

(водолазные станции, лаборатории и т. д.). Привлеченные организации должны работать под общим методическим руководством организаций, выполняющих обследования, а полученные в результате проведенных работ данные должны учитываться при принятии решений о техническом состоянии сооружений. Испытаниям при приемке в эксплуатацию, как правило, должны подвергаться мосты с опытными и впервые применяемыми конструкциями.

Испытания других вводимых в эксплуатацию мостов (имеющих большие пролеты, а также большую повторяемость основных несущих элементов) могут проводиться по решениям приемочных комиссий, по требованиям проектных и эксплуатационных организаций, а также в связи с выполнением соответствующими организациями научно-исследовательских и опытных работ. Необходимость проведения испытаний в таких случаях должна быть обоснована. Вводимые в эксплуатацию и не подвергаемые испытаниям железнодорожные мосты и мосты под пути метрополитена, а также автодорожные мосты под нагрузки АБ (автомобили особо большой грузоподъемности) должны быть обкатаны. Испытания эксплуатируемых сооружений должны проводиться в случаях, когда решение вопросов, связанных с эксплуатацией сооружений, не может быть получено только расчетным путем по данным обследований. Необходимость проведения испытаний эксплуатируемых мостов обосновывается организациями, осуществляющими обследование сооружения. Решение о проведении испытаний принимает организация, на балансе которой находится сооружение. Подготовительные работы, связанные с проведением обследований и испытаний (устройство временных подмостей и смотровых приспособлений с выделением необходимых материалов и рабочей силы, предоставление испытательной нагрузки, регулирование движения по мосту и под мостом в период испытаний, заделка мест отбора проб, отрывка шурфов и др.), должны

выполняться:

- на вводимых в эксплуатацию сооружениях – строительной организацией, возводившей объект;
- на эксплуатируемых сооружениях – организацией, на балансе которой находится объект.

При обследовании эксплуатируемых мостов работы должны выполняться при наличии технических средств организации дорожного движения в соответствии с ТКП [3].

Средства испытаний, измерений и контроля, применяемые при обследованиях и испытаниях мостов, должны быть подвергнуты своевременной поверке в установленном порядке и соответствовать ТНПА по метрологическому обеспечению. Использование при обследованиях и испытаниях нестандартных приборов допускается, если по их применению имеются методические указания, утвержденные в установленном порядке. При выполнении работ по обследованиям и испытаниям мостов следует руководствоваться требованиями охраны труда по ТКП 45-1.03-40 и ТКП 45-3.03-60-2009.

Обследования и испытания мостов и труб, как правило, следует проводить при благоприятных погодных условиях, когда имеются условия для осмотра всех частей сооружения, не нарушается работа устанавливаемых измерительных приборов, нет препятствий для безопасного передвижения испытательной нагрузки, при соблюдении правил и требований охраны труда. Запрещается проведение испытаний при температуре наружного воздуха ниже минус 20°С и обследований – при температуре воздуха ниже минус 30 °С. При обследованиях и испытаниях не допускается выполнять работы на высоте при скорости ветра более 15 м/с, при гололедице, грозе или тумане, исключающем видимость в пределах фронта работ. При обнаружении во время производства работ повреждений и дефектов, которые могут привести к

резкому снижению грузоподъемности моста или обрушению конструкций, следует немедленно сообщить об этом эксплуатирующей организации и заказчику работ.

4.2.2. Общие требования к испытаниям и обкаткам мостов

Испытания сооружений следует проводить по программе испытаний, разработанной организацией, выполняющей обследования и испытания, и утвержденной руководителем организации, выполняющей испытания. Программа согласовывается с заказчиком, а при испытаниях, законченных строительством (капитальным ремонтом, реконструкцией) сооружений, и проектной организацией. В программе испытаний должны быть:

- указаны цели и задачи испытаний;
- определены виды испытаний (статической нагрузкой, динамической нагрузкой);
- определены характерные сечения, подлежащие инструментальному и визуальному контролю в процессе загрузки испытательными нагрузками;
- выполнен подбор испытательной нагрузки и разработаны схемы загрузки сооружения;
- разработаны смотровые приспособления на время испытаний; — разработана схема размещения приборов, регистрирующих деформации и перемещения в характерных сечениях;
- определен порядок проведения испытаний и порядок обработки полученных результатов;
- даны общие указания по организации работ во время испытаний;
- приведены обязательства заказчика (предоставление взвешенной испытательной нагрузки, регулирование движения силами представителей

ГАИ, дежурство спасательной лодки или катера, обеспечение безопасного доступа к контролируемым сечениям и т. д.);

- указаны требования по охране труда с привязкой к конкретным условиям производства работ по испытанию сооружения. До начала испытаний или обкатки должно быть закончено обследование сооружения в объеме, позволяющем:

- установить возможность загрузки сооружения испытательной нагрузкой (отсутствие недоделок, снижающих несущую способность конструкций и грузоподъемность сооружения в целом; препятствий на проезде, въезде и выезде испытательной нагрузки и др.);

- зафиксировать состояние сооружения для возможности выявления изменений, произошедших в результате проведенных загрузений;

- разметить на мостовом полотне места установки и проезда испытательной нагрузки согласно программе испытаний;

- установить общий вес испытательной нагрузки и давление на каждую ось, произвести обмер испытательной нагрузки (базы, ширины колеи, следа колеса и т. д.);

- закрепить измерительные приборы в контрольных сечениях согласно программе и составить исполнительные схемы их расстановки с указанием базы измерения, типа, цены деления приборов.

Руководитель испытаний назначается приказом по организации, выполняющей испытания. Перед испытанием руководителем испытаний должны быть разработаны и переданы заказчику мероприятия по устранению помех испытаниям, а также по обеспечению безопасности движения транспортных средств и пешеходов на участках дороги, примыкающей к мосту. Если во время работ, связанных с проведением испытаний, движение на мосту полностью не прекращается, то должны быть предусмотрены меры по обеспечению безопасности транспортных средств в стесненных условиях и по перекрытию движения на период

снятия показаний приборов. Если на мосту имеется несколько одинаковых конструкций (пролетных строений, опор), испытания в полном объеме допускается проводить на одной из конструкций. Остальные конструкции могут подвергаться (выборочно) менее подробным испытаниям.

Параметры применяемых приборов (точность, пределы измерений, частотные характеристики и др.), способы их установки и используемые для этого приспособления должны позволять получать стабильные показания измеряемых величин с возможно меньшими погрешностями и искажениями. При испытаниях следует защищать приборы от механических, климатических и других воздействий. Если при испытаниях нельзя устранить влияние изменения температуры воздуха на показания приборов, то это влияние, по возможности, следует учитывать расчетным путем при обработке показаний приборов.

В случаях, когда показания установленных измерительных приборов существенно превышают предполагаемые значения, а также при обнаружении неожиданных изменений в состоянии конструкций (например, при возникновении трещин и выпучивания в стальных элементах или соединениях, при появлении признаков дробления и выкалывания бетона в железобетонных элементах, при увеличении прогибов без увеличения испытательной нагрузки и т. п.), по решению руководителя работ испытания должны быть прекращены, а испытательная нагрузка удалена за пределы испытываемого сооружения. Дальнейшие испытания могут проводиться только после тщательного обследования состояния конструкций, выяснения причин возникших явлений и оценки их опасности.

Испытания сооружений проводят в случаях, когда решение вопросов, связанных с их эксплуатацией, не может быть получено только расчетным путем или по данным обследования.

Основная цель испытания – выявить характер действительной работы

моста в целом и отдельных его элементов при воздействии эксплуатационных нагрузок.

Испытание сооружений допускается проводить только после: выполнения обследований, результаты которых позволяют установить возможность загрузки сооружения, определить допустимое значение испытательной нагрузки и наметить условия ее движения по сооружению при проведении испытаний, а также зафиксировать состояние сооружения для выявления изменений в нем при испытаниях.

Испытания мостов производят обычно в следующих случаях: при приемке в эксплуатацию вновь построенных крупных, мостов, а также мостов с опытными и новыми конструкциями; при возникновении в процессе эксплуатации дефектов в конструкции мостов (в том числе после аварий); после капитального ремонта, реконструкции или усиления мостов с целью выявления эффективности мероприятий и проверки принятых расчетных предпосылок; для оценки эффективности мер, выполненных, на мосту для обеспечения пропуска отдельных тяжелых нагрузок; для уточнения расчетной схемы (в специальных случаях), а; также в связи с выполнением исследовательских и опытных работ с целью накопления данных для уточнения норм проектирования и расчета мостовых конструкций.

4.2.3. Методы и средства статических испытаний конструкций и мостов

Оборудование и приборы для испытания материалов и конструкций. *Прессы и испытательные машины.* Прессы – машины статического действия, которые создают равномерное, возрастающее с требуемой скоростью усилие, достигающее больших значений (до 100 МН). С помощью прессов определяют прочность материалов. Основная

характеристика прессы – создаваемое им максимальное усилие. По виду привода прессы бывают гидравлические, механические (винтовые, фрикционные) и гидромеханические. При испытании строительных материалов чаще всего применяют гидравлические и винтовые прессы с максимальным усилием от 25 до 5000 кН.

Приборы нового поколения для испытания строительных материалов и конструкций. Ниже приведены приборы и оборудования для испытания образцов на сжатие, растяжение и изгиб.



Измеритель параметров вибрации Вибротест - МГ4, Вибротест - МГ4.01 [4] - предназначены для контроля амплитуды и частоты синусоидальных колебаний виброустановок, применяемых для уплотнения бетонных смесей при производстве железобетонных изделий, а также для измерения

параметров вибрации других объектов. Модификация Вибротест-МГ4.01 предназначена для контроля и регистрации виброскорости, виброускорения, амплитуды и частоты синусоидальных колебаний виброустановок. Прибор обеспечивает выполнение измерений в оперативном режиме, с фиксацией результатов измерений в энергонезависимой памяти. Крепление вибропреобразователя на объекте контроля - магнитное (посредством магнитной платформы) или винтовое (винтом М5х7мм).

Модификация Вибротест-МГ4.01 дополнительно позволяет выполнять измерения без участия оператора в режимах ОЖИДАНИЯ (регистрация параметров вибрации, выходящих за пределы граничных значений, установленных пользователем) и НАБЛЮДЕНИЯ (регистрация параметров вибрации через интервалы времени, установленные пользователем). Имеет режим передачи данных на ПК.

Получаемая в процессе измерений информация автоматически архивируется и маркируется датой и временем измерения.

При проведении испытаний с применением испытательных прессов или разрывных машин появляется возможность оперирования такими понятиями, как предел прочности материала, ударная прочность, модуль упругости при растяжении и изгибе, удлинение при разрыве, коэффициент пластичности и т.д. Испытательные машины, в зависимости от их назначения испытывают контролируемые материалы на сжатие, сдвиг, растяжение, расслоение, прочность на разрыв и т. д. В любом случае все данное оборудование является высокоточными приборами и – во всяком случае, если мы говорим о современных их версиях и модификациях - как правило, отвечает требованиям международных стандартов (в частности, таких как, например ASTM D638, D790; ISO 178; 527; 37; 34). Поэтому неудивительно, что испытательные машины все чаще находят применение не только в производственных, промышленных и строительных объектах, но и скажем, в учебных заведениях, научно-исследовательских институтах, различных лабораториях.

Представленные ниже испытательные машины - это не только разрывные машины, работающие по электромеханическому или гидравлическому принципу. В отдельном разделе у нас представлены испытательные прессы, которые пользуются традиционно высоким спросом при возникновении необходимости проведения испытаний на сжатие бетонных и прочих строительных материалов.



Пресс ручной гидравлический (настольный) типа ПРГ-1 [5] предназначен для визуального контролируемого статического испытания образцов строительных материалов. Испытуемые образцы, в зависимости от модификации пресса, могут иметь площадь основания до 110x145мм и высоту до 290 мм.

Испытательные лабораторные прессы типа ПРГ-1 могут применяться в строительных, дорожных и других лабораториях в пределах своих технических характеристик, а так же в научно-исследовательских и учебных заведениях. Отличительной особенностью прессов типа ПРГ-1 является простота в работе, малые габариты и масса. Принцип действия пресса основан на преобразовании давления, создаваемого в нагружающем устройстве, в усилие, передаваемое на образец.

Давление (пропорциональное усилию) преобразуется в электрический сигнал. Электрический сигнал обрабатывается и его числовое значение выводится на измеритель силы цифровой (ИСЦ). Измеритель силы цифровой ИСЦ, предназначен для измерения усилий, создаваемых в гидравлических прессах и разрывных машинах с фиксацией максимального значения.

Технические характеристики:

Диапазон измеряемой нагрузки для марки: Пресс ПРГ-1-10 и Пресс ПРГ-1-10К (изгиб кирпича) - 1 ... 10 kN; Пресс ПРГ-1-50; Пресс ПРГ-1-50, Пресс ПРГ-1-50К и Пресс ПРГ-1-50П (изгиб призм 100x100x400) - 5 ... 50 kN; Пресс ПРГ-1-70 (для кубиков 100x100x100) - 7 ... 70 kN. Масса - не более 35 кг. Габаритные размеры, мм ШхГхВ - не более 500x400x600. Ширина рабочего пространства - 165 мм.



Прессы испытательные гидравлические малогабаритные ПГМ-50МГ4, ПГМ-100МГ4, ПГМ-500МГ4, ПГМ-1000МГ4, ПГМ-1500МГ4 и ПГМ-2000МГ4 [6].

Прессы ПГМ-1000МГ4 и ПГМ-1500МГ4 предназначены для испытания бетонных образцов и кирпича на изгиб и сжатие. Испытательные прессы ПГМ-МГ4 предназначены для испытания на сжатие и изгиб образцов строительных материалов при скоростях нагружения, нормируемых соответствующим стандартом. Отличительной особенностью прессов ПГМ-МГ4 являются малые габариты и масса, бесшумная работа электропривода и отсутствие пульсаций в гидросистеме за счет применения многоплунжерных насосов импортного производства, микропроцессорное управление процессом нагружения, обеспечивающее автоматическое поддержание скоростей нагружения, определяемых ГОСТами (в зависимости от метода испытаний), фиксацию разрушающей нагрузки, вычисление прочности с учетом масштабного коэффициента и занесение в архив блока управления.

Индикация результатов испытаний цифровая (графический дисплей с подсветкой). Ввод исходных данных с пульта управления (вид материала, размеры образца, скорость нагружения) осуществляется в диалоговом режиме.

Получаемые в процессе испытаний результаты автоматически архивируются, маркируются датой и временем измерения и передаются на ПК с возможностью последующего документирования.



Испытательный пресс JYS-2000A [7]

предназначен для проверки прочности при сжатии строительных материалов, таких как бетон, цемент, кирпич и т.п. Гидравлический пресс JYS-2000A использует гидравлическую схему приложения нагрузки, отображение результатов на цифровом дисплее, тем самым, предоставляя пользователю удобную схему нагружения, и достоверные и надежные данные об испытании.

Особенности цифрового отображения: цифровое отображение нагрузки и скорости испытания; плавное измерение нагрузки, с функциями предохранения и остановки в заданной точке; допустимая нагрузка, фиксация пикового значения, настройка параметров и функция калибровки; LCD дисплей, простой в использовании.

Технические характеристики:

Максимальная нагрузка, кН - 2000. Диапазон измерения нагрузки, % – 4...100 FS of FS. Макс. расстояние между компрессионными пластинами, мм – 330. Размер компрессионных пластин, мм – 220x220. Макс. ход поршня, мм – 0-20. Макс. скорость поршня, мм/мин - x30. Расстояние между колонн, мм – 300x200. Мощность мотора масляного насоса, кВт – 1,5. Размер силовой рамы, мм - 855x380x1435. Вес, кг – x1000.



Электромеханическая универсальная испытательная машина WDW-20E [8] с максимальной нагрузкой 20 кН в основном применяется для проведения испытаний неметаллических материалов для определения параметров прочности при статическом растяжении, сжатии и изгибе.

Он могут устанавливаться в лабораториях сопротивления материалов в учебных заведениях высшего и среднего профессионального образования, в научно-исследовательских институтах и академиях прикладной науки.

Особенности разрывной машины WDW-20E:

- высокоточный датчик силы (тензодатчик) установлен на подвижной траверсе;
- защита оператора испытательной машины и дорогостоящих узлов испытательной машины обеспечивается установкой ограничителей хода траверсы и настройками программного обеспечения;
- для защиты привода и датчика силы от перегрузки устанавливается программная блокировка работы испытательной машины для избежания аварийной ситуации и поломки оборудования;
- удобный пульт для ручного управления при точном позиционировании положения траверсы во время установки испытуемого образца;
- захваты - клиновидные для плоских и круглых образцов.

Настройка программного обеспечения, как отмечалось выше многопрофильная, и позволяет автоматически определять прочностные характеристики в соответствии с заданными пользователем стандартами, но основным является международный стандарт ISO 6892 (ГОСТ 1497-84) и определяемые по нему характеристики.

Построение диаграмм нагружения в координатах: нагрузка-время; перемещение – время; нагрузка – перемещение; нагрузка – деформация; деформация – время.



Испытательные машины РМС-МГ4

[9] предназначена для механических испытаний образцов конструкционных материалов на растяжение, изгиб и др. в пределах технических возможностей машины.

Машина обеспечивает: ввод данных и управление с клавиатуры в диалоговом режиме; испытание образца по заданному алгоритму; полную автоматизацию процесса испытания; математическую обработку результатов испытания; выдачу информации о результатах испытаний на дисплей; связь с внешними устройствами; вывод протокола испытания (графиков, таблиц) на принтер; подключение экстензометра. Их модификации – одноколонные настольные: РМС-0,1; РМС-0,5; РМС-1,0; РМС-2,0 РМС-5,0 с наибольшими предельными нагрузками соответственно от 0,1 до 5 кН.; двухколонные настольные: РМС-10; РМС-30; РМС-50; РМС-100 с наибольшими предельными нагрузками соответственно от 0,1 до 100 кН.



Разрывная машина производства компании

TIME Group Inc. серии WAW модели WAW-2000A

[10] обладает простотой и надежностью в эксплуатации, используется для определения механических характеристик различных плотных материалов при статическом растяжении, сжатии, изгибе и сдвиге.

Машины по своему назначению предназначены для лабораторных испытаний бетона, цемента, древесины, резины, и так далее. Отображение на дисплее персонального компьютера таких параметров испытания как нагрузка, деформация и диаграммы испытания.

Гидроцилиндр расположен сверху силовой рамы, пространство для испытания на растяжение в нижней части силовой рамы, а для испытания на сжатие и изгиб используется пространство между верхней частью траверсы и основанием гидроцилиндра. Верхняя траверса двигается и регулирует пространство для испытания.

Машина WAW-2000A применяется в металлургии, в строительстве, машиностроении, в производстве металлических и неметаллических материалов и изделий из них, в стройиндустрии, а также в других отраслях, в том числе при проведении научных исследований.

Особенности данной модели: максимальная нагрузка – 2000 кН (200 тс); размеры: круглых образцов – 15 – 70 мм; плоских образцов – 0-50 мм; шкафа управления – 600х430х960 мм; силовой рамы – 1510х1040х4700 мм.



Испытательная машина ИР-400-1М (Δ 1) [11] представляет собой новое поколение испытательного оборудования марки ТОЧМАШПРИБОР, которая оснащена автоматизированной цифровой системой измерения, что значительно повышает надежность, точность измерения и гибкость в управлении

машиной. А вывод органов управления и индикации на пылевлагозащищенный промышленный экран с диагональю 17 дюймов, намного упрощает управление машиной и обеспечивает красивый, чистый, современный интерфейс. При производстве данных машин используется оборудование, комплектующие и технологии ведущих мировых

производителей в области промышленной автоматизации.

Она предназначена для испытаний образцов материалов (изделий) твердостью до 42 HRC на растяжение при статических режимах одноосного нагружения и нормальной температуре согласно стандартизованным методам испытаний материалов (изделий) по зарубежным стандартам.

Машина оснащена компьютеризированной системой управления и измерения, обеспечивающей автоматическое управление процессом испытания, автоматическую обработку результатов испытания и печать результатов в форме протокола и диаграммы.

Область применения: лаборатории механических испытаний предприятий по производству металлов и изделий (прокат) из них, заводов ЖБИ, научно-исследовательских институтов, учебных заведений и т.п.

Машина обеспечивает: фиксацию наибольшего значения нагрузки, приложенной к образцу. Программное обеспечение машины обеспечивает просмотр протокола и диаграммы испытания или любой ее части на мониторе, распечатку на принтере в заданном масштабе.



Электронный динамометр ДМ-МГ4 [12]

предназначен для измерений статических и медленно изменяющихся сил растяжения и сжатия при калибровке и поверке прессов, разрывных машин, силоизмерительных приборов в качестве рабочих эталонов 2-го разряда по ГОСТ Р 8.663-

2009 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений силы».

Область применения динамометров – калибровочные лаборатории и метрологические службы предприятий, центры стандартизации и метрологии.



УВБ-МГ4, УВБ-МГ4.01 [13] предназначены для испытания бетонных образцов-цилиндров на водонепроницаемость по методу «мокрого пятна» и коэффициенту фильтрации в соответствии с ГОСТ 12730.5. Установка предназначена для работы в помещениях исследовательских, строительных и заводских лабораторий при температуре +10...+40°C. Установка обеспечивает выполнение испытаний образцов бетона на водонепроницаемость в автоматическом режиме. Управление работой установки осуществляется микроконтроллером в соответствии с установленными оператором исходными данными (высота образца и выдержка на ступени), при этом подъем и поддержание давления воды, выдержка на ступени, фиксация времени появления «мокрого пятна» на каждом из образцов и прекращение испытаний осуществляется автоматически.

Результаты испытаний заносятся в архив блока управления в реальном масштабе времени. В процессе испытаний информация о давлении, ступени, времени испытаний и состоянии образцов выводится на графический дисплей. Установка имеет энергонезависимую память на 99 результатов испытаний (серий) и режим передачи данных на ПК с возможностью последующей обработки данных и распечатки протокола испытаний.



**Измеритель морозостойкости бетона
дилатометрический ИМД-МГ4 [14]**

предназначен для определения морозостойкости тяжелых и легких бетонов на цементном вяжущем ускоренным дилатометрическим методом по ГОСТ 10060.3 при однократном замораживании образцов-кубов 100x100x100 мм по ГОСТ 10180 или кернов Ø100x100 мм и Ø70x70 по

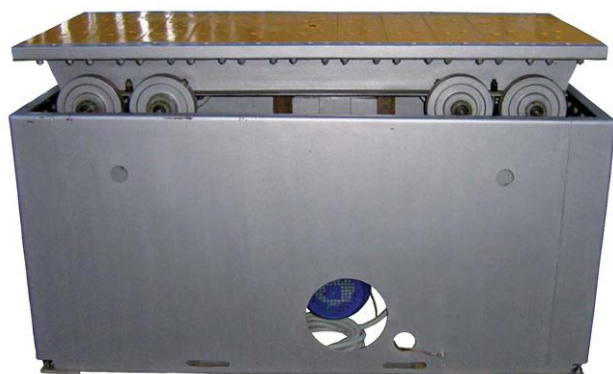
ГОСТ 28570. Дилатометрический метод основан на связи морозостойкости материала с величиной «аномальных» объемных деформаций, измеряемых объемным дилатометром ИМД-МГ4 при охлаждении водонасыщенных образцов.

Измеритель ИМД-МГ4 состоит из блока управления с цветным графическим дисплеем, 1...3 измерительных камер и измерительной камеры со стандартным образцом-эталоном. Блок управления регистрирует температуру и объемные деформации испытываемых образцов, непрерывно отображая на дисплее изменение контролируемых параметров по каждой из измерительных камер в виде цветных графических зависимостей (по каждой камере своим цветом), фиксирует появление аномальных пиков и оценивает морозостойкость бетона.

ИМД-МГ4 измеритель оснащен функцией передачи данных на ПК. Получаемая в процессе измерений информация автоматически архивируется и маркируется датой и временем измерения. Предусмотрена возможность последующей распечатки архивированной информации и ее графического отображения на ПК. Для детализации скачкообразных изменений разности объемных деформаций предусмотрена возможность масштабирования графических зависимостей.



Камера универсальная пропарочная КУП-1
[15]. Тепловая обработка бетона при определении прочности его на сжатие по ГОСТ 22783-77, пропаривания бетонных образцов при подборе режимов тепловой обработки по ГОСТ 10180-90. Может использоваться, как камера нормального твердения по ГОСТ 10180-90 (нерж. сталь, 4кВт, 220В, рабочее пространство-940х550х350 мм).



Стенд имитации транспортирования СИТ – 3М [16] предназначена для испытаний изделий на прочность при транспортировании.

Грузоподъемность – до 300 кг, масса установки – 1440 кг, площадь для размещения – 14 м².



Установка ударная уу-120 [17]

предназначена для испытаний на воздействие многократных и одиночных ударов.

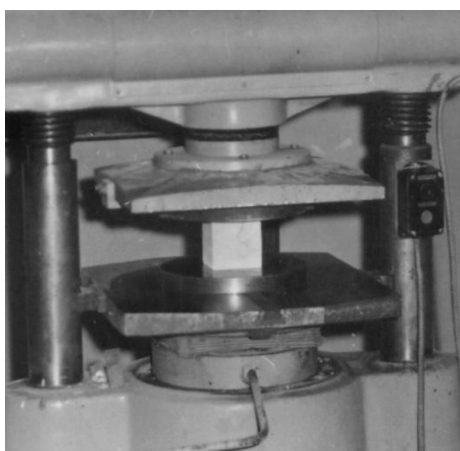
Ниже приведены приборы нового поколения для неразрушающего контроля физико-механических характеристик строительных материалов и конструкций зданий и сооружений.

4.2.4. Методика испытаний образцов на прочность в прессах

Прежде чем приступить к испытанию образцов на прочность, определяют тип пресса, который можно использовать. При выборе пресса учитывают, что разрушающая нагрузка должна составлять не менее 0,2 и не более 0,8 от предельной нагрузки P_{max} пресса (при заданной шкале измерения нагрузки). При разрушающей нагрузке, меньшей 0,2 P_{max} , точность измерения нагрузки снижается, а при нагрузках, близких к 0,8 P_{max} , трудно обеспечить необходимую скорость нагружения, а детали и

гидравлическая система пресса подвергаются повышенному изнашиванию. Разрушающую нагрузку рассчитывают ориентировочно, исходя из паспортных данных на материал и размеров испытываемых образцов. Плита пресса должна всей плоскостью примыкать к поверхности образца. Это условие может быть нарушено при изгибе плит во время испытания образца. Чтобы этого не произошло, необходимо соблюдать определенное соотношение между размерами плит и образца: ширина образца должна быть не более 1,25 толщины плиты. Перед испытанием проверяют состояние поверхности плит пресса. Она должна быть чистой, без следов грязи и масла, так как последние сильно меняют условия испытания [1–2].

Для определения прочности на сжатие применяют образцы (кубы, цилиндры, призмы различных размеров), установленные стандартами на соответствующий материал (рис. 4.36). Образцы помещают строго на середину нижней плиты пресса, имеющей разметку для центровки образца.



(а)



(б)



(в)

Рис. 4.36. Стандартные испытания бетонных образцов: кубов (а), призм (б) и цилиндров (в) для определения прочности на сжатие

Для правильной центровки образцов применяют также специальные шаблоны, прикрепляемые к нижней плите пресса и проградуированные так, что при совмещении центра образца с центром шаблона включается сигнальное устройство. После этого вращением маховика верхнюю плиту приближают к образцу так, чтобы между ними оставался небольшой зазор. Поворачивая в зависимости от конструкции пресса верхнюю или нижнюю плиту, имеющую шаровую шарнирную головку, добиваются, чтобы зазор по всей поверхности образца был равномерный. Затем вращением маховика верхней подвижной плиты образец зажимают между плитами, при этом достигается полное примыкание всей поверхности нижней и верхней граней образца к поверхности плит пресса. Далее верхнюю плиту приподнимают настолько, чтобы между ней и верхней поверхностью образца зазор составлял 2...5 мм. Установка образца в пресс на этом заканчивается.

Перед включением пресса необходимо убедиться, что предел измерения нагрузки выбран правильно. Для этого проверяют соответствие установки рычага переключения диапазонов измерения требуемому пределу. При измерении усилия манометрами включают нужный манометр, а все остальные манометры отключают, главным образом те, которые используются для измерения меньших нагрузок. Для переключения манометров каждый из них на пульте управления имеет свой вентиль. Указательная стрелка силоизмерителя должна стоять на нуле, а фиксирующая – быть на нуле или сдвинута так, чтобы предельная ожидаемая нагрузка соответствовала большему числу делений, чем-то, против которого она установлена. Маховик регулирующего вентиля и маховик сброса масла должны быть закрыты. После включения электродвигателя пресса вращением маховика регулирующего вентиля открывают подачу масла в рабочий цилиндр. При этом следят за исчезновением зазора, оставленного между верхней гранью образца и

плитой пресса, и за началом движения указательной стрелки силоизмерителя. Требуемую скорость увеличения нагрузки устанавливают опытным путем с помощью регулирующего вентиля. Момент разрушения образца определяют по началу обратного движения указательной стрелки силоизмерителя при работающем нагружающем устройстве.

Предельную (разрушающую) нагрузку снимают по показанию фиксирующей стрелки. Если последней нет, внимательно следят за указательной стрелкой. За предельную нагрузку принимают наибольшее число делений, достигнутое движущейся стрелкой. При испытании слабых образцов разрушение более продолжительно и нередко наблюдается плавный сброс нагрузки. В этом случае за предельную нагрузку на образец также принимают наибольшее число делений по шкале, достигнутое указательной стрелкой. После разрушения образца, не выключая двигатель, необходимо плавно сбросить масло из гидроцилиндра в бак. Для этого открывают вентиль сброса и закрывают регулирующий вентиль. Затем двигатель выключают. Куски разрушенного образца аккуратно удаляют с плит (нижней и верхней) пресса мягкой щеткой или тряпочкой. После этого пресс готов для испытания следующего образца [1–2].

Для вычисления предела прочности при сжатии определяют разрушающую силу P_u либо непосредственно по силоизмерителю, либо, по тарировочным таблицам, прилагаемым к прессу. При использовании манометров разрушающая сила может быть вычислена как произведение площади поршня пресса на максимальное давление масла в прессе в момент разрушения (максимальное показание манометра). Площадь сечения образца F , параллельного плитам пресса, устанавливают по результатам обмера, производимого перед испытанием. Предел прочности при сжатии R (МПа) образца определяют по формуле:

$$R = P_u / F. \quad (4.43)$$

Прочность бетона на растяжение определяют двумя способами: прямым (испытание на осевое растяжение) и косвенным (испытание на раскалывание).

На осевое растяжение обычно испытывают образцы квадратного сечения с утолщениями к концам, так называемые «восьмерки», рис. 4.37,а). При растяжении образец разрушается (разрывается) в средней, более тонкой рабочей части, которая может иметь сечение 100х100, 150х150 или 200х200 мм. В крайних утолщенных частях сечение соответственно составляет 150х150, 250х250 или 360х360 мм. Длина рабочей части образца в три раза, а общая длина образца в семь раз больше размера рабочего сечения. В утолщенных частях расположены арматурно-монтажные петли из стали диаметром 6 мм, выступающие за торцы образца и предназначенные для закрепления в универсальной испытательной машине. При наличии цанговых захватов и карданных шарниров, позволяющих прилагать к образцу чистое осевое растяжение, можно использовать цилиндрические образцы (рис. 4.37,в) и получить более точные значения прочности при растяжении [1–2].

На раскалывание испытывают такие же кубы или цилиндры, как и при испытании на сжатие (кубы должны иметь на двух противоположных ребрах фаски шириной 14 мм). Образцы устанавливают в пресс по схеме (рис. 4.37,б). Куб опирается ребром так, что усилие сжатия направлено вдоль оси, а цилиндр опирается по образующей (усилие сжатия направлено по диаметру). При нагружении образец раскалывается от поперечных растягивающих деформаций, поэтому усилие раскалывания – косвенная характеристика прочности бетона при растяжении. Предел прочности R_{ts} (на растяжение при раскалывании) вычисляют по формулам:

$$R_{ts} = 0,52 P_u / a^2, \text{ или } R_{ts} = 2 P_u / (\pi d l), \quad (4.44)$$

где: P_u – разрушающая нагрузка с учетом тарировочного коэффициента; a – размер куба, см; d, l – диаметр и длина цилиндра, см.

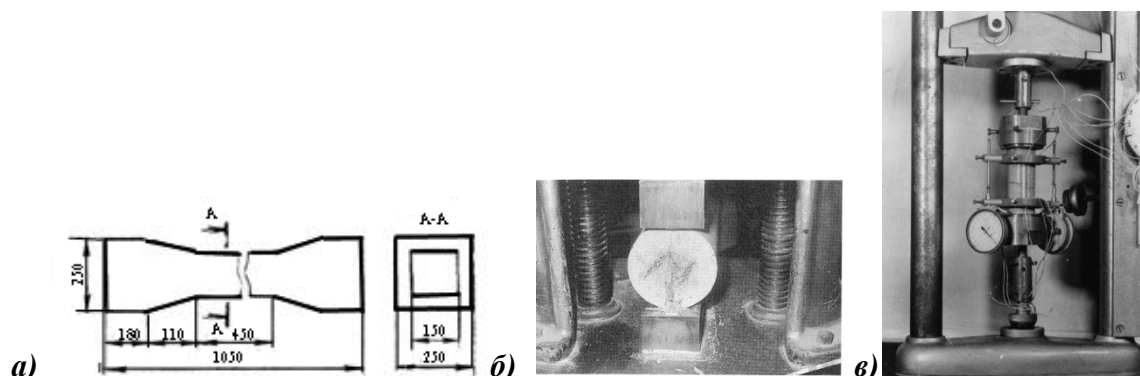


Рис. 4.37. Испытания образцов – цилиндров на раскалывание (а) и образцов в форме «восьмерки» (б) и цилиндра (в) на осевое растяжение

4.2.5. Статические испытания мостов

Усилия, возникающие в любых элементах сооружения от испытательной нагрузки, должны быть не выше:

- при испытании сооружений, рассчитанных по предельным состояниям, усилий от подвижной временной вертикальной нагрузки, принятой в проекте, при коэффициенте надежности по нагрузке (или коэффициенте перегрузки), равном единице, и полном динамическом коэффициенте;

- при испытании сооружений, рассчитанных по допускаемым напряжениям (по нормам, действовавшим до 1962 г.),

- 120 % усилий от временной вертикальной нагрузки, принятой в проекте, с полным динамическим коэффициентом;

- при испытании сооружений, имеющих элементы с пониженной несущей способностью, и сооружений, на которые нет технической документации,

- усилий от временной вертикальной нагрузки, соответствующей

расчетной грузоподъемности сооружения, определенной на основании результатов обследования с учетом фактического состояния конструкций и характеристик материалов. Усилия, вызываемые испытательной нагрузкой в элементах испытываемых сооружений, как правило, должны быть не ниже:

- при испытаниях железнодорожных мостов, мостов под пути метрополитена или трамвая, под автомобили особо большой грузоподъемности (нагрузки АБ) – усилий от наиболее тяжелой нагрузки, обращающейся по данной линии или дороге;

- при испытаниях автодорожных и городских мостов – 70 % усилий от временной вертикальной нагрузки, принятой в проекте, с полным динамическим коэффициентом для соответствующих видов мостов.

В качестве нагрузки при статических испытаниях следует использовать подвижные нагрузки: локомотивы и подвижной состав железных дорог, поезда метрополитена и трамвая, транспортные автомобильные средства и др.

При испытаниях отдельных элементов моста, при определении жесткости конструкции и в других аналогичных случаях нагрузка может быть создана домкратами, лебедками, штучными грузами или специально сооруженными временными водяными бассейнами с фиксацией создаваемых усилий.

Весовые характеристики транспортных средств, используемых при испытаниях, перед проведением работ следует уточнить. Точность определения весовых характеристик должна быть не менее 5 %. Вес локомотивов, а также весовые характеристики незагруженного подвижного состава железных дорог, метрополитена, трамвая и автотранспорта допускается принимать по паспортным данным.

Перед началом испытаний, при необходимости, следует уточнить предусмотренные программой схемы загрузки моста, учитывая

фактический состав и вес испытательной нагрузки. Статические испытания сооружений, как правило, проводят в две стадии: – целью первой стадии испытаний является построение натурных поперечных линий влияния деформаций в среднем сечении главных балок; – на второй стадии выполняют основные контрольные нагружения полной и испытательной нагрузками.

Для безопасности проведения основного испытания по результатам первой стадии статических испытаний на основании действительной расчетной схемы уточняют усилия в главных балках от основного нагружения. На первой стадии статических испытаний используется нагрузка в виде машины (или колонны машин), не вызывающая в несущих элементах пролетного строения усилий, выше допустимых по трещиностойкости, деформации, от которой фиксируются приборами.

Количество установок временной нагрузки поперек пролета должно быть не менее пяти, при этом они должны быть симметричны относительно продольной оси сооружения, а расстояние между ними, по возможности, должно быть одинаковым. Крайние установки испытательной нагрузки следует располагать максимально близко к ограждающим устройствам на мостовом полотне. Первое нагружение конструкции испытательной нагрузкой следует проводить постепенно, контролируя ее работу по показаниям измерительных приборов.

Время выдержки испытательной нагрузки в каждом из предусмотренных программой положений следует определять по стабилизации показаний измерительных приборов, при этом время выдержки при основном нагружении должно быть не менее 20 мин. Остаточные деформации конструкций следует определять по результатам первого ее нагружения основной испытательной нагрузкой. Порядок проведения статических испытаний следующий:

- первая стадия – построение натурных поперечных линий в среднем

сечении главных балок – прогибов, кривизн, удлинений;

- обработка результатов, полученных на первой стадии, подбор и корректировка схемы основного испытательного нагружения;

- проведение основного нагружения испытательной нагрузкой (две стадии испытаний);

- основные испытания поперечной и продольной вспомогательной балок, плиты проезжей части (при необходимости, определенной программой испытаний);

- осмотр конструкций моста после испытаний;

- обработка данных, анализ полученных результатов, подготовка отчетных документов.

Для проведения первой стадии испытаний (построения поперечных линий влияния) в качестве исследуемых назначают сечения в середине пролета главных балок. Каждое сечение должно быть оснащено прогибомерами с ценой деления не более 0,1 мм, общим количеством не менее двух.

Если точки опирания главных балок обладают податливостью, то приопорные участки балок оснащают таким же количеством прогибомеров. Количество прогибомеров должно быть увязано с числом наездов испытательной нагрузки на одно и то же место так, чтобы их произведение было равно 6–8. Кроме прогибомеров в исследуемых сечениях следует устанавливать стационарные деформометры с базой измерения от 450 до 500 мм и ценой деления не более 0,002 мм. С помощью деформометров определяют деформации крайнего сжатого волокна и деформации растяжения на уровне центра тяжести рабочей арматуры или деформации крайнего растянутого волокна (в стальных конструкциях).

В процессе основного нагружения полной испытательной нагрузкой следует измерять:

- общие перемещения и деформации сооружения и его частей;
- относительные деформации (напряжения) в сечениях элемента;
- локальные деформации (раскрытие трещин, швов, смещения в соединениях и т. д.).

Кроме того, в зависимости от вида конструкций и их состояния и в соответствии с задачами испытаний могут производиться измерения угловых деформаций, взаимных перемещений частей сооружения, усилий в элементах (вантах, шпренгелях) и т. д. Места установки измерительных приборов следует назначать, исходя из необходимости получения в результате испытаний достаточно полных представлений о работе сооружения под временными вертикальными нагрузками. Для измерения перемещений и деформаций следует выбирать элементы и узлы, наиболее интенсивно работающие под воздействием нагрузки, а также элементы и соединения, нуждающиеся в проверке по результатам обследований или по иным данным.

Выбор элементов для испытания и схемы загрузки. При приложении нагрузки к сооружению в работу вовлекаются все его конструктивные элементы или лишь отдельные их совокупности, ближайшие к месту загрузки. Так, нагрузка, приложенная к проезжей части моста в любом месте по длине его пролета, обуславливает появление внутренних сил во всех элементах поясов и решетки несущих ферм; не включаются в работу лишь отдельные так называемые "нулевые" стержни. При испытаниях подобного рода сооружений нескольких положений нагрузки бывает достаточно для обеспечения интенсивной работы всех главнейших элементов. Задача выбора элементов при назначении программы испытаний сводится в данном случае к решению вопроса, где именно целесообразнее размещать измерительные приборы для оценки работоспособности и состояния сооружения в целом [1–2].

С иным положением приходится иметь дело в большинстве объектов

промышленного и гражданского строительства, составленных обычно из многочисленных однотипных элементов в определенном их сочетании. Так, например, в многоэтажном промышленном здании каркасного типа нагрузка, приложенная на небольшом участке какого-либо из перекрытий, передается на фундаменты через ближайшие ригели и колонны; колонны и ригели, удаленные на несколько пролетов от места загрузки, почти не вовлекаются в работу. Слабо или совсем не деформируются примыкающие ненагруженные плиты того же перекрытия, и практически совершенно не работают перекрытия других этажей. При исследованиях подобного рода сооружений выбор элементов для испытания связан непосредственно с выбором места приложения нагрузки. При этом руководствуются следующими соображениями:

1) количество загружаемых элементов должно быть минимальным, во избежание чрезмерных затрат времени и средств, необходимых для проведения статических испытаний;

2) испытаниями должны быть охвачены все основные виды несущих элементов исследуемой конструкции; в первую очередь испытывают элементы, работающие наиболее интенсивно, и элементы с обнаруженными в них дефектами и повреждениями, подлежащая работоспособность которых сомнительна; 3) отбирают элементы с возможно более четкой схемой статического опирания и закрепления; при прочих равных условиях желательно выбирать элементы, свободные от дополнительных связей с примыкающими частями сооружения, которые могут вносить трудноучитываемые искажения в работу исследуемых элементов.

При отборе образцов серийного изготовления для их контрольных испытаний исходят из следующего. Для суждения о качестве изделий рассматриваемой партии должны быть испытаны наилучшие и наихудшие образцы. Отбор их для статических испытаний производится на основании

осмотра, контроля неразрушающими методами и предварительной вибрационной проверки. Усредненная оценка дается по результатам испытания образцов в состоянии, наиболее характерном для большинства изделий данной партии. Отбор изделий, подлежащих испытанию, производится по данным визуального осмотра и изучения технической документации. Для испытаний выбирают не менее двух изделий среднего качества. Если в партии изделий массового изготовления больше 200 шт., количество испытываемых изделий должно составлять не менее 1% от всей партии. Отобранные изделия маркируют, проводят освидетельствование с определением размеров, массы, расположения арматуры и толщины защитного слоя, проверкой технической документации и заносят результаты освидетельствования в испытательную ведомость. Подготовка к испытаниям состоит в транспортировании изделия, установке его в пресс и обеспечении подстраховки на время испытаний.

Нагрузочная схема уточняется одновременно с выбором элементов для испытания, поскольку эти задачи взаимосвязаны. Выбранная схема распределения нагрузок должна обеспечить появление в исследуемых элементах необходимых напряжений и деформаций, достаточных для выявления определяемых характеристик, но при этом следует учитывать имеющиеся реальные возможности (наличие определенных видов загрузочных приспособлений) и стоимость испытания. Последнее очень существенно, поскольку уменьшение требуемой нагрузки упрощает и удешевляет процесс проведения испытаний и позволяет укладываться в более короткие сроки при нагружении и разгрузке. В качестве отдельных примеров ниже приведены схемы испытания разрезной плиты (рис. 4.38), неразрезной балки (рис. 4.39) и полигональной фермы (рис. 4.40) с соответственно равномерно распределенной и сосредоточенной нагрузками. Представленные схемы испытания экономичны по трудозатратам и стоимости, удобны как для контроля за испытательной

нагрузкой, так и для автоматизации испытаний [1–2].

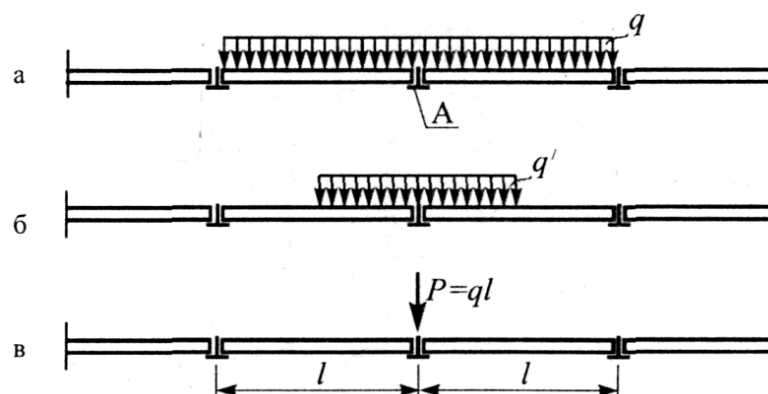


Рис. 4.38. Схема испытания монолитной разрезной плиты: а – фактическая нагрузка, в натурных условиях; б – эквивалентная распределенная нагрузка (I вариант испытания); в – эквивалентная сосредоточенная нагрузка (II вариант испытания)

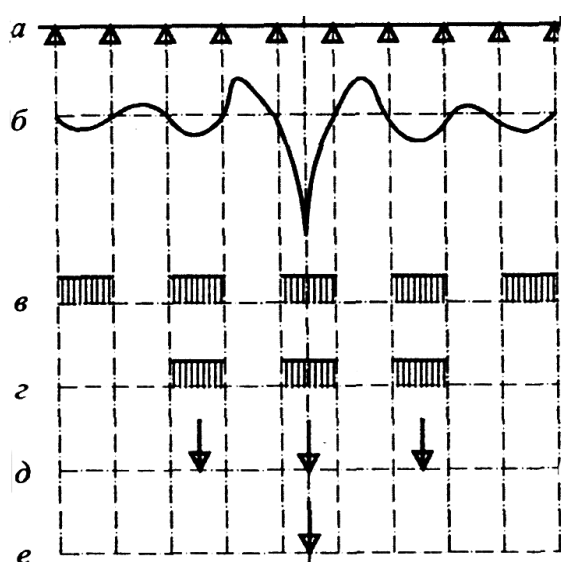


Рис. 4.39. Схема испытания многопролетной неразрезной балки: а – схема балки; б – линия влияния изгибающего момента при нагружении балки в полевых условиях; в, г – эквивалентное нагружение пяти и трех пролетов распределенной нагрузкой; д, е – эквивалентное нагружение сосредоточенной нагрузкой трех и одного пролета

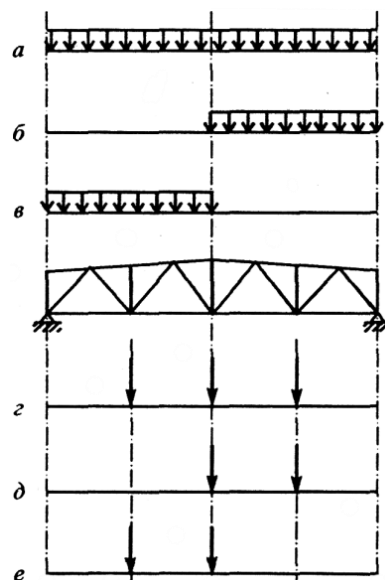


Рис. 4.40. Схема испытания полигональной фермы: а, б, в – фактическое нагружение в натурных условиях; г, д, е – эквивалентное нагружение фермы сосредоточенной нагрузкой по нижнему поясу

Нагрузка и ее разновидности при статических испытаниях. При статических испытаниях нагрузка должна прикладываться к объекту постепенно, без рывков и ударов, с тем чтобы влиянием сил инерции можно было бы пренебречь. Нагрузки и нагрузочные устройства должны удовлетворять следующим основным требованиям: давать возможность *четкого определения* усилий в испытуемом объекте; быть по возможности *транспортабельными* и не требовать значительной затраты времени для их приложения и снятия; при испытаниях с длительной выдержкой должна быть обеспечена *стабильность нагрузок*, т. е. ее постоянство во времени. На практике все нагрузки при статических испытаниях можно условно разделить на распределенные и сосредоточенные [1–2].

Распределенную нагрузку любой интенсивности можно реализовать на практике с применением: *а)* сыпучих материалов (песок, щебень, гравий, керамзит);

- б)* мелкоштучных грузов;
- в)* крупноштучных грузов;
- г)* системы загрузки водой;
- д)* системы загрузки воздухом.

Сосредоточенную нагрузку можно обеспечить в полевых и в лабораторных условиях на основе использования: *а)* подвешивания грузов; *б)* системы распределительных устройств; *в)* системы натяжных устройств (талей, лебедок, полиспастов); *г)* гидравлических и винтовых домкратов. При этом, в зависимости от задач испытаний (заводские испытания, приемочные, эксплуатационные, аварийные) и вида конструкции, **испытательная нагрузка** по величине может быть:

- частью нормативной нагрузки (при уточнении расчетной модели несущего элемента);

- полной временной нагрузкой в одном из сочетаний (испытания конструкций I и II категорий трещиностойкости для проверки условий их

наступления);

- суммой нормативной временной нагрузки и веса недостающих частей здания (испытания в период возведения здания);

- расчетной временной нагрузкой (приемочные испытания уникальных конструкций особого назначения);

- больше расчетной (приемочные испытания с нагрузкой, большей проектной);

- разрушающей (заводские испытания серийно выпускаемой конструкции).

Схема загрузки конструкции должна обеспечить возникновение в исследуемых элементах необходимых напряжений и деформаций. Однако при этом следует учитывать реальные возможности и планируемую стоимость испытаний. Стоимость, трудоемкость и продолжительность испытаний могут быть существенно уменьшены при расположении нагрузки собственно на сооружении.

Проведение статических испытаний. Подготовительные работы.

Высокая трудоемкость, стоимость, а в отдельных случаях и невозможность повторения испытаний при статических загрузках требуют тщательной разработки программы испытаний, которые в значительной степени определяют как эффективность всей предстоящей работы, так и надежность всех данных, получаемых в результате испытания. Перед началом испытаний должна быть проведена необходимая подготовка: смонтированы нагрузочные приспособления и подготовлена нагрузка; установлены подмости и ограждения; обеспечено, если это вызывается условиями испытаний, дополнительное освещение мест установки приборов; согласованы перерывы в эксплуатации исследуемого объекта и т. д.

Перед началом испытаний необходимо провести предварительные подсчеты. Уточняется требуемая испытательная нагрузка, и определяются

соответствующие этой нагрузке значения перемещений, деформаций, напряжений и усилий, возникающих в исследуемых элементах конструкций. Такие подсчеты являются продолжением перерасчетов, выполняемых по результатам освидетельствования, и производятся с учетом всех выявленных при этом отступлений от проекта, уточненных характеристик материала, обнаруженных ослаблений и т. д. В сооружениях с неявно выраженной расчетной схемой, допускающей выбор нескольких возможных вариантов, предварительные подсчеты должны быть выполнены по всем этим схемам.

Сравнение с результатами испытаний позволяет в дальнейшем выбрать из них схему, наиболее близкую к действительной работе сооружения. Аналогично поступают в отношении модуля упругости и других характеристик материала, если до начала испытания значения их не могут быть надежно определены. Эти подсчеты ведутся в пределах возможных диапазонов с дальнейшим уточнением фактических значений по результатам испытаний.

Испытания конструкций следует проводить при положительной температуре воздуха при прочности бетона на сжатие не менее 90% от прочности, соответствующей классу бетона по прочности на сжатие и устанавливаемой согласно действующим стандартам. Конструкции, хранившиеся при отрицательной температуре или поступившие на испытания непосредственно после термовлажностной обработки, предварительно выдерживают не менее 1 сут в помещении при температуре не ниже 15°C.

Схемы опирания и нагружения изделий. Схему нагружения конструкций при разработке проектной документации необходимо выбирать так, чтобы она соответствовала условиям работы конструкции в стадии эксплуатации и чтобы при испытании конструкций по этой схеме достигалось контролируемое предельное состояние. Если при одной схеме

нагрузки конструкции нельзя проконтролировать все предельные состояния, то следует предусматривать, испытания двух и более конструкций по разным схемам нагружения.

Конструкции следует испытывать в том положении, в котором они будут эксплуатироваться. При проведении испытаний конструкций в горизонтальном положении силами, направленными горизонтально, конструкция должна быть уложена на часто расположенные шаровые подвижные опоры, исключающие изгиб конструкции в вертикальной плоскости от собственной массы. Размещение опор при испытании конструкций должно соответствовать схеме опирания, принятой при расчете этих конструкций. Балки, фермы, балочные плиты и настилы, рассчитанные как однопролетные свободно опертые конструкции, следует опирать на две шарнирные опоры, причем одна из опор должна допускать свободное перемещение конструкции вдоль ее оси. При передаче сосредоточенной нагрузки с помощью распределительных балок последние должны опираться на испытываемую конструкцию не более чем в двух местах, причем одна из опор должна иметь возможность свободного перемещения вдоль распределительной балки.

Действительная схема опирания или закрепления элементов отличается от расчетной. Например, балка перекрытия, опирающаяся одинаково на обе колонны (рис. 4.41,*а*), уложена на подливку из цементного раствора. При расчете же предлагалось, что одна опора 1 шарнирно-подвижная, другая 2 – шарнирно-неподвижная (рис. 4.41,*б*). Цель испытания изделия – проверка расчетных предположений, которые обеспечивают дополнительный запас прочности. Поэтому при испытании специально устраивают шарнирные опоры (или другие закрепления изделий), соответствующие проектным. Примеры шарнирных опор показаны на рис. 50 [1–2].

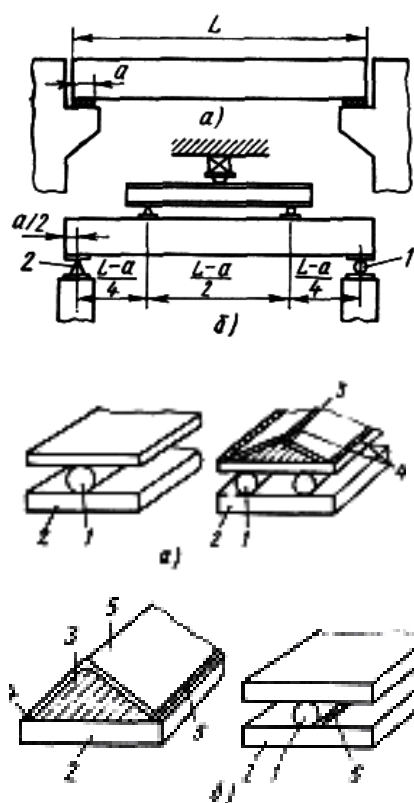


Рис. 4.41. Слева – схемы опирания балки на двух опорах: а – в натуре, б – при испытании;

1 – подвижная опора, 2 – неподвижная опора.

Справа – конструкция шарнирных опор:

а – подвижных, б – неподвижных; 1 – каток,

2 – нижняя пластина, 3 – бетон, 4 – сварной шов,

5 – стальной уголок

Расстояния между опорами назначают с учетом действительного опирания изделия. Например, в балке (рис. 4.41) испытательный пролет равен проектному расстоянию между центрами площадок опирания балки на колонну. Если при проектировании изделие рассчитано как консоль (рис. 4.42), то при испытании со стороны заделки устраивают закрепление в виде двух шарнирно-неподвижных опор, расположенных вблизи заделываемого конца. Конструкция опирается на нижнюю опору 3 и поддерживается верхней анкерной опорой 1, прикрепленной тягами 4 к силовому полу 5.

Испытание плит и панелей, работающих в двух направлениях, при проектировании которых предполагалось опирание по четырем сторонам или углам, проводят с опиранием на шаровые и катковые опоры, установленные, как показано на схеме рис. 51,б,в. При этом должна обеспечиваться возможность поворота конструкций на опорах и свободное горизонтальное смещение трех опорных точек относительно четвертой неподвижной. В качестве подвижных опор следует применять стальные катки или шары диаметром не менее 50 мм, свободно укладываемые между двумя стальными прокладками. Конструкция должна опираться на стальные плиты, симметрично расположенные относительно оси опирания. Площадь стальных плит должна соответствовать площади

опирания, принятой в проектной документации; при этом длину плит принимают равной наименьшей длине опирания, измеряемой вдоль пролета, а толщину – не менее $1/6$ длины плиты. Опираение конструкции на стальные плиты должно осуществляться через выравнивающий слой раствора, прочность которого должна составлять не менее 50% прочности бетона конструкции. Схемы испытания ферм показаны на рис. 4.43.

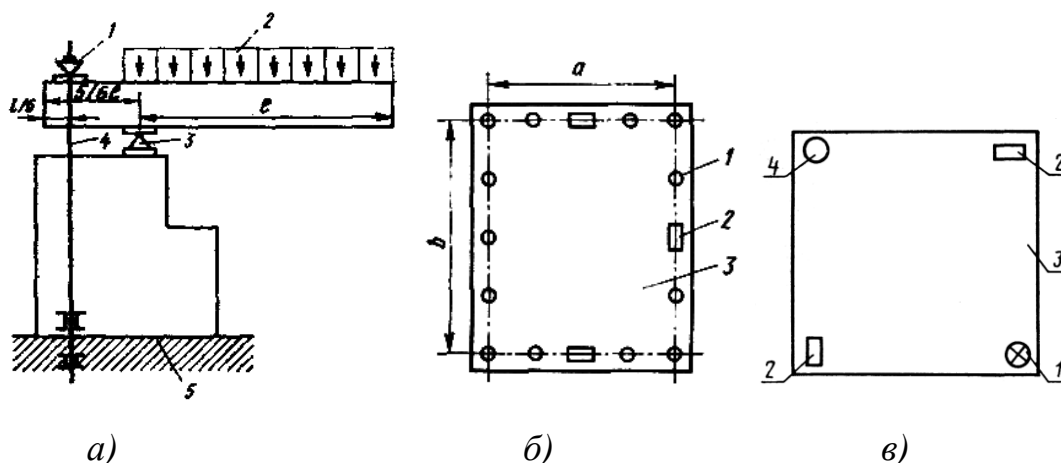


Рис. 4.42. Схема испытания: консольной балки (а): 1, 3 – опоры, 2 – грузы, 4 – тяга, 5 – силовой пол, l – проектная длина заделки; плит, опертых по контуру (б) и по углам (в): 1 – шаровая опора, 2 – каток, 3 – плита, 4 – шар

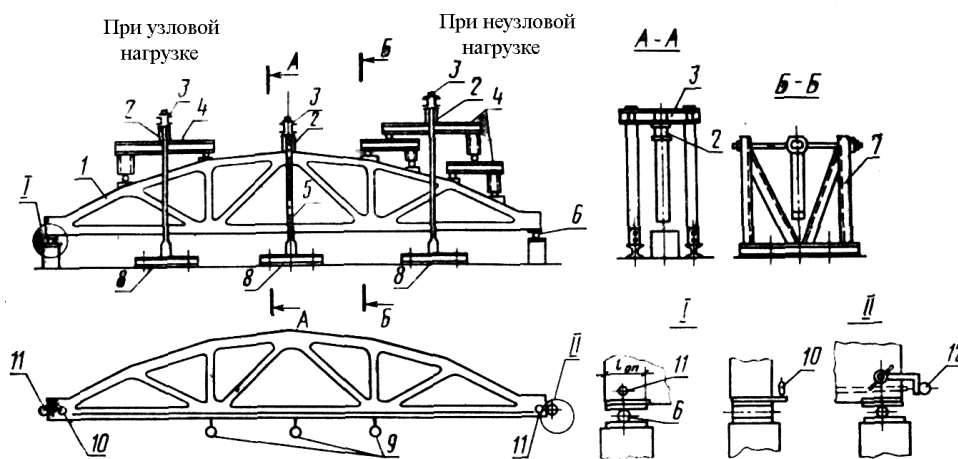


Рис. 4.43. Схемы размещения опор и нагружения ферм: 1 – ферма; 2 – домкраты; 3 – поперечные траверсы; 4 – продольные траверсы; 5 – тяги; 6 – опорные катки; 7 – стойки; 8 – башмаки; 9 – прогибомеры для определения прогибов; 10 – прогибомеры для измерения удлинения нижнего пояса; 11 – индикаторы для измерения осадки опор; 12 – индикаторы для измерения смещения концов арматуры

При испытании на сжатие колонн и стеновых панелей усилия передают через распределительные балки с помощью катковых шарниров. Смещение катков относительно оси колонны или срединной плоскости панели должно быть равно расчетному эксцентриситету (при внецентренном сжатии). При центральном сжатии нагрузка передается через шаровые шарниры.

Как правило, изделия испытывают в том положении, в котором они будут находиться в сооружении. Если испытание проводится на оборудовании, передающем горизонтальные усилия, а в сооружении изделие нагружается вертикально, допускается соответствующий поворот изделия на 90° и испытание его горизонтальной нагрузкой. Возможны случаи передачи нагрузки снизу вверх, тогда как в натуре нагрузка действует сверху вниз. При этом изделие поворачивают на 180° . Во всех случаях поворот должен совершаться так, чтобы изменение направления нагрузки от собственного веса не вызывало появления трещин в изделии. Обычно поворот осуществляют кантованием, а при подъеме и установке в испытательное положение применяют монтажные балки (траверсы), на которые изделие опирается по всей длине.

Способы нагружения изделий. Изделия можно нагружать гидравлическими домкратами и в специальных испытательных машинах. Испытание плит, настилов, панелей и других конструкций равномерно распределенной нагрузкой осуществляют сжатым воздухом, накачиваемым в резиновые баллоны или штучными грузами, в качестве которых обычно используют металлические или бетонные блоки, укладываемые на поверхность изделия в один или несколько ярусов (рис. 4.44), баки с водой, ящики с сыпучими материалами [1–2].

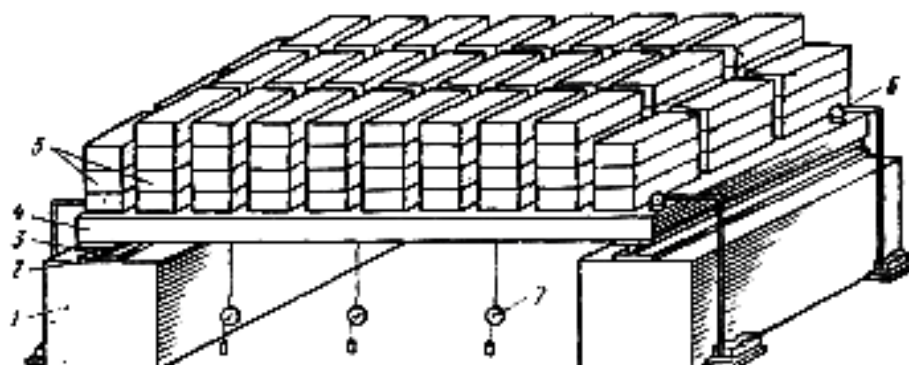


Рис. 4.44. Испытание штучными грузами: 1 – опорный блок, 2 – пластина, 3 – шарнирная опора, 4 – изделие, 5 – штучные грузы, 6 – индикатор, 7 – прогибомер

Самый распространенный способ нагружения железобетонных конструкций – применение гидравлических домкратов в специальных испытательных стендах и установках, рис. 4.45–4.50. Иногда стенды конструируют в виде П-образных стальных рам, стойки которых заделаны в силовой пол (рис. 4.45). Домкраты 2 устанавливают между ригелем 1 рамы и распределительными балками 3, которые опираются на испытуемое изделие 4. При испытаниях применяют домкраты грузоподъемностью до 200 т, рассчитанные на давление около 40 МПа. Гидравлический домкрат (рис. 4.46), состоит из цилиндра 3 с днищем 1, плунжера 2, поршня 7 с трубчатым штоком 8 и опорной плитой 5. Масло подается под давлением через штуцер 4 в нижнюю полость 9, а затем через шток 8 в верхнюю полость 6. Под действием давления масла плунжер перемещается относительно поршня и цилиндра, которые остаются неподвижными. Для нагнетания масла применяют насосные станции с ручным или электрифицированным приводом, оборудованные манометрами для измерения давления. На силовой пол – важнейшую часть испытательных стендов – опирается исследуемое изделие, и в него заделываются анкерные элементы (стойки) рамы стенда. Плиты силового пола (рис. 4.47) изготавливают из железобетона толщиной до 2 м с

армированием в трех направлениях стальными стержнями и с усилением мест заделки анкерных элементов прокатными уголками 3 и швеллерами.

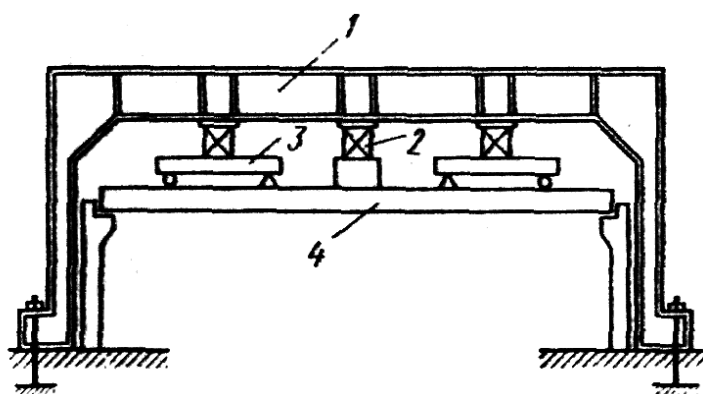


Рис. 4.45. Рамный стенд:

1 – ригель, 2 – домкрат,
3 – нагрузочная траверса,
4 – конструкция

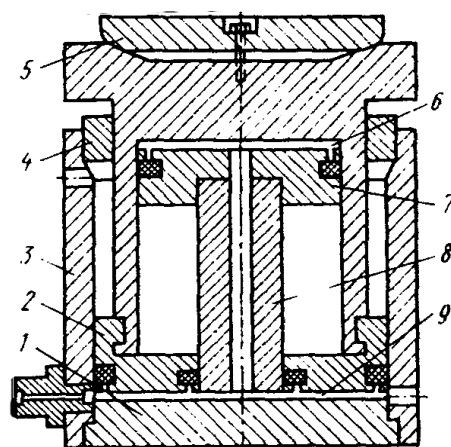


Рис. 4.46. Гидравлический

домкрат: 1 – днище,
2 – плунжер, 3 – цилиндр,
4 – штуцер, 5 – опорная плита,
6, 9 – полости, 7 – поршень,
8 – шток

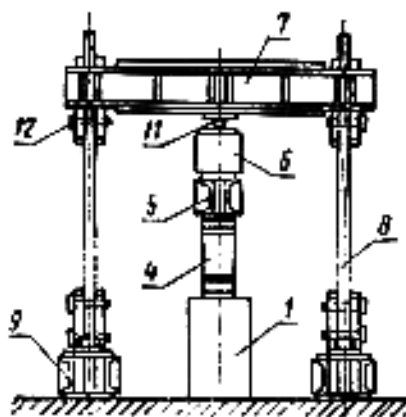
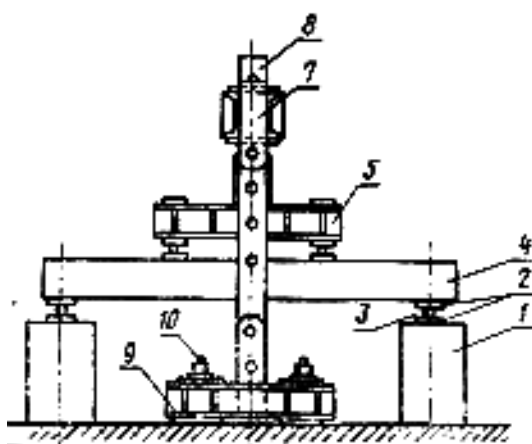


Рис. 4.47. Схема стенда для испытаний балочных элементов двумя

сосредоточенными грузами: 1 – опоры стенда; 2 – стальные пластинки;
3 – каток; 4 – испытываемая конструкция; 5 – распределительная траверса;
6 – гидравлический домкрат; 7 – поперечная траверса; 8 – заанкеренная стойка; 9
– анкерные траверсы; 10 – анкерные болты; 11 – стальной шар; 12 – штырь

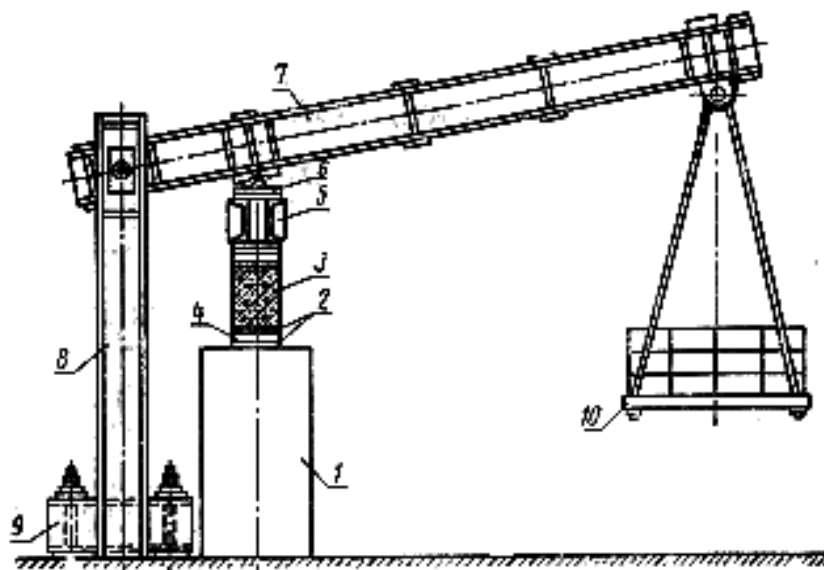


Рис. 4.48. Схема нагружения конструкции при помощи рычажного устройства:
 1 – опора конструкции; 2 – стальные пластинки; 3 – испытываемая конструкция;
 4 – каток; 5 – распределительная траверса; 6 – клиновой шарнир; 7 – рычаг;
 8 – стойка; 9 – анкерная траверса; 10 – грузовая платформа

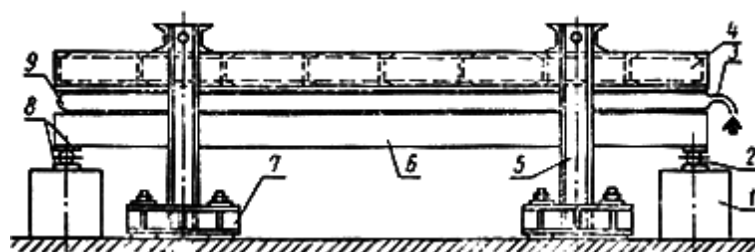


Рис. 4.49. Схема стенда для испытаний плит сжатым воздухом: 1 – опора;
 2 – каток; 3 – подача сжатого воздуха; 4 – верхний ростверк;
 5 – поперечная рама; 6 – испытываемая конструкция; 7 – анкерная траверса;
 8 – стальные пластинки; 9 – воздухонепроницаемая камера

Если позволяют габаритные размеры изделия и требуемое усилие, испытания проводят на гидравлических прессах, устанавливаемых в лабораторном зале. Выпускаемые промышленностью прессы ИПС (ПММ) позволяют испытывать колонны и панели высотой до 6 м на сжатие

усилием до 2...10 МН. Форма нижней плиты прессов удлинённая, что даёт возможность проводить испытания балок пролетом до 1,5...4,5 м на изгиб усилием до половины от максимального усилия при сжатии.

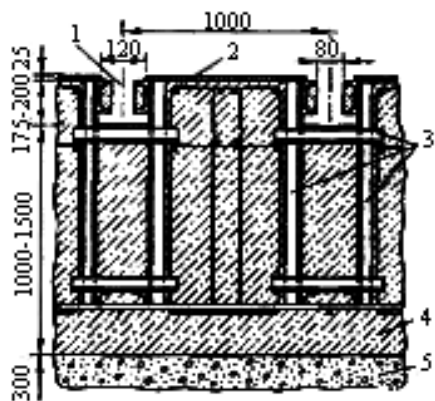


Рис. 4.50. Силовая плита:

- 1 – анкерная щель; 2 – цементный пол; 3 – уголки; 4 – бетон; 5 – гравийнопесчаная подушка*

Пример испытаний железобетонной тавровой балки в испытательном стенде приведен на рис. 4.51. При испытании на стендах с нагружением гидравлическими домкратами сначала закрепляют стойки рам в силовой плите и устанавливают на силовой пол нижние шарнирные опоры и распределительную плиту. Затем транспортируют испытуемое изделие к стенду, помещают его на распределительную плиту, на подливку из раствора и раскрепляют оттяжками. На установленном изделии укрепляют на растворе верхнюю распределительную плиту, размещают верхние шарнирные опоры и верхнюю распределительную балку и раскрепляют их оттяжками. На ригеле укрепляют траверсу так, чтобы между ней и распределительной балкой помещались домкраты. Далее устанавливают домкраты, к которым подключают насосную станцию [1–2].

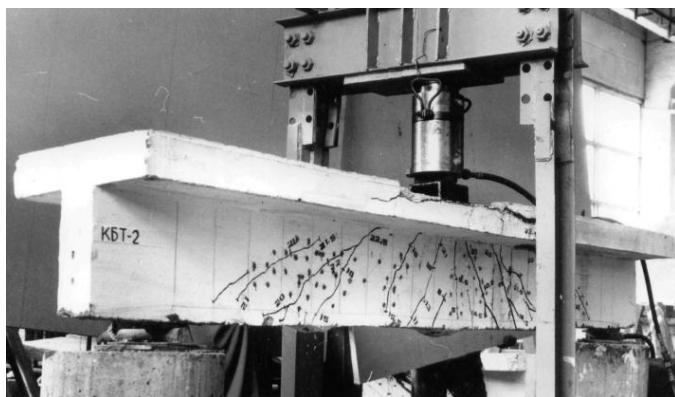


Рис. 4.51. Испытание тавровой балки в испытательном стенде

Вокруг стенда ставят защитное ограждение. Перед пробным включением домкратов проверяют правильность установки изделия по схеме испытаний.

Установка измерительных приборов. При подготовке к испытанию на изделии выбирают места установки приборов и определяют их количество и номенклатуру, т. е. составляют схему установки приборов с указанием их типа и характеристик. При составлении схемы учитывают характер работы изделия под нагрузкой, например внецентренное сжатие колонны, изгиб консольной балки, изгиб свободно опертой плиты, который определяется расчетной схемой испытания. При этом также учитываются следующие положения [1–2]:

1) измерения наиболее ответственных параметров, определяющих работоспособность сооружения, следует дублировать для исключения возможности ошибок, применяя приборы различного принципа действия. Так, например, прогиб ферм, измеренный с помощью прогибомеров, целесообразно измерять также путем нивелирования;

2) к группам однотипных приборов добавляется контрольный прибор, находящийся в тех же условиях, но расположенный на элементе, не участвующем в работе сооружения. Изменение показателей контрольного прибора позволяет учесть влияние внешних факторов на результаты измерений и внести в них соответствующие поправки;

3) в то же время не следует без особой в этом необходимости увеличивать общее число устанавливаемых приборов, т.к. лишние приборы удлиняют время снятия отсчетов и, не принося особой пользы, усложняют проведение испытаний и обработку их результатов;

4) при прочих равных условиях приборы нужно устанавливать там, где измеряемые показатели достигают наибольших значений. Нецелесообразно ставить приборы в зоне "нулевых" отсчетов (например, тензометры вдоль нейтральной оси изгибаемого элемента), поскольку даже небольшие

погрешности измерений в данном случае будут сильно искажать получаемые результаты.

Схемы размещения приборов при измерении прогибов, углов поворота и деформаций с целью оценки одноосного, плоского и сложного напряженного состояний исследуемой расчетной среды показаны соответственно на рис. 4.52 – 4.54.

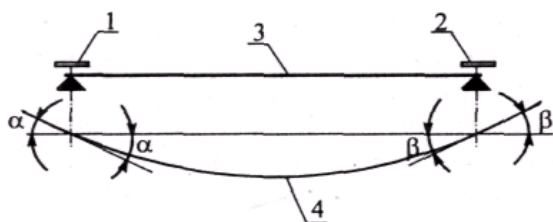


Рис. 4.52,а. Установка приборов для измерения углов наклона:
1, 2 – клинометры; 3 – начальное положение оси балки; 4 – упругая линия изогнутой оси балки

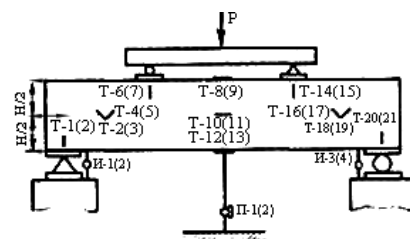


Рис. 4.52,б. Схема установки приборов на испытываемой балке:
Т – тензометры, И – индикаторы, П – прогибомер (цифрами обозначены номера приборов, в скобках – номера приборов, установленных с обратной стороны балки)

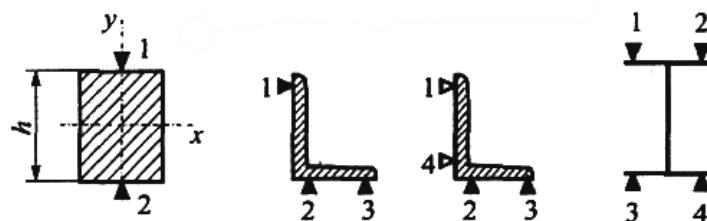


Рис. 4.53. Расстановка тензометров по периметру поперечного сечения стержней: 1 – 4 – тензометры, установленные перпендикулярно плоскости сечения

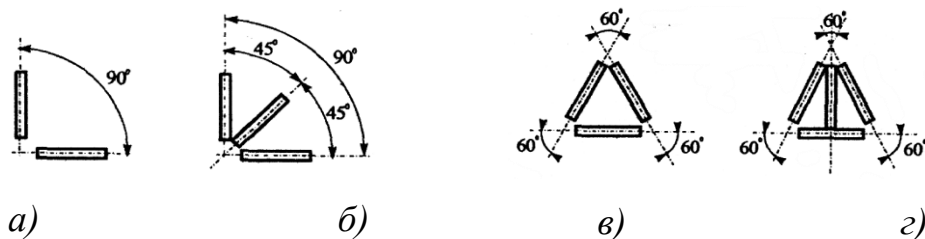


Рис. 4.54. Размещение тензорезисторов в двухмерном поле деформаций:
а – под углом 90; б – прямоугольная розетка; в – равноугольная дельта-розетка; г – Т – дельта-розетка

Измерение фибровых деформаций при оценке сложного напряженного состояния является наиболее сложной задачей, как в методическом, так и в экспериментальном плане, поскольку измерительные приборы должны быть расположены в толще материала и присутствие их не должно вызывать искажений поля напряжений в исследуемой точке. Направление деформаций в материале в общем случае неизвестно. Для определения величин главных деформаций (3 параметра) и их ориентации (также 3 параметра) требуется установка в зоне каждой исследуемой точки не менее шести приборов.

Целесообразно применять для этой цели (в крупных бетонных массивах) рассмотренные выше струнные тензометры, обеспечивающие в данных условиях получение наиболее надежных результатов.

Во время бетонирования важно сохранить заданную ориентацию устанавливаемых приборов, для чего тензометры крепят к легкому, но прочному каркасу арматурной проволокой. Рядом с каждой группой тензометров помещают контрольные приборы для исключения влияния изменений температуры, усадки бетона и других факторов, вносящих искажения в регистрируемые показания.

Приборы для измерения деформации (тензометры, деформометры) располагают в местах действия наибольших расчетных усилий и главных направлениях. Например, при испытании двутавровой балки на поперечный изгиб (рис. 4.52,б) деформации продольного направления измеряют на нижней и, если позволяет схема нагружения, на верхней гранях в середине пролета, где действует наибольший изгибающий момент, вызывающий наибольшие нормальные напряжения и соответствующие продольные деформации. Кроме того, в сечениях у опор, где возникает наибольшая поперечная сила, вызывающая касательные напряжения в середине высоты стенки, где касательные напряжения максимальны, а нормальные равны нулю, измеряют главные деформации

под 45° к оси балки.

Приборы для измерения перемещений (прогибомеры, индикаторы) располагают в местах наибольших прогибов от испытательной нагрузки, а для контроля – в местах, где по расчету прогиб равен нулю. Например, при испытании балки на поперечный изгиб прогибы измеряют в середине пролета и на обеих опорах. В каждом сечении приборы ставят, как правило, с двух сторон изделия, а при большой ширине, например в плитах в середине пролета, ставят три прибора – по краям и в центре. Все приборы должны быть установлены и замаркированы в соответствии со схемой и доступны для снятия отсчетов. Возможные небольшие отклонения от схемы установки приборов, связанные с неудобствами крепления или с наличием дефектов на поверхности изделия, должны быть согласованы с руководителем испытаний и помечены на схеме с указанием фактических размеров отклонения. При испытании следят за появлением и развитием трещин на поверхности бетона. При появлении трещин наиболее характерные и крупные маркируют и наносят на схему изделия с указанием их расстояния до характерных точек. Ширину трещин измеряют мерной лупой или микроскопом на каждой ступени нагрузки с погрешностью не более 0,1 мм. При первом измерении лупу, приложенную к поверхности бетона, обводят карандашом; при последующих измерениях лупу устанавливают точно на отмеченное место. Измерения записывают в специальную ведомость с указанием номера трещины в соответствии с маркировкой на изделии и на схеме [1–2].

Режим испытания и назначение величины испытательной нагрузки. При выборе режима испытания устанавливают: 1) требуемую интенсивность нагружения; 2) ступени приложения и снятия нагрузки; 3) продолжительность ее выдерживания на испытываемом объекте. Если сооружения или конструкции *после испытания должны быть переданы в эксплуатацию*, то испытание не должно ухудшать их состояния. В

процессе приложения и выдерживания нагрузки в испытываемом объекте не должны развиваться остаточные деформации и, тем более, нарушения сплошности, которые в обычных условиях эксплуатации не могли бы появиться.

Максимальная *испытательная нагрузка*, поэтому не должна выходить за установленный предел. Обычно за этот предел принимается расчетная нагрузка в наименее выгоднейшем ее положении, за исключением тех случаев, когда приложение испытательной нагрузки, превышающей расчетную, предусмотрено соответствующими техническими условиями. В качестве примера можно привести правила приемки стальных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов. Емкости, проверяемые на прочность, должны быть заполнены водой до расчетной отметки, а избыточное давление воздуха и вакуум в так называемом "газовом пространстве" резервуара (над залитой жидкостью) должны превышать проектные: избыточное давление на 25%, а вакуум, в зависимости от типа резервуаров, на 25...50%.

При испытаниях *опытных объектов*, передача которых в эксплуатацию не предусматривается, указанные выше ограничения отпадают, и максимум нагрузки назначается в зависимости от поставленной задачи. Если целью испытания является определение несущей способности или исследование условий появления местных повреждений (трещин, сколов и т.п.), то значения максимальной нагрузки уточняют непосредственно в процессе эксперимента в соответствии с его полученными промежуточными результатами. Однако до начала испытания этот максимум должен быть оценен ориентировочно для подсчета требуемой нагрузки. Последняя должна браться "с запасом" – во избежание задержек в ходе испытания в случае ее недостаточности.

Испытание железобетонных изделий серийного изготовления и отбор контрольных образцов проводятся следующим образом. При проверке на

прочность контрольная нагрузка принимается равной расчетной, умноженной на коэффициент, численные значения которого берутся от 1,4 до 2,0 в зависимости от типа конструкции, вида примененного бетона и характера ожидаемого разрушения. При проверке на жесткость контрольная нагрузка принимается равной *нормативной* в наименее выгоднейшем ее положении. При проверке на трещиностойкость – для изделий *первой* категории трещиностойкости нагрузка берётся равной 1,05 от *расчетной*, а для *второй* категории – 1,05 от *нормативной*.

Ступени нагружения. При их назначении исходят из того, что, с одной стороны, чем меньше каждая ступень, тем чаще в процессе нагружения могут быть взяты отсчеты по приборам. Графики исследуемых характеристик строятся, поэтому более четко (по большему числу точек), это особенно существенно при наличии нелинейной зависимости между нагрузкой и исследуемой характеристикой; с другой стороны, с уменьшением ступеней нагрузки возрастает их общее число, что делает процесс испытания более длительным и трудоемким. Учитывая эти положения, в каждом конкретном случае приходится находить оптимальное решение. Так, например, для контрольных испытаний образцов железобетонных изделий серийного изготовления соблюдаются следующие условия [1–2]:

- при проверке *прочности* конструкции ступени ("доли") нагрузки не должны превосходить 10% от ее контрольного (т. е. максимального) значения;

- при проверке *жесткости* конструкции ступени должны быть не более 20% от соответствующей контрольной;

- при проверке *трещиностойкости* элемента после приложения нагрузки, равной 90% от соответствующей контрольной, каждая последующая доля загрузки, вплоть до момента появления трещин в конструкции, должна составлять не более 5% контрольной.

Для облегчения обработки результатов испытаний последовательные ступени нагрузки должны быть по возможности одинаковыми. Начальную ступень нагружения конструкции следует брать небольшой (порядка 5%, но не более 10% от ожидаемой максимальной нагрузки), поскольку в начале формирования приложения усилий часть их идет на обмятие подкладок в опорах и под нагрузочными приспособлениями, вытяжку тяг и т.д. Для уменьшения этих потерь прибегают к повторным приложениям и снятиям начальной ступени нагружения. Такие повторные нагрузки полезны также и для проверки возвращения "на нуль" показаний установленных приборов.

При использовании подвижной нагрузки для той же цели делают *пробные обкатки*.

Разгрузка. Ступени разгрузки конструкции полезно брать такими же, как и ступени нагружения. Этим существенно облегчается сравнение "прямых" и "обратных" ходов показаний приборов. Однако для ускорения процесса испытания нередко приходится прибегать к сокращению числа ступеней разгрузки. Их следует тогда брать *кратными* ступеням нагружения, с тем, чтобы совпадение соответствующих точек прямого и обратного ходов все же сохранялось [1–2].

При повторных (циклических) загрузках конструкции нагрузка после каждого цикла должна сниматься не полностью, а доводиться до уровня первой (начальной) ступени. Этим обеспечивается необходимая жесткость испытания, поскольку все нагрузочные устройства остаются включенными. При полной же разгрузке конструкции не исключена возможность небольших перекосов и смещений нагрузочных устройств, что затрудняет сопоставление получаемых результатов. Для выяснения закономерности приращения перемещений и деформаций после приложения нагрузки обычно бывает достаточно выдержка: для металлических конструкций – от 15 до 30 мин; железобетонных

конструкций – около 24 ч; деревянных конструкций – от 12 ч до нескольких суток. Если перемещения и деформации в конструкции при постоянной нагрузке в указанные выше сроки не затухают, то время ее выдерживания удлиняется. Если замедления нарастания перемещений и деформаций не наблюдается, то испытываемый объект является негодным для эксплуатации в заданных условиях.

Для выборочных испытаний образцов железобетонных изделий серийного изготовления предусматривают *обязательную выдержку*:

- при *контрольных загрузках* на жесткость и трещиностойкость – не менее 30 мин;
- после каждой промежуточной *ступени загрузки* – не менее 10 мин.

Указания о длительности выдержки испытательной нагрузки имеются в ряде стандартов и нормативных документов. Так, например, при приемке стальных вертикальных цилиндрических резервуаров выдерживание их под гидростатическим давлением осуществляется для емкостей до 5000м³ включительно – не менее 24 ч, а свыше 10000м³ – не менее 72 ч.

Работы, выполняемые в процессе испытания. В ходе натурных и лабораторных испытаний строительных объектов или конструкций в обязательном порядке выполняется:

- предварительное загрузку испытываемого объекта;
- квалифицированная запись показаний приборов;
- визуальное наблюдение за техническим состоянием испытываемого объекта;
- строгое соблюдение правил техники безопасности при производстве статических испытаний обследуемого объекта.

Предварительное загрузку конструкции является начальным, *контрольным*, этапом испытания. На этом этапе проверяют:

- готовность и надлежащее действие всех подготовленных при-

способлений, в первую очередь нагрузочных;

- надежность крепления конструкции и правильность показаний установленных приборов;

- окончательно отрабатывают намеченный процесс проведения *испытания*.

Интенсивность предварительного загрузения конструкции принимают обычно равной первой ступени нагрузки, предусмотренной программой испытания.

Выявленные во время загрузения неудовлетворительно работающие приборы подлежат исправлению или замене. При этом может быть два случая.

1. Исследуется объект, неоднократно подвергавшийся действию внешней нагрузки. В этом случае нет оснований ожидать сколько-нибудь заметного изменения его состояния в результате еще одного загрузения перед началом испытаний. Показания всех установленных приборов должны были бы, следовательно, после предварительной нагрузки вернуться к своим первоначальным значениям. Невозвращение показаний может быть результатом:

- так называемой *обкатки*, т. е. небольшого вполне допустимого смещения "нуля" прибора при первом цикле загрузения. Прибор как бы прирабатывается к объекту и при следующих циклах дает надежные показания;

- дефектной установки (которая должна быть исправлена) или неудовлетворительного состояния самого прибора, подлежащего замене.

2. Исследуемый объект нагружается впервые. При первом нагружении сооружений и отдельных конструкций возможно появление остаточных перемещений и деформаций, обусловленных обмятием соединений и мест опирания, осадками нагружаемых опор, взаимными смещениями элементов и т.п. Невозвращение приборов на нуль после снятия первой

нагрузки не может при этом рассматриваться как показатель дефектности их установки.

Для выявления неудовлетворительно работающих приборов в данном случае требуется внимательное наблюдение за изменением показаний, как при приложении первой нагрузки, так и при постепенном ее снятии.

Запись показаний приборов должна производиться по возможности одновременно по всем установленным на конструкции приборам. Наилучшим образом это требование обеспечивается при автоматической регистрации показаний. При обычной записи число приборов, поручаемых каждому наблюдателю, должно быть по возможности небольшим. После записи показаний по всем приборам рекомендуется делать повторный отсчет по первому из них. Разность двух последовательных показаний дает важную для оценки результатов характеристику интенсивности развития пластических деформаций после каждой ступени нагружения. Помимо записи показаний приборов должны тщательно отмечаться время записи и условия проведения испытания (данные об изменениях температуры и других атмосферных факторов, случайные толчки и удары, воспринимаемые исследуемыми конструкциями, и т. п.), которые могут быть использованы при оценке получаемых результатов.

4.2.6. Обработка результатов статических испытаний

После испытаний конструкции для обработки результатов необходимы следующие документы: схема нагружения с указанием фактических стадий нагружения и возможных отклонений от программы испытаний и закрепления изделия при испытаниях; схема установки приборов; ведомости отсчетов по приборам, установленным на изделии, с указанием номеров приборов по схеме; схема расположения и ведомость измерения трещин; данные испытаний образцов для определения основных

деформационных характеристик материалов или данные испытаний материалов непосредственно в изделии методами неразрушающего контроля. При обработке ведомостей отсчетов для каждой ступени нагружения вычисляют разности между данным и нулевым отсчетами. Полученные приращения деформаций пересчитывают на напряжения по средним значениям деформационных характеристик с учетом тарировочных коэффициентов. Разности отсчетов по прогибам и ширине раскрытия трещин выражают в миллиметрах. Полученные значения измеряемых величин наносят на графики зависимости этих величин от нагрузки для каждого из прогибов. Данные полученных графиков используют при анализе результатов испытаний для построения эпюр напряжений, прогибов и других зависимостей, предусмотренных программой испытаний изделия. Характерные графики нарастания прогибов балки в процессе нагружения (рис. 4.55) строят по данным измерения перемещений в середине пролета (прогибомер П-1) и на опорах (индикатор И-1 на левой опоре и И-2 на правой). Там же показан график прогибов среднего сечения, полученный с учетом перемещения опор, по которому производится оценка жесткости конструкции [1–2].

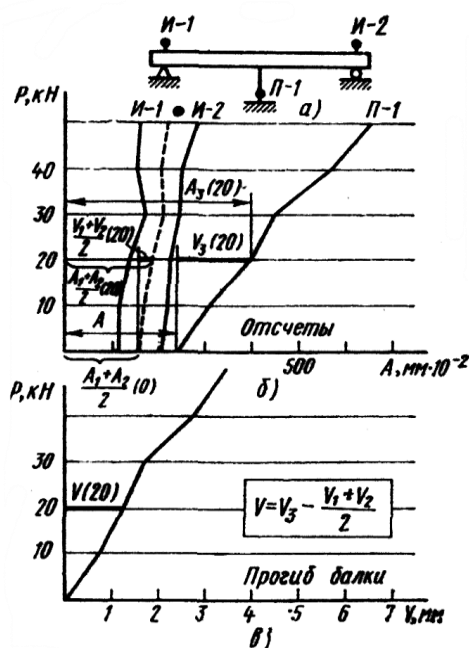


Рис. 4.55. Графическая обработка данных измерения прогибов: а – схема расположения прогибомеров, б – графики показаний прогибомеров и индикаторов, в – график прогибов балки

Визуальное наблюдение за техническим состоянием нагружаемого объекта необходимо для регистрации всех изменений, происходящих в конструкции в ходе испытания. При этом перед началом испытаний отмечают все трещины, сколы и другие повреждения, обнаруженные в элементах нагружаемых конструкций. После приложения каждой ступени нагрузки производится повторный их осмотр для выявления как вновь появляющихся повреждений, так и степени развития уже имеющихся. Для улучшения фиксации момента появления трещин в бетоне поверхности конструкции перед испытанием покрывают жидким раствором мела или извести. Отметки на поверхности элементов осуществляют нанесением краской тонкой черты рядом с каждой трещиной (но не поверх нее); аналогично с небольшим отступлением обводят контуры сколов и других повреждений. Концы трещин отмечают поперечным штрихом, рядом с которым пишут ступень нагрузки, соответствующую отмечаемой длине трещины. Совокупность таких отметок дает наглядную картину постепенного развития повреждений по мере роста испытательной нагрузки. Трещины заканчиваются обычно тонкими ("волосными") участками, границы которых иногда с трудом просматриваются. Полезно применять в этом случае лупу. Рекомендуется также смачивать поверхности у конца трещины быстро испаряющейся жидкостью (например, ацетоном): жидкость, попавшая в трещину, испаряется несколько позже, оттеняя, таким образом, предел ее распространения. Повреждения отмечают в специальных ведомостях, а также (что очень целесообразно) наносятся от руки с примерным соблюдением масштаба на форматках с вычерченной на них разверткой контролируемых деталей. Аналогично должны отмечаться и расхождения в швах и соединениях, искривления и взаимные сдвиги элементов и т. п.

В процессе загрузки и после окончания испытания необходима фотосъемка, особенно поврежденных мест. Снимки являются важным до-

кументальным подтверждением результатов испытания. Наличие серии таких фотографий значительно облегчает как обработку полученных данных, так и их оценку.

4.2.7. Определение напряженного состояния и силовых факторов в элементах мостов

По измеренным деформациям определяют напряжения и силовые факторы, действующие в сечении элемента. Рассмотрим это на примере поперечного сечения исследуемого элемента, в котором измерены фибровые деформации в точках 1, 2, 3 и 4 (рис. 4.56). Напряжения σ_1 , σ_2 , σ_3 , σ_4 определяют по измеренным относительным деформациям ε_1 , ε_2 , ε_3 , ε_4 . По геометрическим характеристикам сечения (F , I_x , I_y , x_1 , x_2 , x_3 , x_4 , y_1 , y_2) и зависимостям (согласно рис. 4.56) составляют систему уравнений [1–2]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 E = \sigma_1 &= \frac{N}{F} + \frac{M_x y_1}{I_x} - \frac{M_y x_1}{I_y}; \quad \varepsilon_2 E = \sigma_2 = \frac{N}{F} + \frac{M_x y_2}{I_x} - \frac{M_y x_2}{I_y}; \\ \varepsilon_3 E = \sigma_3 &= \frac{N}{F} + \frac{M_x y_3}{I_x} - \frac{M_y x_3}{I_y}; \quad \varepsilon_4 E = \sigma_4 = \frac{N}{F} + \frac{M_x y_4}{I_x} - \frac{M_y x_4}{I_y}; \end{aligned} \quad (4.45)$$

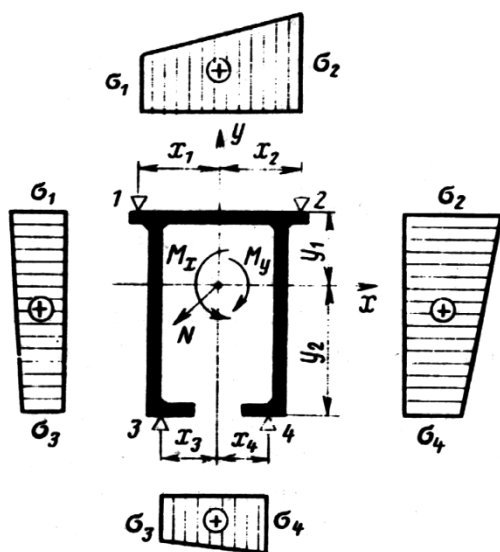


Рис. 4.56. Нормальные напряжения и силовые факторы в исследуемом сечении элемента

Решая эту систему, получим усилия N , M_x , M_y . Наличие в системе уравнений (12) четырех уравнений для определения трех неизвестных позволяет, кроме того, проверить точность произведенных измерений.

Для этого одни и те же усилия определяют решением различных групп

уравнений. Например, решив группу уравнений 1, 2 и 3, получим величины N_1 , M_{x1} , M_{y1} , а при решении группы уравнений 2, 3 и 4 – N_2 , M_{x2} , M_{y2} . Разница в величинах N_1 , M_{x1} , M_{y1} и N_2 , M_{x2} , M_{y2} позволяет судить о погрешностях, связанных с точностью измерения деформаций и влиянием таких факторов, как местные искривления, концентрация напряжений в зонах измерений деформаций, а также неучет влияния других силовых факторов, например крутящего момента и др. Для оценки погрешностей нужно увеличивать число точек измерения деформаций в сечении по сравнению с числом действующих силовых факторов.

4.2.8. Классификация пролетных строений по грузоподъемности (по результатам статических испытаний)

При статических испытаниях железобетонных балочных пролетных строений в случае отсутствия отслоений защитного слоя бетона и, следовательно, надежном сцеплении арматуры с бетоном можно допустить, что деформации, измеренные в бетоне растянутой зоны, будут близки и практически идеально совпадают с деформациями в растянутой рабочей арматуре. Поэтому измеренные деформации в бетоне могут трансформироваться в деформации арматуры с последующим их пересчетом в действующие усилия или напряжения от испытательной нагрузки. При повреждении рабочей арматуры коррозией и образовании вторичных продуктов Fe_2O_3 неизбежно отслоение защитного слоя и, следовательно, нарушение сцепления арматуры с бетоном. В таких случаях приборы следует устанавливать исключительно на стержни рабочей арматуры с предварительной их очисткой от коррозии в местах установки тензометров и удалением бетона защитного слоя. Измеренные в ходе испытаний величины прогибов от испытательной нагрузки $f_{\text{исп}}$ должны быть пересчитаны через приведенную жесткость $EI_{\text{пр}}$ в прогибы от

нормативной нагрузки, т. е. [18].

$$EI_{\text{пр}} = \frac{5ql_p^4}{384}, \quad (4.46)$$

где q – эквивалентная распределенная нагрузка от испытательной поездной нагрузки. Подставив в эту формулу значение нормативной нагрузки q^H , можно определить величину *нормативного прогиба* f^H от нормативной нагрузки, который и следует сравнивать с величиной, нормируемой п. 1.43 СНиП 2.05.03–84. В конечном итоге

$$f^H = \frac{q^H f_{\text{исп}}}{q} \leq \frac{1}{800 - 1,25l_p} l_p. \quad (4.47)$$

Аналогичным образом может быть определен прогиб от нормативной нагрузки и для металлических сплошных и сквозных ферм. Для грубой оценки несущей способности железобетонных пролетных строений, чего в практике в большинстве случаев бывает достаточно для принятия решения о режиме эксплуатации или о замене пролетного строения, можно использовать результаты, полученные при измерении напряженного состояния рабочей арматуры. Напряжения, вызванные постоянной нагрузкой, следует вычесть из расчетного сопротивления растянутой рабочей арматуры, и по оставшемуся ресурсу несущей способности арматуры можно определить величину допускаемой эквивалентной нагрузки, от которой легко перейти к установлению класса, т. е.

$$\frac{R_s - \sigma_{\text{II}}}{\sigma_{\text{II}}} = \frac{[k_{\text{ЭКВ}}]}{k_{\text{ЭКВ}}}, \quad \text{откуда} \quad [k_{\text{ЭКВ}}] = \frac{(R_s - \sigma_{\text{II}})k_{\text{ЭКВ}}}{\sigma_{\text{II}}}. \quad (4.48)$$

Класс пролетного строения

$$K = \frac{(R_s - \sigma_{\Pi})k_{\text{экв}}}{\sigma_{\text{н}}k_{\text{н}}(1 + \mu)}, \quad (4.49)$$

где σ_n и σ_u – напряжения в растянутой арматуре, вызванные соответственно постоянной и испытательной нагрузками; $k_{\text{экв}}$ – эквивалентная нагрузка от испытательной нагрузки; $k_{\text{н}}$ – эталонная временная нагрузка по схеме Н-1 [18]; $(1 + \mu)$ – динамический коэффициент, всегда определяемый для стальных пролетных строений по формуле

$$1 + \mu = 1 + \frac{27}{30 + \lambda}. \quad (4.50)$$

Эту формулу можно применять и для уточнения классов элементов сквозных и сплошностенчатых ферм. Для ферм, эксплуатируемых более 50 лет, в знаменатель формулы по определению класса при расчетах на прочность следует вводить коэффициенты, учитывающие структурные изменения в металле и накопление усталости. В конечном виде эта формула приобретает следующий вид:

$$K = \frac{(R_s - \sigma_{\Pi})}{mnk_{\text{н}}(1 + \mu)\sigma_{\text{н}}}, \quad (4.51)$$

где m – коэффициент, равный 1,15 и учитывающий накопление усталости в металле; n – коэффициент, равный 1,10 и учитывающий структурные изменения в материале пролетных строений. Полученные таким образом классы элементов целесообразно сравнить с результатами расчетов по методу классификации и это сравнение подвергнуть анализу.

4.3. Динамические испытания конструкций и мостов

4.3.1. Цели и задачи испытаний конструкций и мостов динамической нагрузкой

В соответствии с объектом, задачами и методикой эксперимента, можно выделить три группы испытаний динамической нагрузкой: испытание конструкций существующего сооружения; испытание строительных деталей серийного изготовления; научно-исследовательские испытания динамической нагрузкой.

Целью динамических испытаний являются:

- выявление величин динамических воздействий, создаваемых реальными подвижными нагрузками;
- определение основных динамических характеристик сооружения – частот и форм собственных колебаний, динамической жесткости сооружения, характеристик затухания колебаний.

При испытаниях конструкций обследуемых сооружений динамической нагрузкой исследования проводятся по двум направлениям: определяют реакцию конструкции на заданные воздействия с целью установления ее напряженно-деформированного состояния при динамических воздействиях; оценивают состояние конструкции и ее действительную схему работы, используя при этом динамические испытания в режиме собственных или вынужденных колебаний. Для строительных деталей серийного изготовления с помощью динамических испытаний проводится неразрушающий контроль качества готовой продукции.

Вопросы научного эксперимента при создании динамических нагрузок довольно разнообразны. Однако все они в той или иной степени сводятся к решению четырех главных задач:

- 1) исследование влияния динамической нагрузки на прочностные и деформативные характеристики строительных материалов;
- 2) экспериментальная проверка новой методики расчета конструкции на динамические воздействия;
- 3) исследование статистических параметров динамических воздействий;
- 4) совершенствование методики динамических испытаний.

Испытания натурных сооружений динамической эксплуатационной нагрузкой. Для определения динамических характеристик сооружений следует использовать подвижные, ударные, вибрационные, ветровые и другие нагрузки, способные вызвать появление устойчивых колебаний (в том числе свободных). Для динамических испытаний следует использовать тяжелые нагрузки, которые могут реально перемещаться по сооружению и способны при имеющихся неровностях пути или проезжей части вызвать появление в конструкциях колебаний, ударных воздействий, местных перегрузок и др.

При динамических испытаниях пешеходных мостов возбуждение собственных колебаний конструкций следует производить посредством раскачки, сбрасывания грузов, движения (ходьбы и бега) по мосту отдельных пешеходов или их групп и т. п. При возбуждении колебаний конструкции посредством ударов падающих грузов должны быть приняты меры, предохраняющие конструкцию от местных повреждений, путем устройства песчаных подушек или распределяющего настила. Места приложения возмущающих нагрузок, а также места измерения деформаций следует выбирать с учетом ожидаемых видов и форм колебаний.

Усилия в элементах от подвижной временной нагрузки при динамических испытаниях не должны превышать значений, приведенных выше. При испытаниях автодорожных и городских мостов в необходимых случаях (например, для выявления динамических характеристик

сооружения, для оценки влияния неровностей, возможных на проезжей части, и др.) динамическое воздействие подвижной нагрузки может усиливаться применением специальных мер – проездом автомобилей по искусственно созданным неровностям (например, доскам, уложенным поперек проезда). Возмущающие динамические силы в виде периодически повторяющихся импульсов могут быть созданы посредством проезда двухосного автомобиля по искусственно созданным неровностям, расстояние между которыми равно колесной базе автомобиля.

Для выявления характера работы сооружения в диапазоне возможных скоростей движения транспортных средств заезды испытательной нагрузки следует выполнять с различными скоростями. Рекомендуется выполнять не менее 10 заездов испытательной нагрузки на сооружение с разными скоростями. Заезды, при которых наблюдается повышенное динамическое воздействие, следует повторять. При динамических испытаниях, как правило, следует применять приборы, записывающие весь колебательный процесс (виброграмму), при обработке которой определяют характеристики колебательного движения: динамические прогибомеры, виброметры и вибрографы [1, 2].

При обследовании эксплуатируемых сооружений, на конструкции которых действует динамическая нагрузка, экспериментальные исследования, как правило, проводятся в условиях действия эксплуатационной нагрузки. Задача исследования предельно конкретна – зарегистрировать параметры, характеризующие работу конструкций под нагрузкой и сравнить их с допускаемыми. Сравнение экспериментальных значений динамических деформаций и перемещений с нормируемыми дает возможность проверить условия эксплуатации. В отличие от требований, предъявляемых к конструкциям, воспринимающим только статическую нагрузку, при исследовании динамики сооружения необходимо не только оценить его работу по предельным состояниям, но и проверить

соблюдение условий, специфических для эксплуатации конструкций, подверженных колебаниям.

Как известно, колебания оказывают на человека отрицательное воздействие и могут вызвать тяжелые физиологические расстройства. Нормативные документы устанавливают предельно допустимые значения параметров динамических колебаний (вибраций) вредных для человека. Основными критериями оценки вибраций являются их амплитуды и частоты. При установлении предельных величин динамических колебаний нормами учитывается также продолжительность их воздействия. Жесткие требования по допустимому уровню вибрации предъявляются к промышленным и гражданским зданиям, в которых используются оборудование и приборы, чувствительные к вибрациям. К ним относятся здания медицинских учреждений, промышленные сооружения оптико-механической и электронной отраслей и т. д. В этих зданиях необходимо проведение специальных мероприятий по уменьшению вибрации, которые могут быть успешно осуществлены только при наличии информации, полученной в ходе обследования с регистрацией параметров вибраций при динамических испытаниях эксплуатационной нагрузкой. Типичные, наиболее часто встречающиеся виды динамических воздействий, с которыми приходится сталкиваться при проведении обследований сооружений и при которых проводятся динамические испытания эксплуатационной нагрузкой:

- вибрационная нагрузка, создаваемая работой механизмов с неуравновешенной массой, например, от компрессоров, станков, грохотов, вибростолов и т. д;

- динамическая составляющая ветровой нагрузки, которая вводится в расчет высотных сооружений и многоэтажных зданий (мачты, дымовые трубы, многоэтажные здания высотой более 40 м и др.);

- ударная нагрузка от действия копров, молотов и т. д.;

– подвижная нагрузка от транспорта, мостовых кранов и т. д.

Классификация динамических нагрузок очень разнообразна. Динамические нагрузки могут быть детерминированными (неслучайными) и случайными. Детерминированные нагрузки могут быть полностью описаны законом их изменения во времени. Такие нагрузки возникают при работе механизмов с неуравновешенными массами электродвигателей и генераторов, вентиляторов и молотов, кривошипно-шатунных механизмов и пр. Для случайных нагрузок до проведения испытаний нельзя предсказать их конкретный характер, хотя при наборе представительной статистической информации можно выявить их определенные вероятностные характеристики. При рассмотрении стационарных случайных нагрузок, которыми в частности являются ветровые нагрузки на высотные сооружения, волновые нагрузки на морские основания для освоения континентального шельфа, необходимо знать либо функцию спектральной плотности $S(\omega)$, либо корреляционную функцию $K(\tau)$, которые связаны между собой прямым и обратным преобразованием Фурье

$$K(\tau) = \int_0^{\infty} S(\omega) \cos \omega \tau d\omega; \quad S(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} K(\tau) \cos \omega \tau d\tau. \quad (4.52)$$

Динамическая нагрузка может быть неподвижной и подвижной. К неподвижной – относятся воздействия на сооружения стационарно установленного оборудования, подвижной – воздействия на строительные конструкции кранов, электрокаров, подвижного состава, а также перемещение людей. По характеру изменения нагрузок во времени различают непериодические (рис. 4.57,а), импульсные (рис. 4.57,б), периодические (рис. 4.57,в), гармонические (рис. 1,г). Особый характер носит ударная нагрузка.

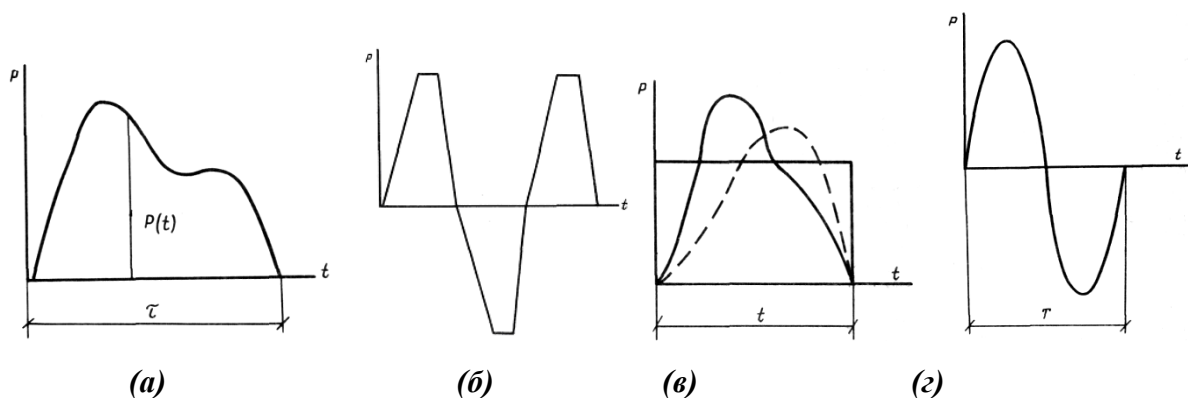


Рис. 4.57. Характерные типы динамических нагрузок

Примерами непериодической нагрузки может являться воздействие на строительные конструкции взрывных нагрузок, обусловленных взрывом ВВ, горением газовой смеси и т. д. В отдельных случаях такие нагрузки могут действовать относительно короткий промежуток времени. В этом случае становится несущественным характер распределения нагрузки во времени. Если время действия нагрузки τ подчинено неравенству $\tau < 0,1T$, где T – наибольший период собственных колебаний конструкции, то эффект оценивается значением величины действующего импульса J , которая определяется выражением [18]

$$J = \int_0^{\tau} P(t)dt. \quad (4.53)$$

Под ударной нагрузкой понимается воздействие на строительную конструкцию другой массы, когда необходимо учитывать взаимодействие двух, а иногда и более, соударяемых тел. В этом случае иногда возникает необходимость изучения местных явлений, протекающих вблизи точек соприкосновения, а также закономерностей распространения волновых колебаний.

Динамическим испытаниям эксплуатационной нагрузкой

предшествуют все операции первого этапа обследования и все подготовительные работы, связанные с проведением самих испытаний, за исключением работ по созданию испытательной нагрузки. Для того чтобы заключение по результатам испытания не носило формальный характер, требуется не только провести сравнение измеренных параметров с предельными, но и представить данные по оценке конструктивных динамических свойств сооружения. Для этого проводят пробные испытания ударной нагрузкой с регистрацией и последующей обработкой записи собственных колебаний конструкции. Это дает возможность уточнить расчетную схему конструкции, определить ее динамические упругие и неупругие характеристики, установить место наибольших динамических перемещений. Пробные испытания в режиме собственных колебаний могут быть проведены с использованием простейших приборов для записи колебаний.

В динамических испытаниях эксплуатационной нагрузкой используются более сложные приборы для получения и обработки информации. Планируя эксперимент, следует стремиться к минимальному числу используемых приборов и располагать их в наиболее ответственных сечениях. Для получения синхронной записи изменения динамических параметров во времени необходимо согласование работы измерительно-регистрационной аппаратуры.

В большинстве случаев оценка параметров вибраций проводится на основании сравнения их с предельно допустимыми из условий обеспечения нормальной жизнедеятельности людей и работы технологического оборудования, т. е. рассматриваются колебания низкого уровня, которые не оказывают влияния на несущую способность и трещиностойкость конструкций. В том случае, когда динамические перемещения и деформации велики, когда при обследовании обнаружены повреждения несущих элементов и в то же время отсутствуют ограничения на вибрации, связанные с обеспечением технологического режима, задачи

обследования значительно усложняются, потому что прочностные свойства конструкции определяются явлениями усталостного характера. Постепенное накопление повреждений, вызванное периодически повторяющимися нагрузками для различных материалов, проявляется по-разному: развитие одиночных усталостных трещин в металлических конструкциях (сосуды давления, мачты, опоры ЛЭП и т. д.); микро- и макротрещинообразование в железобетонных и каменных конструкциях (несущие конструкции открытых крановых эстакад, мосты, фундаменты копров, здания в сейсмических районах и т. д.). Оценка прочностных показателей конструкций возможна в этих случаях методами теории надежности с привлечением аппарата механики разрушения. Для этого проводится дополнительное обследование с целью определения вероятности безотказной работы конструкции в течение требуемого периода эксплуатации. Долговечность реальных конструкций, работающих в условиях многократно повторяющейся нагрузки, связана с выносливостью конкретного строительного материала и особенностями напряженно-деформированного состояния в исследуемой области конструкции. Достоверный прогноз безотказной работы конструкции может быть основан только на экспериментальных данных. Для металлических конструкций – это данные о деформациях в зоне концентрации напряжений при нагружении эксплуатационной нагрузкой, параметры усталостной трещины на момент обследования, прочностные характеристики материала (например, K_{1c} – критический коэффициент интенсивности напряжений). Эти данные позволяют определить статистические характеристики случайной величины скорости роста трещины и рассчитать вероятность безотказной работы.

Прогноз вероятности безотказной работы обследуемой железобетонной конструкции должен быть построен на опытных данных о характере деструкции бетона при испытаниях эксплуатационной

динамической нагрузкой; на информации о прочностных свойствах бетона, арматуры и ее сцепления с бетоном в условиях малоциклового нагружения. Для целого ряда железобетонных конструкций, работающих в условиях малоциклового нагружения, количественная оценка вероятности безотказной работы основана на анализе условий разрушения только бетона. Для этого за короткий период эксплуатации необходимо определить параметры изменения интенсивности микротрещинообразования в бетоне. В отличие от металлических конструкций, где малоцикловое нагружение приводит к распространению макротрещины, в бетоне многократно повторное нагружение вызывает микротрещинообразование и, следовательно, ослабление структуры, что на определенной стадии приводит к спонтанному росту магистральных макротрещин. Методика оценки остаточного ресурса бетонного элемента построена на определении с помощью акустических методов статистических параметров микротрещинообразования при эксплуатационном нагружении, проведении экспресс-испытаний на малоцикловое нагружение (при высоких уровнях максимальных напряжений) образцов бетона обследуемой конструкции, расчете по этим данным вероятности безотказной работы.

Помимо основной задачи – оценки опасности динамических воздействий – для сооружения при испытаниях реальных конструкций эксплуатационной нагрузкой изучаются также и статистические характеристики самих нагрузок. С этой целью проводятся специальные длительные экспериментальные исследования, в которых по реакции конструкции (перемещениям и деформациям) судят о характере воздействия. В качестве примера рассмотрим методику определения статистических характеристик режима нагружения подкрановых конструкций. Коэффициент надежности по нагрузке от мостовых кранов, назначаемый согласно нормативным документам, является окончательным

расчетным показателем, который определяется в результате статистического анализа данных о режимах нагружения. Значения этого коэффициента зависят от принимаемой вероятности безотказной работы конструкций. По своей структуре коэффициент надежности является функцией нескольких параметров, которые могут рассматриваться только как случайные величины. Это – масса грузов, частота их подъема и число проездов крана, положение крана и тележки относительно рассматриваемой конструкции, сочетание нагрузок от нескольких кранов.

4.3.2. Испытания конструкций и сооружений искусственно создаваемой вибрационной нагрузкой

В процессе вибрационных испытаний деформации и перемещения в различных точках конструкции изменяются во времени по гармоническому закону. Различают испытания в режиме *собственных и вынужденных колебаний*. Испытания в режиме собственных колебаний в натурных условиях воспроизводятся значительно проще. Однако использование результатов таких испытаний ограничивается возможностью создания и исследования одной, в лучшем случае, двух форм собственных колебаний, хотя для решения многих практических задач эта информация является вполне достаточной. Испытания в режиме вынужденных колебаний сложнее в исполнении, но ценнее, информативнее по своим результатам. Вынужденные колебания создаются в околорезонансных режимах и обеспечивают исследование различных форм колебаний, в том числе пространственных. Характерной особенностью резонансных испытаний является возможность создания больших динамических деформаций и перемещений в элементах конструкции. Если балку на двух опорах (рис. 4.58,*a*), изогнуть силой в середине пролета и отпустить, то она начнет совершать колебания около

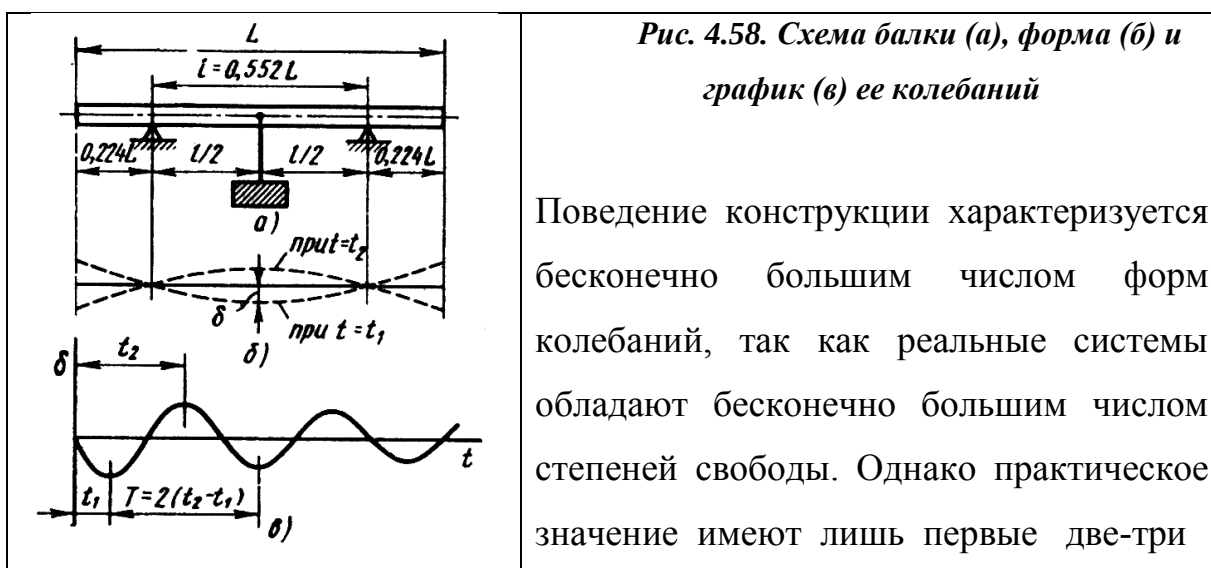
исходного (прямого) положения равновесия, изгибаясь то вверх, то вниз (рис. 4.58,б). Зависимость прогиба δ балки от времени t (рис. 3,в) имеет вид синусоиды с периодом T и амплитудой A . Величина A зависит от начального прогиба и с течением времени уменьшается за счет сил сопротивления в материале и других причин, т. е. колебания затухают. Однако период колебаний T практически не зависит от начального прогиба и не меняется во времени, т. е. полностью определяется свойствами материала, а также схемой и размерами балки. Для заданной схемы и размеров испытуемой конструкции можно получить (пользуясь теорией упругих колебаний) формулу зависимости между характеристиками периода свободных колебаний, жесткости и плотности материала. Свободные колебания характеризуются собственной частотой $f = 1/T$, а жесткость – модулем упругости E . В случае изгибающих колебаний балки формула для определения частоты имеет вид [1, 2]:

$$f = (ki / l^2) \cdot (E / \rho)^{1/2}, \quad (4.54)$$

где: k – коэффициент, зависящий от схемы опирания балки (для схемы на рис. 3,а – $k = 3,57$); i – радиус инерции сечения балки, м (для прямоугольного сечения высотой h радиус инерции $i = 0,289h$); l – полная длина балки, м; E – модуль упругости материала Н/м²; ρ – плотность материала, кг/м³. Измерив частоту колебаний образца, можно вычислить модуль упругости материала, если известна его плотность.

При натурных вибрационных испытаниях определяют следующие основные параметры: форму, частоту и декремент колебаний конструкции. При исследовании влияния вибраций на прочностные свойства материалов, элементов и соединений в качестве исходных параметров динамической нагрузки используют коэффициент асимметрии цикла, среднее и амплитудное значения цикла, выраженные в терминах

номинальных напряжений или реальных с учетом их концентрации.



формы, отвечающие по своим частотам характеристикам действующих нагрузок. На рис. 4.59,а,б показаны виброграммы, полученные в ходе резонансных испытаний с помощью вибромашины, установленной в четверти пролета балки на двух опорах.

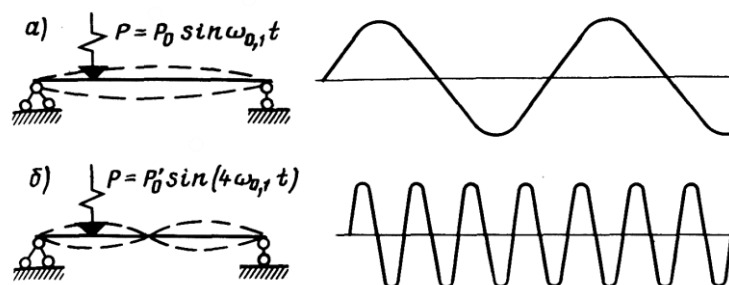


Рис. 4.59. Виброграммы динамических испытаний

Различные формы колебаний наблюдаются при совпадении частоты возмущающей силы с частотой собственных колебаний по соответствующей форме. Для изгибаемой шарнирно опертой балки отношение значений спектра частот соответствует показателю m^2 , где m – номер формы. Частота колебаний f_0 измеряется в Гц и связана с периодом колебаний T соотношением $f_0 = 1/T$. В ходе вибрационных испытаний решаются следующие задачи [1, 2]:

- определение динамического коэффициента для воздействий с известными динамическими характеристиками;
- определение состояния несущих конструкций эксплуатируемых сооружений;
- определение упругих динамических характеристик строительных материалов;
- неразрушающий заводской контроль качества строительных изделий;
- определение влияния циклического нагружения на снижение прочностных свойств материалов и конструкций (предел выносливости, малоцикловая усталость).

Испытания по определению динамического коэффициента установившихся вынужденных колебаний проводятся в случаях, когда на конструкцию предполагается установка агрегатов, создающих динамические воздействия. В паспорте агрегата указываются динамические характеристики: масса, амплитудное значение динамической силы, рабочая частота, время запуска и остановки двигателя. Для расчета динамического коэффициента помимо указанных параметров необходимо знать значения собственных частот несущих элементов конструкций и соответствующих этим частотам декрементов колебаний. Расчет конструкций на вибрационную нагрузку проводится с целью определения величины динамических перемещений и деформаций и последующей проверки соблюдения требований нормальной эксплуатации. Динамический коэффициент показывает, во сколько раз динамические перемещения и напряжения в системе с одной степенью свободы отличаются от статических, рассчитанных на действие амплитудного значения динамической силы. С учетом неупругих сопротивлений коэффициент динамичности определяется по формуле

$$k_d = 1/\sqrt{(1-\beta^2)^2 + \delta^2 \beta^2 / \pi^2}, \quad (4.55)$$

где $\beta = \theta/\omega_0$ – отношение круговой частоты возмущающей силы к круговой частоте собственных колебаний конструкции.

Для определения коэффициента динамичности необходимо найти в результате вибрационных испытаний частоту и декремент собственных колебаний. Следует отметить, что значение декремента колебаний зависит от частоты и амплитуды вибраций, поэтому динамические испытания рекомендуется проводить в условиях, максимально приближенных к реальным. В этом смысле испытания в резонансном режиме являются предпочтительными.

По результатам вибрационных испытаний проводится расчет динамических напряжений и перемещений конструкций на действие вибрационной нагрузки от предусмотренного проектом оборудования. Если рассчитанные параметры окажутся выше допускаемых, необходимо разработать инженерное решение по улучшению динамических характеристик конструкции.

Для снижения уровня вибрации конструкции возможны два варианта решения, которые могут быть осуществлены путем изменения параметров динамической нагрузки на конструкцию и изменения параметров самой конструкции. Для реализации первого варианта решения существуют следующие способы:

- изменение частоты динамической нагрузки;
- изменение проектного положения агрегата на перекрытии (при вертикальной динамической нагрузке размещать агрегат следует у опор перекрытия, при горизонтальной нагрузке – вдоль балок перекрытия);
- динамическая балансировка вращающейся части механизма со смещенным относительно оси вращения центром массы (осуществляется за-

креплением дополнительной массы на вращающейся части для полного или частичного погашения динамического усилия); активная виброизоляция агрегата путем уменьшения динамической составляющей воздействия на перекрытие.

Изменение параметров конструкции для реализации второго варианта решения проводится с учетом влияния этих параметров на частоты свободных колебаний и вывода системы из резонансной области при воздействии гармонической динамической нагрузки. Влияние на частоту свободных колебаний конструкций обеспечивается:

- изменением ее конструктивной схемы, т. е. введением связей, пересмотром конструктивного решения опорных узлов, уменьшением пролета при введении дополнительных опор;
- изменением жесткости конструкции за счет трансформации поперечного сечения элементов;
- устройством постаментов под агрегат, который в зависимости от необходимого уменьшения или увеличения частоты может быть запроектирован массивным без прочной связи с конструкцией, легким и жестким, прочно прикрепленным к перекрытию.

Динамические испытания строительных изделий в режиме собственных или вынужденных колебаний являются одним из составных элементов комплексного неразрушающего контроля качества заводской продукции. Наиболее широкое применение получили вибрационные испытания на заводах сборного железобетона, проводимые для контроля качества изгибаемых конструкций, в том числе и предварительно напряженных. Оценка прочностных и деформативных показателей конструкции основана на предварительно выявленных статистических зависимостях указанных характеристик с параметрами неразрушающих вибрационных, ультразвуковых, магнитных методов. Эти зависимости носят название градуировочных и строятся по результатам серии испытаний статической

нагрузкой и неразрушающим методом. Следует отметить, что косвенный неразрушающий контроль прочности, жесткости и трещиностойкости сборных железобетонных элементов может относиться либо к определенным зонам объекта исследования, либо ко всему объекту в целом. При вибрационных испытаниях измеренный параметр является обобщающей характеристикой сопротивления конструкции. В связи с этим, для получения градуировочных зависимостей вибрационного метода требуется проведение статических испытаний конструкции в целом, тогда как аналогичная зависимость ультразвукового метода строится по результатам испытаний образцов бетона. Методика заводского вибрационного контроля предполагает проведение серии предварительных градуировочных испытаний десяти изделий из партии. В дальнейшем неразрушающий контроль изделий может быть выборочным или сплошным.

Принципиальная схема методики резонансных испытаний заводских изделий не отличается от схемы испытаний образцов и натурных конструкций в режиме вынужденных колебаний. Вместе с тем, необходимо обратить внимание на наличие некоторых характерных особенностей динамических испытаний в заводских условиях. Для массового контроля качества изделий сборного железобетона необходимы специальные автоматизированные установки – стенды, позволяющие возбуждать колебания основного тона в массивных конструкциях. При резонансных испытаниях образцов в равной степени используются продольные, крутильные и изгибные колебания. В испытаниях заводских конструкций реализуется схема изгибных колебаний. Информативными параметрами неразрушающего заводского вибрационного контроля качества являются собственная частота колебаний железобетонного элемента и декремент колебаний. При резонансных испытаниях натурных сооружений и образцов строительного материала в качестве

контролируемого параметра используется, как правило, частота колебаний основного тона. Декремент колебаний является характеристикой неупругих свойств исследуемого объекта. Он зависит не только от потерь энергии колебаний в конструкции или образце, но и от трения на опорах и сопротивления внешней среды.

При динамическом испытании эксплуатируемых сооружений, например, до и после сейсмического нагружения, значение декремента изменяется существенно. Большой разброс значений декремента затрудняет количественную оценку повреждений конструкции, что обуславливается существенным и неоднозначным вкладом в общие потери энергии колебаний трения в узлах сопряжения конструктивных элементов. При проведении заводских вибрационных испытаний потери на опорах и на преодоление сопротивления внешней среды можно принять постоянными, так как обеспечивается создание стабильных условий испытаний для железобетонных конструкций одного типа. При этом различия в потерях энергии в конструкции определяются степенью поврежденности элемента (трещины в бетоне, в зоне контакта бетона с арматурой). Таким образом, низкое качество изготовления изделия, нарушения в технологии находят свое отражение в увеличении декремента колебаний.

Для контроля качества сборных железобетонных конструкций используются также и испытания в режиме свободных колебаний. На рис. 4.60 представлена схема проведения вибрационных испытаний железобетонной предварительно напряженной ребристой плиты 1. Для возбуждения колебаний используется ударное устройство 2, создающее фибровые напряжения в бетоне не менее 5% от предельных. Механические колебания преобразуются датчиками 3 в электрический сигнал, который подается на регистрирующий прибор 5. Питание осуществляется через стабилизатор 7 и выпрямитель 6. Значения частоты и декремента

определяются по осциллограммам свободных колебаний.

В отдельную группу динамических испытаний следует выделить вибрационные испытания на усталость. Динамические испытания при повторно-переменной нагрузке с заданной асимметрией цикла проводят с целью определения предела выносливости, условий разрушения в результате малоциклового усталости. Условия разрушения исследуемого элемента в результате малоциклового усталости материала выражаются семейством кривых, построенных в координатах «максимальные напряжения – число циклов до разрушения». Предел выносливости является частным случаем для этих зависимостей и представляет собой максимальные напряжения при 2×10^6 и более циклах нагружения [1, 2].

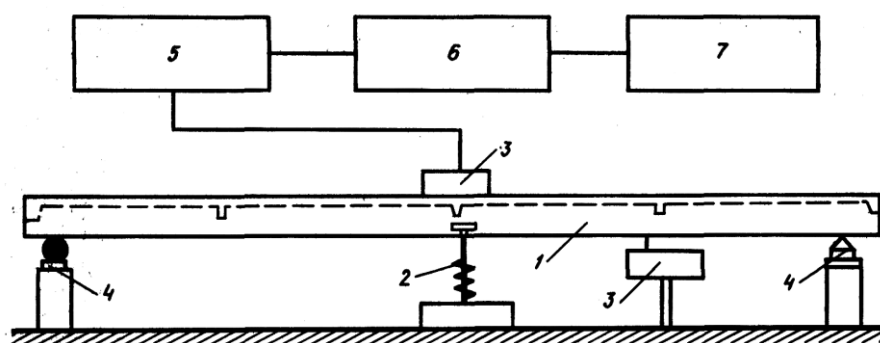


Рис. 4.60. Схема вибрационных испытаний сборной предварительно напряженной плиты в режиме свободных колебаний

Разрушение металлов при циклическом воздействии носит ярко выраженный локальный характер и происходит в три стадии: образование усталостной трещины, устойчивое ее развитие, разрушение элемента с трещиной критической длины. Для бетонных и каменных элементов характерны также три стадии усталостного разрушения, однако, развитие макротрещин происходит в результате накопления повреждений во всем рабочем объеме. Для аналитического описания процесса усталостного разрушения используется аппарат механики разрушения и теории

вероятностей, характеризуемый соответствующими параметрами: длина трещины, коэффициент концентрации напряжений, скорость роста трещины, статистические параметры нагрузок, материала, напряжений в зоне концентрации, количество микротрещин в единице объема и т. д. Эти параметры контролируются при проведении вибрационных испытаний на усталость. Усталостные испытания в большом объеме проводятся на образцах материала, фрагментах и узлах конструкции. Испытания на усталость являются наиболее трудоемким и сложным видом динамических испытаний. Рассматривая многообразие задач и факторов, можно предложить следующий перечень возможных вариантов усталостных испытаний, выстроенных по степени усложнения методики эксперимента:

- испытания гладких образцов строительных материалов;
- испытания образцов с концентраторами напряжений, исследование условий зарождения усталостной трещины;
- испытания стандартных образцов с трещиной;
- испытание фрагментов конструкций и узлов в сложнапряженном состоянии с учетом остаточных напряжений;
- испытание фрагментов конструкций с учетом температуры среды;
- испытания на случайные повторно-переменные нагрузки.

Динамические испытания при кратковременном силовом воздействии. Экспериментальная оценка работы конструкций при кратковременных динамических нагрузках большой интенсивности предполагает решение следующих задач:

- определение влияния скорости деформирования на прочностные и реологические свойства строительных материалов;
- исследование влияния параметров импульса нагрузки (длительность, форма, максимальное значение) на кинетику напряженно-деформированного состояния, перераспределение усилий при появлении и развитии неупругих деформаций, на трещиностойкость и несущую

способность конструкции;

– исследование совместной работы конструктивных элементов сооружения и основания при импульсном воздействии.

Как показали результаты многочисленных лабораторных испытаний, прочностные и деформативные свойства строительных материалов существенным образом зависят от скорости нагружения. Прочность бетона может увеличиваться до 80% при возрастании скорости деформирования. Модуль упругости возрастает до 30%. Значительно, более чем в 2,5 раза, может возрасти трещиностойкость бетона при переходе от статического к импульсному нагружению. Точное значение соответствующих коэффициентов динамического упрочнения бетона зависит от структуры бетона, вида напряженного состояния и скорости нагружения.

При высоких скоростях нагружения изменяются прочностные и деформативные характеристики конструкционных сталей и сплавов. Так, для малоуглеродистой стали при скорости деформирования 10^3 с предел текучести увеличивается приблизительно в 3 раза, а прочность возрастает на 40%. Для арматурных сталей увеличение временного сопротивления и предела текучести составляет соответственно 20 и 90%. Менее изучены динамические прочностные и деформативные свойства каменных материалов, пластмасс и алюминиевых сплавов. Однако и для этих конструкционных материалов отмечается увеличение прочности и изменение диаграммы деформирования при переходе от статического к высокоскоростному деформированию.

Необходимо отметить, что учет влияния изменения прочностных и реологических свойств конструкционных материалов при высокоскоростном деформировании в расчетах на кратковременные динамические нагрузки позволяет получить существенную экономию материала. Объясняется это тем, что для однократных воздействий допускаются значительные пластические деформации, а именно до этой

стадии работы материала отмечается улучшение его механических свойств.

Испытание образцов на ударное сжатие и растяжение проводится, как правило, на вертикальных копровых установках. Методика ударных испытаний должна учитывать ряд специфических особенностей высокоскоростного деформирования. К ним относятся: волновой характер распространения деформаций и напряжений, и, следовательно, неоднородное по высоте образца напряженно-деформированное состояние; большой градиент локализованных пластических деформаций, скорость развития пластических деформаций и скорость развития микро- и макротрещин. При назначении расчетных прочностных характеристик материала по результатам ударных испытаний необходимо учитывать, что полученные данные могут быть использованы для конструкций без концентраторов напряжений. При наличии в конструкции концентрации напряжений (сварные швы, отверстия и т. д.) или при появлении концентраторов (типа трещин) результаты испытаний гладких образцов должны быть дополнены испытаниями на ударное нагружение образцов с соответствующим концентратором напряжений. В результате дополнительных испытаний должна быть дана количественная оценка возможного снижения прочности элемента конструкции, вызванного увеличением хрупкости металлов при высокоскоростном деформировании.

Рассмотренные специфические особенности измерения высокоскоростных процессов деформирования усложняют технику проведения эксперимента. Технические трудности проявляются даже в опытах на образцах (при регистрации скоростей роста трещины в бетоне с помощью тензорезисторов последовательного обрыва, при определении максимальной величины пластических деформаций в зоне с высоким их градиентом, при построении динамической диаграммы $\sigma - \varepsilon$ с учетом различия в скоростях распространения упругой и пластической волны).

При испытаниях конструкций кратковременной нагрузкой большой интенсивности обнаруживаются дополнительные трудности в процессе регистрации и расшифровки результатов. Вызвано это необходимостью синхронной записи и последующего анализа упругопластических деформаций в нескольких удаленных друг от друга зонах объекта. В связи с этим, количество проведенных испытаний конструкций на ударную нагрузку является весьма ограниченным в связи с недостаточно отработанной методикой таких испытаний.

Опыты по оценке работы конструкций при импульсном нагружении относятся в настоящее время к области научного эксперимента, как в методическом, так и теоретическом аспектах. В этих исследованиях изучаются вопросы, связанные с формированием предельных состояний несущих элементов конструкций при ударе, с учетом их взаимного влияния и взаимодействия с грунтом основания. Ударные испытания часто проводятся на отдельных фрагментах сооружения, включающих один-два конструктивных элемента, например: ригель на жестких опорах, плита перекрытия – ригель; ригель – колонны; ригель – опора – основание и т. д. В этих испытаниях определяются деформации и перемещения в опасных сечениях, оцениваются динамические реакции и инерционные силы, возникающие при совместных абсолютных и относительных перемещениях двух несущих элементов в упругой и упругопластической стадиях деформирования. Результаты таких испытаний являются составной частью экспериментально-теоретических исследований работы конструкций сооружений при ударных воздействиях. Необходимо отметить, что несмотря на существование общих подходов к методикам проведения натурных испытаний, каждый конкретный эксперимент всегда индивидуален. Повторить опыт в строгом и точном соблюдении всех деталей невозможно, так как каждое новое испытание – это и новая более совершенная ступень в развитии методики, техники и объекта испытаний.

Поэтому не может быть универсальных рекомендаций, пригодных для всех случаев испытаний. От исследователя–экспериментатора всегда требуется проявление элементов творчества. Если пример расчета строительной конструкции служит детальным руководством для инженера, то пример испытания конструкции должен иллюстрировать экспериментальный поиск, совершенствование методики. Каждое конкретное испытание конструкции следует рассматривать как предмет детального изучения, который в методическом плане можно и должно изменять к лучшему. Примером таких рациональных научно обоснованных изменений в методике, позволяющих не только усовершенствовать технику инструментального контроля состояния, но и улучшить эксплуатационные характеристики объекта, является опыт развития методики приемочных испытаний сосудов давления. Проведенная с этой целью экспериментальная работа интересна еще и тем, что результаты ее, имеющие большое практическое значение, могут быть получены благодаря комплексному использованию современной усовершенствованной методики статических, динамических и акустических натурных испытаний.

4.3.3. Оценка и анализ результатов испытаний, их практическая применимость

В практике испытаний мостов период и частоту свободных колебаний определяют по *виброграммам*, записанным вибрографом Гейгера, или осциллограммам. Применение в качестве регистрирующего прибора вибрографа Гейгера позволяет обойтись без громоздкого кабельного хозяйства, источника электрического тока, упростить монтаж прибора на исследуемую конструкцию и в целом сократить время на подготовительные работы. Виброграммы представляют собой

графическую зависимость характера колебаний исследуемой конструкции во времени. Для определения амплитуды колебаний виброграммы могут не иметь отметок времени. Во всех остальных случаях для определения периода, частоты и характера сложных колебаний двух-трех тонов и усложненных гармониками необходима фиксация масштабов времени [18].

При простых колебаниях одного тона, которые обычно можно наблюдать от одиночных нагрузок при идеальном состоянии мостового полотна и пути на мосту, конструкция испытывает воздействие одной возбуждающей силы. При сложных колебаниях нескольких тонов, что на практике встречается значительно чаще, возникают периодические импульсы разных частот, поэтому сложное колебание следует рассматривать как совокупность простых, имеющих разные частоты. Чтобы решать задачи, связанные с определением динамических характеристик исследуемой конструкции по виброграммам, их необходимо расшифровать. Для этого достаточно сделать масштабные замеры по записанным виброграммам и установить скорость протяжки ленты.

Внешний вид и конфигурация виброграмм представляют собой характер динамических процессов, происходящих в исследуемой конструкции, которые можно сразу приближенно оценить. Если амплитуда колебаний имеет выраженные резкие изменения, это свидетельствует о воздействии сил ударного характера. Отсутствие резких изменений амплитуды указывает на стабильность интенсивности динамической нагрузки. Проявления резонанса характеризуются резким нарастанием амплитуды с сохранением экстремума на протяжении участка времени. При многотонных колебаниях, которые хорошо просматриваются в моменты затухания после схода нагрузки, кроме колебаний основного тона, практически всегда фиксируются колебания высших тонов или, как их еще называют, гармоники.

Определение периода и частоты вынужденных колебаний. Период

колебаний измеряется временем в секундах, необходимым для совершения одного полного колебания, а частота определяет количество полных колебаний, совершаемых конструкцией за одну секунду. Эти параметры вычисляются по виброграммам следующим образом. Первоначально устанавливают скорость движения регистрирующей ленты, мм/с:

$$v = l/t, \quad (4.56)$$

где l – расстояние между отметками времени на виброграмме, мм; t – интервал времени, с, за который лентой пройдено расстояние l . Длина записи, мм, соответствующая одному полному колебанию,

$$\lambda = L/n, \quad (4.57)$$

где L – длина записи, на которой произошли n полных колебаний. Тогда искомый период $T = \lambda/V$ (в секундах), а частота колебаний $f = 1/T$ (в герцах).

Определение амплитуды колебаний. По виброграммам, записанным вибрографом Гейгера, амплитуду колебаний определяют достаточно просто, так как толщина линий, рисуемых самописцем, незначительна и не создает погрешностей и искажений при измерениях. Определение амплитуды сводится к измерению расстояния между положительной и отрицательной вершинами полуволн, после чего полученное значение делится пополам. Это и будет амплитудой. Для более точного определения значения амплитуды при проведении испытаний следует использовать максимально возможное увеличение показаний прибора. Масштаб записи колебаний обязательно необходимо учитывать при обработке полевых материалов.

Экспериментальное определение частоты собственных

колебаний. Частота собственных колебаний является определяющим фактором для принятия решения о пригодности конструкции к дальнейшей эксплуатации, необходимости ее усиления или реконструкции и назначении эксплуатационных режимов по скоростям и осевым нагрузкам.

Существует несколько способов определения частоты собственных колебаний: – способ *мгновенного приложения нагрузки* или удара для получения затухающих колебаний; – способ *резонанса*, который предусматривает использование вибромашин с доведением конструкции до эффекта резонанса. При этом частота возмущающих колебаний вибронагрузки при достижении эффекта резонанса и будет частотой собственных колебаний; – способ *получения затухающих колебаний* от поездной нагрузки. Это наиболее часто применяемый метод в практике динамических испытаний железнодорожных мостов. После пропуска серии поездных нагрузок и записи виброграмм затухающих колебаний на них выбираются фрагменты с одинаковой амплитудой и частотой. Эти участки и будут собственными колебаниями. Их анализ, определение T и f производят по вышеизложенной методике (рис. 4.61).

3.3.4. Определение динамического коэффициента

В максимально упрощенном виде определение динамического коэффициента сводится к нахождению отношения прогиба от испытательной нагрузки, пропускаемой по сооружению в эксплуатационном режиме, к статическому прогибу. Наибольшую ординату деформации принимают в качестве максимального динамического воздействия. *Экспериментальное значение* динамического коэффициента определяют по формуле [18]

$$1 + \mu = \frac{y_{\text{дин}}}{y_{\text{ст}}}, \quad (4.58)$$

где $y_{\text{дин}}$ и $y_{\text{ст}}$ – соответственно прогибы от динамической и статической нагрузок. Для определения динамического коэффициента в практике исследования мостовых сооружений применяется несколько способов. Наиболее точные значения динамического коэффициента можно получить, измеряя статический прогиб при неоднократном загрузении пролетного строения статической нагрузкой или измеряя на виброграмме максимальную ординату $y_{\text{ст}}$ при очень медленном движении по мосту испытательного поезда. Динамический прогиб $y_{\text{дин}}$ измеряют на ряде диаграмм, отражающих движение испытательной нагрузки с различными скоростями (рисунок 4.62).

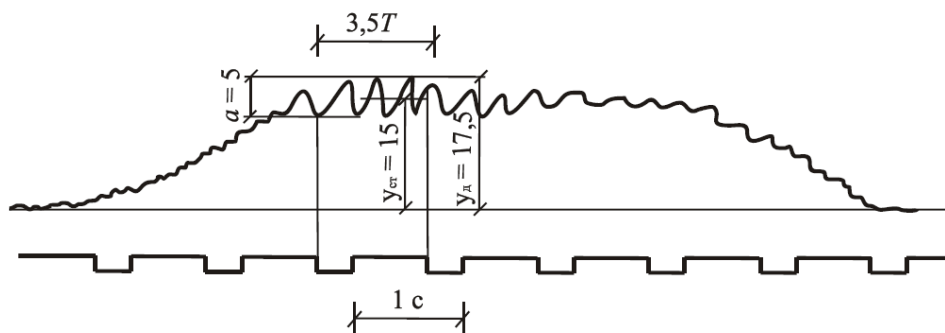


Рисунок 4.62. Образец виброграммы вертикального прогиба фермы в середине пролета. Определение по диаграмме динамического коэффициента и периода вынужденных колебаний

В случае испытания пролетных строений под проходящими поездами значения статических и динамических прогибов можно получить по записанным виброграммам. Для этого по вершинам экспериментальных кривых прогибов проводятся огибающие, при этом максимальной амплитудой, измеренной от нулевой линии, будет являться $y_{\text{дин}}$, а амплитуда, измеренная до середины между огибающими, принимается за $y_{\text{ст}}$. Метод определения динамического коэффициента под

обращающимися нагрузками дает много погрешностей, поэтому его применяют в случаях наличия интенсивного движения и при отсутствии возможности получения технологических «окон» для проведения испытаний.

Следует отметить, что при движении по мостам поездных нагрузок со скоростью 60 км/ч и ниже их динамические воздействия на конструкции пролетных строений и опор в значительной мере снижаются, что подтверждают материалы исследований, проведенных лабораториями специализированных институтов. Опытные данные по определению динамического коэффициента для металлического пролетного строения длиной 23 м и железобетонного длиной 4,7 м свидетельствуют о том, что при увеличении скорости нагрузок максимальные значения динамического коэффициента возрастают по закону, близкому к линейному. При испытаниях мостов имели место случаи, когда динамический коэффициент, полученный опытным путем, оказывался выше нормативного. В таких случаях испытательная нагрузка была значительно ниже расчетной, что и послужило причиной получения высоких значений динамических коэффициентов.

Из отечественного и зарубежного опыта испытаний мостов, в частности изучения динамических коэффициентов, следует, что нельзя установить какую-либо закономерность влияния характера тяги и характера езды (балласт, езда на поперечинах или железобетонных плитах) на максимальную величину динамических коэффициентов. Поэтому в случае необходимости принятия решений о возможности увеличения осевых нагрузок от новых типов локомотивов и изменении скоростных режимов обращающихся нагрузок необходимо проводить динамические исследования пролетных строений мостов применительно к конкретной железнодорожной линии.

4.3.5. Обработка опытных данных

Анализ и обработка полевых материалов, полученных при проведении динамических испытаний, позволяют установить динамические характеристики испытанных сооружений и характер воздействия на них динамических нагрузок. Частоту свободных вертикальных колебаний пролетных строений с достаточной точностью можно определить, зная величину статического прогиба, по формуле

$$\gamma = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{y_{\text{ст}}}}, \quad (4.59)$$

где g – ускорение свободного падения. При этом период свободных колебаний определится как величина, обратная частоте, т. е.

$$T = \frac{1}{\gamma}. \quad (4.60)$$

Зная величину прогиба пролетного строения и нагрузку, вызвавшую его, можно определить характеристику жесткости сооружения:

$$C = \frac{\sum P_i \left(3 \frac{x_i}{l} + 4 \frac{x_i^3}{l^3} \right)}{y_{\text{ст}}}. \quad (4.61)$$

Эта формула получена путем приведения системы сосредоточенных сил от испытательной нагрузки к одной силе, расположенной в середине пролета. Характеристикой жесткости для балочных пролетных строений,

колебания которых осуществляются по одной полуволне, является сосредоточенная сила, которая, будучи приложенной в середине пролета, вызывает в этой точке прогиб, равный 1 см. На практике для балочных пролетных строений при определении периода свободных колебаний удобно пользоваться выражением

$$T = 0,177 \sqrt{\frac{p}{\kappa}} y_{\text{ст}} , \quad (4.62)$$

где p — интенсивность постоянной нагрузки; κ — интенсивность временной нагрузки, принятой равномерно распределенной; $y_{\text{ст}}$ — статический прогиб, измеренный в середине пролета. При испытаниях малых пролетных строений, период свободных колебаний которых обычно не превышает 0,08–0,09 с, на виброграммах наблюдаются явно выраженные пики, вызываемые ударами колес. За этими пиками следуют быстро затухающие колебания, частота которых соответствует частоте свободных колебаний пролетного строения. Эта характеристика может быть принята для осуществления дальнейших камеральных расчетов. Анализ многочисленных и многолетних исследований, проводившихся на металлических пролетных строениях железнодорожных мостов, позволил к середине прошлого века получить экспериментально-теоретические формулы для определения периодов собственных вертикальных колебаний:

$$T = 0,9 \sqrt{\frac{\sigma_p}{E}} \frac{l}{\sqrt{h}} ; \quad (4.63)$$

$$T = 0,9 \sqrt{\frac{[\sigma]}{E} \frac{p}{p + \kappa}} \frac{l}{\sqrt{h}} , \quad (4.64)$$

где 0,9 – характеристика пропорциональности, имеющая размерность с/м^{0,5}, полученная на основании обработки многочисленных опытных данных по пролетным строениям железнодорожных мостов; σ_p – среднее расчетное (по площади нетто) напряжение, возникающее в поясах главных ферм в середине пролета от постоянной нагрузки; E – модуль упругости материала, размерность которого берется такой же, как σ_p и $[\sigma]$; l – расчетный пролет, м; h – расчетная высота главных ферм в середине пролета, м; $[\sigma]$ – расчетное допускаемое напряжение по нормам проектирования; p – средняя интенсивность постоянной нагрузки для пролетного строения; k – расчетная эквивалентная нагрузка для середины пролета с учетом динамического коэффициента, если он вводился в расчет при проектировании пролетного строения (размерность k должна быть такой же, как p). Сопоставление опытных значений периодов с вычисленными по вышеприведенным формулам свидетельствует об их достаточно высокой точности. Сравнение результатов опытов и теоретических расчетов представлено в табл. 3.1.

Формулы (4.63) и (4.64) следует использовать при определении **периодов собственных вертикальных колебаний** мостов, запроектированных по методике допускаемых напряжений. Ими, с некоторой корректировкой, можно пользоваться и для мостов, запроектированных по методике предельных состояний СН 200–62. В этом случае формула (6) приобретает вид

$$T = 0,9 \sqrt{\frac{R_0}{E} \frac{p}{p^* + k^*} \frac{l}{\sqrt{h}}}, \quad (4.65)$$

где R_0 – расчетное сопротивление материала поясов при действии

осевых сил; p^* и κ^* – соответственно постоянная и временная расчетные погонные нагрузки с учетом коэффициентов перегрузки и динамического коэффициента.

Т а б л и ц а 3.1. Сравнение результатов опытов и теоретических расчетов

Нормы проектирования	Генеральные размеры ферм, м		Периоды свободных вертикальных колебаний, с		
	пролет l	высота h	Расчет по формулам	Опыт	Разница, %
1875 г.	33,44	1,56	0,150	0,160	–7
	54,85	7,31	0,240	0,240	0
	109,20	11,37	0,450	0,477	–6
1884 г.	43,69	7,16	0,189	0,180	5
	55,47	7,16	0,220	0,220	0
	66,04	9,04	0,258	0,240	7
1896 г.	54,85	7,64	0,205	0,220	–7
	78,00	10,97	0,287	0,280	1
	109,73	15,44	0,378	0,410	–8
1907 г.	54,90	7,68	0,196	0,190	3
	76,80	8,00	0,288	0,270	6
	109,20	17,32	0,360	0,380	–5
1930 г.	45,00	9,00	0,158	0,153	3
	109,20	18,00	0,331	0,325	2
1947 г.	44,00	8,50	0,160	0,160	0
	66,00	8,50	0,247	0,265	–6
	77,00	14,00	0,243	0,248	–2
	110,00	14,00	0,410	0,391	4

По результатам исследований, проведенных лабораторией динамики мостов ДИИТа в 1960–70 годы, была выработана эмпирическая формула, результаты расчетов по которой хорошо совпадают с опытными:

$$T = (8 + 0,39l) \cdot 10^{-2}. \quad (4.66)$$

Здесь значение l принимается в метрах.

Для железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов при длинах пролетов от 5 до 33,5 м экспериментальные значения периодов собственных колебаний находятся в диапазоне

$$0,0072l \geq T \geq 0,0072-0,05, \quad (4.67)$$

где l – величина расчетного пролета, м; T – период собственных колебаний, с.

Для пролетов длиной менее 5 м экспериментальным данным лучше отвечает зависимость.

$$0,01l \geq T \geq 0,02. \quad (4.68)$$

Для железобетонных балочных пролетных строений с величиной пролетов более 18 м, а при обеспечении свободы перемещений подвижных опорных частей – и при меньших пролетах период свободных колебаний теоретически может быть определен по формуле

$$T = 0,58 \sqrt{\frac{\sigma_p}{E}} \frac{l}{\sqrt{x}}, \quad (4.69)$$

где σ_p – расчетное напряжение в сжатом поясе от постоянной нагрузки; x – расстояние от нейтральной оси до крайней сжатой фибры.

Важным, но не нормируемым СНиП 2.05.03–84 параметром является логарифмический декремент затухания, который характеризует скорость затухания колебаний. Чем он выше по абсолютной величине, тем быстрее происходит затухание колебаний. Декремент затухания принято выражать зависимостью

$$d = \varepsilon T, \quad (4.70)$$

где ε – коэффициент затухания, 1/с, который можно определять по формуле, предложенной ЦНИИСом:

$$\varepsilon = \frac{1}{10T^2(1+10T)} . \quad (4.71)$$

Для однопутных железнодорожных мостов из предварительно напряженного железобетона пролетами от 18 до 33,6 м определены опытные значения декрементов затухания, которые находятся в пре-делах от 0,11 до 0,56, но наиболее характерный диапазон этого пара-метра расположен в пределах 0,2–0,4. Динамические характеристики некоторых металлических желез-нодорожных пролетных строений по характеристикам затухания, по-лученные в ходе экспериментов, приведены в таблице 3.2.

Т а б л и ц а 3.2 – Динамические характеристики, полученные в ходе экспери-ментов

Диапазон пролётов, м	Периоды свободных вертикальных колебаний T , с		Характеристики затуханий			
			Эквивалентные коэффици- енты затухания		Эквивалентные декремен- ты колебаний	
	пределы измерения	средние значения	пределы измерения	средние значения	пределы измерения	средние значения
24–28	0,08–0,13	0,10	0,80–2,50	1,50	0,10–0,50	0,25
32–36	0,12–0,17	0,14	0,50–2,40	1,00	0,10–0,30	0,18
42–45	0,16–0,22	0,18	0,40–1,60	0,80	0,07–0,25	0,16
54–58	0,18–0,27	0,23	0,50–0,90	0,60	0,10–0,25	0,14
65–68	0,22–0,32	0,25	0,30–0,60	0,45	0,08–0,20	0,12
73–78	0,25–0,35	0,30	0,30–0,45	0,35	0,07–0,15	0,10
86–88	0,27–0,35	0,30	0,15–0,40	0,30	0,07–0,14	0,09
108–110	0,33–0,44	0,39	0,20–0,35	0,26	0,07–0,14	0,09
126–130	0,40–0,47	0,43	0,10–0,25	0,17	0,04–0,12	0,06
158,4	0,45–0,55	0,50	0,04–0,12	0,08	0,02–0,06	0,04

В таблице указаны средние характеристики затухания. Их следует рассматривать как ориентировочные, т. к. опытные значения в каждом из указанных диапазонов изменяются в больших пределах.

Исследования колебаний системы *нагрузка – ферма* свидетельствуют об увеличении опасности схода подвижного состава при увеличении амплитуд боковых горизонтальных колебаний пролетных строений из-за перераспределения усилий в рессорах. В связи с этим динамические расчеты устанавливают рекомендуемую величину предельной амплитуды

горизонтальных колебаний, хотя нормативная база сам этот параметр не оговаривает. СНиП 2.05.03–84 устанавливает лишь ограничения по расчетному периоду собственных поперечных горизонтальных колебаний

$$0,01 \geq T_r \leq 1,5 \text{ с} \quad (4.72)$$

Таким образом, для величин наибольших амплитуд вынужденных горизонтальных колебаний металлических пролетных строений железнодорожных балочных мостов при пропуске по ним временных нагрузок допускаемая амплитуда горизонтальных колебаний пролетных строений

$$a_{\text{дон}} \leq 1,5 \text{ см.} \quad (4.73)$$

Если при пропуске временных нагрузок будут развиваться горизонтальные колебания с амплитудами выше 1,5 см, то возможно наступление обезгруживания отдельных колес подвижного состава, недопустимое по условиям безопасности движения поездов. Меньшие амплитуды опасности обезгруживания не вызывают. Максимально допустимая амплитуда горизонтальных колебаний, рекомендуемая динамическими расчетами, определена из условий возникновения явления резонанса. При больших значениях амплитуд вынужденных горизонтальных колебаний загруженных пролетных строений наступает одностороннее обезгруживание рессор подвижного состава независимо от того, с какой частотой происходят резонансные колебания. Для определения периода основного тона свободных горизонтальных колебаний пролетных строений металлических железнодорожных мостов с ездой понизу $T_{\text{гн}}$, поверху $T_{\text{гв}}$ и с открытыми поясами $T_{\text{го}}$ получены достаточно точные экспериментально-теоретические формулы:

$$T_{\text{ГН}} = (1,93 - 0,01l) \frac{l}{b} \sqrt{h \frac{[\sigma]}{E} \cdot \frac{p}{p+k}}; \quad (4.74)$$

$$T_{\text{ГВ}} = \frac{200}{150+l} \cdot \frac{l}{b} \sqrt{h \frac{[\sigma]}{E} \cdot \frac{p}{p+k}}; \quad (4.75)$$

$$T_{\text{ГО}} = 2,35 \frac{l}{b} \sqrt{h \frac{[\sigma]}{E} \cdot \frac{p}{p+k}}, \quad (4.76)$$

где l – расчетный пролет фермы, м; b – расчетная ширина фермы, м; h – расчетная высота главной фермы в середине пролета, м. Опытные значения периодов горизонтальных колебаний различных конструкций пролетных строений, полученные в ходе экспериментов, проведенных специализированными институтами, приведены в таблице

3.3. Таблица 3.3. Опытные значения периодов горизонтальных колебаний, полученные в ходе экспериментов

№ п/п	Пролет, м	T_r (опыт), с	№ п/п	Пролет, м	T_r (опыт), с	№ п/п	Пролет, м	T_r (опыт), с
Открытые мосты			4	44,20	0,440	6	66,04	0,67
1	33,20	0,28	5	44,40	0,300	7	66,04	0,71
2	33,41	0,31	Пролётные строения с ездой понизу			8	66,50	0,59
3	33,44	0,30				9	76,80	0,59
Пролётные строения с ездой поверху			1	33,64	0,299	10	77,00	0,68
			2	55,00	0,471	11	78,00	0,67
1	33,12	0,28	3	55,06	0,470	12	109,20	0,97
2	33,60	0,29	4	55,10	0,440	13	109,20	0,95
3	43,89	0,32	5	66,00	0,570	14	109,20	0,97

4.3.6. Определение категории мостов по грузоподъемности

Полученные в результате расчетов по грузоподъемности классы

пролетных строений и анализ результатов их испытаний являются основанием для определения категории моста. В практике эксплуатации железнодорожных мостов установлены **пять категорий грузоподъемности**:

Первая: мосты, рассчитанные под нагрузку Н8 и С14 при отсутствии в них дефектов и повреждений, снижающих грузоподъемность.

Вторая: мосты, обеспечивающие обращение поездов с вагонами, имеющими погонную нагрузку до 105 кН/м пути (10,5 тс/м пути) при нагрузке от осей локомотивов и вагонов на рельсы до 270 кН (27 тс), а также допускающие пропуск транспортеров грузоподъемностью до 300 т со скоростью не менее 40 км/ч и со скоростью не менее 25 км/ч при их грузоподъемности 301–500 т.

Третья: мосты, обеспечивающие обращение поездов с вагонами, имеющими погонную нагрузку до 90 кН/м пути (9,0 тс/м пути) при нагрузке от осей локомотивов и вагонов на рельсы до 270 кН (27 тс), а также допускающие пропуск транспортеров грузоподъемностью до 300 т со скоростью не менее 25 км/ч и со скоростью не менее 15 км/ч при их грузоподъемности 301–500 т.

Четвертая: мосты, обеспечивающие обращение поездов с вагонами, имеющими погонную нагрузку до 75 кН/м пути (7,5 тс/м пути) при нагрузке от осей локомотивов и вагонов на рельсы до 260 кН (26 тс), а также допускающие пропуск транспортеров грузоподъемностью до 300 т включительно со скоростью не менее 15 км/ч.

Пятая: все остальные мосты, не обеспечивающие пропуск нагрузок, указанных для первой – четвертой категорий. Для определения эквивалентных нагрузок и классов нагрузок, принятых в качестве эталонных и соответствующих грузоподъемности мостов первой – четвертой категорий, следует пользоваться специальными таблицами П.25.2–П.25.4 «Руководства по определению грузоподъемности

металлических пролетных строений железнодорожных мостов».

4.4. Обкатка

Обкатка мостов производится с целью выявления способности сооружения или его частей нормально воспринимать обращающиеся на данной линии или дороге наиболее тяжелые эксплуатационные нагрузки. Обкатку железнодорожных мостов и мостов под пути метрополитена производят тяжелыми поездами, а обкатку мостов, запроектированных под автомобильную нагрузку АБ, – тяжелыми автомобилями. При обкатке проводятся визуальные наблюдения за состоянием конструкции, а также могут быть выполнены измерения прогибов в серединах пролетов простейшими методами (например, нивелированием). Обкатку железнодорожных мостов и мостов под пути метрополитена рекомендуется выполнять посредством челночного движения поезда. Общее количество проездов нагрузки с различными скоростями следует назначать, как правило, не менее 12. Первые два-три проезда следует выполнять с малой скоростью (от 5 до 10 км/ч); при необходимости измерений прогибов делаются остановки поезда.

При обкатке мостов, запроектированных под автомобильные нагрузки АБ, имеющих две или более полосы движения, на одну из крайних полос в пределах обкатываемой конструкции устанавливается колонна автомобилей с расстоянием между задними и передними осями соседних автомобилей 10 м. По другой свободной полосе осуществляется движение одиночных автомобилей со скоростью от 10 до 40 км/ч. Количество проездов принимается, как правило, не менее пяти. После общего обследования сооружения колонна автомобилей устанавливается на другую крайнюю полосу, а движение одиночных автомобилей производится по освободившейся полосе. При обкатке однополосных

мостов используется только проезд одиночных автомобилей.

4.5. Оценка технического состояния сооружений по результатам обследований и испытаний

Оценка технического состояния и эксплуатационной надежности сооружения должна производиться путем всестороннего анализа данных, полученных при обследованиях и испытаниях. Рекомендации по анализу и оценке полученных при обследованиях данных приведены в приложении В. Полученные при обследованиях данные контрольных измерений и съемок необходимо проверить на соответствие требованиям ТНПА на проектирование и содержание мостов, а также сравнить их с результатами предшествующих обследований.

При анализе должна быть проведена оценка влияния зафиксированных отклонений на эксплуатационные характеристики сооружения. Выявленные при обследовании дефекты и повреждения следует оценивать по их влиянию на грузоподъемность и долговечность сооружения, а также на безопасность пропуска транспортных средств и пешеходов. Определение грузоподъемности по данным обследований и испытаний мостовых сооружений следует выполнять, руководствуясь действующими ТНПА на определение грузоподъемности мостов. По материалам обследований и испытаний, а также по результатам оценки расчетной грузоподъемности сооружения должны разрабатываться меры по обеспечению нормальной и безопасной эксплуатации.

При обследовании мостов, эксплуатирующихся более 25 лет, рекомендуется осуществлять прогноз долговечности и эксплуатационной надежности сооружения на основе полученных при обследовании данных о снижении прочности бетона, скорости карбонизации бетона, наличии и ширине раскрытия трещин, величине защитного слоя бетона и т. д. в

соответствии с указаниями действующих ТНПА на проектирование и содержание мостов.

В зависимости от характера, значимости и распространения обнаруженных дефектов, повреждений и несоответствий требованиям ТНПА на проектирование и содержание мостов следует предусматривать проведение ремонтов, усиление отдельных элементов, введение ограничений для обращающихся нагрузок (в том числе уменьшение количества рядов или увеличение интервалов между транспортными единицами на автодорожных и городских мостах), ограничение скорости движения транспортных средств и др.

4.6. Оформление результатов обследований и испытаний

Результаты обследований и испытаний мостов оформляют в виде технических заключений и отчетов. По результатам обследований сооружений, завершенных строительством (капитальным ремонтом, реконструкцией), как правило, составляются технические заключения. Техническое заключение по результатам обследования должно содержать следующие разделы:

1 Общие сведения о сооружении. В разделе приводится информация, полученная на стадии подготовительных работ.

2 Данные о сооружении с учетом результатов общего обследования. В разделе приводится информация о принятой системе нумерации элементов сооружения, об элементах сооружения, с указанием геометрических размеров примененных типовых конструкций. В этом же разделе приводятся результаты инструментальных исследований и контрольных съемок и их сопоставление с проектными и (или) нормативными значениями.

3 Ведомость дефектов по состоянию на момент обследования. В

разделе приводятся схемы расположения, описания, фотографии выявленных дефектов и повреждений с указанием основной причины их появления и размеров, а также рекомендации по их устранению.

4 Выводы по результатам обследования.

5 Режим эксплуатации сооружения. Предварительное техническое заключение может составляться по результатам обследований и испытаний сооружения при необходимости передачи полученных данных приемочным комиссиям в сжатые сроки. Срок действия предварительного технического заключения устанавливается до оформления и утверждения технического отчета. По результатам обследований и испытаний после полной обработки полученной информации, выполнения расчетов и анализа полученных данных составляются технические отчеты. Технический отчет должен содержать следующие разделы:

- а) реферат;
- б) общие сведения;
- в) данные о сооружении с учетом результатов обследований, включая результаты инструментальных измерений;
- г) ведомость дефектов;
- д) расчет грузоподъемности (при проведении испытаний – определение грузоподъемности);
- е) выводы по результатам обследований;
- ж) рекомендации по режиму эксплуатации.

В отчет по результатам обследований сооружений, эксплуатирующихся более 25 лет, рекомендуется включить раздел «Прогнозирование эксплуатационной надежности». В отчет следует включать чертежи, схемы, фотографии, другие иллюстрационные материалы. Вспомогательные материалы, расчетные таблицы и т.п. следует приводить в приложениях. В приложения к отчету также следует включать: программу испытаний, исполнительные чертежи, акты и

материалы по работам, выполненным с привлечением специализированных организаций и др. По результатам общих обследований эксплуатируемых сооружений для разработки проектов ремонта или реконструкции, как правило, составляются технические отчеты по результатам обмерных работ. Технический отчет по результатам обмерных работ должен содержать следующие разделы:

- общие сведения о сооружении;
- данные о сооружении с учетом результатов общего обследования: информация о принятой системе нумерации элементов сооружения, об элементах сооружения, с указанием геометрических размеров примененных конструкций, результаты инструментальных исследований и контрольных съемок;
- ведомость дефектов по состоянию на момент обследования: схемы расположения, описания, фотографии выявленных дефектов и повреждений с указанием их размеров и объемов.

При разработке проектов ремонта или реконструкции сооружений может выполняться детальное обследование (например, определение фактических характеристик материалов конструкций и расчет (определение) грузоподъемности). Необходимость выполнения детального обследования определяет заказчик.

Глоссарий по эксплуатации и реабилитации мостов

Акведук – мостовое сооружение на переходе через реку, суходол, сухопутный транспортный путь и т.п., являющееся частью водовода (канала или трубопровода), водовод в виде арочного моста, в котором стенки и днище лотка являются несущими	Aqueduct – bridge construction to move across the river, dry land, a land transportation route and the like, which is part of the conduit (channel or pipe), the water conduit in the form of an arch bridge, in which the walls and the bottom tray are load-bearing

конструкциями	structures
Арка – криволинейное перекрытие проемов в стене или пролетов между опорами.	Arch – curved slab openings in the wall or the span between supports
Арматура – составная часть железобетонной конструкции, предназначенная для восприятия растягивающих усилий. Обычно применяют стальную арматуру, в некоторых случаях – неметаллическую арматуру	Armature (fixture) – an integral part of the concrete structure, designed for the perception of tensile forces. Usually used steel bars, in some cases – non-metallic fittings
Балка главная – основной несущий продольный элемент пролетного строения балочного моста	Main beam – the main longitudinal member carrying the span girder bridge
Балка жесткости – продольный элемент висячего, вантового или комбинированного моста, обеспечивающий необходимую жесткость пролетного строения	The beam stiffness – longitudinal element hanging, cable-stayed bridge or combined, providing the necessary rigidity of the superstructure
Балка крайняя (фасадная) – наружная продольная балка пролетного строения	Beam extreme (exterior) – outer longitudinal beam span
Балка неразрезная – балка, перекрывающая несколько пролетов и имеющая несколько опор, называется неразрезной многопролетной	Continuous beam – beam, overlapping several spans and has several supports, called a continuous multi-span
Балка поперечная – несущий элемент пролетного строения, расположенный поперек моста и жестко связанный с главными и продольными балками проезжей части, предназначенный для распределения нагрузки между ними	The cross beam – bearing element of the span across the width of the bridge, and rigidly connected to the main beams and purlins of the carriageway is designed to distribute the load between them

Балка продольная – несущий элемент пролетного строения или конструкции проезжей части, ось которого направлена вдоль моста	Longitudinal beam – carrying element of the superstructure and the construction of the carriageway, which is directed along the axis of the bridge
Балка цельнопролетная – железобетонная балка, изготовленная без стыков на полную длину перекрываемого пролета	Integrally span beam –reinforced concrete beam, produced without joints on the full length of the span overlapped
Балластное корыто – пространство, заполненное щебёночным или асбестовым балластом, распределяющим давление от подвижного состава через рельсы и шпалы на главные балки пролетного строения моста	Ballast trough – a space filled with crushed stone ballast or asbestos, distributing pressure from rolling over the rails and sleepers on the main beams of the superstructure of the bridge
Бетон – искусственный каменный материал, получаемый в результате формования и твердения рационально подобранной бетонной смеси, состоящей из вяжущего вещества, воды, крупного и мелкого заполнителей и специальных добавок	Concrete – artificial stone material obtained as a result of the formation and hardening of rationally selected concrete mix consisting of binder, water, large and small aggregates and special additives
Бетоны конструкционные – бетоны несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений, определяющими требованиями, к качеству которых являются требования по физико-механическим характеристикам	Concrete structure –concrete bearing and enclosing structures of buildings and facilities that define the requirements for the quality of which are requirements for physical and mechanical characteristics
Бордюр – элемент конструкции мостового полотна, возвышающийся над поверхностью покрытия,	Border – element of design of the deck, towering above the surface of the coating intended to indicate the

предназначенный для обозначения границ ездового полотна и препятствующий выезду транспортных средств за его пределы	boundaries of the driving web and prevents the exit of vehicles beyond
Ванта – несущий, наклонно расположенный растянутый элемент вантового моста, закрепленный одним или обоими концами в балке жесткости и передающий усилие на пилон	Vanta – the carrier, obliquely located tension member cable-stayed bridge, secured by one or both ends in the beam stiffness and transmitting force to the pylon
Вантовые конструкции – висячие покрытия, кровли, мосты, и иные конструкции, основанные на сочетании работы жестких опор и растяжении стальных тросов/стержней	Cable-stayed constructions – Hanging coatings, roofs, bridges, and other structures, based on a combination of hard work and supports tensile steel cables / rods
Виадук – сооружение мостового типа, предназначенное для преодоления неводных преград – ущелий, оврагов, дорог, железнодорожных путей и т. п. с высоким расположением уровня проезда над дном препятствия	Viaduct – construction of bridge type, designed to overcome the non-aqueous barrier - gorges, ravines, roads, railways, etc. with high driving position above the bottom level of the obstacles...
Визуальный осмотр объекта – установление соответствия объекта проекту, выявление видимых дефектов (наличие трещин, протечек, отслоений защитного слоя в железобетонных элементах, коррозии металлических элементов, прогибов элементов, а также состояние стыков, сварных, болтовых и заклепочных соединений и т. д.), составление плана обследования сооружения, проведение комплекса	Visual inspection of the object – determination of conformity of the object to the project, identification of visible defects (cracks, leaks, peeling the protective layer of reinforced concrete elements, metal corrosion, deflection elements, as well as the condition of joints, welded, bolted and riveted joints, and so on. d.), scheduling the construction survey , a complex of non-destructive testing

исследований методами	неразрушающими	methods
Влажность – величина, показывающая относительное (реже абсолютное) содержание влаги в материале, определенное по отношению к массе сухого материала и выраженная в процентах		Moisture – Value indicating the relative (absolute less) moisture content of the material determined from the weight of the dry material and expressed as a percentage
Водорез – заостренная часть русловой опоры (вертикальная или с наклоном не более 1/8), устраиваемая с верховой стороны моста		Cutwater –pointed riverbed of the support (vertical or with a slope of not more than 1/8), arranged with horse side of the bridge
Высота моста – расстояние от наивысшей точки покрытия до уровня меженных вод		The height of the bridge – the distance from the highest point of the coating to the low water level of water
Высота относительная – высота одной точки над другой, обозначается буквой h		Relative height – height above the other one point is designated by the letter h
Вязущие вещества – вещества, выполняющие функцию цементирующего компонента. По происхождению вяжущие вещества могут быть как органическими, так и неорганическими		Cementing material sub- stances, performing the function of a cementitious component. By origin binders can be both organic and inorganic
Гарантированный срок службы – календарная продолжительность эксплуатации, в течение которой строительная система или её элемент не достигают предельного состояния с заданной вероятностью. Они могут находиться в работоспособном,		Guaranteed service life – calendar duration of operation, during which a building system or an element of it does not reach the limit state with a given probability. They may be in a healthy, unhealthy and extreme conditions

неработоспособном и предельном состояниях	
Государственные испытания или метрологическая аттестация средств измерений – предназначенных для серийного или массового производства и ввоза их из-за границы, обеспечивающих единообразие средств измерений при их разработке и использовании	State testing and metrological certification of measuring devices – designed for serial and mass production and import them from abroad, to ensure uniformity of measuring instruments in their design and use
Грубые ошибки – при измерениях могут возникать грубые ошибки, вызванные неисправностью измерительных систем, ошибками регистратора и т.д. Эти ошибки также могут быть выявлены методами математической статистики. Проблемы метрологического обеспечения измерений неразрывно связаны с задачами, стоящими перед стандартизацией	Gross mistakes – blunders caused by a malfunction izmeritelnyh systems may occur in measurements, error logger, etc. These errors can also be detected by methods of mathematical statistics. Problems of metrological support of measurements are inextricably linked with the challenges facing standardization
Дальномер – прибор, служащий для определения расстояний без их непосредственного измерения на местности	Rangefinder – a device that is used to determine distances without direct measurement on the ground
Деформометры – на базе индикатора созданы разновидности прибора, который называется деформометром. Этот прибор устанавливают на место измерения только для снятия отсчетов, что значительно расширяет его использование. Деформометрами измеряют различного рода перемещения,	Deformometer – based display device developed varieties called deformometer. This device is mounted on the measuring point is only for removal of samples, which significantly expands its is-polzovanie. Deformometer measure various kinds

раскрытие трещин, деформации (напряжения) и др.	pere-mescheniya disclosure fracture strain (stress) and others
Диапазон измерений – область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средств измерений	Measurement range – the area measured values for which the normalized permissible errors of measuring instruments
Динамическая нагрузка – характеризует использование грузоподъемности вагонов в процессе перевозки, т.е. с учетом расстояния пробега. Средняя динамическая нагрузка показывает количество эксплуатационных тонно-километров, приходящееся на 1 вагоно-километр	Dynamic load – describes the use of load-carrying capacity of wagons for the transport, ie taking into account the distance of run. High dynamic load shows the number of operating ton-kilometers per 1 wagon - kilometer
Динамические испытания – при динамических испытаниях в качестве испытательной нагрузки используют: обращающиеся поезда, специальные испытательные поезда, вибрационные машины, специальные ударные нагрузки. В первом случае динамическое воздействие на мост создается проходящими поездами. Это позволяет оценить действительную работу пролетного строения или отдельных его элементов от воздействия эксплуатационных нагрузок. Такие испытания обычно не нарушают график движения поездов и позволяют оценить не только динамические характеристики моста, но и режим его работы в условиях	Dynamic tests – in dynamic tests as the test load is used: circulating trains, special probationer, tatelnye trains, vibrating machines, special shock. In the first case, the dynamic impact of the bridge creates a passing train. This makes it possible to evaluate the effects of work-tional superstructure or some of its elements from the effects of operating loads. Such tests usually do not violate the train schedule and allow us to estimate not only the dynamic characteristics of the bridge, but its mode of operation in an actual operation, it is very important to determine the reliability of the bridge in case of permanent operation

реальной эксплуатации, что очень важно для определения надежности работы моста при его длительной эксплуатации	
Динамометр – прибор, предназначенный для измерения силы. Чувствительным элементом прибора является пружина, деформация которой пропорциональна модулю измеряемой силы	Dynamometer – a device designed to measure the force. The sensitive element of the instrument – a spring, which is proportional to the deformation modulus measured sily.
Достоверность измерений - количественно оценивают величиной погрешности	The reliability of the measurements - quantified the magnitude of the error
Единичный показатель надежности – это показатель надежности, относящийся к одному из свойств, составляющих надежность строительной системы. Например, наработка на отказ характеризует свойство безотказности, которое только в совокупности с другими (долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость) составляет надёжность строительной системы. Применительно к строительным системам различного назначения, используемым в транспортном строительстве, особенно важно отметить нижеследующие показатели, характеризующие их надежность	The unit reliability index – a measure of reliability, referring to one of the properties that make up the reliability of the system construction. For example, the time to failure describes bezotkaz–nosti property, which is only in conjunction with other (durability, re–montoprigochnost, retention) is the reliability of the system construction. With regard to building systems for different purposes, used in vehicle construction, especially important to note the following indicators characterizing their reliability
Железнодорожный мост – служит для перевода железнодорожного пути через	Railway bridge – serves to transfer the railway track through an obstacle

какое-либо препятствие (водотоки, овраги и др.)	(streams, gullies, etc.)
Железнодорожный транспорт – вид сухопутного транспорта, производящий перевозку грузов и пассажиров по рельсовым путям сообщения	Rail transport – the form of land transport in the carriage of goods and passengers by rail posts
Железобетон – искусственный строительный материал, состоящий из стального арматурного каркаса залитого бетоном и конструктивно объединяющий рабочие свойства стали и бетона. При этом арматура работает на растяжение, а бетон – на сжатие	Reinforced concrete – artificial building material consisting of steel reinforcing cage filled with concrete and constructive combines working properties of steel and concrete. Thus tensile reinforcement works, and concrete – compression
Железобетонные конструкции – монолитные или сборные конструкции, выполненные из совместно работающих стального арматурного каркаса и бетона	Reinforced concrete structures – monolithic or prefabricated structures made of co-working steel reinforcement cage and concrete
Жирный бетон – бетон с низким содержанием заполнителей и высоким содержанием цемента	Bold concrete – concrete with a low content of aggregates and high cement
Измерение – это процесс нахождения какой-либо физической величины с помощью технических средств и сравнения её с эталоном	Measurement – is the process of finding a physical quantity by technical means and comparing it with the standard
Измерительный прибор - понимают средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателя	Meter understand - measurement means for generating measurement data in a form accessible to direct perception of the observer
Индикаторы (мессуры) – для	Indicators (messury) – to measure

измерения небольших по абсолютной величине перемещений применяют индикаторы часового типа, которые устанавливаются на неподвижной опоре с упором подвижного измерительного стержня в испытываемую конструкцию или закрепляются на испытываемой конструкции с упором подвижного стержня в какую-либо неподвижную точку. Поэтому очень часто индикаторы называют контактными прогибомерами	small absolute value movements of the dial gauge is used, which are mounted on a fixed support, with a focus movable measuring rod in the test design or fixed on the test structure with a focus movable rod in any fixed point. Therefore, it is often referred to as indicators of contact deflectometer.
Инструментальная погрешность - погрешности, которые определяются погрешностями применяемых средств измерений и вызываются несовершенством принципа действия, неточностью градуировки шкалы, ненаглядностью прибора	Instrumental error - of error, which are determined by the errors of the means of measurement and are caused by imperfection of the operating principle, the inaccuracy of the calibration of the scale, beloved instrument
Испытание моста – загрузка моста нагрузкой с целью контроля его технического состояния и выявления соответствия его работы проектным параметрам и расчетам	Testing of the bridge – the bridge uploading load in order to control its technical condition and compliance of its work to identify design parameters and calculations
Испытание серийно-выпускаемых конструкций и деталей – испытания конструкций и деталей при их серийном изготовлении выполняются путем выборочных испытаний отдельных образцов (продукции) с доведением до разрушения. Задачей испытаний в данном случае является установление	Test series-produced assemblies and components –ispytaniya structures and components in their serial production carried out by selective testing of individual samples (products) with bringing to destruction. The objective of the test in this case is to establish the actual

фактической несущей способности и других характеристик испытываемых образцов либо продукции с распространением полученных результатов на всю изготовленную партию	carrying capacity and other characteristics of the test samples or products with the spread of the results to the whole party made
Испытание уже эксплуатируемых сооружений – испытания уже эксплуатируемых сооружений проводятся: для проверки возможности продолжения нормальной службы объекта под эксплуатационной нагрузкой; для проверки эксплуатационной надежности объекта при появлении значительных повреждений, например, после пожара и в других аналогичных случаях, ставящих под сомнение работоспособность сооружения; для выяснения возможности повышения эксплуатационной нагрузки при реконструкции объекта или изменении характера его использования	The test is already operated facilities – testing already operated buildings held: to verify the possibility to continue normal service object under production load; to check the operational reliability of the object when a significant injury, such as after a fire and in other similar cases, questioning the efficiency of structures; to determine the possibility of increasing the operational load in the reconstruction of an object or changing the nature of its use
Капитальное строительство – строительство любых объектов, для возведения которых требуется проведение земляных и строительно-монтажных работ по устройству заглубленных фундаментов, возведению несущих и ограждающих конструкций, подводке инженерных коммуникаций	Capital construction – the construction of any facilities for the construction of which require excavation and construction work on the device of deep foundations, erection of bearing and protecting designs, Provision of utilities

Керамзитобетон – легкий бетон, полученный на основе керамзита (гранул обожженной глины) и вяжущего	Claydite – lightweight concrete produced on the basis of expanded clay (pellets fired clay) and a binder
Класс бетона – кубиковая прочность бетона на сжатие с обеспеченностью 0,95	Class betona – cube compressive strength of concrete with Security 0.95
Клинкер цементный – продукт обжига до спекания рационально подобранной смеси природных материалов. При помоле превращается в цемент. Клинкер – продукт равномерного обжига измельченной сырьевой смеси (известняка и глины). Используется при производстве цемента	Cement Clinker – firing to the sintering product rationally selected blend of natural materials. When grinding turns into tsement.Klinker–product evenly roasting the crushed raw material mixture (limestone and clay). It is used in cement production
Конец моста – последняя по ходу отсчета километража точка пересечения линии, соединяющей концы открьлков устоя или других видимых конструктивных элементов устоя или пролетного строения с осью моста	The end of the bridge – the latter during the reference mileage point of intersection of the line connecting the ends of the lean–abutment or other visible structural elements abutment or superstructure from the bridge axis
Коэффициент вариации – относительная изменчивость свойств материалов оценивается коэффициентом вариации (или коэффициента изменчивости)	The coefficient of variation – the relative variability of the properties of materials is estimated coefficient of variation (or variation coefficient)
Коэффициент точности – возможное неблагоприятное отклонение геометрических характеристик (размеров элементов конструкции, их взаимного расположения, начальных прогибов и т. д.) учитывает коэффициент	Precision factor – the possible adverse deviation of the geometric characteristics of the (.. design elements sizes, their relative position, the initial deflection, etc.), take into account the coefficient of accuracy γ_a

точности γ_a	
Крыло моста раскрывающееся – часть пролетного строения разводного моста, поворачивающаяся в вертикальной плоскости вокруг горизонтальной оси	Covered Bridge drop-down – a part of the span drawbridge, turn in a vertical plane about a horizontal axis
Ледорез – заостренное наклонное ребро верхней части русловой опоры моста или самостоятельная конструкция перед опорой из свай или ряжей, предназначенная для защиты опор от движущихся льдин путем их разлома	Icebreaker – sharpened edge inclined upper part of the river bed of the bridge supports or independent structure to support from piles or ryzhey designed to protect the bearings from moving ice floes by their fault
Манометр – прибор для измерения давления жидкостей и газов	Pressure gauge – a device for measuring the pressure of liquids and gases
Марка бетона по прочности – определяется пределом прочности на сжатие 100 образцов размером 150x150x150 мм (кубиковая) или 150x150x600 мм (призменная), изготовленных из рабочего состава и испытанных через 28 суток нормального твердения	Make concrete strength – Determine compressive strength of 100 samples of the size 150x150x150 mm (cube) or 150x150x600 mm (prism), made from the composition of the working and tested after 28 days of normal hardening
Марка цемента – показатель прочности изделий из цемента на изгиб и сжатие	Brand cement – an indicator of the strength of the cement product in bending and compression
Методические погрешности – погрешности, обусловленные несовершенством метода, а также упрощениями, положенными в основу методики	Methodical errors – errors caused by the imperfection of the method, as well as simplifications underlying methodology

Метрологическая аттестация средств измерений – это исследование средства измерений, выполняемое метрологическим органом для определения метрологических свойств этого средства измерений и выдача документа с указанием полученных данных	Metrological certification of measuring instruments – this study means of measurement performed by the metrological authority to determine the metrological properties of the measuring instruments and the issuance of a document with an indication of the data
Многопролетный мост – мост, имеющий больше одного пролета.	Multi-span bridge – the bridge, which has more than one flight.
Многофакторный эксперимент – если изучаемое явление описывается функцией нескольких независимых переменных, то такой эксперимент называется многофакторным и при его планировании используют либо факторный план, либо классический план	Multivariate experiment – if we study the phenomenon described by a function of several independent variables, such an experiment is called a multi-factorial, and when planning the use of factorial design or a classic plan
Моделирование – оно включает построение модели, изучение свойств этой модели при заданных условиях или воздействиях и перенос полученных сведений на моделируемый объект	Modeling – It includes the construction of a model study of the properties of this model under the given conditions or actions, and transfer the received data to the simulated object
Мост высоководный (высокого уровня) – мост, пролетное строение которого не затопляется при любых уровнях воды и находится над рекой на уровне, обеспечивающем пропуск высоких (паводковых) вод, а также ледохода	Bridge of the low water (high level) – a bridge superstructure which is not flooded at all water levels and is situated on the river at a level ensuring a pass high (flood) water and ice drift
Мост городской – мост, расположенный	City Bridge – Bridge, located in the

в городской черте, предназначенный для движения городских транспортных средств и пешеходов	city, designed for urban movement of vehicles and pedestrians
Мост грибовидный – плитный мост, пролетное строение которого опирается на одиночные стойки жестко или через шарниры	Bridge mushroom – slab bridge superstructure which is based on single rack rigidly or through joints
Мост двухъярусный – мост, по которому движение транспортных средств осуществляется в двух уровнях (ярусах)	Double-deck bridge – the bridge over which the movement of vehicles is carried out in two levels (tiers)
Мост железобетонный – мост с пролетным строением из железобетона; из предварительно напряженного железобетона – мост железобетонное пролетное строение которого имеет напрягаемую арматуру (в виде пучков канатов, тросов, отдельных стержней), создающую за счет ее натяжения обжатие несущей конструкции	Reinforced concrete bridge – bridge with spans of reinforced concrete; prestressed concrete – reinforced concrete bridge span which has a tendon (in the form of bundles of ropes, cables, the individual rods), created at the expense of its tension compression load-bearing structure
Мост затопляемый (низководный) – мост, затопляемый при проходе высоких вод	Bridge flooded (low water) – bridge, flooded during the passage of high waters
Мост из арочных дисков, шарнирный – мост, пролетное строение которого состоит из трехшарнирных арочных дисков	Bridge of arched disks hinge – bridge superstructure which consists of arched trehsharnirnyh drives
Мост из легкого бетона – мост с пролетным строением из бетона на легком заполнителе (керамзите, шунгизите и т. п.)	Bridge of lightweight concrete – bridge with spans of concrete lightweight aggregates (expanded clay, shungizite, etc...)

Мост каменный – мост с пролетным строением из природного или искусственного камня	Stone Bridge – the bridge with spans of natural or artificial stone
Мост консольный – мост, пролетное строение которого имеет одно или двусторонние консоли	Bridge console – bridge superstructure which has a single or double-sided console
Мост косой – мост, продольная ось пролетного строения которого не перпендикулярна к оси опор	Bridge oblique – the bridge, the longitudinal axis of the superstructure which is not perpendicular to the axis of the support
Мост криволинейный – мост, продольная ось которого полностью или на части длины расположена на кривой в плане	Curved bridge – bridge, whose longitudinal axis is wholly or part of the length is located on a plane curve
Мост малый – мост длиной до 25м	Small Bridge – the bridge up to 25m
Мост металлический (стальной) – мост с пролетным строением полностью из металла (стали) или с железобетонной плитой проезжей части не включенной в его работу	Most metal (steel) – a bridge to span structure completely made of metal (steel) or reinforced concrete slab of the carriageway is not included in his work
Мост наплавной – мост с плавучими опорами	Pontoon bridge – the bridge with floating bearings
Мост однопролетный – мост, не имеющий промежуточных опор	Single-span bridge – a bridge with no intermediate supports
Мост плитный – мост с пролетным строением из сплошной или многопустотной плиты	The bridge slab – bridge with spans of solid or hollow-core slabs
Мост понтонный – наплавной мост, опорами которого служат понтоны	Pontoon bridge – a floating bridge, which supports are pontoons
Мост постоянный – мост,	Permanent Bridge – the bridge,

предназначенный для длительной эксплуатации, срок службы которого определяется долговечностью материала конструкции	designed for continuous operation, the service life is determined by the durability of the material of construction
Мост разборный – низководный мост, пролетное строение которого разбирают на период пропуска высоких паводковых вод	Folding bridge – low water bridge superstructure is dismantled for the period passes high flood waters
Мост разводной – мост, пролетное строение которого или часть его может перемещаться, освобождая пространство для пропуска судов. В зависимости от способа перемещения пролетного строения судоходного пролета различают разводные мосты: поворотный – мост, у которого пролетное строение поворачивается в горизонтальной плоскости; подъемный – мост, у которого пролетное строение поднимается в вертикальной плоскости; раскрывающийся – мост, у которого пролетное строение поворачивается вокруг горизонтальной оси; раскрывающийся двукрылый – мост, у которого пролетное строение состоит из двух частей (крыльев), поворачивающихся вокруг горизонтальных осей, откатной – мост, у которого пролетное строение выводится из судоходного пролета путем перемещения в горизонтальном	Bridge swing – bridge superstructure which, or part of it may be moved to make space for the passage of ships. Depending on how you move the span navigable bays distinguish drawbridges: swivel – bridge, which superstructure is rotated in the horizontal plane, the lift – bridge, which span rises in the vertical plane, a drop-down – the bridge, which superstructure is rotated about a horizontal axis drop dvukrylyy-bridge, which superstructure consists of two parts (wings), rotatable about horizontal axes, sliding – the bridge, which is derived from the span navigable span by moving horizontally along its axis

направлении вдоль его оси	
Мост разрезной – балочный мост, в котором каждый пролет перекрыт самостоятельным пролетным строением	A continuous bridge – girder bridge, in which each span blocked independent spans
Мост рамный – мост, пролетное строение которого жестко связано с опорами и представляет собой раму. Разновидности: рамно-балочный – балочный мост, пролетное строение которого жестко связано с опорами, работающими на изгиб от вертикальных нагрузок, но в которых не возникает распора; рамно–консольный – мост, состоящий из Т-образных рам (по фасаду), соединенных между собой шарнирами; рамно–подвесной – мост, состоящий из Т-образных рам (по фасаду), соединенных между собой подвесными пролетными строениями; рамный шарнирный – рамный мост, у которого несущая конструкция представляет собой шарнирную рам	Bridge frame – bridge superstructure which is rigidly connected with the supports and represents the frame. Species: frame–beam – girder bridge superstructure which is rigidly connected with the supports running on a bend of the vertical loads, but in which there is no thrust, frame and console – a bridge consisting of a T-shaped frames (the facade), connected a hinge, frame–hanging – bridge, consisting of a T-shaped frames (the facade), connected by a suspended span construction, articulated frame – frame bridge, which the supporting structure is a hinged frame).
Мост ребристый – мост, пролетное строение которого состоит из тавровых и двутавровых балок.	Bridge ribbed – bridge superstructure which consists of a tee and T-beams.
Мост с ездой поверху (понизу, посередине) – см. Пролетное строение с ездой поверху (понизу, посередине).	Deck bridge (across the bottom, in the middle) – see Spans riding on top (across the bottom, middle)..
Мост с ездой поверху (понизу, посередине) – см. Пролетное строение с ездой поверху (понизу, посередине)	Deck bridge (across the bottom, in the middle) – see Spans riding on top (across the bottom, middle)

Мост сборный – железобетонный мост, пролетное строение которого собрано из заранее изготовленных элементов. Различают: сборномонолитный – железобетонный мост, пролетное строение которого выполнено из заранее изготовленных элементов, объединенных монолитной (сборно-монолитной) плитой проезжей части; сборно-разборный – временный мост, пролетное строение и опоры которого собирают из инвентарных элементов, комплект которых может быть использован многократно	The bridge assembly – concrete bridge superstructure is assembled from prefabricated elements. Distinguish: sbornomonolitny – reinforced concrete bridge superstructure is made of prefabricated elements combined monolithic (precast–monolithic) stove roadway, collapsible – temporary bridge superstructure and whose support is collected from the inventory of elements set which can be used repeatedly.
Мост свайно-эстакадный – многопролетный мост на свайных опорах, работающих в продольном направлении совместно с пролетными строениями, как рама	Bridge pile-trestle – multi –span bridge on pile supports running in the longitudinal direction together with the passing of the structure E, as the frame
Мост свайно-эстакадный – многопролетный мост на свайных опорах, работающих в продольном направлении совместно с пролетными строениями, как рама	Bridge pile–trestle – multi-span bridge on pile supports running in the longitudinal direction together with the passing of the structure, as the frame
Мост сварной – металлический мост со сварным пролетным строением, монтажные стыки которого выполнены с применением болтов или клепки	Bridge welding – metal bridge spans with welded, assembly joints which are made with the use of screws or riveting
Мост сводчатый – мост, пролетное строение которого выполнено в виде свода; сводчатый с земляной засыпкой –	Bridge archway – bridge superstructure which is designed as a set, with a vaulted earthen backfill –

сводчатый мост в виде сплошного свода, засыпанного сверху грунтом.	arched bridge in the form of a continuous arch, covered from top to ground.
Мост совмещенный – мост для пропуска автомобильной и железной дорог одновременно расположенных в одном или разных уровнях.	Combined Bridge – a bridge for crossing roads and railways both located in the same or different levels.
Мост средний – мост длиной от 25 до 100 м	Bridge medium – long bridge from 25 to 100 m
Мост–канал – мостовое сооружение предназначенное для пропуска над препятствием (водотоком, дорогой и т. п.) канала, как правило, судоходного.	Bridge Canal – bridge construction designed to skip over the obstacle (water course, road, etc...) Channel, usually shipping
Настил сквозной – настил проезжей части металлического моста, представляющий собой решетчатую конструкцию, образованную из уложенных на ребро металлических полос, между которыми закреплены фасонно–выгнутые полосы несколько меньшей высоты	Flooring through – flooring metal bridge roadway, which is a lattice structure formed of a stacked metal strip on its edge, between which are fixed interlocking curved–strip a lesser height
Научно-исследовательские испытания – научно–исследовательские испытания и испытания опытных объектов проводятся: при применении новых конструктивных решений и при апробации новых методов расчета; при использовании новых строительных материалов с характеристиками, требующими проверки под действием нагрузки; при особых режимах	Research trials – research ispytaniyai test by the experienced objects are held: the application of new constructive solutions and testing new methods of calculation; the use of new building materials having characteristics requiring inspection under load; under certain operating conditions. Such tests can be performed directly in the nature or

эксплуатации. Такие испытания могут производиться непосредственно в натуре или лабораторным путем с обеспечением требуемого режима.	laborator–nym by ensuring the desired mode
Начало моста – первая по ходу отсчета километража точка пересечения линии, соединяющей концы открылков устоя или других видимых конструктивных элементов устоя или пролетного строения с осью моста, без учета переходных плит	Start the bridge – first during the reference mileage point of intersection of the line connecting the ends of the lean–abutment or other visible structural elements abutment or superstructure with the axis of the bridge, without regard to the adapter plate
Неразрушающий контроль – они основаны на обнаружении незначительных изменений формы объекта путем сравнения начальной формы с измененным состоянием	Non–destructive testing – they are based on the detection of small changes in the shape of the object by comparing the initial form with izmenen–nym state
Нормативное сопротивление – R_n это установленное нормами предельное значение напряжений в материале. Оно служит основной характеристикой сопротивления материалов силовым воздействиям и обычно равно контрольной характеристике в соответствии с нормами, нормами установлены и другие нормативные характеристики материалов	Normative resistance – R_n is the set rules limiting the value of stresses in the material. It serves as the main characteristic of the materials resistance force action and is usually characteristic of the control in accordance with the norms, standards and other regulations established characteristics of materials
Нормативные величины постоянных нагрузок – за нормативные величины постоянных нагрузок принимают, как правило, их номинальные значения,	Normative values of permanent loads — for the characteristic values of permanent loads shall, as a rule, their nominal value, corresponding to

соответствующие проектным размерам конструктивных элементов и средним (справочным) значениям объемных весов	the size of the design of structural elements and the average (reference) values of volumetric weights
Нормативные полезные (эксплуатационные) нагрузки – в методе расчета по допускаемым напряжениям принимали, как самые тяжелые нагрузки от автотранспортных средств на момент создания норм	Normative helpful (operating) load – the method for calculating the allowable stresses taken as the heaviest load on the vehicle at the time of the creation of standards
Обязательная государственная и ведомственная поверки средств измерений – обеспечивающие единообразие средств измерений при изготовлении, эксплуатации и ремонте, а также установление стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов, обеспечивающих воспроизведение единиц величин, характеризующих состав и свойства веществ и материалов	Mandatory state and departmental verification of measuring instruments – ensuring uniformity of measuring instruments in the production, operation and maintenance, as well as the establishment of reference materials of composition and properties of substances and materials that provide playback of units characterizing the structure and properties of substances and materials
Оголовок опоры – самая верхняя утолщенная, как правило, армированная часть опоры моста, служащая для установки на нее опорных частей и непосредственно воспринимающая опорные давления пролетных строений	Well head support – the upper thickened, usually reinforced part of the bridge support that serves to install it on the bearings and bearing directly perceived pressure superstructures
Однофакторный эксперимент – в нем результаты, полученные для каждой комбинации факторов, необходимо	Univariate experiment – is the results obtained for each combination of factors that must be averaged

усреднить	
Опора анкерная – опора многопролетного моста, воспринимающая горизонтальные усилия, собирающиеся с нескольких пролетов, от торможения, температурных воздействий и других горизонтальных сил	Support anchor – a support multispans bridge, horizontal forces, gathering with a few hops, from braking, temperature effects and other horizontal forces
Опора временная – опора с ограниченным сроком службы, используемая в период строительства, восстановления или ремонта моста	Support the time – a support with a limited service life, used during construction, repair or renovation of the bridge
Опора гибкая – опора, как правило, большой высоты, обеспечивающая частично или полностью продольные перемещения пролетного строения за счет своей упругой податливости	Support flexible – a support, as a rule, a high altitude, which provides part or in full longitudinal movement of the span due to its elastic compliance
Опора двухрядная – свайная опора, состоящая из двух рядов свай по фасаду, объединяемых общей насадкой	Prop-row – pile Bearing, consisting of two rows of piles on the facade, united by a common nozzle
Опора качающаяся – опора в виде стоек или стенки с шарнирами на концах	Support swivel – support in the form of a rack or wall with hinges at the ends
Опора лежневая – опора простейшего типа в виде горизонтального бруса, уложенного в теле насыпи или на грунтовое основание, предназначенного для опирания переходных плит или пролетного строения	Support plank – a support of the simplest type of a horizontal beam, laid in the body of the embankment or foundation soil intended for supporting the transition slab or superstructure
Опора массивная – бетонная опора без внутренних полостей, размеры которой,	Support massive – concrete support without internal cavities, the size of

как правило, больше (по конструктивным соображениям) расчетных	which is usually greater (for structural reasons) settlement
Опора монолитная – опора, забетонированная непосредственно на месте строительства	The support cast – Bearing, concreted directly on the construction site
Опора моста – несущий элемент мостового сооружения, поддерживающий пролетные строения и передающий нагрузки от них на основание	Support bridge – carrying element of the bridge structures supporting superstructures and transmitting load them onto the base
Опора плавучая – опора временного моста, основанием для которой служит вода	Reliance Floating – a support of the temporary bridge, which serves as the basis for water
Опора промежуточная [бык] – опора многопролетного моста, расположенная между устоями. Термин «бык» (применять его не рекомендуется) относится лишь к жестким массивным опорам	Support intermediate [bull] – a support multispans bridge, located between the abutments. The term "bull" (its use is not recommended) applies only to the rigid massive pillars
Опора рамная – железобетонная или деревянная опора в виде рамы	Support frame – reinforced concrete or wooden support in the form of a frame
Опора речная (русловая) – промежуточная опора, расположенная в русле реки, т.е. в зоне межени	Prop river (fluvial) – intermediate support, located in the river bed, that is, in the low water zone
Опора ряжевая – опора в виде деревянного сруба из бревен или брусьев с внутренними перегородками, сруб заполняется камнем	support in the form of a wooden frame made of logs or boards with internal partitions, log is filled with stone

Опорная часть – элемент моста, передающий опорные давления пролетного строения на опоры и обеспечивающий угловые и линейные либо только угловые перемещения пролетного строения	The supporting part – element bridge transmits a reference pressure of the span to the supports and provides angular and linear or angular movements only span
Опорная часть анкерная – опорная часть, передающая знакопеременные вертикальные нагрузки	The support of the anchor – supporting part, which transmits alternating vertical loads
Опорная часть валковая – подвижная опорная часть, передающая опорное давление через один или несколько валков, расположенных между верхней и нижней опорными плитами	Roller supporting part – movable supporting part, transmitting the reference pressure through one or several rollers located between the upper and lower bearing plates
Опорная часть катковая – подвижная опорная часть, передающая опорное давление через один или несколько катков, расположенных между верхней и нижней опорными плитами	Track rollers supporting part – movable supporting part, transmitting the reference pressure through one or several rollers located between the upper and lower support plates
Опорная часть комбинированная – опорная часть, выполненная в виде стального стакана заполненного резиной или с применением слоистых резиновых элементов и прокладок из антифрикционных материалов. Опорная часть обеспечивает перемещения пролетного строения во всех направлениях – угловые за счет деформации резины (внецентренного ее обмятия), а продольные – за счет скольжения по прокладке. Первая	Combined supporting part – the support part designed as a steel cup filled with rubber or laminated rubber elements and pads made of antifriction material. The support portion provides a displacement of the superstructure in all directions – the angle due to the deformation of rubber (her eccentric obmyatiya) and longitudinal – at the expense of laying slip. The first support portion is fixed, the other movable

опорная часть является неподвижной, вторая подвижной	
Опорная часть неподвижная – опорная часть, обеспечивающая только угловые перемещения опирающегося на нее пролетного строения	The support portion fixed – a basic part providing only the angular movement resting on her superstructure
Опорная часть однокатковая – подвижная опорная часть с одним катком	The supporting part – movable supporting part with a roller
Опорная часть подвижная – опорная часть, обеспечивающая угловые и линейные перемещения опирающегося на нее пролетного строения	The support of the mobile – a basic part that provides angular and linear movement resting on her superstructure
Опорная часть резиновая – подвижная опорная часть из скрепленных между собой чередующихся слоев резины и стальных листов, обеспечивающая линейные перемещения пролетного строения за счет упругого сдвига резины, а угловые – за счет внецентренного обмятия	The support of the rubber – a movable support part of the bonded together alternating layers of rubber and steel plates, providing linear movement of the superstructure by a resilient rubber shift and angular – by eccentric
Опорная часть секторная – металлическая подвижная опорная часть, обеспечивающая продольное перемещение пролетного строения за счет перекачивания клиновидного элемента с закругленной поверхностью катания, закрепленного одним концом с помощью балансира на пролетном строении	The support of the pie – metal movable bearing part providing longitudinal movement of the superstructure by rolling a wedge-shaped element with a rounded tread, fixed at one end by a rocker on the span
Опорная часть тангенциальная –	Tangential supporting part – the

металлическая опорная часть, состоящая из верхней плоской и нижней с цилиндрической поверхностью опорных плит, передающая давление по линии контакта поверхности элементов и обеспечивающая продольные перемещения за счет скольжения, а угловые – за счет наклона верхней опорной плиты либо только угловые перемещения	metal support part consisting of upper and lower flat surfaces with cylindrical supporting plates, for transmitting the pressure line and the contact surface of the elements providing longitudinal displacement by sliding and angular – due to tilt the upper base plate, or only the angular displacement.
Опорная часть шаровая – опорная часть, передающая опорное давление в точке и обеспечивающая только угловые перемещения пролетного строения в любом направлении	Ball supporting part – supporting part, transmitting the reference pressure and at providing only angular movements superstructure in any direction
Основание опоры – естественный грунт или искусственная подготовка под фундамент опоры моста	Ground support – natural or artificial soil preparation for the foundation of the bridge supports
Основание сооружения – слои грунта или конструкции, находящиеся ниже фундамента и воспринимающие нагрузку от сооружения	Base facilities – soil layers or objects that are below the foundation and supports the load of the construction
Особоточные измерения – связаны с установлением эталона	Particularly accurate measurements – are related to the establishment of reference
Ось моста – линия, совпадающая с осью проезжей части дороги или разделительной полосы, относительно которой устанавливают положение и конфигурацию моста в плане и профиле	The axis of the bridge – a line which coincides with the axis of the carriageway or a dividing line, which is set with respect to the position and the configuration of the bridge in plan and profile

Ось опорная – линия, соединяющая точки опирания пролетного строения на промежуточной опоре или устое	The axis of the support – the line connecting the point of supporting the superstructure on the intermediate support or abutment
Ось пролетного строения – линия, относительно которой устанавливают положение и конфигурацию пролетного строения в плане	The axis of the superstructure – the line about which the set position and the configuration of the superstructure in plan
Парапет – ограждение балкона, кровли здания, моста, набережной и т. п. В некоторых случаях парапет решается как декоративный художественный элемент	Parapet – balcony railing, roof of a building, bridge, embankment, etc. In some cases, the parapet is solved as a decorative art element
Переход мостовой – комплекс сооружений для перехода через водоток, состоящий из моста, подходов к нему, берегоукрепительных и регуляционных сооружений	Transition bridge – a complex of buildings for the watercourse crossing, consisting of the bridge, the approaches to it, shore protection and regulatory structures
Перила – ограждения различной конфигурации. Перилами ограждают лестницы, балконы, террасы, набережные, мосты. Как правило, перила имеют высоту около одного метра	Railing – fences of different configurations. Railing shield stairs, balconies, terraces, embankments and bridges. Typically, rails have a height of about one meter
Перила моста – ограждающее устройство на тротуарах	Bridge Railings – fencing arrangements on the sidewalks
Пилон – несущий элемент конструкции, мощная опора висячего или вантового моста в виде башни стойки или портала, служащий для опирания кабеля, цепи или системы вантов. Различают жесткие	Pilon – bearing structural element, the powerful support of the hanging or cable-stayed bridge in the form of a tower or rack portal serving for supporting the cable, chain or the

и качающиеся пилоны	Ventoux system. There are hard and swinging pylons
Плита многопустотная – железобетонная плита с пустотами для уменьшения ее массы. Оси пустот совпадают с продольной осью плиты или перпендикулярны к ней	Hollow slab – reinforced concrete slab with holes to reduce its weight. voids axes coincide with the longitudinal axis of the plate or perpendicular thereto
Плита переходная – элемент сопряжения моста с насыпью подхода в виде железобетонной плиты, опирающейся одним концом на шкафную стенку устоя или консоль пролетного строения, а другим – на лежень в насыпи подхода	Stove transition – coupling element of the bridge approach embankment with a concrete slab resting on one end of the enclosure 's abutment wall or console of the superstructure, and the other – on the sill in the mound approach
Плита проезжей части – железобетонный, стальной или деревянный элемент пролетного строения, непосредственно воспринимающий нагрузку от транспортных средств, пешеходов и элементов мостового полотна	Carriageway slab – reinforced concrete, steel or wooden element of the superstructure directly supports the load of the vehicle and pedestrian bridge deck elements
Плита с поперечными пустотами – железобетонная плита сборного пролетного строения, в которой в процессе изготовления с целью уменьшения ее массы образованы пустоты, перпендикулярные к продольной оси моста	Stove with lateral cavities – precast concrete slab span in which during the manufacturing process in order to reduce its mass voids are formed perpendicular to the longitudinal axis of the bridge
Проверка средств измерений – совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия	Verification of measurement tools – a set of operations performed in order to confirm the compliance of

средств измерений метрологическим характеристикам	measuring instruments metrological characteristics
Погрешность измерения – отклонение измеренного значения величины от её истинного (действительного) значения. Погрешность измерения является характеристикой точности измерения	Measurement accuracy – the deviation of the measured value from the value of its real (actual) value. Deviation is a characteristic of the measurement accuracy
Подход к мосту – участок насыпи земляного полотна дороги, примыкающий к мостовому сооружению и служащий для въезда на мост и съезда с него транспортных средств	The approach to the bridge – subgrade embankment section of the road, adjacent to the bridges and the employee to enter the bridge and exit his vehicle
Покрытие моста – верхний конструктивный слой одежды ездового полотна или тротуара	Coverage of the bridge – the upper structural layer of clothing or fabric driving sidewalk
Полимербетон – материал на основе рационально подобранной смеси полиэфирных смол и различных минеральных заполнителей	Polimerbeton – material based on rationally selected mixture of polyester resins and various mineral fillers
Полотно мостовое – совокупность всех элементов, расположенных на пролетном строении, предназначенных для обеспечения нормальных условий безопасности движения транспортных средств и пешеходов, а также для отвода воды с поверхности покрытия моста и в сопряжениях с подходами. Включает одежду ездового полотна, тротуары, ограждающие устройства, устройства для водоотвода, обогрева и освещения, деформационные швы и сопряжения	Cloth bridge – all the elements located on the span structure, designed to ensure the normal safety conditions of vehicles and pedestrians, as well as to divert water from the surface of the bridge surface and in conjunction with the approaches. It includes clothing riding tracks, sidewalks, fencing devices, devices for drainage, heating and lighting, expansion joints and conjugation bridge approaches

моста с подходами	
Поперечина – несущий элемент пролетного строения деревянного моста, уложенный на прогоны или пояса ферм перпендикулярно к оси моста. Служит для поддержания настила или покрытия проезжей части	Bar – bearing element of the span wooden bridge laid on purlins or trusses belt perpendicular to the axis of the bridge. It serves to maintain the floor coating or roadway
Пористость – степень заполнения объема материала порами (ячейками воздуха или другого газа). Пористость существенно влияет на технические свойства материалов теплопроводность, прочность, водопоглощение и др.)	Porosity – volume of the filling material pores (air cells or another gas). Porosity significantly affect the performance properties of the materials conductivity, strength, water absorption, and others.)
Портландцемент – гидравлическое вяжущее, в составе, которого преобладают силикаты, алюминаты и алюмоферриты кальция, получаемое при тонком измельчении клинкера и гипса. Может содержать различного рода добавки. Патент на него был получен в Англии Д. С. Аспдиным в 1824 году	Portlandsement – hydraulic binder, in the composition, which is dominated by silicates, aluminates and calcium alyumoferrity obtained by fine grinding of clinker and gypsum. Can contain various kinds of additives. The patent on it has been received in England DS Aspdin in 1824
Портландцементный клинкер – клинкер, состоящий преимущественно из высокоосновных силикатов кальция, а также алюминатов и алюмоферритов кальция	Portland cement – clinker clinker, consisting primarily of highly basic calcium silicate and calcium aluminate and alyumoferrite
Предварительно напряженные конструкции – те зоны элемента, в которые под действием	Prestressed structures – those elements of the zone, in which, under the action of operating loads appear

эксплуатационных нагрузок появляются растягивающие усилия, заранее (до приложения внешних нагрузок) подвергают интенсивному обжатию путем предварительного натяжения арматуры. Такие конструкции называют предварительно напряженными (ПНК)	tensile forces in advance (before the application of external loads) are subjected to intense compression reinforcement by pre-tensioning. Such structures are called prestressed (PNA)
Предел измерений – наибольшие и наименьшие значения диапазона измерений	Yield measurement – the highest and lowest values of the measuring range
Прогибомеры – приборы для измерения перемещений называют прогибомерами	Deflectometer – devices for measuring movement called deflectometer
Проезжая часть – полоса шириной, равной сумме ширин полос движения, предназначенная для движения транспортных средств по мосту	Roadway – band width equal to the sum of the widths of lanes intended for the movement of vehicles on the bridge
Пролет – расстояние между смежными опорами, перекрываемое балкой, плитой, аркой и пр. Расчетный пролет – расстояние между осями опор. Пролет в свету – расстояние между внутренними гранями опор	The span – the distance between adjacent pillars overlap beams, slabs, arch, etc. Current flight –. The distance between the axes of the supports. The span in the world – the distance between the inner faces of the supports
Пролет моста – пространство между смежными опорами	The span of the bridge – the space between the adjacent supports
Пролет моста расчетный – горизонтальное расстояние между осями опорных частей, а при отсутствии их – между осями опор или условными точками опирания пролетного строения	The span of the bridge settlement – the horizontal distance between the axes of the bearings, and in the absence of them – between the axes of supports or bearing points of

	conventional superstructure
Пролетное строение – несущая конструкция мостового сооружения, перекрывающая все пространство или часть его между двумя или несколькими опорами, воспринимающая нагрузку от элементов мостового полотна, транспортных средств и пешеходов и передающая ее на опоры	Spans – bearing structure of the bridge structure, covers all or part of the space between two or more legs, the load bearing elements of the bridge deck, vehicles and pedestrians, and transmits it to the support
Пролетное строение коробчатое – пролетное строение, состоящее из одной или нескольких объединенных в поперечном направлении балок коробчатого сечения с поперечными консолями или без них	Spans box-shaped – superstructure, consisting of one or more joint laterally box beams with transverse or without their consoles
Пролетное строение неразрезное – балочное пролетное строение, перекрывающее два или более пролетов и не имеющее по длине разрывов или шарнирных сопряжений	Spans of continuous – beams of the superstructure, overlapping two or more spans and has no gaps along the length of the hinge or interfaces
Пролетное строение открытое – пролетное строение с ездой понизу или посередине, верхние пояса ферм которого не соединены и внутреннее пространство между фермами сверху не ограничено	Spans open – Spans with riding on the bottom or the middle, upper zone which farms are not connected and the internal space between farms is not limited to the top
Пролетное строение плитное – пролетное строение, выполненное в виде одной или нескольких объединенных друг с другом сплошных или многопустотных плит	Spans of plate – span structure, made in the form of one or more integrated with each other solid or hollow-core slabs

Пролетное строение плитно–ребристое – железобетонное пролетное строение, состоящее из двух или более широко расставленных ребер, перекрытых плитой с консолями	Spans plate–ribbed – concrete span, consisting of two or more widely spaced ribs, floor slabs with consoles
Пролетное строение подвесное – разрезное балочное пролетное строение, опирающееся хотя бы одним концом на консоль смежного пролетного строения	Spans suspension – split beams of span, based at least on one end of the console adjacent superstructure
Пролетное строение предварительно напряженное (преднапряженное) – железобетонное или металлическое пролетное строение, в котором отдельные растянутые несущие элементы или конструкции в целом предварительно обжаты тем или иным способом.	Superstructures of prestressed (prestressed) – reinforced concrete or metal spans, in which the individual elements or stretched bearing structure as a whole pre–rolling one way or another.
Пролетное строение разрезное – балочное (плитное) пролетное строение, перекрывающее только один пролет или часть его, не имеющее связей со смежными пролетными строениями или шкафной стенкой устоя	Spans split – Wooden (MDF) superstructure, overlapping only one flight or part of it, which has no links with the adjacent span structure or abutment wall cupboard
Пролетное строение ребристое – железобетонное пролетное строение, состоящее из балок прямоугольного, таврового или двутаврового сечения	Spans ribbed – concrete span, consisting of a beam rectangular, tee or I–section
Пролетное строение с ездой поверху – пролетное строение, в котором проезжая часть расположена в уровне его верха или над ним	Spans with riding on top – superstructure, in which the roadway is in the level of its top or above

Пролетное строение с ездой понизу – пролетное строение, в котором проезжая часть расположена в уровне его низа	Spans with riding across the bottom – span in which the roadway is in the level of its bottom
Пролетное строение с ездой посередине – пролетное строение, в котором проезжая часть расположена в пределах его высоты между верхом и низом	Spans with riding in the middle – span in which the roadway is located within its height between the top and bottom
Пролетное строение с каркасной арматурой – железобетонное пролетное строение, основная несущая арматура которого объединена в каркасы	Spans with the carcass reinforcement – concrete span, the main load-bearing reinforcement which is incorporated in the frame
Пролетное строение сварное – стальное пролетное строение, изготовленное с применением сварки, с монтажными стыками на болтах или заклепках	Spans welded – steel span structure, manufactured with the use of welding joints with mounting bolt or rivet
Пролетное строение сквозной (решетчатой) конструкции – пролетное строение, основные несущие элементы которого выполнены в виде ферм	Spans through (lattice) structure – superstructure, the main load-bearing elements are in the form of farms
Пролетное строение температурно-неразрезное – балочное пролетное строение, образованное из разрезных пролетных строений путем их объединения (как правило, в уровне проезжей части) таким образом, что при горизонтальных, в том числе температурных, воздействиях, конструкция работает как неразрезное пролетное строение	Spans temperature and uncut – beams of the superstructure formed from the split span structures by combining them (usually in the level of the roadway), so that the horizontal, including thermal, impact, design works as a continuous span
Прочность – свойство материала	Strength – property of a material to

сопротивляться разрушению под действием внутренних напряжений, вызываемых внешними силами или другими факторами (стесненная усадка, неравномерное нагревание и т. п.). Оценивается пределом прочности – нагрузкой, при которой происходит разрушение материала. Обозначается R, измеряется в МПа	resist destruction under the influence of internal stresses caused by external forces or other factors (constrained shrinkage, uneven heating, etc...). We estimate the tensile strength – load at which failure of the material occurs. Denoted R, measured in MPa
Путепровод – конструктивно – аналог моста, эстакады, служащий для организации непрерывного движения в местах пересечения транспортных коммуникаций	Overpass – structurally – similar bridge, trestle, which serves for the organization of continuous motion at the intersection of transport communications
Рама железобетонная – железобетонная конструкция, состоящая из колонн жестко закрепленных в фундаментах и балках	Reinforced concrete frame – reinforced concrete structure consisting of columns entrenched in the foundations and beams
Распор – горизонтальная составляющая вертикальной нагрузки, возникающая в конструкциях, работающих на распор (арках, сводах и т. п.)	Thrust – the horizontal component of the vertical load that occurs in structures working on spacers (arches, arches, etc.)
Ребро (уголок) жесткости – элемент металлической балки, прикрепленный к ее стенке или ортотропной плите для обеспечения устойчивости при изгибе (сжатии)	The edge (corner) of hardness – the element of metal beams attached to its wall or orthotropic plate to ensure stability in bending (compression).
Ригель – горизонтальный элемент строительной конструкции (балка, прогон). В рамах ригель соединяет стойки, в каркасах – опоры, в крышах –	Rigel – horizontal structural elements (beams, run). In the frames of the bolt connecting the rack, in carcasses – support in the roofs – rafter

стропила	
Ригель опоры – железобетонный оголовок столбчатой опоры (а также массивной опоры)	Rigel support – concrete headroom columnar support (as well as the solid support)
Сваи – деревянные, металлические или железобетонные "стержни", которые заглубляют в основание зданий и сооружений. Сваи передают нагрузку от фундамента на плотные (материковые) грунты	Piles – wood, metal or reinforced concrete "pins", which deepened into the base of buildings and structures. Piles transfer the load from the foundation on solid (mainland) soils
Свая буровая – свая, выполненная путем заполнения бетонной смесью предварительно пробуренной скважины	Pile drilling – pile, made by filling the concrete mix pre-drilled hole
Свая забивная – свая, предварительно изготовленная и погружаемая в грунт путем забивки или вибрации (вибропогружением)	Pile pile – pile, pre-fabricated and immersed in the ground by driving or vibration (vibro)
Селедук – мостовое сооружение через горную дорогу, служащее для пропуска над ней селевого потока.	Seleduk – bridge construction through the mountain road, which serves to skip over it mudflow.
Середина моста – геометрическое место точек, равноудаленных от начала и конца моста	The middle of the bridge – the locus of points equidistant from the beginning and end of the bridge
Середина пролета – геометрическое место точек, равноудаленных от смежных опор	Mid-span – the locus of points equidistant from the adjacent poles
Систематическая погрешность – ее вызывает неправильно определенная чувствительность, несовпадение градуировочных характеристик при	Systematic error – it is correctly defined–Retained sensitivity mismatch calibration characteristics for forward and reverse motion

прямом и обратном ходе (гистерезис) и пр	(hysteresis) and so forth
Скотопроегон – мостовое сооружение или труба, служащие для пропуска скота под дорогой	Underpasses – bridge construction or pipe serving for the passage of cattle under the road
Случайные погрешности – они обусловлены влиянием на результаты измерений неконтролируемых факторов (случайные колебания температуры, вибрация и т. д.). Такие погрешности оцениваются методами математической статистики по данным многократных измерений	Random error – onibuslovleny influence on the measurement results of uncontrollable factors (random fluctuations in tempera–ture, vibration, etc...). Such errors are estimated by methods of mathematical statistics according to multiple measurements
СНиП (Строительные нормы и правила) – содержащий обязательные к выполнению требования нормативный документ в области строительства	SNIP (Building Regulations) – containing the mandatory requirements of normative documents in construction
Сооружение – это результат строительной деятельности для осуществления определённых потребительских функций	Construction – this is the result of construction activities for the implementation of certain functions of the consumer
Сооружение мостовое – дорожное инженерное сооружение, состоящее из одного или нескольких пролетных строений и опор, предназначенное для перевода транспортного пути через препятствие. К этой группе сооружений относятся мосты, путепроводы, виадуки эстакады, мосты каналы	The construction of a bridge – road engineering construction, consisting of one or more spans and supports designed to transfer the transport path through the obstacle. This group includes the construction of bridges, overpasses, viaducts flyovers, bridges channels
Сочетания нагрузок и воздействий – наложение одновременно возникающих	Combinations of loads and impacts –nalozhenie simultaneously occurring

воздействий осуществляется в форме наиболее неблагоприятных комбинаций. При этом следует соблюдать следующие правила их сочетаний: 1) постоянные и временные нагрузки и воздействия должны содержаться во всех расчетных комбинациях; 2) временные и особые нагрузки и воздействия целесообразно (для упрощения расчета) рассматривать в сочетаниях, при которых они, возникая совместно, сильно зависят друг от друга и одновременно достигают максимальных значений (например, временная вертикальная нагрузка, тормозная сила и центробежная сила)	actions carried out in the form of the most unfavorable combinations. At the same time observe the following combinations: 1) permanent and temporary loads and impacts must be contained in all calculated combinations; 2) temporary and special loads and impacts tseleso-obrazno (for ease of calculation), read in conjunction, in which they co-arising, strongly dependent on each other and simultaneously reach their maximum values (for example, a temporary vertical load, the braking force and the centrifugal force)
Средства измерений – это технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические характеристики. Они состоят из системы мер, измерительных приборов и преобразователей, а также измерительных установок и систем	Measuring instruments – is the technical means used for measurements and having normalized metrological characteristics. They consist of a system of measures, measuring instruments and transducers, as well as measuring equipment and systems
Стабилизация параметров средств измерений – выбор стабильных режимов работы прибора, предварительное старение нестабильных элементов и др.	Stabilization Parameter measuring instruments – the choice of sustainable modes of operation of the device, pre-aging and other unstable elements.
Сталь арматурная периодического профиля – стальные стержни с	Reinforcing steel – steel rods spaced uniformly on their surfaces at an angle

равномерно расположенными на их поверхности под углом к продольной оси стержня поперечными выступами (рифлением) для улучшения сцепления с бетоном	to the longitudinal axis of the transverse bar projections (corrugation) to improve adhesion with the concrete
Стандартизация – это установление и применение правил для упорядочения деятельности в определенной области на пользу и при участии всех заинтересованных сторон, в частности, для достижения всеобщей оптимальной экономии при соблюдении функциональных условий и требований техники безопасности. В области строительства стандартизации подлежат методы расчета и проектирования конструкций и сооружений, требования к материалам и изделиям, допуски конструкций зданий и сооружений на стадии монтажа и строительства, методы испытаний и проведения измерений, методы представления и обработки получаемых результатов измерений и т. д.	Standardization – is the establishment and application of the rules to streamline operations in a particular area to the benefit of and with the participation of all stakeholders, in particular, to achieve universal optimum savings in respect of functional conditions and safety requirements. In the field of standardization of construction are subject to the methods of calculation and design of structures and facilities, the requirements for materials and products, construction tolerances of buildings and structures on the stage of installation and construction, test methods and measurement methods pred-stavleniya and processing measurement results, and so on. D.
Стандарты методов испытаний – которые включают требования о порядке отбора проб или образцов, методы испытаний материалов и изделий, используемые для оценки качества продукции; эти стандарты обеспечивают единство методов и средств испытаний;	Standard test methods – which include requirements on the procedure for taking samples or samples, test methods for materials and products that are used to assess the quality of products; These standards ensure the unity of methods and testing

в стандартах на методы испытаний содержатся также требования к измерительным приборам, инструментам и установкам, используемым для контроля показателей качества изделий	equipment; in the Test method contains the requirements for measuring instruments, tools, and installations used for the control of product quality indicators
Статическая нагрузка – количество тонн погруженного груза, приходящееся в среднем на один вагон	The static load – the number of tonnes of cargo loaded, falling by an average of one car
Строительные конструкции – строительными конструкциями называют здания и сооружения и их части (подвижные или неподвижные), размеры которых определены расчетом на прочность, устойчивость, выносливость, трещиностойкость, по деформациям, и предназначенные для восприятия разнообразных нагрузок и воздействий	Building construction – in structures called buildings and structures and parts of structures (mobile or fixed), the dimensions of which are determined by calculation of strength, stability, endurance, fracture toughness, the strains and are intended for perception of different loads and impacts
Строительство – это вид человеческой деятельности, направленный на создание зданий, инженерных сооружений (мостов, дорог, аэродромов), а также сопутствующих им объектов (инженерных сетей, малых архитектурных форм и т.д.)	Building – this kind of human activity, aimed at creating buildings, engineering structures (bridges, roads, airports), as well as accompanying facilities (utilities, small architectural forms, etc.)
Схема моста – графическое изображение моста с указанием основных размеров, геологических данных, а также технико–экономических показателей	The scheme of the bridge – a graphic representation of the bridge with principal dimensions, geological data, as well as the technical and economic indicators
Тело опоры – часть массивной опоры	The body support – part of a massive

или устоя между оголовком (верхом подферменной плиты – при отсутствии оголовков) и фундаментом	support or abutment between the head part (top podfermennoy plate – with no end walls) and the foundation
Тензометры – они применяются для измерения линейных деформаций поверхностных волокон элементов конструкций при статических испытаниях. По конструктивному признаку можно выделить четыре разновидности тензометров: механические, электрические, струнные, тензорезисторные	Strain gauges – they are used for measuring the linear deformation of the surface structure elements fibers in static tests. By design features four types of strain gauges can be distinguished: mechanical, electrical, string, strain
Теория прочности – попытки количественного анализа наблюдаемых на опытах качественных закономерностей деформирования и разрушения твердых тел находят отражение в так называемых теориях прочности – физических и механических	The theory of strength – attempt quantification experimentally observed qualitative regularities of deformation and fracture of solids are reflected in the so-called theory of strength – physical and mechanical
Торкрет-бетон (торкретирование) – способ бетонирования, при котором бетонная смесь послойно наносится на бетонируемую поверхность под давлением сжатого воздуха с использованием «цемент-пушки»	Shotcrete – concrete (concrete spraying) –Shipping concrete, in which the concrete mixture is applied in layers to the concreted surface under the pressure of compressed air using a «cement-gun»
Точность измерения – степень приближения результатов измерения к истинному значению	The accuracy of measurements – the degree of approximation of measurement results to the true value
Тощий бетон – бетон с высоким содержанием заполнителей и низким содержанием цемента	Lean concrete – concrete with high content of fillers and low-cement

Тротуар моста – часть мостового полотна, предназначенная для движения пешеходов. Различают повышенный тротуар, если расположен выше уровня проезда, или пониженный, если расположен в уровне проезжей части	The pavement of the bridge – part of the bridge deck, designed for pedestrian traffic. There are elevated sidewalk, if located above the passage level, or lowered if situated in the level of the roadway
Тяжелый бетон – это бетон плотной структуры, на цементном вяжущем и плотных крупных и мелких заполнителях. Он является наиболее распространенным в строительстве и, в основном, применяется для несущих железобетонных конструкций	Heavy concrete – a dense concrete structure, cement binder and dense large and small aggregates. It is most common in construction and mainly used for carrying concrete
Устой (опора береговая) – крайняя опора моста в сопряжении его с насыпью подхода, воспринимающая давление пролетного строения и грунта насыпи	Abutment (abutment) – extreme support of the bridge in conjunction with his loose approach of the pressure of the superstructure and the mound of soil
Устой анкерный – устой многопролетного моста, на котором расположены неподвижные опорные части, воспринимающие горизонтальные усилия, собирающиеся с нескольких пролетов	Abutment anchor – abutment multispan bridge on which there are fixed bearings, horizontal forces, gathering with several spans
Устой коробчатый – устой, в котором плита проезжей части перекрывает свободное пространство между шкафной, обратными и задней замыкающей стенками	A box-shaped abutment – abutment in which the stove roadway spans the space between the cupboard, reverse and closing the rear wall
Устой облегченный – устой железобетонный монолитный или	Abutment lightweight – monolithic reinforced concrete abutment or

сборный малого однопролетного моста в виде подпорной стены трапецеидальной формы, воспринимающей давление грунта как балка на двух опорах за счет объединения поверху с пролетным строением и постановки понизу распорок	assembly of small single-span bridge in the form of a retaining wall of trapezoidal shape, the receiving earth pressure as a beam on two supports on top by combining with spans across the bottom and putting spacers
Формула моста – условная запись, характеризующая размеры пролетов и последовательность их размещения в мосту	The formula of the bridge – a conditional entry, characterizing the size of spans and the sequence of their placement in the bridge
Фундамент – преимущественно подземная часть сооружения, служащая его опорой и передающая нагрузку на основание	The foundation – mainly underground part of the building that serves as its support and the transmission load on the ground
Цемент – порошкообразный строительный вяжущий материал, который обладает гидравлическими свойствами, состоит из клинкера и, при необходимости, гипса или его производных и добавок. При взаимодействии с водой или другими жидкостями образуют пластичную массу, которая, затвердевая, превращается в камнеподобное тело	Cement – powdered cementitious building material which has hydraulic properties, consists of clinker and, if necessary, its derivatives or gypsum and additives. When in contact with water or other liquids to form a plastic mass that hardens, turns into rock-like body
Цементный раствор – смесь цемента, песка и воды	Cement mortar – a mixture of cement, sand and water
Ширина моста – расстояние между перилами в свету	The width of the bridge – the distance between the railing in the world
Ширина моста полезная – суммарная	The width of the bridge useful – the

ширина всех элементов моста, предназначенных для пропуска движения транспортных средств и пешеходов, измеренная перпендикулярно к оси проезжей части	total width of all elements of the bridge intended for the passage of vehicular traffic and pedestrians, as measured perpendicular to the axis of the roadway
Шов – 1) соединение двух элементов конструкции вдоль их осей, обеспечивающее их совместную работу как единого целого; 2) зазор между двумя элементами или частями сооружений, обеспечивающий их независимое перемещение относительно друг друга, вызванное изменением температуры, неравномерной осадкой, силовыми воздействиями и т.п	Seam – 1) Connect the two structural elements along their axes, providing them work together as a whole; 2) The gap between the two elements, or parts of structures, providing their independent movement relative to each other, caused by the temperature change, differential settlement, power impacts, etc
Шов деформационный – зазор между торцами пролетных строений либо торцом пролетного строения и шкафной стенкой устоя или головной частью опоры	The seam deformation – the gap between the ends of superstructures either end of the span and the enclosure wall of the abutment or head part of the support.
Шпренгель – элемент усиления балки или фермы, заделанный по концам, работающий на растяжение, воспринимающий часть изгибающего момента основной конструкции	Sprengel – gain element beam or girder, sealed at both ends, tensile, bending moment of the receptive main structure
Щебень – рыхлая обломочная порода из неокатанных обломков горных пород, шлаков и т. д. размером от 10 до 100 мм (для гидротехнического строительства до 150 мм). Получают путем дробления бутового камня или взрыва горных	Rubble – a loose conglomerate of sharp-edged fragments of rock, slag, etc. ranging in size from 10 to 100 mm (for hydraulic engineering up to 150 mm)... Obtained by crushing quarry stone or explosion rocks

пород с последующим дроблением до соответствующей фракции. Щебень может иметь как природное, так и искусственное происхождение. Применяется в качестве заполнителя в бетоне, в дорожном строительстве и др.	followed by crushing to a fraction. Rubble can be both natural and artificial origin. It is used as an aggregate in concrete, road construction, etc..
Электрические тензометры – в настоящее время для измерения деформаций при испытаниях сооружений, строительных конструкций и деталей наиболее широко используются электрические проволочные (петлевые), фольговые или полупроводниковые тензометры, в основу которых положены тензорезисторы различной конструкции. Тензорезисторы предназначены для дистанционных измерений деформаций. Принцип действия тензорезисторов основан на изменении омического сопротивления R проводников при деформации	Electrical strain gauges – currently measuring deformations in test co-armed, building structures and details the most widely ispol-zuyutsya electric wire (loop), foil or semiconductor strain gauges, which are based on strain gauges of various designs. Strain gages are designed for remote sensing de formations. The principle of operation of strain gages based on a change omiche-skogo resistance R of the conductors during deformation
Эстакада – надземное или надводное сооружение мостового типа, служащее для пропуска транспортных средств и пешеходов, обеспечения погрузочно-разгрузочных работ, прокладки инженерных коммуникаций. Обычно состоит из значительного числа пролетов однотипной конструкции	Overpass – overhead or underwater structure such as a bridge, which serves for the passage of vehicles and pedestrians, providing loading and unloading, laying of utilities. Usually it consists of a significant number of spans of the same type design

Контрольные вопросы:

- Методология экспериментальных исследований?*
- Задачи и общие методы обследования и испытания сооружений?*
- Цели и задачи испытаний конструкций?*
- Разновидности испытаний?*
- Приемочные испытания?*
- Испытания эксплуатируемых объектов?*
- Испытания конструкций и деталей при их серийном производстве?*
- Научно-исследовательские испытания?*
- Основы метрологии и стандартизации в строительстве?*
- Метрология?*
- Поверка средств измерений?*
- Метрологическая аттестация средств измерений?*
- Поверочная схема?*
- Средства поверки?*
- Средства измерений?*
- Измерительные приборы?*
- Случайные погрешности?*
- Виды стандартов?*
- Стандарты технических условий?*
- Стандарты технических требований?*
- Стандарты методов испытаний?*
- Стандарты правил приемки, маркировки, упаковки, транспортирования и хранения?*
- Основные метрологические характеристики средств измерений?*
- Статическая градуировочная характеристика?*
- Амплитудно-частотная характеристика?*
- Переходная характеристика приборов?*
- Инструментальная погрешность?*

Методические погрешности?

Случайная составляющая погрешности измерений?

Систематическую погрешность?

Стабилизация параметров средств измерений?

Основы теории планирования эксперимента?

Однофакторный эксперимент?

Многофакторный эксперимент?

Пример составления плана полного факторного эксперимента?

Проверка адекватности полученных уравнений регрессии?

Конструктивные и технические особенности измерительных средств?

Измерительные приборы для статических испытаний и область их применения?

Силовые измерительные приборы?

Приборы для линейных измерений?

Прогибомеры?

Индикаторы (мессуры) ?

Электромеханические измерители перемещений?

Клинометры?

Электрические тензометры?

Типы тензорезисторов?

Сдвигомеры?

5. Геодезические методы измерения перемещений?

Классические геодезические методы?

Гидростатическое нивелирование?

Метод натянутой нити?

Тарирование измерительной аппаратуры и приборов?

Схема тарировочного устройства с балкой равного сопротивления?

Общие требования к испытаниям и обкаткам мостов?

Программа испытаний?

Методы и средства статических испытаний конструкций и мостов?

Оборудование и приборы для испытания материалов и конструкций?

Прессы и испытательные машины?

Приборы нового поколения для испытания строительных материалов и конструкций?

Методика испытаний образцов на прочность в прессах?

Статические испытания мостов?

Выбор элементов для испытания и схемы загрузки?

Схема испытания монолитной разрезной плиты?

Схема испытания многопролетной неразрезной балки?

Схема испытания полигональной фермы?

Нагрузка и ее разновидности при статических испытаниях?

Распределенная нагрузка?

Сосредоточенная нагрузка?

Проведение статических испытаний?

Подготовительные работы при испытаниях?

Схемы опирания и нагружения изделий?

Способы нагружения изделий?

Испытание штучными грузами?

Схема стенда для испытаний балочных элементов двумя сосредоточенными грузами?

Схема нагружения конструкции при помощи рычажного устройства?

Схема стенда для испытаний плит сжатым воздухом?

Установка измерительных приборов?

Режим испытания и назначение величины испытательной нагрузки?

Испытание железобетонных изделий серийного изготовления и отбор контрольных образцов?

Ступени нагружения?

Разгрузка?

Предварительное загрузеие конструкции?

Обработка результатов статических испытаний?

Графическая обработка данных измерения прогибов?

Визуальное наблюдение за техническим состоянием нагружаемого образца?

Определение напряженного состояния и силовых факторов в элементах мостов?

Классификация пролетных строений по грузоподъемности (по результатам статических испытаний) ?

Цели и задачи испытаний конструкций и мостов динамической нагрузкой?

Испытания натурных сооружений динамической эксплуатационной нагрузкой?

Испытания конструкций и сооружений искусственно создаваемой вибрационной нагрузкой?

Динамические испытания при кратковременном силовом воздействии?

Оценка и анализ результатов испытаний, их практическая применимость?

Определение периода и частоты вынужденных колебаний?

Определение амплитуды колебаний?

Экспериментальное определение частоты собственных колебаний?

Определение динамического коэффициента?

Определение по диаграмме динамического коэффициента и периода вынужденных колебаний?

Обработка опытных данных динамических испытаний?

Определение категории мостов по грузоподъемности?

Обкатка мостов?

Оценка технического состояния сооружений по результатам обследований и испытаний?

Оценка технического состояния и эксплуатационной надежности сооружения?

Оформление результатов обследований и испытаний?

Литература главы I

1. Из истории строительства мостов.
<http://www.1520mm.ru/track/ancientBridge.phtml>.
2. Кто построил первый мост? <http://www.kniga.es/>
3. Самый старый мост в мире находятся в Индии
<http://worldboo.blogspot.ru/2012/09/The-oldest-bridge-in-the-world-is-found-in-India-confirmed-the-book-Ramayana.html>
4. Где был построен самый первый мост в Море.
<http://otvet.mail.ru/comments/answer/102273645/>
5. С. Синиговец, Самый старый мост в мире.
<http://samogo.net/> <http://samogo.net/categories.php?id=19>
6. Мульвиев мост. http://bestbridge.net/Eu_Pons_Mulvius
7. Самые высокие, длинные и старейшие мосты в мире.
<http://www.telegraph.co.uk/property/propertypicturegalleries/8997330/The-highest-tallest-longest-and-oldest-bridges-in-the-world.html>
8. Древняя архитектура. <http://kitai-art.ru/foto/6.jpg> <http://kitai-art.ru/source/drevnjaja-arkhitektura/foto/6.jpg>
9. Мосты в доклассовом обществе. <http://www.allbridges.ru/>
10. Самый высокий сохранившийся древнеримский акведук Пон-дю-Гар
<http://bestbridge.net/> <http://bestbridge.net/Eu/pon-dyu-gar.phtml>

11. Античный мост через Гвадиану.
<http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/16616>
12. Мост Марко Поло. <http://bestbridge.net/>
13. Мост Часовни. <http://bestbridge.net/>
14. Мост Скалигеров <http://bestbridge.net/>
15. Карлов мост. <http://bestbridge.net/>
16. Мост Хаджу. <http://bestbridge.net/>
17. Мост Кинтай
18. Мост Искандера. <http://www.ots.uz/ru/uzbekistan/attractions-of-uzbekistan/monuments-of-termez/132-iskanders-bridge>
19. Мост Рамитана. [http://podrobno.uz/
http://r.mail.ru/n119594025?&rnd=107328244](http://podrobno.uz/http://r.mail.ru/n119594025?&rnd=107328244)
20. Мост Колпино, Россия (Ancient bridge, Kolpino, Russia).
<http://kolpino-city.ru/news/1/2432/?print=Y>
20. Железнодорожный виадук Гёльчтальбрюкке. <http://bestbridge.net/>.
21. Мост через реку Верзаска.
[http://clubdruzey.ru/meet/index.php?PHPSESSID=483a78f090bdd58426cd
b2d2bc75ce48&topic=4983.0](http://clubdruzey.ru/meet/index.php?PHPSESSID=483a78f090bdd58426cdeb2d2bc75ce48&topic=4983.0)
22. Мост Солкан.
23. Мосты древнего Китая. <http://chinatrips.ru/>.
24. Швейцарские Альпы. Чёртов мост.
25. Уилинг-Бридж в Огайо
26. Подвесной мост в Kakum National Park, Гана.
27. Мост Puente de Ojuela, Мексика.
28. Уникальные водные мосты мира. [http://www.infoniac.ru/news/7-
udivitel-nyh-zhilyh-mostov-mira.html](http://www.infoniac.ru/news/7-udivitel-nyh-zhilyh-mostov-mira.html)
29. Школа мостовиков в странах СНГ.
<http://rusbuildrealty.ru/books/arhitektura/139.html>
30. Отечественный и мировой опыт. <http://mostsakhalin.ru/>

31. Среднеазиатская железная дорога.
<http://www.railwayticket.ru/forum/index.php/topic,64.msg96.html?PHPSESSID=c2lqc6o7h9kv62cpkogmt8gj7#msg96>
32. Самые высокие, длинные и старейшие мосты в мире.
<http://www.telegraph.co.uk/property/propertypicturegalleries/8997330/The-highest-tallest-longest-and-oldest-bridges-in-the-world.html> Источник:
<http://www.telegraph.co.uk/>
33. Мост Цинма. <http://bestbridge.net/Azi/most-cinma.phtml>
34. Мост. <http://topxlist.ru/category/build/>
35. Музыкальный мост "Фонтан радуги"
<http://www.spletnik.ru/>
- 36.
37. О Программе развития и модернизации инженерно-коммуникационной и дорожно-транспортной инфраструктуры на 2015-2019 годы. № ПП-2313 от 6.03.2015 г.
38. Постановление Президента Республики Узбекистан «О мерах по реализации Программы развития региональных автомобильных дорог на 2017- 2018 годы».
39. Указ Президента Республики Узбекистан «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы управления дорожным хозяйством».
40. Васильев А.И. Тенденции развития российского и зарубежного мостостроения. Москва. (ГТУ), (ЗАО «Институт ИМИДИС»).

Литература главы II

1. Определение мостовых терминов.
<http://rusbuildrealty.ru/books/arhitektura/>
2. Классификация мостов. <http://topxlist.ru/category/build/>

3. А.А.Ашрабов, Ч.С.Раупов. Реконструкция и восстановление эксплуатируемых сооружений на железнодорожном транспорте. Часть I. Учебное пособие для магистров строительного профиля. ТашИИТ. Часть I. 2007. – 82 с.
4. А.А.Ашрабов, Ч.С.Раупов. Реконструкция и восстановление эксплуатируемых сооружений на железнодорожном транспорте. Часть I. Учебное пособие для магистров строительного профиля. ТашИИТ. Часть II. 2007. – 97 с.
5. А.А.Ашрабов, Ч.С.Раупов. Техническая диагностика и реабилитация строительных конструкций. Часть I. Учебное пособие для магистров строительного профиля. ТашИИТ. Часть II. 2007. – 95 с.
6. А.А.Ашрабов, Ч.С.Раупов. Техническая диагностика и реабилитация строительных конструкций. Часть I. Учебное пособие для магистров строительного профиля. ТашИИТ. Часть II. 2007. – 75 с.
7. Содержание, реконструкция, усиление и ремонт мостов и труб / В.О. Осипов [и др.] ; под ред. В.О. Осипова и Ю.Г. Козьмина. – М. : Транспорт, 1996. – 471 с.
8. Система управления данными о мостах // Прибалтийско-Польско-Финский семинар по мостам. - Хельсинки, 1992. - С. 39-61.
9. Руководство по определению грузоподъемности железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов. Утв. Гл. упр. пути МПС 30.11.1986 г. – М. : Транспорт, 1989. – 127 с.
10. Правила и технология работ по текущему содержанию искусственных сооружений / ОАО «РЖД». – М. : ИКЦ «Академкнига», 2006. – 94 с.
11. ЦП-628. Инструкция по содержанию искусственных сооружений. Утв. МПС 28.12.1998 г. – М. : Транспорт, 1999. – 108 с.
12. А. В. Картопольцев. Курс «Эксплуатация и реконструкция мостовых сооружений, ч.1», Дорожно-строительный факультет. Томск

2015. 4 курс, АМиТ, бакалавры. -102 с.

13. Брик А.Л., Давыдов В.Г., Савельев В.Н. Эксплуатация искусственных сооружений на железных дорогах. – М.: Транспорт, 1990. – 232 с.

14. Нигаматова О.И., Овчинников И.Г. Системы управления состоянием мостовых сооружений // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №3 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/09TVN315.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/09TVN315.

15. Система управления данными о мостах // Прибалтийско-Польско-Финский семинар по мостам. - Хельсинки, 1992. - С. 39-61.

16. Пассек В.В. Обрушение мостовых конструкций за рубежом (Обзор). - М.: Оргтрансстрой, 1970. - 27с.

17. Система управления содержанием мостов // Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, 1997. - №746. - S. 47-56.

18. Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» <http://naukovedenie.ru> Том 7, №3 (май - июнь 2015) publishing@naukovedenie.ru

19. Управление состоянием мостовых сооружений на федеральной сети автомобильных дорог России. – М., 2007. – 96 с. – (Автомобильные дороги и мосты: Обзорн. информ. / ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР»; Вып. 2).

20. Методическое руководство по сбору и обновлению информации о мостах для ИПС «Мост» / ГипродорНИИ. М.: ЦБНТИ Минавтодора РСФСР, 1981. – 26 с.

21. Михин Н.Ф., Мусатов С.А. Опыт разработки и внедрения ИПС «Мост» в дорожном хозяйстве / Центр правления НТО автомобильного транспорта и дорожного хозяйства. М.: Транспорт, 1985.

22. Яшнов А.Н., Рыбалов А.Ю. Оценка технического состояния мостовых сооружений в системе мониторинга // Дороги №72 / октябрь 2013. - С. 38-40.

Литература главы III

1. А.А.Ашрабов, Ч.С.Раупов. Реконструкция и восстановление эксплуатируемых сооружений на железнодорожном транспорте. Часть I. Учебное пособие для магистров строительного профиля. ТашИИТ. Часть I. 2007. – 82 с.
2. А.А.Ашрабов, Ч.С.Раупов. Реконструкция и восстановление эксплуатируемых сооружений на железнодорожном транспорте. Часть I. Учебное пособие для магистров строительного профиля. ТашИИТ. Часть II. 2007. – 97 с.
3. А.А.Ашрабов, Ч.С.Раупов. Техническая диагностика и реабилитация строительных конструкций. Часть I. Учебное пособие для магистров строительного профиля. ТашИИТ. Часть II. 2007. – 95 с.
4. А.А.Ашрабов, Ч.С.Раупов. Техническая диагностика и реабилитация строительных конструкций. Часть I. Учебное пособие для магистров строительного профиля. ТашИИТ. Часть II. 2007. – 75 с.
5. Содержание, реконструкция, усиление и ремонт мостов и труб / В.О. Осипов [и др.] ; под ред. В.О. Осипова и Ю.Г. Козьмина. – М. : Транспорт, 1996. – 471 с.
6. ТКП 45-3.03-60-2009 (02250). Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний. – Мн. : Стройтехнорм, 2009. – 29 с.
7. Этин, П. Ю. Э90 Диагностика и испытания мостов : учеб.-метод. пособие / П. Ю. Этин ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 65 с.
8. А.А.Ашрабов, Ч.С.Раупов. Экспериментальные методы и средства проведения инженерных испытаний. Часть I. Учебное пособие для магистров строительного профиля. ТашИИТ. Часть I. 2007. – 100 с.
9. А.А.Ашрабов, Ч.С.Раупов. Экспериментальные методы и средства

проведения инженерных испытаний. Часть I. Учебное пособие для магистров строительного профиля. ТашИИТ. Часть II. 2007. – 116 с.

10. А. В. Картопольцев. Курс «Эксплуатация и реконструкция мостовых сооружений, ч.1», Дорожно-строительный факультет. Томск 2015. 4 курс, АМиТ, бакалавры. -102 с.

11. Бокарев, С.А. Содержание искусственных сооружений с использованием информационных технологий : учеб. пособие для вузов ж.-д. тр-та / С.А. Бокарев, С.С. Прибытков, А.Н. Яшнов. – М. : ГОУ «УМЦ по образованию на ж.-д. тр-те», 2008. – 195 с.

12. Инструкция по оценке состояния и содержания искусственных сооружений на железных дорогах Российской Федерации. Утв. ЦП ОАО «РЖД» 23.12.2005 г. – М., 2006. – 120 с.

13. Руководство по пропуску подвижного состава по железнодорожным мостам. Утв. Гл. упр. пути МПС 04.07.1991. – М. : Транспорт, 1993. – 368 с.

14. БАМ. Ч. 2. Искусственные сооружения / под ред. Е.В. Басина. – М., 1990. – 347 с.

15. Боровик, Г.М. Искусственные сооружения на железных дорогах : сб. лекций. В 2 ч. Ч. 2. Содержание, ремонт и реконструкция мостов и труб / Г.М. Боровик. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2013. – 160 с. : ил.

16. Брик А.Л., Давыдов В.Г., Савельев В.Н. Эксплуатация искусственных сооружений на железных дорогах. – М.: Транспорт, 1990. – 232 с.

Литература главы IV

1. А.А.Ашрабов, Ч.С.Раупов. Экспериментальные методы и средства проведения инженерных испытаний. Часть I. Учебное пособие для магистров строительного профиля. ТашИИТ. Часть I. 2007. – 100 с.

2. А.А.Ашрабов, Ч.С.Раупов. Экспериментальные методы и средства проведения инженерных испытаний. Часть I. Учебное пособие для магистров строительного профиля. ТашИИТ. Часть II. 2007. – 116 с.

3. ТКП 45-3.03-60-2009 (02250). Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний. – Мн. : Стройтехнорм, 2009. – 29 с.

4. Измеритель параметров вибрации Вибротест-МГ4, Вибротест - МГ4.01. <http://www.stroypribor.ru/produkt/catalog/pribory-dlya-izmereniya-vibrazii/>

5. Пресс Ручной Гидравлический типа ПРГ-1.

<http://vnir.ru/images/mashin/prg-1.pdf>

6. Прессы испытательные гидравлические малогабаритные на 50, 100, 500, 1000, 1500, 2000кН. ПГМ-50МГ4, ПГМ-100МГ4, ПГМ-500МГ4, ПГМ-1000МГ4, ПГМ-1500МГ4 и ПГМ-2000МГ4.

<http://www.stroypribor.ru/produkt/catalog/ispytatelnoe-oborudovanie-mashiny/>

7. Гидравлический пресс JYS-2000A. <http://t-ndt.ru/index.php?id=56>

8. Разрывная машина WDW-20E. <http://t-ndt.ru/index.php?id=1038>

9. Испытательные машины РМС-МГ4.

<http://www.stroypribor.ru/produkt/catalog/ispytatelnoe-oborudovanie-mashiny/>

10. Разрывная машина WAW-2000A. <http://t-ndt.ru/index.php?id=1039>

11. Испытательная машина ИР–400-1М (Δ 1).

<http://zimtochmash.ru/?state=products&catid=2>

12. Электронный динамометр ДМ-МГ4

<http://www.stroypribor.ru/produkt/catalog/vesy/>

13. Установка для испытания образцов бетона на водонепроницаемость УВБ-МГ4, УВБ-МГ4.01.

<http://www.stroypribor.ru/produkt/catalog/ispytatelnoe-oborudovanie-mashiny/>

14. Измеритель морозостойкости бетона дилатометрический ИМД-МГ4. <http://www.stroypribor.ru/produkt/catalog/isyttatelnoe-oborudovanie-mashiny/>
15. Камера универсальная пропарочная КУП-1. mail@optimum-lab.ru
16. Виброиспытательное оборудование ООО "БИ ТЕХНО" (г. Пятигорск). <http://www.santek2.ru/contacts.html>
17. Установка ударная уу-120. <http://www.santek2.ru/contacts.html>
18. БАМ. Ч. 2. Искусственные сооружения / под ред. Е.В. Басина. – М., 1990. – 347 с.
19. Определение мостовых терминов.
<http://rusbuildrealty.ru/books/arhitektura/>
20. Основные виды и классификация бетонов.
<http://www.beton-betex.ru/>
21. Характеристика мостов.
<http://%d0%bc%d0%be%d1%81%d1%82.%d1%80%d1%84/bridge>
<http://topxlist.ru/category/build/>
22. Словарь строительных терминов. <http://www.bridgeart.ru/dict/12.php>
<http://www.am-bridge.net/dict/> http://www.polyfelt.ru/terms_m.php
23. Словарь строителя. <http://dictionary.stroit.ru/>
<http://machthaber.narod.ru/slovarstroi.html>
www.stroit.ru. <http://dictionaries.rin.ru/cgi-bin/see?sel=homefamily>
24. Словарь железнодорожных терминов. <http://www.shpal-region.ru/slovar/>
25. Железнодорожный словарь. <http://www.rzd.me/inform-block/zhd-slovar/>
26. Железнодорожный транспорт.
http://www.glossary.ru/cgi-bin/gl_sch2.cgi?RGlrIntukuwumt:p!ywgtxvuwy
27. Железнодорожный энциклопедический словарь.
<http://myrailway.ru/guide/slovar/C79/>

Содержание

Наименование разделов	Стр.
Введение	3
Глава I. История развития строительства мостов и тенденции развития мостостроения	6
1.1. Самые старые мосты в мире	6
1.2. Отечественный и мировой опыт мостостроения	33
1.3. Сейсмостойкость мостов	36
1.4. Самые высокие, длинные и старейшие мосты в мире	38
1.5. Среднеазиатская железная дорога	52
1.6. Тенденции развития российского и зарубежного мостостроения	56
Глава 2. Вопросы эксплуатации и задачи реконструкции мостов	64
2.1. Классификация мостов	64
2.2. Основные принципы эксплуатации транспортных сооружений	71
2.3. Краткая характеристика искусственных сооружений на железных дорогах	74
2.4. Организация содержания мостовых сооружений на железных дорогах	89
2.5. Эксплуатационные обустройства на мостах	112
2.6. Содержание мостового полотна и пути на мостах	122
2.7. Содержание подмостового русла и регуляционных сооружений	134
2.8. Содержание искусственных сооружений в суровых климатических условиях	150
2.9. Задачи, состав и структура эксплуатации мостов	160

2.10. Особенности отечественных и зарубежных систем управлением состоянием мостовых сооружений	175
Глава 3. Техническая диагностика эксплуатируемых мостов	187
3.1. Цели, задачи и методы технической диагностики транспортных сооружений	187
3.2. Техническая диагностика общего состояния эксплуатируемых транспортных сооружений	197
3.3. Методология обследования конструкций мостовых сооружений	211
3.4. Приборы и инструменты для проведения обследований	223
3.5. Проверочные расчеты конструкций при обследовании транспортных сооружений	227
3.6. Дефектоскопия конструкций и неразрушающие методы оценки прочности материала и трещинообразования в элементах мостовых сооружений	233
3.7. Общие сведения неразрушающих и оптических методах испытаний	237
3.8. Механические методы испытаний материалов	246
3.9. Акустические методы	253
3.10. Магнитные, электрические и электромагнитные методы	261
3.11. Методы, основанные на использование ионизирующего излучения	268
3.12. Радиодефектоскопия и инфракрасная дефектоскопия	275
3.13. Оценка качества и состояния строительных материалов и соединений	277
3.14. Диагностика характерных дефектов	283
3.15. Основные положения оценки технического состояния транспортных сооружений	296

3.16. Составление заключения о техническом состоянии мостовых сооружений	306
Глава 4. Статические и динамические испытания мостов	316
4.1. Экспериментальные основы проведения инженерных испытаний	316
4.1.1. Методология экспериментальных исследований	316
4.1.2. Основы метрологии и стандартизации в строительстве	321
4.1.3. Основные метрологические характеристики средств измерений	327
4.1.4. Основы теории планирования эксперимента	333
4.1.5. Пример составления плана полного факторного эксперимента	342
4.1.6. Конструктивные и технические особенности измерительных средств	348
4.1.7. Тарирование измерительной аппаратуры и приборов	378
4.2. Статические испытания строительных конструкций и мостов	384
4.2.1. Общие положения инженерных испытаний мостов	384
4.2.2. Общие требования к испытаниям и обкаткам мостов	387
4.2.3. Методы и средства статических испытаний конструкций и мостов	391
4.2.4. Методика испытаний образцов на прочность в прессах	402
4.2.5. Статические испытания мостов	407
4.2.6. Обработка результатов статических испытаний	435
4.2.7. Определение напряженного состояния и силовых факторов в элементах мостов	438
4.2.8. Классификация пролетных строений по грузоподъемности (по результатам статических испытаний)	439
4.3. Динамические испытания конструкций и мостов	442
4.3.1. Цели и задачи испытаний конструкций и мостов	442

динамической нагрузкой	
4.3.2. Испытания конструкций и сооружений искусственно создаваемой вибрационной нагрузкой	451
4.3.3. Оценка и анализ результатов испытаний, их практическая применимость	464
4.3.4. Определение динамического коэффициента	467
4.3.5. Обработка опытных данных	470
4.3.6. Определение категории мостов по грузоподъемности	477
4.4. Обкатка	479
4.5. Оценка технического состояния сооружений по результатам обследований и испытаний	480
4.6. Оформление результатов обследований и испытаний	481
4.7. Глоссарий	485
Литература	534

Раупов Ч.С.,

кандидат технических наук, доцент

Чижов С.В.

кандидат технических наук, доцент;

Яхшиев Э.Т.

СОДЕРЖАНИЕ И РЕКОНСТРУКЦИЯ МОСТОВ

Редактор: Х.Т. Каюмова

Разрешено в печать _____ Объем печ. л. 32.

Формат бумаги 60х84. Заказ № ____ Тираж 100 экз.

Тиражировано в типографии «Complex Print», Ташкент.