



ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ



Б. С. СОКОЛОВСКИЙ

ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

БИБЛИОТЕКА

Института

№ 917 446

Технический

Институт Академии наук СССР

БИБЛИОТЕКА

Бухгалтерия

№ 10169



МОСКВА
СТРОЙИЗДАТ
1973

Научный редактор-канд. техн. наук Г. Н. Зубарев

Соколовский Б. С. Деревянные конструкции в строительстве. М., Стройиздат, 1973, 120 с.

В книге излагается комплекс вопросов, связанных с долговечностью деревянных конструкций в обычных и в агрессивных средах. Описывается опыт применения клееных деревянных конструкций в строительстве с примерами проектирования, испытания и изготовления.

Книга предназначена для инженеров-проектировщиков, производственников и научных работников.

Табл. 32, ил. 72, список лит.: 30 назв.

Ворис Сергеевич Соколовский

Деревянные конструкции в строительстве

Редактор издательства Б. А. Вагак
Технический редактор И. В. Пачова
Корректор М. Ф. Казанкова

Сдано в набор 29/XI—1973 г. Подписано к печати 4/VI—1973 г.
Т-35594 Формат 60×90¹/₁₆ д. л. Бумага типографская № 2
7,5 печ. л. (7,58 л. уч.-изд.)
Тираж 29000 экз. Изд. № XVI—3580 Зак. 587 Цена 38 коп.

Стройиздат

106777, Москва, Кузнецкий мост, д. 9
Подольская типография Связьинформационного
при Государственном издательстве Советского Союза
по делам издательства, полиграфии и книжной торговли
г. Подольск, ул. Кирова, 23

© Стройиздат, 1973

С 0325—582
047(01)—73 97—73

Предисловие

В Директивах XXIV съезда КПСС указывается на необходимость и целесообразность массового применения новых эффективных материалов и облегченных конструкций.

Наряду с другими прогрессивными материалами значительное место в строительстве занимают изделия и конструкции из древесины. Разработка новых деревянных конструкций промышленного изготовления и внедрение их в практику строительства имеют существенное значение. При дальнейшем развитии деревообрабатывающей промышленности намечается массовый выпуск наиболее прогрессивных клееных деревянных конструкций, защищенных от гниения и возгорания, что даст большой экономический эффект и позволит лучше использовать Советский Союз.

Следует уделять должное внимание и тому исчисляемому десятками миллионов кубометров объему древесины, который заложен в эксплуатируемых зданиях и сооружениях. Несомненно, большое государственное значение имеет сохранность деревянных несущих конструкций. При хороших условиях эксплуатации они выполняют свое назначение в течение длительного срока — 100—150 лет. Вместе с тем в практике ремонтно-восстановительных работ наблюдаются случаи, когда при повреждении отдельных частей или элементов несущих конструкций без достаточных к тому оснований разбирают все покрытие или перекрытие. Этого можно избежать, применяя эффективные методы усиления конструкций и ряд других мероприятий, способствующих сохранности и долговечности деревянных конструкций в условиях эксплуатации.

В книге рассмотрены вопросы долговечности некоторых деревянных несущих конструкций в обычных условиях эксплуатации и в агрессивных средах. Даны рекомендации по применению несущих конструкций в условиях агрессивных газовых сред. В работе использован опыт длительных наблюдений автора за состоянием несущих конструкций на эксплуатируемых объектах, а также рассматриваются и сопоставляются положительные и отрицательные свойства отдельных видов конструкций.

Значительное внимание уделено клееным деревянным конструкциям. Излагается опыт проектирования и испытания отдельных видов клееных конструкций, в том числе и конструкций с узловыми соединениями, склеенными под углом. Даются краткие сведения по технологии изготовления клееных конструкций различных типов и данные о трудоемкости работ.

Глава I

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРОДЛЕНИЮ СРОКА ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Долговечность деревянных несущих конструкций в значительной степени зависит от условий эксплуатации. Рассматривая эти условия, следует считаться с подверженностью древесины загниванию при неблагоприятном температурно-влажностном режиме. Появление гнили, особенно в опорных частях конструкций, является следствием конденсационного и капиллярного увлажнения древесины при протечках недоброкачественной или небрежно эксплуатируемой кровли. Отсутствие вентилирования чердачного помещения и отсутствие доступа для осмотра узловых соединений ведет к поражению древесины разрушающими грибами. В нормальных условиях эксплуатации, при соблюдении установленного температурно-влажностного режима, деревянные конструкции сохраняются долгие годы.

Примером могут служить фермы покрытия театрального зала Останкинского дворца, сооруженные в 1792 г. и существующие до сих пор.

Известны фермы покрытия Манежа в Москве, построенные в 1817 г. Поддерживаемые дополнительными промежуточными опорами, они эксплуатируются и ныне. Выстроенное несколько позже здание бывшего дворянского собрания в Туле (теперь Дом офицеров) имеет зал пролетом 18 м, перекрытый деревянными фермами из круглого леса, которые эксплуатируются до настоящего времени.

Нормы и технические условия проектирования деревянных конструкций требуют, чтобы несущие конструкции делали открытыми, хорошо проветриваемыми, защищенными от увлажнения и доступными для осмотра.

Ниже излагается опыт наблюдения за состоянием некоторых распространенных в прошлом несущих деревянных конструкций на различных объектах в условиях эксплуатации. Наиболее длительные наблюдения (в течение 15 лет) проводились на объектах, расположенных на территории ВДНХ.

1. Балки в междуэтажных и чердачных перекрытиях

Балки из брусьев применяются в качестве несущих конструкций в междуэтажных и чердачных перекрытиях жилых и общественных малоэтажных зданий. Они изготавливаются по ГОСТ 4981—69.

В зависимости от планировки помещений в практике строительства применяются два основных варианта расположения балок в перекрытиях:

- а) балки расположены поперек здания и опираются на наружные и внутренние несущие стены или на кирпичные столбы;
- б) балки расположены вдоль здания и опираются на поперечные несущие стены или на прогоны, уложенные поперек здания с промежуточными опорами на кирпичных столбах.

Наиболее подвержены гниванию концы балок, заделанные в наружные стены. Причина этого — конденсационное увлажнение балок при глухой заделке концов.

При обследовании под Москвой двухэтажного здания большой протяженности, с деревянными междуэтажными и чердачными перекрытиями было установлено, что после 30 лет эксплуатации около 30% чердачных балок имели гнившие концы, заделанные в наружные стены. Наряду с этим отдельные участки перекрытий, в которых балки были расположены параллельно наружным стенам и опирались на поперечные стены или прогоны, находились в удовлетворительном состоянии.

Исходя из этого можно рекомендовать (в тех случаях, когда это допускается планировочным решением) располагать балки параллельно наружным стенам, с опиранием их концов на поперечные прогоны или поперечные несущие стены.

Протекание кровли в местах расположения настенных желобов и водосточных воронок также ведет к гниванию древесины. Эта далеко не совершенная конструкция кровли требует постоянного наблюдения и обслуживания в процессе эксплуатации, т. е. своевременной очистки желобов от листьев и мусора, а в зимних условиях — удаления образующейся наледи.

В ряде случаев проектисты применяют минимально допускаемые нормами уклоны настенных желобов — 2%. Практика эксплуатации показывает, что лежащие фальцы стальной кровли на этих участках не обладают необходимой герметичностью. При засорении, наледи и возникающих поэтому застоях воды они протекают, при этом увлажняются концы балок чердачного перекрытия и вышерасположенные концы стропильных ног.

В одноэтажных и двухэтажных зданиях со стальной кровлей целесообразно, как правило, отказываться от устройства настенных желобов и осуществлять неорганизованный сток воды. При этом для предохранения стен от намокания рекомендуется увеличить вылет карниза до 70—80 см.

Неудовлетворительное состояние настенных желобов стальной кровли на ряде павильонов ВДНХ приводило к аварийному состоянию потоков на участках, примыкающих к наружным стенам. После нескольких случаев обрушения потолков на некоторых объектах кровля при их ремонте была выполнена без настенных желобов с устройством неорганизованного стока во-

ды при увеличенном вылете карниза. Протекание кровли в этих зонах прекратилось.

Существенное значение имеет наличие вентиляции в междуэтажных перекрытиях. При отсутствии вентиляционных розеток в углах помещения, особенно в случаях решений пола без лаг, при увлажнении создаются благоприятные условия для развития дереворазрушающих грибов.

В чердачных перекрытиях наблюдаются случаи гнивания балок при недостаточной толщине утепляющего слоя: образуются конденсат, увлажняющий балки и накат.

Причиной гнивания балок может быть неправильная укладка пароизоляционного слоя. В одном из подмосковных кинотеатров в подвесном чердачном перекрытии пароизоляционный слой у балок был загнут вверх, из-за чего вдоль боковых поверхностей балок образовались пазухи (рис. 1), в которых происходила конденсация водяных паров. При ремонте перекрытия было установлено, что большая часть балок и черепных брусков была поражена гнилью и требовала замены.

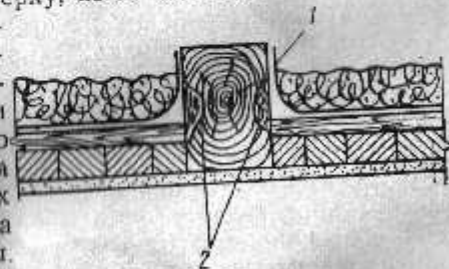


Рис. 1. Пример неправильной укладки пароизоляционного слоя в чердачном перекрытии

В покрытии над залом кинотеатра в г. Северодвинске дефекты были допущены при укладке вентиляционных шлакоалюбастровых коробов. Через 3 месяца после сдачи покрытия в эксплуатацию было обнаружено, что из-за отсутствия теплоизоляции днища вытяжных коробов при минусовой температуре в чердачном помещении теплый воздух из коробов проникал в чердачное пространство и образовывал на внутренней поверхности стальной кровли обильный конденсат. Сильное увлажнение балок и наката в дальнейшем могло повести к образованию гнили.

Совершенно недопустимо устройство парапетов, расположенных перпендикулярно скату стальной кровли, при наличии деревянных чердачных перекрытий. Можно привести десятки примеров гнивания концов балок в местах их заделки у парапетных стен. Недопустима также установка по направлению ската каких-либо сплошных рекламных щитов, способствующих образованию снеговых мешков.

2. Гвоздевые балки с перекрестной стенкой

Гвоздевые балки с перекрестной дощатой стенкой получили в довоенный период широкое распространение в промышленном, гражданском, а иногда и в жилищном строительстве (в надстройках). Опыт применения таких балок показал надежную

их работу даже в тяжелых условиях эксплуатации. Однако были случаи, когда такие балки приходили в аварийное состояние в результате заниженной высоты, малого числа гвоздей и низкого качества древесины, особенно нижних поясов.

Балки применялись обычно для пролетов до 12 м. По очертаниям они выполнялись с параллельными поясами, двускатными и односкатными с уклоном верхнего пояса $1/10$ — $1/12$. Полная высота двускатных балок в середине длины принималась равной $1/9$ пролета, а для односкатных — $1/9$ пролета в четверти длины.

Автор настоящей работы в течение 15 лет вел постоянные наблюдения за состоянием гвоздевых балок в 13 покрытиях павильонов ВДНХ. Было обследовано состояние 77 гвоздевых балок двускатного и односкатного очертаний. При обследовании проводились замеры балок и устанавливалось количество гвоздей, болтов и их расстановка. Одновременно с этим проверялось качество древесины и фиксировались деформации балок. Выполнялись поверочные расчеты и устанавливалась несущая способность балок. Давались указания по усилению дефектных конструкций и составлялись соответствующие рабочие чертежи.

Результаты обследования балок даны в табл. 1. Из таблицы можно установить дату изготовления и установки балок в покрытие, состояние конструкций и те мероприятия, которые были рекомендованы и выполнены для продления срока их эксплуатации.

Все балки, расположенные в доступных для осмотра и проветриваемых чердачных помещениях, находились примерно в одинаковых условиях эксплуатации. Балки несли, как правило, одну и ту же нагрузку от неутепленной рубероидной кровли по двойному перекрестному настилу. Подвесные потолки были легкого типа, подшиты внизу фанерой или сухой штукатуркой; в ряде случаев потолки были утеплены минеральной ватой.

Представляют интерес дефекты, обнаруженные в балках за 30—36 лет их эксплуатации.

Во многих балках от усушки древесины между поясными досками и стенкой образовались щели, которые вместо допускаемых 1—1,5 мм достигали величины 3—4 мм. Этот дефект легко устранялся при подтяжке болтов, расположенных в местах ребер жесткости. Иногда оказывалось необходимым устанавливать дополнительные стяжные болты в местах наибольшего раскрытия швов.

Величина прогибов обычно не превышала $1/200$ пролета. Исключение составляли только балки со значительными перенапряжениями в результате перегрузки или дефектов изготовления.

Из 13 обследованных покрытий только в двух (см. п. 1 и 2 табл. 1) было установлено аварийное состояние балок при нагрузке, вдвое превышающей расчетную. Эти балки имели заниженную высоту — $1/13$ вместо $1/9$ в четверти пролета.

Несмотря на большую перегрузку, балки эти все же простояли 35 лет. В одном из павильонов в некоторых балках были вырезаны перекрестные стенки в опорных панелях (см. п. 6 табл. 1). Произведенным расчетом были установлены значительные, вдвое превышающие расчетные напряжения в поясах балок на участках опорных панелей. Тем не менее эти балки простояли 10 лет до проведения работ по усилению опорных панелей.

В другом случае при изготовлении балок были пропущены прокладки в стыках нижнего пояса (см. п. 9 табл. 1). Стыки балок работали с большим перенапряжением; тем не менее балки простояли до их усиления 33 года.

За более чем 35-летний срок эксплуатации покрытий с гвоздевыми дощатыми балками нигде не было установлено случая их загнивания благодаря постоянному хорошему проветриванию помещений при помощи слуховых окон.

Гвоздевые балки с параллельными поясами применялись в качестве несущих конструкций и при возведении надстроек зданий, в которых средние продольные стены ввиду их недостаточной прочности не могли быть использованы как опоры. Гвоздевые балки пролетом 10—12 м несли нагрузку от междуэтажных перекрытий и опирались на наружные стены.

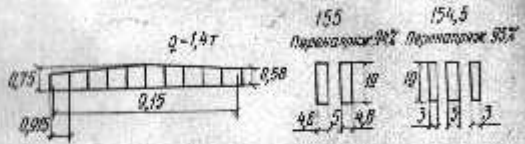
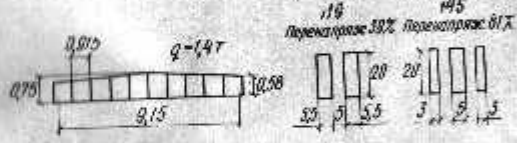
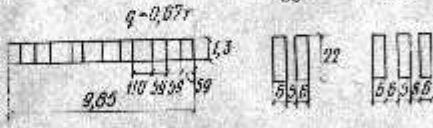
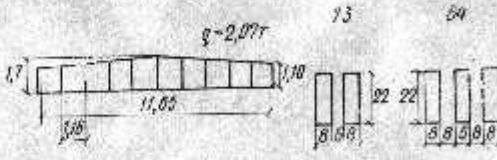
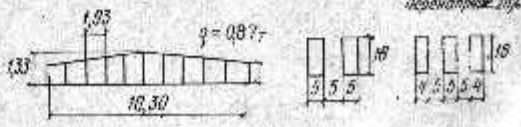
В настоящее время в Москве есть жилые дома, где в 1931—1932 гг. были установлены балки такого типа, запроектированные быв. Моснадстроем. Перекрытия с этими балками имеются в двухэтажной надстройке гостиницы «Бухарест» (б. «Балчуг»), в одноэтажной надстройке жилого дома по ул. Алексея Толстого, 17 и др. Перекрытия в этих надстройках находятся в эксплуатации уже 40 лет.

По результатам наблюдений можно сделать вывод: балки такого типа построечного изготовления — надежная конструкция, допускающая случайные перегрузки при эксплуатации.

Опасения некоторых авторов [21] о якобы больших деформациях, возникающих в балках с податливыми гвоздевыми соединениями, в значительной степени преувеличены. Например, гвоздевые балки пролетом 11,65 м (см. п. 4 табл. 1), несущие нагрузку 2,07 тс/м от совмещенного перекрытия, утепленного шлаком, за 18 лет эксплуатации имели прогиб 4 см, т. е. менее $1/200$ пролета.

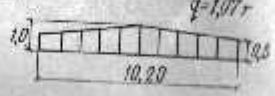
Необходимо дополнительно исследовать вопрос об ослаблении сечений досок гвоздями и о нормировании расстановки гвоздей в наиболее ответственном месте, в стыках нижних поясов балок. Частая расстановка гвоздей через 4d в количестве 7—8 шт. по ширине доски при наличии перенапряжений приводила в некоторых случаях к разрыву нижнего пояса балки. Разрыв происходил в месте наиболее частой расстановки гвоздей, а не в месте действия наибольших изгибающих моментов в нижних поясах балок.

Ведомость обследования

№ п/п	Наименование объекта, количество балок	Срок эксплуатации	Схема балки	Сечения элементов и напряжения в кгс/см^2	
				верхний и нижний пояса	стык нижнего пояса
1	Павильон «Советская культура», 6 балок	35 лет		155 Перенапряжение 94%	154,5 Перенапряжение 93%
2	То же	35 лет		116 Перенапряжение 93%	145 Перенапряжение 81%
3	Павильон «Гигиена», 5 балок	20 лет		33	35
4	Ремонтная мастерская, 7 балок	18 лет		73	64
5	Павильон «Виноградарство», 3 балки	34 года		63 Перенапряжение 20%	66

Состояние балок

Инд. кодирования		Состояние конструкций по материалам вальцовки	Мероприятия по усилению балок	Примечания
в верхней поясе	в стыке нижнего пояса			
Гвозди $d=5$ мм, $l=150$ мм 64 шт.	Гвозди $d=5$ мм, $l=150$ мм 128 шт.	Балки имеют заниженную высоту, нагрузка превышена. Разрыв нижних поясов зимой 1970 г. в 2 балках. Состояние балок аварийное	Поставлены промежуточные стойки	—
Перенапряжения нет	Перенапряжение 47%	—	—	—
Гвозди $d=5$ мм, $l=150$ мм 56 шт.	Гвозди $d=5$ мм, $l=150$ мм 128 шт.	Балки имеют заниженную высоту, нагрузка превышена	Поставлены промежуточные стойки	—
Перенапряжения нет	Перенапряжение 45%	—	—	—
Гвозди $d=5$ мм, $l=150$ мм	Стык на болтах $d=12$ мм 18 шт.	Состояние балок удовлетворительное. Увеличенные швы между поясами и досками и стенкой	Подтяжка стяжных болтов по осям панелей. Постановка дополнительных стяжных болтов $d=12$ мм	В 1965 г. вышнее устройство, разборка кессоны потолка, нагрузка снижена
Перенапряжения нет	—	—	—	—
Гвозди $d=5,5$ мм, $l=175$ мм	Стык на болтах и нагелях $d=16$ мм 22 шт.	Состояние балок удовлетворительное	—	—
Перенапряжения нет	—	—	—	—
Гвозди $d=5,5$ мм, $l=150$ мм	Стык на гвоздях $d=5$ мм, $l=150$ мм 120 шт.	Состояние балок удовлетворительное. Увеличенные швы между поясами и стенкой балки	—	—
Перенапряжения нет	—	—	—	—

№ п/п	Наименование объекта, количество балок	Срок эксплуатации	Схема балки	Ведомость обследования		Вид соединения		Состояние конструкций по материалам заключений	Мероприятия по усилению балок	Примечания
				Сечения элементов и напряжения в кг/см ²		в опорной панели	в стыке нижнего пояса			
11	Павильон «Транспортное агентство»	30 лет		97 Перекрестие. Перекрытие 21%	95 Перекрытие 19%	Гвозди $d=5$ мм, $l=150$ мм через 130 мм	Гвозди $d=5$ мм, $l=150$ мм 98 шт.	Состояние балок удовлетворительное	Подтяжка болтов в досках пояса	Павильон разобран в 1966 г.
12	Павильон «Туркменская ССР», 5 балок	29 лет		46 Перекрытие 18%	28 Перекрытие 18%	Гвозди $d=5$ мм, $l=150$ мм через 140 мм	Гвозди $d=5$ мм, $l=150$ мм 72 шт.	Состояние балок удовлетворительное. Завышена высота балок	—	Павильон разобран в 1964 г.
13	Павильон «Бумажная промышленность», 4 балки	32 года		80 Перекрытие 18%	71 Перекрытие 18%	Гвозди $d=5$ мм, $l=150$ мм через 120 мм	Гвозди $d=5$ мм, $l=150$ мм 120 шт.	Состояние балок удовлетворительное	Подтяжка болтов в досках пояса	Павильон разобран в 1965 г.

Что касается области применения гвозденых балок, то в СНиП II-V-В.4-62 указывалось, что они могут быть рекомендованы для сооружений временного назначения. Исходя из сказанного выше, было бы целесообразно несколько расширить область применения двутавровых гвозденых балок с перекрестной стенкой и рекомендовать их в качестве несущей конструкции постройного изготовления для зданий павильонного типа, а также для сельскохозяйственных построек, например ремонтных мастерских, складов сельскохозяйственной техники и др., при пролетах до 12 м.

В настоящее время гвоздевые конструкции из досок получили достаточное развитие за рубежом для временных сооружений и в деревянном домостроении, чему способствовало упрощение

технологии изготовления дощатых конструкций с помощью специального пистолета для забивки гвоздей применение которого позволило значительно сократить срок изготовления конструкций.

3. Деревянные фермы

На ВДНХ были проведены обследования десяти перекрытий со 125 дощатыми деревянными фермами треугольного очертания с узловыми соединениями на болтах (рис. 2), а также 15 перекрытий со 134 деревянными фермами того же очертания из брусев с соединением на врубках и болтах (рис. 3). В трех перекрытиях были обследованы 24 аналогичные деревянные фермы из брусев трапециевидного очертания (см. табл. 3). Все

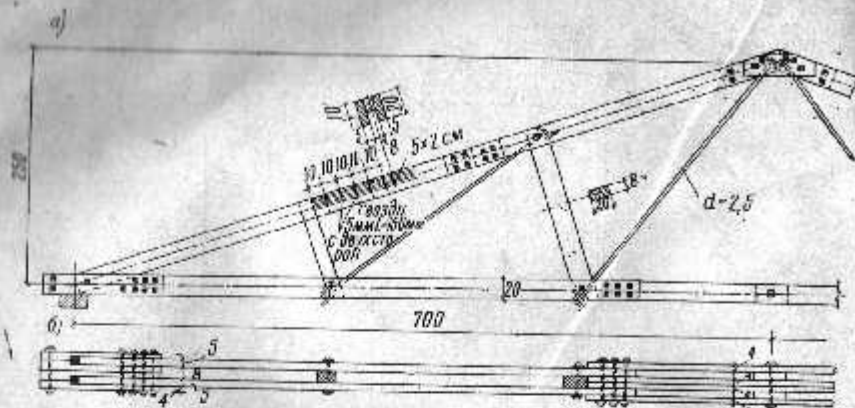


Рис. 2. Треугольные дощатые фермы
а — фасад; б — план нижнего пояса

фермы несли нагрузку от подвесных потолков и находились в одинаковых условиях в течение длительного срока эксплуатации (20—36 лет).

При обследовании ферм проводились обмеры всех элементов конструкций и узловых соединений. Составлялись ведомости дефектов с указанием наличия трещин, характера расстройств узловых соединений, деформаций отдельных элементов, прогиба конструкций и т. д. Бралась пробы древесины для определения ее прочностных характеристик.

Ниже излагаются результаты обследования и наблюдений за состоянием этих конструкций.

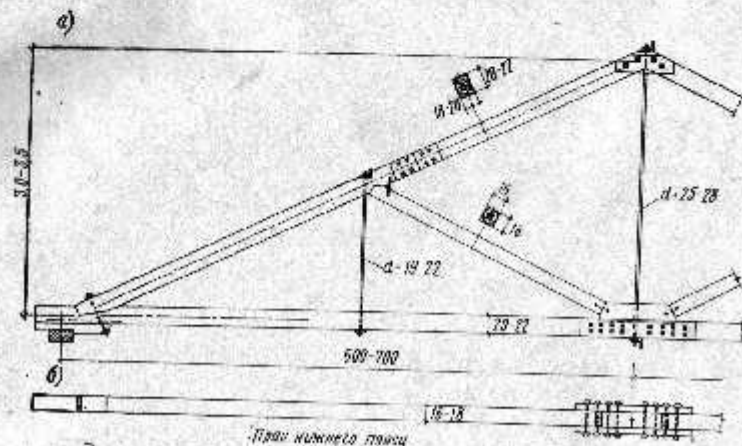
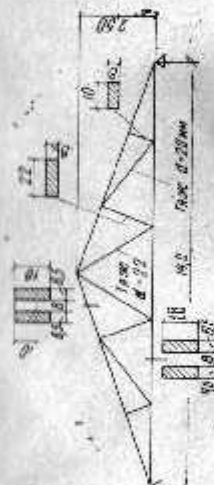


Рис. 3. Треугольные брусчатые фермы
а — фасад; б — план нижнего пояса



№ п/п	Наименование объекта, количество форм	Срок эксплуатации	Напряжения в элементах, форм в кг/см ²					Состояние конструкции по материалам заключений	Мероприятия по усилению. Примечания
			верхний пояс	нижний пояс	φ 32 × 10 мм	таз	стак нижнего пояса		
1	Павильон «Профтехобразование», 3 фермы	36 лет	213, перенапряжение 64% жене	188, перенапряжение 135% жене	51	3950, d = 22 мм, перенапряжение 88% жене	Болты d = 12 мм, 8 шт., перенапряжение 41% жене	Состояние аварийное. Разрыв нижнего пояса весной 1965 г.	Нижний пояс усилен тязами, верхний — накладками из досок на болтах
2	Павильон «Летняя промышленность», 31 ферма	27 лет	247, перенапряжение 90% жене	144, перенапряжение 80% жене	132	2210, d = 25 мм	Болты d = 12 мм, 11 шт., перенапряжение 18% женей нет	Деформации верхнего пояса из плоскости фермы	Нижний пояс усилен тязами, верхний — накладками из досок на болтах. Павильон разобран в 1962 г.

Продолжение табл. 2

№ п/п	Наименование объекта, количество ферм	Срок эксплуатации	Напряжения в элементах ферм в кг/см ²				Остаточные конструктивные материалы заделаны	Мероприятия по усилению. Примечания
			верхний пояс	нижний пояс	ЖК	тяжи	стык балки к поясу	
3	Павильон «Совetskая школа», 6 ферм	36 лет	139, перенапряжены 7%, сечение 2×21×5,6	127, перенапряжены 57%	53	1235, d=32 мм	Болты d=16 мм, перенапряжены 11 шт., жатый нет	Реконструкция крошится с разбором пояса издольной фермы. Сечением верхнего пояса течет светового фонаря
4	Павильон «Химия», 14 ферм	37 лет	286, перенапряжены 120%	223, перенапряжены 179%	57	2080, d=25 мм	Болты d=16 мм, перенапряжены 32%	Прогиб ферм. Выпучивание верхнего пояса. Аварийное состояние по крыти
5	Павильон «Трактор», 12 ферм	28 лет	234, перенапряжены 80%	137, перенапряжены 71%	55,5	2340, d=25 мм, перенапряжены 11,4%	Болты d=16 мм, перенапряжены 11 шт., жатый 29%	То же
6	Павильон «Экономика сельскохозяйственного производства», 8 ферм	37 лет	213, перенапряжены 64%	259, перенапряжены 152%	52	3190, d=25 мм, перенапряжены 52%	Болты d=16 мм, перенапряжены 11 шт., жатый 94%	Общий прогиб ферм, выпучивание верхнего пояса из плоскости ферм. Аварийное состояние покрытия

№ п/п	Наименование объекта, количество ферм	Срок эксплуатации	Напряжения в элементах ферм в кг/см ²				Состояние конструкций по материалам заделаны	Мероприятия по усилению. Примечания
			верхний пояс	нижний пояс	ЖК	тяжи	стык балки к поясу	
7	Павильон «Звероводство», 3 фермы	36 лет	254, перенапряжены 93%, жатый 93%	216, перенапряжены 170%	64	3420, d=25 мм, перенапряжены 63%	Болты d=16 мм, 8 шт., перенапряжены 49%	Покрывать усилено путем установки стоек из стальных труб в середине пролета с шагом 10 м
8	Павильон «Птицеводство», 6 ферм	35 лет	177, перенапряжены 36%, сечение 2×21×6	170, перенапряжены 112%, жатый 112%	115	2920, d=25 мм, перенапряжены 39%	Болты d=12 мм, 9 шт., перенапряжены 74%	То же
9	Павильон «Садоводство», 5 ферм	36 лет	207, перенапряжены 59%, сечение 2×19×6	143, перенапряжены 78%, сечение 2×20×6	51	3770, d=20 мм, перенапряжены 79%	Болты d=10 мм, 11 шт., перенапряжены 39%	Сечения поясов зашнурованы. Соединения типовые фермы (см. рис. 2). Павильон разобран в 1970 г.
10	Павильон «Электрификация», 27 ферм	29 лет	116, сечение 2×18×6	80, сечение 2×18×6	20	1030, d=25 мм	Болты d=16 мм, 8 шт.	Павильон разобран в 1964 г.

Треугольные дощатые фермы с пролетами 13,4—14 м. Верхние пояса этих ферм были выполнены из двух досок с прокладкой на гвоздях, нижние пояса — также из двух досок того же сечения. В средней панели нижние пояса были выполнены из четырех досок меньшей толщины. Сжатые стойки были сделаны из толстых досок, раскосы — из тяжей. Опорные узлы и стыки нижнего пояса были решены на болтах (рис. 2).

При периодических наблюдениях за состоянием конструкции ферм (табл. 2) было установлено следующее.

Во многих дощатых фермах отмечалось выпучивание верхних поясов из плоскости фермы. Это в ряде случаев приводило фермы в аварийное состояние. Основным недостатком верхних поясов дощатых ферм, соединенных податливыми связями — гвоздями, была их малая жесткость. Фермы этого типа не обладали достаточной надежностью и были чувствительны к небольшим перегрузкам. Деформации верхних составных поясов носили необратимый характер. При последующем ремонте все верхние пояса аварийных ферм были усилены накладками из досок на болтах с предварительным устранением деформаций.

Фермы такого типа проектировались в 1933—1935 гг., когда существовала тенденция выполнять все несущие деревянные конструкции из досок. Предполагалось, что фермы из досок по затрате древесины экономичнее ферм из брусьев. При этом не учитывалась малая жесткость верхних поясов ферм и опасность нарастания деформаций в податливых соединениях в течение длительного срока эксплуатации.

Было установлено расчетом, что несущая способность сжатых-изогнутых элементов составного сечения из досок ниже, чем из брусьев круглого леса при том же примере расходе материала. Следует также иметь в виду, что расчетные сопротивления изгибу (150 кгс/см^2) для элементов из брусьев шириной более 14 см выше, чем для дощатых (130 кгс/см^2). Если учесть целесообразность применения окантованных брусьев, при заготовке которых отходы значительно меньше, чем при распиловке на доски, то фактически экономии древесины здесь не будет; при этом трудоемкость изготовления элементов составного сечения на гвоздях значительно больше.

Нижние пояса дощатых ферм ввиду трудности подбора высококачественной древесины I категории зачастую выполнялись из досок пониженного качества. Известно, что достаточно в одной из досок пояса присутствия мутовочных сучков, выходящих на кромку доски, чтобы значительно снизить предел прочности на растяжение.

Испытания ЦНИИСК [2] на растяжение для сосновых досок различного вида показали значительное снижение прочности на растяжение (в пределах от 400 до 70 кгс/см^2) именно из-за наличия сучков при нормативном сопротивлении древесины

на растяжение 370 кгс/см^2 . В случае наличия одной доски из двух на трех досок нижнего пояса с указанными выше пороками, даже при небольших перегрузках происходит разрыв одной из досок. Оставшиеся доски пояса получают значительные перенапряжения; через некоторое время происходит разрыв пояса в целом и обрушение фермы.

Примером могут служить дощатые треугольные металлодеревянные фермы в покрытии вводного зала павильона «Профтехобразование». В 1964 г. зимой произошел разрыв одной из досок нижнего пояса крайней фермы покрытия; вскоре разорвалась и вторая доска. Соседняя ферма при этом оказалась в аварийном состоянии. Благодаря своевременно принятым мерам обрушение удалось предотвратить. В дальнейшем нижние пояса ферм были усилены стальными тяжами, а верхние — накладками на болтах (см. ниже).

Треугольные брусчатые фермы. Конструкция треугольных ферм из брусьев с металлическими подвесками применяется в строительстве давно и является развитием применявшихся ранее аналогичных треугольных ферм, с одной или двумя бабками. В этих фермах растянутые стойки выполняются в виде тяжей из круглой стали. Одним из преимуществ тяжей являлась возможность их подтяжки в процессе эксплуатации для устранения провисания ферм. Узловые сопряжения на врубках были несколько улучшены. Было предложено наиболее рациональное расположение площадки смятия под углом 90° , установлены предельная глубина врубки и необходимая длина скалывания.

Было рекомендовано также применять наиболее простые и надежные врубки с одним зубом.

Длительные наблюдения и обследования большого количества ферм треугольного очертания на врубках (рис. 3) с пролетами от 7,8 до 15,2 м (табл. 3) показали, что по истечении 20—36 лет эксплуатации большая часть ферм находилась в удовлетворительном состоянии. Совсем не наблюдалось случаев выпучивания сжатых поясов ни в плоскости фермы, ни из ее плоскости. Даже при значительных перегрузках верхних сжатых поясов — при их предельной гибкости — деформации не отмечалось. Что касается нижних растянутых поясов ферм, то из 134 обследованных ферм только одна пришла в аварийное состояние от разрыва нижнего пояса в месте сучка (см. ниже рис. 13). Для растянутых поясов ферм, как известно, отбирается древесина I категории. При некотором увеличении поперечного сечения с использованием до 70% расчетного сопротивления древесины допускается применение более доступного лесоматериала II категории. Наиболее слабое место нижнего пояса — стык на болтах с двумя накладками из толстых досок. Необходимое условие прочности такого соединения — правильное, в соответствии с нормами, расстановку болтов с соблюде-

Ведомость обследования деревянных

Таблица 3

№ п/п	Наименование объекта, количество ферм	Срок эксплуатации	Схема ферм	Сечения элементов и расчеты		
				верхний пояс	нижний пояс	полосы
1	Павильон «Водное хозяйство», 3 фермы	23 года				
2	То же, 16 ферм	23 года				
3	Павильон «Здравоохранение», 16 ферм	37 лет				
4	Павильон «Земледелие», 5 ферм	28 лет				
5	Павильон «Геология», 5 ферм	23 года				

ферм на брусьях треугольного очертания

Напряжения, кг/см²		Состояние конструкций по материалам заключений	Мероприятия по усилению конструкций. Примечания	
Гориз. и стойки				
средняя	крайняя	Связи нижнего пояса		
2850, d=30 мм, перенапряжение 30%	3300, d=18 мм, перенапряжение 57%	из болтов d=20 	Состояние ферм удовлетворительное. В подкосах имеются трещины усущенного характера. Отсутствуют связи по верхнему поясу ферм. В 1968 г. в ферме № 2 обнаружена трещина (в месте сучка) глубиной 10 см. Состояние фермы — аварийное.	Для облегчения ферм разобрать короба. Поставлены распорки связей. Выполнено усиление нижнего пояса путем постановки тяжей
1750, d=25 мм	1530, d=19 мм	из болтов d=16 мм 	Усущенные трещины в элементах ферм. Отсутствие связей в копытовых узлах. Состояние ферм удовлетворительное.	Установка связей в коньках ферм и стяжек в местах усущенных трещин
1395, d=25 мм	816, d=19 мм	из болтов d=16 мм 	Состояние ферм удовлетворительное. Гнили нет. Перенапряжений не отмечается.	Рекомендуется установить постоянное техническое наблюдение за состоянием конструкций
38 	70 	перенапряжение 33% 	Перенапряжения в болтовых соединениях конькового и нижнего среднего узлов	Выполнено усиление средних узлов, верхнего и нижнего. Павильон разобран в 1954 г.
1640, d=16 мм	d=12 мм	перенапряжение 9% d=10 мм 	Перенапряжение на скалывание в опорных узлах на 33%. Усущенные трещины в элементах ферм	В поясах и раскосах ферм установлены стяжки. Поставлены аварийные хомуты в опорных узлах

Продолжение табл. 3

№ п/п	Наименование объекта, количество ферм	Срок эксплуатации	Схемы ферм	Сечения элементов и расчеты			Напряжения, кг/см ²		Состояние конструкции по материалам заключений	Мероприятия по усилению конструкции, Примечания	
				верхняя полка	нижняя полка	подкосы	талии и отбыки	стык нижнего пояса			
6	Павильон «Экономика сельскохозяйственного производства», 4 фермы	37 лет		77 	50 	19 	1830, d=25 мм	1040, d=19 мм	Перенапряжение 12,7% 6 d 10 мм	Состояние ферм удовлетворительное. Имеются усушечные трещины в поясах и раскосах глубиной до 1/3 толщины брусев	Установлены связи по верхнему поясу ферм. В местах усушечных трещин поставлены стяжки
7	Павильон «Электрификация», 4 фермы	19 лет		67 	52 	58 	9430, d=19 мм, перенапряжение 16%	1810, d=16 мм	6 d 10 мм 	То же	Установка стяжек в местах усушечных трещин
8	Павильон «Текстильная промышленность», 9 ферм	37 лет		48,5 d=24 	81 d=19 	17 	9620, d=10 мм, перенапряжение 24%	810, d=16 мм	Перенапряжение 45% 	Трещины в стыковых накладках ферм № 1, 8, 9. Гниль в опорном узле фермы № 7. Аварийное состояние фермы № 9	Установка аварийных хомутов в опорных узлах всех ферм. Усиление стыков ферм № 1, 8, 9 металлическими накладками на болтах
9	«Инкубаторная», 5 ферм	35 лет		68 	65 	17 	1900, d=25 мм	1340, d=19 мм	6 d 10 	Усушечные трещины в элементах ферм. Состояние ферм удовлетворительное	Установка стяжек в местах усушечных трещин
10	Павильон «Хранение и переработка зерна», 5 ферм	20 лет		71 	65 	29 	907, d=36 мм	494, d=3 мм	Перенапряжение 7% 6 d 10 мм 	Состояние ферм удовлетворительное. Наличие усушечных трещин глубиной до 1/3 толщины брусев	—
11	Павильон «Животноводство», 18 ферм	18 лет		75 	43 	47 	1410, d=36 мм	805, d=30 мм	12 d 19 	Повышенная влажность элементов ферм. Коррозия металлических деталей. Усушечные трещины глубиной до 1/3 толщины элементов	Постановка стоек в местах усушечных трещин. Окраска стальных деталей

№ п/п	Наименование объекта, количество ферм	Срок эксплуатации	Схемы ферм	Сечения элементов и расчеты			Усиления, кг/см²		Состояние конструкции по материалам заклепок	Мероприятия по усилению конструкций. Примечания	
				верхний пояс	нижний пояс	подкосы	Тяжи и стойки				
							средние	крайние			Стык нижнего пояса
12	Павильон «Овчарня», 12 ферм	18 лет		35	27	15	875, d=20 мм	840, d=19 мм		Перенапряжение на скалывание в опорных узлах ферм 24% Постановка аварийных хомутов в опорных узлах	
13	Павильон «Овцеводство», 20 ферм	18 лет		23	18	27	1000, d=36 мм	915, d=22 мм		Состояние ферм удовлетворительное. Наличие усучечных трещин глубиной до 1/3 толщины элементов Установка стяжек в местах усучечных трещин	
14	Здание гаража РТС, 11 ферм	19 лет		40	34.5	51	d=20 мм	d=20 мм	d=16 мм		Перенапряжение на скалывание во врубке опорного узла 22%. Усучечные трещины в поясах и раскосах То же
15	Здание гаража МРМ, 11 ферм	19 лет		40	34	50	d=20	d=20	d=15		Перенапряжение на скалывание в опорных узлах 12%. Усучечные трещины в поясах и раскосах »
16	Здание тракторного гаража, 10 ферм	То же		42	32	58	d=20	d=20	d=14		Перенапряжение на скалывание в опорных узлах. Усучечные трещины в поясах и раскосах »

Ведомость обследования деревянных ферм из брусев

№ п/п	Наименование объекта, количество ферм	Срок эксплуатации	Схемы ферм	Сечение элементов и расчеты			Напряжения, кг/см ²		Состояние конструкций по материалам записей	Мероприятия по укреплению. Примечания
				верхний пояс	нижний пояс	обрушенный пояс	1-й пояс	2-й пояс		
1	Павильон «Лесная промышленность», 3 фермы вводного зала	35 лет		74 □ 20 10	70 □ 19 14	71 □ 20 14	9910 перенапря- жение 99% d = 19 мм	1940 d = 19 мм	Перенапряжения в опорном узле и уалах № 3 и 5 вследствие недостаточного диаметра болгов. Наличие усушечных трещин в элементах ферм	Усиление узлов накладками на болтах. Установка стяжек в местах усушечных трещин
2	То же, зал № 3, 7 ферм	То же		81 □ 17 13	75 □ 16 15	73 □ 14	9360 перенапря- жение 12% d = 19 мм	16,60 d = 19 мм	Низкое качество древесины нижнего пояса. Наличие усушечных трещин в элементах ферм. Трещины в стыках накладок нижнего пояса в одной ферме	Усиление верхних поясов накладками на болтах. Установка стяжек в местах усушечных трещин. Усиление стыка нижнего пояса в одной ферме
3	Павильон «Геология», 14 ферм	20 лет		50 □ 19 13	58 □ 18 13	59 □ 19 18	Первый тяж справа 9170 d = 25 мм	Второй тяж справа 1540 d = 25 мм	В опорных уалах перенапряжены тяжи 13%. Усушечные трещины в элементах ферм	Установка стяжек в местах усушечных трещин

нием минимальных расстояний вдоль и поперек волокон. В стыке имеет большее значение качество накладок, выполняемых из древесины I и II категории без трещин и косослоя, с минимальным количеством сучков. Поскольку стыковые накладки сравнительно коротки и длина их обычно не превышает 1,5—2 м, отбор такой древесины не представляет особых трудностей.

Трапециевидные брусчатые фермы. Изложенные выше соображения о работе в условиях эксплуатации треугольных ферм можно целиком отнести и к работе трапециевидных односкатных и двускатных ферм (табл. 4).

Слабым местом этих форм является сложность сопряжения опорного раскоса с верхним поясом. В процессе эксплуатации в ряде случаев отмечалось расстройство узловых соединений в средних панелях, где один из перекрещивающихся раскосов, по-

очередно сжатых, в зависимости от расположения временной нагрузки, обычно неплотно примыкает к упорной подкладке. Фермы такого типа при отношении h/l менее $1/7$, как правило, приобретают в течение эксплуатации значительные прогибы. Расставленные стыки нижнего пояса ферм при этом подвергаются воздействию дополнительных изгибающих моментов.

Выводы. По материалам 15-летних наблюдений за состоянием конструкций ферм на ВДНХ можно сделать следующие выводы.

1. Из 10 обследованных покрытий с деревянными дощатыми фермами в 8 покрытиях в период с 1952 по 1971 г. был проведен капитальный ремонт с усилением верхних поясов дощатых ферм. Усиливались также и нижние пояса ферм путем установки тяжей из круглой стали. В ряде случаев ввиду сложности усиления и

наличия больших дефектов в фермах всякая конструкция ферм была реконструирована в наслонную с установкой промежуточных опор из круглых стальных труб (см. ниже). Из 125 обследованных дощатых ферм было усилено различными способами 119.

2. В 15 покрытиях со 134 фермами из брусьев усилению было подвергнуто только одно покрытие с 10 фермами, в которых опорные узлы были повреждены гнилью из-за протечек кровли.

В остальных 14 перекрытиях со 124 фермами после 20—35 лет эксплуатации зачастую в условиях, мало способствующих сохранности конструкций, были проведены незначительные ремонтные работы, которые заключались главным образом в подтяжке тяжей, установке стяжек в местах успешных трещин и установке аварийных хомутов в опорных узлах при недостаточных размерах площади скалывания. Оба типа ферм находились в одинаковых условиях эксплуатации, что было удобно для сопоставления их несущей способности. Благодаря наличию легко проветриваемых чердачных помещений случаев загнивания ферм в опорных узлах практически не было.

Сравнение треугольных ферм с поясами из досок и ферм с поясами из брусьев позволяет сделать вывод, что фермы с поясами из досок независимо от их очертания менее надежны в эксплуатации и могут быть рекомендованы к применению только в покрытиях временных зданий при небольших пролетах и нагрузках.

Предпочтение следует отдать более долговечным фермам с поясами из брусьев или круглого окантованного леса.

Помимо рассмотренных типов ферм, нижние пояса которых решены в дерево, в последние годы достаточно широкое распространение получили металлодеревянные фермы, у которых нижние пояса выполнены из круглой стали или стальных уголков.

В покрытиях павильонов ВДНХ находятся в эксплуатации 10—15 лет фермы треугольного очертания с пролетами от 12 до 20 м и с нижними поясами из уголков. Верхние пояса и раскосы этих ферм выполнены из окантованных бревен, нижние пояса — из стальных уголков. Фермы такого типа — достаточно надежная конструкция только при условии периодически возобновляемой окраски уголков нижних поясов. После 5—8 лет эксплуатации этих ферм в животноводческих помещениях при повышенной влажности воздуха наблюдался случай сильной коррозии стальных элементов. При проектировании ферм для таких помещений рекомендуется применять уголки повышенной толщины.

При сопоставлении ферм нескольких типов не следует судить об экономичности той или иной конструкции только по расходу материала на фермы. Расход лесоматериала собственно на несущие конструкции — фермы составляет лишь 13—21% полного расхода лесоматериала на покрытие, и экономия древесины на

фермах по сравнению с общей затратой древесины мало ощутима.

Проведенное канд. техн. наук Г. В. Свендицким [2] сопоставление стоимости покрытий с различными типами ферм показало, что стоимость покрытий в целом практически одинакова. Так, стоимость 1 м² покрытия по деревянным фермам составляет от 10 р. 44 к. до 12 р. 50 к.

При общем приведенном расходе древесины от 6,56 до 8,62 см на 1 м² покрытия в целом на фермы приходится только от 0,86 до 1,79 см на 1 м² покрытия (13—21%). Отсюда видно, что экономить на несущей конструкции здесь нецелесообразно. Снижение расхода древесины в самом покрытии, т. е. в прогонах, настилах и обрешетке, дает больший эффект.

4. Усиление конструкций цельных, гвоздевых балок и ферм

В практике эксплуатации деревянных покрытий нередко возникает необходимость восстановления несущей способности конструкции, которая в результате различных воздействий пришла в состояние, не отвечающее требованиям строительных норм и правил.

Восстановление несущей способности может быть достигнуто различными способами. Ремонт сгнивших концов балок чердачных и междуэтажных перекрытий состоит в том, что сгнившие концы опиливаются и заменяются парными накладками из толстых досок на болтах. Целесообразно применение для усиления концов балок металлических креплений — «протезов». Они могут выполняться из прокатных стальных профилей (см. рис. 4) или прутковой конструкции, более легкой, но трудоемкой, предложенной канд. техн. наук С. Д. Даидбековым [1].

При поражении гнилью не только концов балок, но и наката на значительных участках перекрытия, более простым и в ряде случаев менее трудоемким решением становится замена поврежденных гниением балок новыми, обработанными антисептиками.

В покрытии с деревянными фермами возможно устройство промежуточных опор, установленных в середине пролета. Пос-

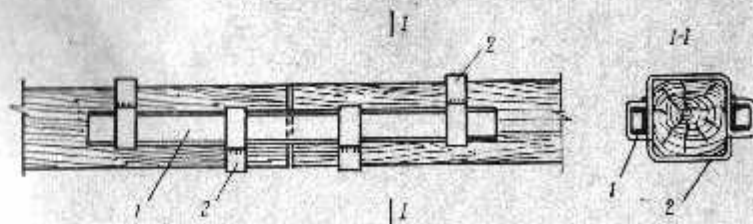


Рис. 4. Балочный протез конструкции инж. Н. А. Онуфриева
1 — швеллер № 12 или 14; 2 — полосовая сталь

ле их установки фермы из висячей конструкции превращаются в наклонную (рис. 5). В покрытиях с гвоздевыми балками также возможна установка промежуточных опор; при этом расчетная схема конструкций изменяется и балки начинают работать как двухпролетные неразрезные. В том случае, если устройство опор почему-либо недопустимо, можно установить между существующими фермами или балками новые конструкции того же типа.

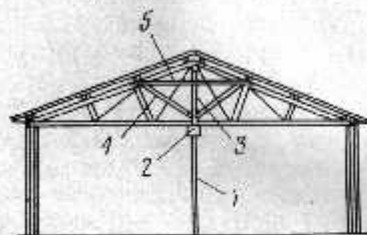


Рис. 5. Установка промежуточной опоры

1 — стойка из стальной трубы; 2 — оголовок стойки; 3 — деревянная стойка; 4 — подкосы; 5 — затяжка

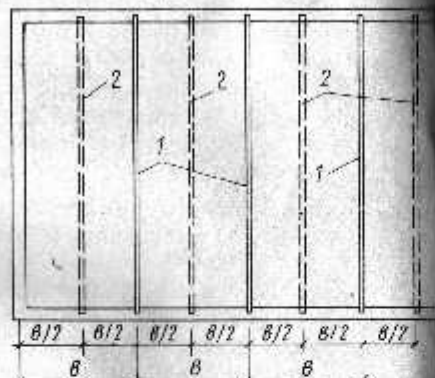


Рис. 6. Схема установки новых ферм в промежутке между существующими

передачей на них половины действующей нагрузки (рис. 6). Способ этот пригоден, когда непосредственное усиление существующих ферм или балок затруднительно из-за сложности и большой трудоемкости работ. Следует иметь в виду, что установка новых промежуточных ферм или балок того же габарита связана с раскрытием значительных участков кровли; это целесообразно, когда одновременно необходимо сместить все кровельное покрытие.

При осуществлении этого способа необходимо наличие соответствующих опор или возможность их устройства для установки новых промежуточных конструкций. Если имеются местные дефекты, а устанавливать дополнительные опоры нежелательно, наиболее целесообразно непосредственное усиление отдельных элементов и узловых соединений конструкции.

При проектировании усиления надо учитывать, что ремонтируемая конструкция находится под нагрузкой и что в узловых и стыковых соединениях произошли те или иные деформации и сдвиги.

Перед установкой деталей крепления ферма или балка должна быть разгружена путем установки временных опор, которые подводятся под верхний пояс фермы или под нижний пояс балки. Опоры обычно выполняются в виде парных стоек с насадкой сверху и раскреплением по высоте связями из досок (рис. 7).

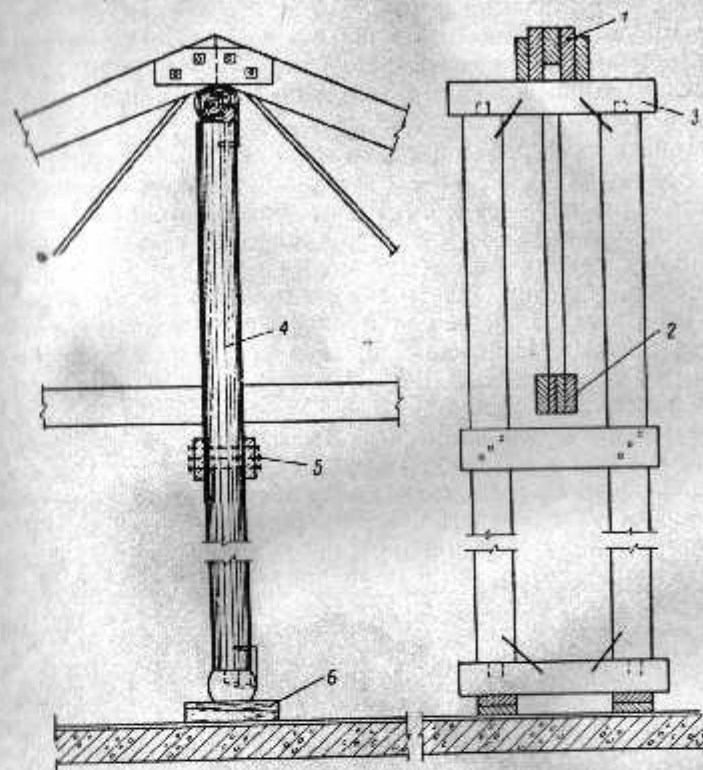


Рис. 7. Временные опоры для вывешивания ферм
1 — верхний пояс фермы; 2 — нижний пояс фермы; 3 — насадка; 4 — стойки; 5 — связи; 6 — клинья

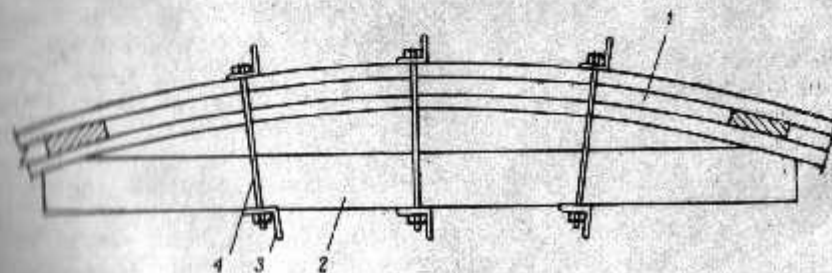


Рис. 8. Выпрямление верхнего пояса дощатой фермы при деформации из плоскости конструкций
1 — верхний пояс фермы; 2 — брус; 3 — уголки; 4 — стяжные болты

При вывешивании фермы прогиб конструкций устраняется путем подклинивания стоек или же их подъема домкратами. Деформированные элементы верхних поясов ферм могут быть выправлены с помощью деревянных жестких накладок и стяжных болтов (рис. 8).

При деформированных и перенапряженных верхних или нижних поясах ферм, а также в случае разрыва досок нижнего пояса усиление осуществляется установкой накладок и прокладок из досок на болтах (рис. 9). При значительных перенапряжениях в нижних поясах ферм, что может привести к разрыву досок, применяется установка тяжей из круглой стали, воспринимающих все растягивающее усилие нижнего пояса.

На рис. 10—11 показан пример усиления дощатых ферм в одном из павильонов ВДНХ. Верхний пояс ферм усилен накладками на болтах, нижний — тяжами из круглой стали, снабженными муфтами для подтяжки. Поставлены дополнительные наклонные тяжи в растянутых раскосах ферм. Эти тяжи крепятся внизу к специальным подкладкам из обрезков швеллеров, а в кониковом узле — к уголкам, закрепленным на верхнем поясе. При подтяжке тяжей нижнего пояса надо следить, чтобы она проводилась постепенно и одновременно с двух сторон, во избежание перекоса нижнего пояса и его выкручивания.

В покрытиях с дощатыми фермами того же типа в павильоне «Транспорт» и в других на ВДНХ усиление покрытия в целом было достигнуто установкой промежуточных опор. При шаге ферм 5 м подведение опор под каждую ферму создавало неудобства для расстановки экспонатов, поэтому шаг опор был увеличен до 10 м. Опоры были выполнены в виде стоек из стальных труб диаметром 140 мм, установленных на бетонных фундаментах.

При этом потребовалась установка подстропильных ферм, которые можно было расположить только в чердачном помещении с тем, чтобы не нарушать внутреннего вида зала.

Подстропильная ферма была решена в виде шпренгеля (рис. 12) с наклонными металлическими тяжами и затяжкой из уголков. В середине пролета шпренгеля была подвешена стальная подушка, на которую опиралась стойка, подведенная под кониковый узел фермы. Все фермы в покрытии в поперечном направлении были раскреплены подкосами и затяжками (см. рис. 5) и из вислей конструкции превращены в наклонную.

Опыт наблюдения за состоянием металлодеревянных ферм из брусев (см. рис. 3) показал, что в этих фермах выкручивания верхних поясов обычно не наблюдается. В фермах такого типа иногда (в случаях применения лесоматериала пониженного качества, с сучками) наблюдаются разрывы нижних растянутых поясов. В ряде случаев причиной, приведшей фермы в аварийное состояние, было приложение в панели нижнего пояса местной нагрузки, не предусмотренной проектом.

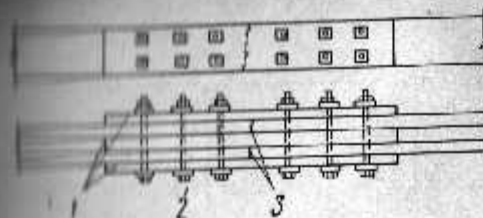


Рис. 9. Усиление нижнего пояса дощатой фермы

1 — накладки и прокладки; 2 — болты; 3 — место разрыва досок

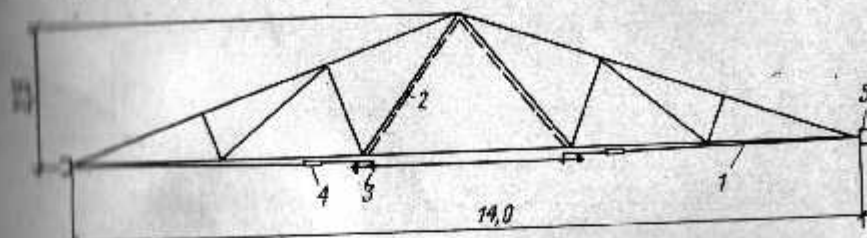
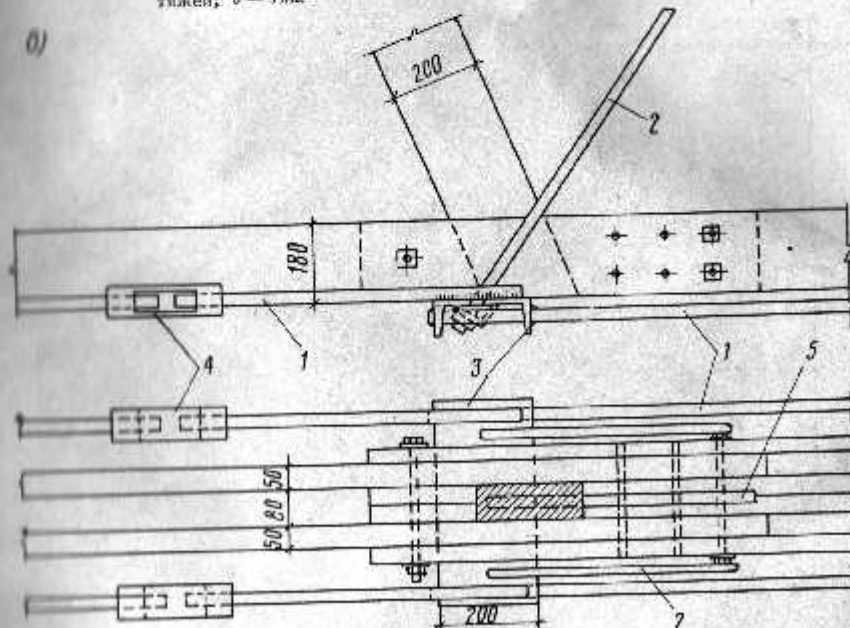
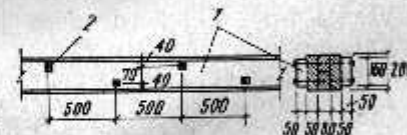


Рис. 10. Схема усиления дощатой фермы треугольного очертания

1 — тяжи нижнего пояса; 2 — тяжи раскосов; 3 — подкладка из швеллера; 4 — муфта; 5 — упор из швеллера

Рис. 11. Усиление верхнего и нижнего поясов

а — усиление верхнего пояса дощатой фермы; 1 — накладка из досок; 2 — болты и шпильки; б — деталь крепления тяжей в узле нижнего пояса дощатой фермы треугольного очертания; 1 — тяжи; 2 — дополнительные тяжи-раскосы; 3 — подкладка из швеллера; 4 — муфта для подтяжки тяжей; 5 — тяжи



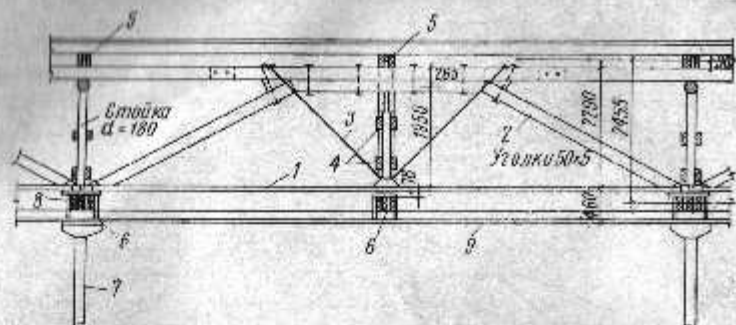


Рис. 12. Подстропиная металлодеревянная ферма

1 — нижний пояс из уголков; 2 — подкосы; 3 — тяжи; 4 — связи; 5 — верхний пояс фермы; 6 — нижний пояс фермы; 7 — стойки из стальных труб; 8 — оголовки стойки с прорезанным через него нижним поясом фермы; 9 — подвесной потолок

На рис. 13 показан опорный узел треугольной фермы пролетом 13,4 м из брусьев в покрытии одного из павильонов ВДНХ. В ферме создалось аварийное состояние в связи с появлением сквозной трещины в месте сучка диаметром 30 мм. Опорный узел и стык нижнего пояса фермы были решены со стальными накладками, поэтому представилось возможным сравнительно просто осуществить усиление нижнего пояса. Оно было выполнено приваркой двух тяжей между стальными накладками среднего и опорного узлов нижнего пояса. Участок пояса с трещиной

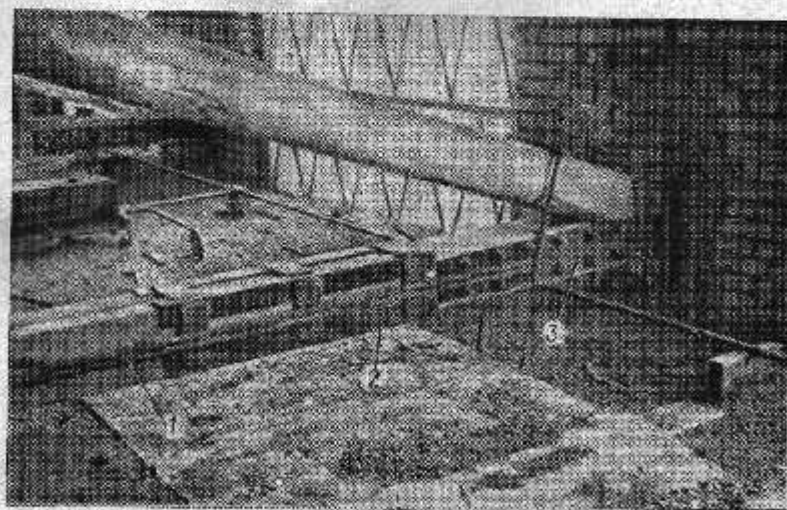


Рис. 13. Усиление нижнего пояса треугольной фермы из брусьев

1 — парные тяжи из круглой стали; 2 — обложки из уголков, установленная в месте разрыва нижнего пояса; 3 — существующие накладки опорного узла с приваренными к ним тяжами

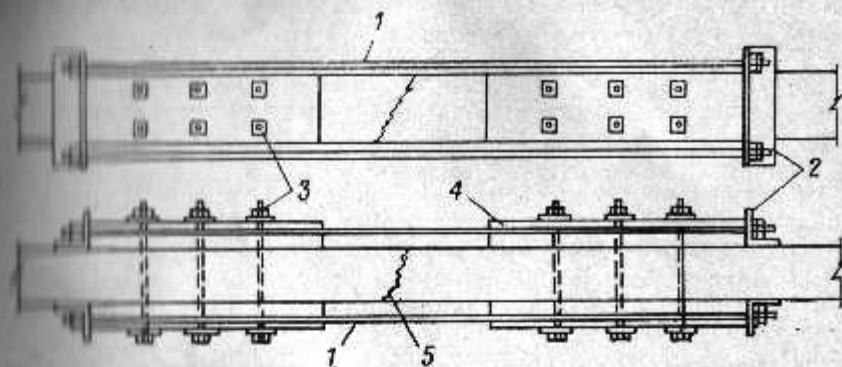


Рис. 14. Усиление участка нижнего пояса фермы из брусьев с помощью тяжей (тяги; 1 — уголки; 2 — болты по расчету; 4 — накладки; 5 — место разрыва пояса

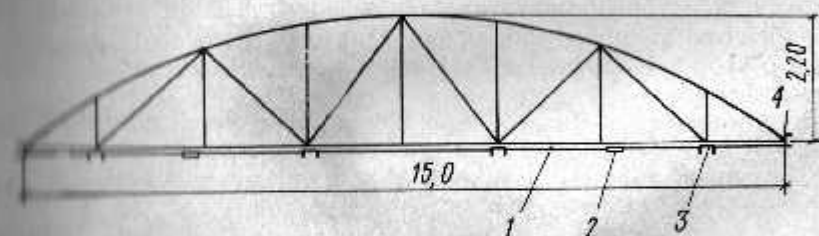


Рис. 15. Схема усиления сегментных ферм, $l=15$ м

1 — тяжи; 2 — муфты; 3 — подкладка из швеллера; 4 — упор из обрезка швеллера в торце фермы

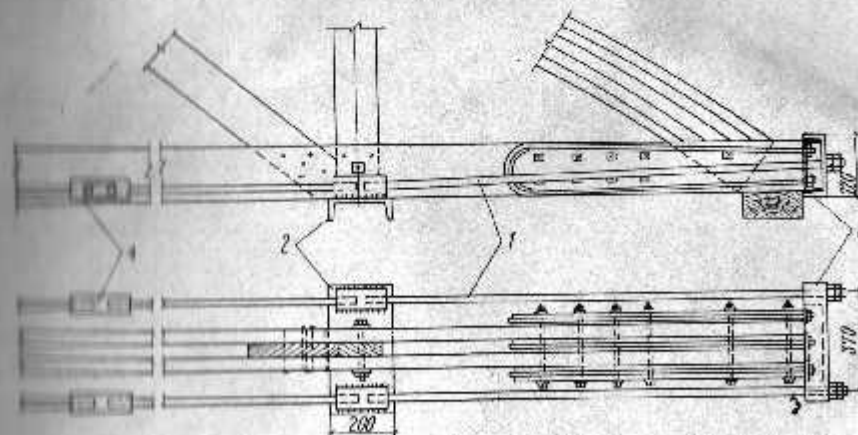


Рис. 16. Деталь крепления тяжей в узлах нижнего пояса сегментной фермы (см. рис. 15)

1 — тяжи; 2 — подкладка из швеллера; 3 — торцовый упор из швеллера; 4 — муфта



Рис. 17. Схема гвоздевой балки, усиленной тяжами из круглой стали

1 — тяжи; 2 — стальная коробка в разрезе пролета балки; 3 — усилительная обрезка швеллера в торце балки

был усилен местной обоймой из уголков. Некоторое затруднение представил самый процесс сварки, который потребовал специальных противопожарных мероприятий.

В других случаях нижние пояса ферм из брусьев могут быть усилены деревянными накладками на болтах или же с помощью тяжей (рис. 14).

Представляют интерес способы, применяемые при усилении дощатых сегментных ферм с верхним поясом из брусков.

В фермах такого типа часто наблюдаются деформации поясов в плоскости ферм. Устранение выпучивания может быть достигнуто с помощью натяжных болтов, закрепленных в жестких балках, к которым подтягивается деформировавшийся пояс по аналогии со схемой, изображенной на рис. 8, с той только разницей, что здесь дефект выправляют не из плоскости, а в плоскости фермы.

При значительных перенапряжениях в верхних поясах ферм и необходимости повысить их жесткость можно усилить их накладками из толстых досок на болтах. Болты стягивают пакеты в целом и придают ему необходимую жесткость.

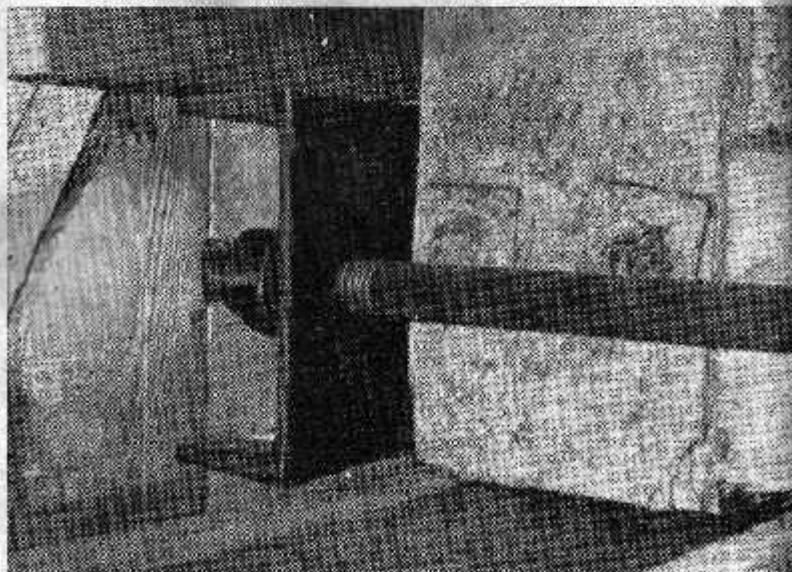


Рис. 18. Крепление тяжа на опоре гвоздевой балки

На рис. 15 показана схема сегментной фермы конференц-зала ВДНХ пролетом 15 м. Фермы несли нагрузку от кровли и подвешенного утепленного потолка. Верхний пояс ферм был усилен накладками из досок на болтах, а нижний — тяжами из круглой стали, снабженными муфтами для подтяжки. На рис. 16 показана деталь крепления тяжей в опорном и соседнем с ним узлах.

При гнилом разрыве опорных узлов ферм они могут быть удалены и заменены сварными протезами из парных стальных швеллеров на болтах. Так были усилены специалистами в ВТИ ЦНИПС многие покрытия в Москве.

Усиление гвоздевых балок в случае неприемлемости установки промежуточных опор можно осуществить накладками из досок на болтах в местах повреждения или разрыва нижних поясов.

В случае выхода из строя значительных по протяженности участков нижнего пояса может быть рекомендована установка тяжей по всей длине балки. На рис. 17 показана схема гвоздевой балки пролетом 9,26 м, аварийное состояние в которой сложилось в результате дефекта, допущенного при производстве работ. В этих балках не были поставлены прокладки в стыках нижнего пояса. Усиление было осуществлено установкой парных тяжей из круглой стали. В середине пролета балки поставили стальную коробку, в отверстиях которой закрепили концы тяжей. Другие концы тяжей были закреплены в торцах балок, в упорах, выполненных из обрезков швеллеров (рис. 18).

8. Усиление конструкций клееных трехшарнирных арок

В покрытии зала кинотеатра в Северодвинске были установлены трехшарнирные клееные арки из прямолинейных элементов. Несущая способность арок оказалась заниженной в результате значительного увлажнения их верхнего пояса, изготовленного на казеино-цементном кле. Арки, показанные на рис. 31, несли нагрузку от кровли и подвешного потолка. Усиление верхних поясов скато-изогнутых арок, находившихся под нагрузкой, было сложно в условиях затесненного чердака. Приняли решение — снизить нагрузку на арки путем передачи нагрузки от подвешного потолка на новые несущие конструкции, установленные между арками. Новая конструкция, не связанная с кровлей, могла иметь меньшие габариты, чем арки. В соответствии с этим были запроектированы шпренгельные фермы с верхним поясом в виде пакета досок, склеенных на фенолформальдегидном кле КБ-3 (рис. 19).

Шпренгельные фермы пролетом 17,5 м были установлены попарно между арками и раскреплены связями. К подвескам

шпренгельных ферм прикрепили парные балки из швеллеров № 14, к которым на болтах подвесили потолок зала. Элементы ферм заготовили заранее и предварительно собрали на бойке. Установка их на место была выполнена в короткий срок без раскроя кровли.

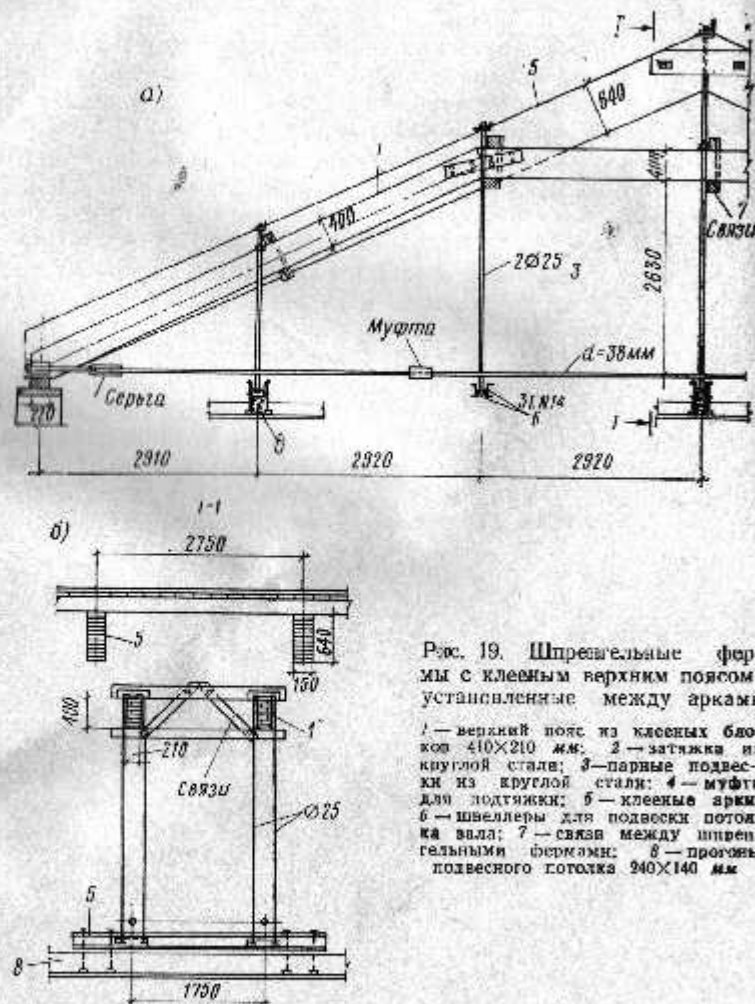


Рис. 19. Шпренгельные фермы с клееным верхним поясом, установленные между арками:

1 — верхний пояс из клееных блоков 410×210 мм; 2 — затяжка из круглой стали; 3 — парные подвески из круглой стали; 4 — муфта для подтяжки; 5 — клееные арки; 6 — швеллеры для подвески потолка зала; 7 — связи между шпренгельными фермами; 8 — прогоны подвесного потолка 240×140 мм

При недостаточной прочности клеевых соединений клееные элементы конструкций могут быть усилены путем двусторонней обшивки их водостойкой фанерой толщиной 8—10 мм на гвоздях. Гвозди при этом рассчитывают на сдвигающие силы, воспринимавшиеся ранее клеевыми швами. Так был усилен ряд конструкций специалистами б. БТП ЦНИПС.

Глава II

ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

Деревянные конструкции на химических и химико-металлургических предприятиях подвергаются воздействию различных агрессивных сред. Сохранность и долговечность конструкций зависят от условий эксплуатации. Конструкции подвергаются интенсивному воздействию разнообразных внешних факторов, в том числе химических реагентов, повышенных и пониженных температур, а также попеременному увлажнению и высыханию.

В соответствии с принятой классификацией [5] агрессивные среды подразделяются на газообразные (парообразные), жидкие и твердые. Степень агрессивного воздействия газов определяется их видом, концентрацией, температурой, влажностью воздуха и скоростью обмена. В числе агентов, вызывающих разрушение древесины, могут быть аэрозоли и дым в сочетании с высокой влажностью воздуха. По классификации аэрозоли включены в группу воздушной агрессивной среды.

Воздействие жидких и твердых агрессивных сред распространяется главным образом на различные емкости, а также на полы производственных помещений и междуэтажных перекрытий.

Влияние агрессивных сред на прочность древесины исследовалось неоднократно.

В 1933—1934 гг. доц. Д. А. Кочетков провел исследование древесины ферм заводов, производящих серную кислоту. Он установил, что сернистый ангидрид при соприкосновении с увлажненной поверхностью ферм вызывает образование серной кислоты, что ведет к обугливанию древесины и падению ее прочности. Исследователь полагал, что глубина поражения древесины за один год достигает в среднем 2 мм. При этом наблюдается изменение цвета древесины на красновато-бурый. Прочность на сжатие за два года эксплуатации в образцах, взятых из поверхностных слоев прокладок ферм, снизилась в среднем на 14,4%, а напряжение на скалывание — на 27%.

Д. А. Кочетков отмечает также, что, несмотря на наличие пор в древесине, газы не проникают во всю ее толщу, а внутренние слои остаются неповрежденными [3].

В 1952 г. доц. Е. Н. Квасников при обследовании деревянных ферм травильного отделения ленинградского сталепрокатного завода также установил, что за один год поражение древесины парами серной кислоты наблюдается на глубину до 2 мм поперек волокон и на 6 мм — вдоль волокон. Он тоже отмечает изменение окраски, размолачивание и обугливание древесины после 20 лет эксплуатации. Применение деревянных ферм, по мнению автора исследования, можно считать оправданным, так как,

несмотря на тяжелые условия эксплуатации, они все же простояли 20 лет. При этом существенное значение имеют размеры поперечного сечения несущих элементов. Е. Н. Квасников сообщает установленным, что фермы из крупных сортиментов (брусев) лучше сопротивляются воздействию агрессивных сред, чем фермы из досок.

Исследование состояния древесины несущих конструкций на предприятиях химической промышленности (Соликамск, Березники, Калуж и др.) были проведены в ЦНИИСК инж. Б. П. Терсеевым. Древесина показала устойчивость к агрессивным средам: газам, парам и аэрозолям.

Был изучен механизм разрушения капиллярно-пористого материала, каким является древесина в условиях химически агрессивной среды. В результате этих работ ЦНИИСК составил Указания по применению деревянных конструкций в условиях химическо-агрессивной среды [5]. В Указаниях даются сведения о проводимых Институтом физической технологии древесины в Эберсвальде (ГДР) широких исследованиях, касающихся перспектив применения деревянных конструкций в химической промышленности.

Преимущества древесины как материала для несущих конструкций освещаются в зарубежной литературе. Так, в журнале «Chemical Metallurgical Engineering» [4] говорится о целесообразности применения древесины, в том числе и клееной, на предприятиях химической промышленности при наличии агрессивных сред — паров, гари и копоти. В ФРГ инструкцией Ассоциации промышленного строительства рекомендуется применять древесину для кровель промышленных зданий, где нижняя поверхность подвергается токсическим воздействиям. Французская промышленная фирма «Общество калийных предприятий Эльзаса» с успехом применяет клееные деревянные конструкции ферм пролетом 22—30 м для зданий химической промышленности.

В Советском Союзе на калийных комбинатах успешно применяются разработанные институтами ЦНИИСК и Госгорхимпроект трехпарные клееные арки пролетом 45 м (Солигорск, Калуж, Соликамск, Березники). Опыт эксплуатации деревянных конструкций складских помещений на этих же предприятиях за 30 лет показал достаточную химическую стойкость древесины в условиях данной агрессивной среды.

1. Состояние конструкций покрытий цехов химических и химико-металлургических заводов

Задачей работы было исследование влияния некоторых агрессивных сред, преобладающих на химических и химико-металлургических предприятиях, на несущие деревянные конструкции.

Рассматривалось влияние на элементы покрытий только воздушных агрессивных сред.

Было обследовано 55 цехов на 11 предприятиях химической и химико-металлургической промышленности в Электростали, Павлодаре и других городах.

Наиболее характерными для обследованных цехов были следующие агрессивные газовые среды: 1) «хлористый водород»; 2) «сернистый ангидрид»; 3) «пары серной, соляной и азотной кислот»; 4) «аммиак и сернистый газ»; 5) «уксусный ангидрид».

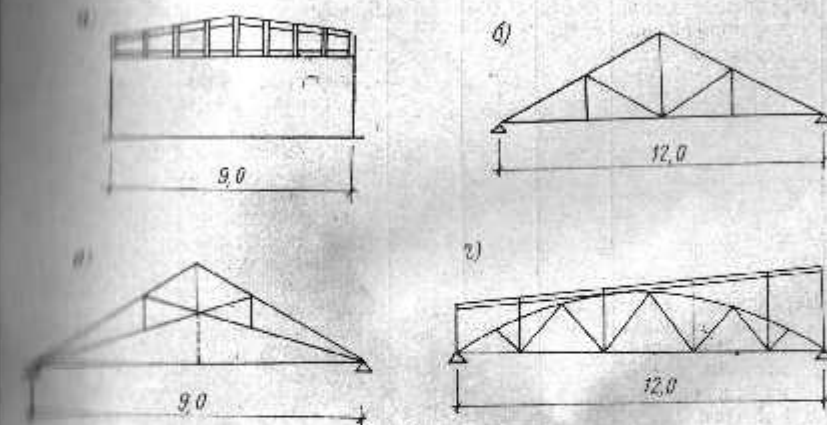


Рис. 20. Схемы несущих деревянных конструкций в обследованных цехах с агрессивными средами

а — двуспанная балка с перекрестной стенкой на стропилах; б — треугольная металлодеревянная ферма из брусков; в — ферма из брусков с затяжкой из круглой стали; г — сегментная ферма из досок на стропилах

При обследовании было изучено состояние существующих деревянных несущих конструкций покрытий в цехах перечисленных предприятий и взяты образцы для испытания. По результатам обследований были составлены таблицы с данными о состоянии древесины в деревянных фермах, балках и настилах, а также (для сопоставления) данные о состоянии металлических и железобетонных конструкций. В таблицы входили сведения о концентрации газовых сред, влажности воздуха и продолжительности эксплуатации несущих конструкций (см. отчеты лаборатории деревянных конструкций НИИ-200 за 1957, 1958 и 1960 гг. [23—25]). Приводим некоторые выдержки из этих таблиц с результатами обследования состояния несущих конструкций в четырех агрессивных средах (табл. 5—9).

Таблица

Состояние конструкций покрытий в среде «хлористый водород»

№ п/п	Наименование конструкций	Срок эксплуатации в годах	Концентрация газа в мг/л	Влажность в %	Состояние деревянных конструкций	Состояние металлических и железобетонных конструкций
1	Междуетажные деревянные перекрытия	8	0,01	35—60	Удовлетворительное	—
2	Деревянные балки чердачного перекрытия	6	0,01	80	Древесина балок и подшивка потолка в неудовлетворительном состоянии. Наблюдается расслоение древесины. Наличие конденсата на поверхности балок из-за недостаточной толщины утеплителя	—
3	Деревянные гвоздевые балки $l=9$ м с деревянными прогонами и обрешеткой (рис. 20, а)	26	0,005	72	Пониженная прочность поверхностного слоя и высокая влажность древесины	—
4	Деревянная ферма $l=12$ м с обрешеткой по прогонам (рис. 20, б)	30	0,005	—	Ферма требует ремонта ввиду расстройств узловых соединений. Древесина в удовлетворительном состоянии	—
5	Металлические фермы с деревянной обрешеткой, обшитой снизу кровельной сталью	15	0,005	—	Состояние древесины обрешетки удовлетворительное	Металлические фермы окрашены перхлорвиниловой краской, состояние металла ферм удовлетворительное
6	Деревянное совмещенное покрытие по балкам	8	до 1,26	—	Состояние древесины неудовлетворительное. Наблюдается расслоение древесины и прогиб балок, состояние, близкое к аварийному	—

Наименование конструкций	Срок эксплуатации в годах	Концентрация газа в мг/л	Влажность в %	Состояние деревянных конструкций	Состояние металлических и железобетонных конструкций
Металлические фермы с покрытием из волнистых асбестоцементных плит	8	0,001	64	—	Незначительная коррозия металлических ферм

Таблица 6

Состояние конструкций покрытий в среде «сернистый ангидрид»

№ п/п	Наименование конструкций	Срок эксплуатации в годах	Концентрация газа в мг/л	Влажность в %	Состояние деревянных конструкций	Состояние металлических и железобетонных конструкций
8	Деревянные фермы $l=9$ м с деревянным настилом (рис. 20, в)	26	0,03—0,12	90	Состояние древесины ферм удовлетворительное. Необходим ремонт узловых соединений ввиду сильной коррозии болтов в стальной затяжки	—
9	Деревянные сегментные фермы с совмещенным покрытием (рис. 20, г)	25	0,04—0,08	—	Снижение прочности древесины по данным обследования ЛИСИ. Деформации в фермах не отмечается	—
10	Металлические фермы с деревянной обрешеткой	30	0,01—0,02	50	Деревянный настил до его замены простоял 30 лет. Новый настил находится в эксплуатации 3 года, состояние вполне удовлетворительное	Фермы в удовлетворительном состоянии. Окрашены перхлорвиниловой краской
11	Металлическая ферма с железобетонными плитами	20	0,04—0,08	—	—	Состояние металла ферм и железобетонных плит удовлетворительное

Таблица 8
Состояние конструкций в среде «пары серной, соляной и азотной кислот»

№ п/п	Наименование конструкций	Срок эксплуатации в годах	Концентрация газа в мг/л	Влажность в %	Состояние деревянных конструкций	Состояние металлических и железобетонных конструкций
12	Металлические фермы с деревянным покрытием	10	Концентрация превышала норму в 2 раза	60	Древесина в покрытии менялась через каждые 5 лет	Состояние металлических ферм, покрытых защитной окраской, удовлетворительное
13	Металлические фермы $l=12$ м с деревянным покрытием	12	Концентрация в пределах нормы	50	Деревянный настил находится в удовлетворительном состоянии после 2 лет эксплуатации. Существующий ранее настил простоял 30 лет	Состояние ферм удовлетворительное. Фермы окрашены перхлорвиниловой краской
14	Металлические фермы $l=9$ м, армопенобетонные плиты	15	Пары соляной кислоты от 0,005 до 0,023	66	—	Значительная коррозия ферм. Отпадение защитного слоя бетонного слоя в швах

Таблица 8

Состояние конструкций покрытий в газовой среде «аммиак и сернистый ангидрид»

№ п/п	Наименование конструкций	Срок эксплуатации в годах	Концентрация газа в мг/л	Влажность в %	Состояние деревянных конструкций	Состояние металлических деталей и конструкций
15	Деревянное пустотное покрытие по стальным фермам на заклелках	30	Аммиак до 0,02; сернистый ангидрид до 0,08	55	Древесина покрытия в удовлетворительном состоянии. Отдельные участки покрытия менялись после 20 лет эксплуатации	Коррозия стальных ферм. Фермы окрашиваются защитными лаками через каждые 3—4 года
16	Покрытие по деревянным балкам с оштукатуренной и деревянной подшивкой	6	Пары аммиака NH_3 0,02 мг/л	51	Древесина балок и подшивка в удовлетворительном состоянии. Наблюдается отслаивание штукатурки	Коррозия гвоздей в деревянной подшивке потолка

Состояние конструкций покрытий в среде «уксусный ангидрид»

Наименование конструкций	Срок эксплуатации в годах	Концентрация газа в мг/л	Влажность в %	Состояние деревянных конструкций	Состояние железобетонных и металлических конструкций
17 Металлические фермы $l=24$ м. Покрытие деревянное, неутепленное	30	В пределах норм (0,005)	59	Состояние древесины покрытия удовлетворительное	Незначительная коррозия металлических элементов конструкций
18 Металлические балки с покрытием из железобетонных плит. Деревянные внутренние напольные площадки	8	0,01	50	Древесина площадок и деревянных оконных переплетов в удовлетворительном состоянии	Сильная коррозия железобетонных плит пола и кладки стен. Металлические балки, покрытые перхлорвиниловой окраской, в удовлетворительном состоянии
19 Металлические балки и покрытие из железобетонных плит	8	Уксусный ангидрид 0,005, пары бензола до 0,32 мг/л	—	—	Металлические балки, окрашенные перхлорвиниловой краской, в удовлетворительном состоянии. Сильная коррозия бетона, плит и кирпичной кладки
20 Металлические балки и покрытие из железобетонных плит. Деревянные внутренние напольные площадки	22	В пределах нормы. В отдельные периоды концентрация превышала норму (0,005)	—	Древесина площадок и деревянных переплетов в удовлетворительном состоянии	Наблюдается коррозия металла балок, которые окрашиваются через каждые 3—4 года

2. Прочность древесины в агрессивных газовых средах

Отбор образцов из существующих конструкций

Образцы отбирались из элементов ферм, настила и прогонов кровли. Металл стальных ферм не испытывался. Из поперечного сечения элемента выкалывались угловые участки, имевшие две грани, которые в процессе эксплуатации омывались агрессивными средами (рис. 21). Изготовление из полученных брусков стандартных образцов на сжатие и скалывание не представляло особых затруднений. Более трудной за-

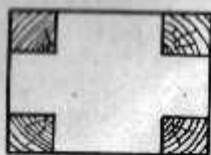


Рис. 21. Схема отбора образцов из элементов существующих деревянных конструкций

дачей было изготовление образцов на изгиб и растяжение, так как при выпиливании и скалывании длинных образцов некоторые из них получались с трещинами и отбраковывались. Этим обстоятельством объясняется малое количество образцов на изгиб и растяжение. Результаты испытания образцов, взятых из существующих конструкций, приведены совместно с результатами испытания образцов, взятых из контейнеров после одного и двух лет содержания образцов в агрессивных средах (табл. 10—14).

Заготовка образцов

Как отмечалось выше, в тех же цехах с агрессивными средами, из конструкций которых были отобраны стандартные образцы для испытаний, были заложены новые стандартные образцы для содержания их в агрессивных средах в течение двух лет. Образцы были изготовлены из пяти сосновых краев длиной по 4,5 м, срубленных на лесосеке Вятско-Полянского комбината. Диаметр краев в верхнем отрубе равен 35—40 см.

Краи были распилены на месте на доски толщиной 5 см и просушены. Три средние доски были использованы для изготовления образцов на изгиб, растяжение и сжатие. Для изготовления образцов на скалывание по клеесовому шву использовались доски, расположенные справа и слева от трех средних досок.

Из досок были изготовлены бруски размером 20×20 мм, длиной 350 мм, из которых нарезались стандартные образцы на сжатие, изгиб и растяжение. Для испытания на скалывание по клеесовому шву были изготовлены бруски сечением 50×25 мм, длиной 350 мм, которые в дальнейшем склеивались клеем КБ-3. Помимо этого из каждой доски каждого края были отобраны контрольные образцы на сжатие в количестве 10—12 шт., на растяжение и на изгиб по 6—8 шт., а также сделаны заготовки для изготовления контрольных образцов на скалывание по клеесовому шву.

После изготовления часть образцов была пропитана различными составами, другие окрашены защитными красками, а некоторые образцы подвергнуты сушке в петролатуме. Приводим данные о применявшихся окрасках и пропитках образцов.

Образцы, покрытые краской МХС. Согласно проведенным Институтом пожарной охраны УПО НКВД испытаниям, окраска увеличивает огнестойкость древесины и способствует стойкости ее в растворе крепкой соляной кислоты. В состав краски входят перхлорвиниловая смола, хлорпарафин, двуокись титана, цинковые белила и другие компоненты. Эта окраска была проверена в следующих агрессивных газовых средах: 1) «сернистый ангид-

рид»; 2) «аммиак и сернистый ангидрид»; 3) «уксусный ангидрид».

Пропитка в петролатуме. Учитывая положительное действие смолы древесины в петролатуме, при котором одновременно повышается и ее биостойкость, было целесообразно установить, увеличивается ли химическая стойкость древесины, просушенной в петролатуме, по сравнению с обычной непропитанной древесиной.

Образцы, просушенные в петролатуме, были заложены во всех пяти агрессивных средах: «хлористый водород», «сернистый ангидрид», «пары серной, соляной и азотной кислот», «аммиак и сернистый ангидрид» и «уксусный ангидрид».

Пропитка ацетонофурфуроловым мономером. Эта пропитка была рекомендована Институтом пластмасс (предложение инж. Н. И. Остер-Волкова). По данным института, пропитка придает древесине грибоустойчивость и огнестойкость. ЦНИИПО рекомендовал эту пропитку в качестве огнезащитной. Было намечено проверить ее эффективность в агрессивных средах: «пары серной, соляной и азотной кислот», а также в среде «уксусный ангидрид».

Пропитка ЦНИЛХИ, предложенная канд. техн. наук Н. И. Лекторским, представляет собой маслянистый состав темного цвета, стойкий против воздействия серной кислоты. Было намечено проверить его стойкость в агрессивных средах, воздействие которых связано с выделением соляной кислоты, т. е. в среде «хлористый водород».

Учитывая сложность пропитки древесины этим составом в автоклавах под давлением, было намечено наряду с пропиткой проверить эффективность окраски этим же составом. Образцы с окраской ЦНИЛХИ были заложены в среде «уксусный ангидрид».

Лак этиноль. Трест Монтажхимзащита рекомендовал применить для покрытия древесины лак этиноль. Этим лаком были покрыты образцы, заложенные в агрессивной среде в виде паров серной, соляной и азотной кислот.

Лак НИИ-200. Лак был предложен б. НИИ-200 (в настоящее время институтом ВНИИМонтажспецстрой) для защиты древесины в агрессивных средах. Лак изготовлен на основе фенольных смол. Покрытые им образцы были заложены в агрессивных средах «сернистый ангидрид» и «пары серной, соляной и азотной кислот».

Часть защитных покрытий, примененных автором, вошла в номенклатуру, рекомендованную Указаниями по применению деревянных конструкций в условиях химически агрессивной среды.

Закладка образцов и содержание их в агрессивных средах

Образцы на сжатие, изгиб, растяжение и скалывание укладывались в специальные контейнеры (рис. 22). Каждый образец помещался в отдельной ячейке, что способствовало свободному

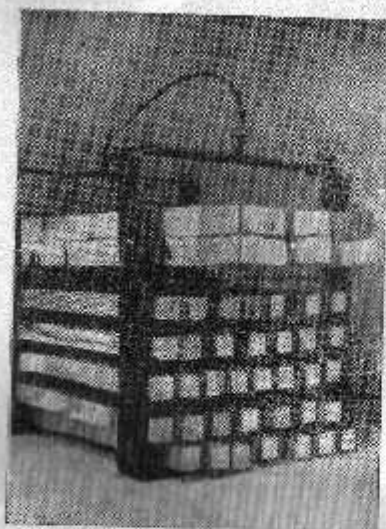


Рис. 22. Контейнер с заложенными образцами для содержания в агрессивных средах

доступу агрессивной газовой среды со всех сторон. В каждом из 24 контейнеров содержалось 16 образцов на изгиб, 16 образцов на растяжение, 4 бруска длиной по 350 мм, из которых нарезались образцы на сжатие, и 4 склеенных бруска, из которых делались образцы на скалывание по клеевому шву.

Всего в каждом контейнере содержалось до 72 образцов, предназначенных для четырех видов испытаний. Это количество обеспечивало проведение двух этапов испытаний: после одного года нахождения в агрессивной среде и после двух лет. Подвеска контейнеров с образцами производилась к несущим конструкциям покрытий (фермам и балкам) непосредственно под кровлей.

После одного года содержания в агрессивных средах половина образцов была вынута и подверглась испытаниям. Вторая половина образцов была вынута и испытана после двух лет нахождения в агрессивной среде. Одновременно с изъятием образцов из контейнеров из заводских лабораторий были получены сведения о среднем значении влажности воздуха, его температуре и средней концентрации вредных веществ в воздушной среде за указанный период.

Испытание образцов

Образцы, отобранные из существующих конструкций, испытывались на сжатие, растяжение и изгиб и скалывание в соответствии с ГОСТ 6336—52. При этом определяли влажность образцов и в результаты испытаний вводили соответствующую поправку. При испытании на растяжение влияние влажности не учитывалось. Образцы, изъятые из контейнеров, испытывались на сжатие, растяжение и изгиб.

По результатам испытаний составлено 219 протоколов [23, 24, 25], сведенные в 20 таблиц. Для каждой из пяти агрессивных сред составлены три таблицы, в которых содержались результаты испытаний на сжатие, растяжение и изгиб.

Кроме того, для двух агрессивных сред — «аммиак и сернистый ангидрид» и «уксусный ангидрид» — были проведены испытания на скалывание образцов, отобранных из существующих конструкций, а также испытание на скалывание по клеевому шву образцов, находившихся в контейнерах в тех же цехах и тех агрессивных средах. Образцы были склеены клеом марки КБ.

Экспериментальные данные были подвергнуты статистической обработке. При этом вычислялись: средняя арифметическая величина m , среднее квадратическое отклонение $\pm \sigma$ и вариационный коэффициент v . В отдельных случаях определялись средние значения m и соответственно показатель точности в процентах.

Всего было испытано 1575 образцов, в том числе и образцы на существующих конструкциях, находившихся в тех же агрессивных средах, в которых были заложены образцы в контейнерах. Для каждой серии образцов производились также испытания соответствующих им контрольных образцов. Для удобства сопоставления результаты испытаний включены в те же таблицы.

Для образцов, взятых из существующих конструкций, контрольных данных, естественно, не могло быть, и полученные результаты можно было сравнивать лишь со средними величинами физико-механических свойств древесины сосны центрального района европейской части СССР (см. ГОСТ 4631—49):

сжатие	439 кгс/см ²
растяжение	1150 »
изгиб	793 »
скалывание	73 » (в тангенциальном направлении)

Таблица 2
Показатели прочности образцов, содержащихся в агрессивной среде «хлористый водород»
(в знаменателе приведены пределы прочности контрольных образцов)

№ п/п	Влажность воздуха в %	Относительная влажность воздуха в %	Температура воздуха в °C	Вид образца	Срок пребывания в агрессивной среде в годах	Сжатие				Растяжение				Изгиб			
						количество	пределы прочности		количество	пределы прочности		количество	пределы прочности		количество	пределы прочности	
							в кгс/см ²	% от контрольных		в кгс/см ²	% от контрольных		в кгс/см ²	% от контрольных		в кгс/см ²	% от контрольных
1	0,02	64	16—22	Непропитанный	2	8	301 318	95	6	0,00 705	00	5	283 600				
2	0,01	50	16—20	То же	26	47	369 439	84	—	—	—	4	437 793				
3	0,02	64	16—22	Пропитка в петролатуме	2	9	321 302	1,06	6	329 1469	22	6	370 596				
4	0,02	55	16—20	Окраска составом ЦНИЛХИ	1	11	462 412	1,12	5	282 420	67	6	517 611				

Таблица II

Показатели прочности образцов, содержащихся в агрессивной среде
«сернистый ангидрид»

(в знаменателе приведены пределы прочности контрольных образцов)

№ п/п	Концентрация газа в кг/л	Относительная влажность воздуха в %	Температура воздуха в °С	Вид образца	Срок пребывания в агрессивной среде в годах	Сжатие			Растяжение			Игиб	
						количество	пределы проч- ности		количество	пределы проч- ности		количество	предела проч- ности
							в кгс/см²	% от кон- трольных		в кгс/см²	% от кон- трольных		в кгс/см²
5	0,02	45	16—20	Непропитанный	2	9	225 321	70	5	537 823	66	5	423 642
6	от 0,03 до 0,12	90	15—18	»	12	9	330 439	75	—	—	—	—	—
7	0,02	45	16—20	»	22—26	9	307 439	70	5	173 1150	15	4	449 793
8	0,02	45	16—20	Пропитанный в пе- тролатуме	1	—	—	—	—	—	—	6	672 510
9	0,02	45	16—20	Перхлорвиниловый окраска	2	8	321 328	98	4	618 736	84	6	506 510
10	0,02	45	16—20	Окраска МХС	1	—	—	—	5	566 1141	50	4	435 448
11	0,02	45	16—20	Окраска лаком НИИ-200	2	—	—	—	8	578 638	91	—	—

Таблица III

Показатели прочности образцов, содержащихся в агрессивной среде
«серная кислота»

(в знаменателе приведены пределы прочности контрольных образцов)

№ п/п	Концентрация газа в кг/л	Относительная влажность воздуха в %	Температура воздуха в °С	Вид образца	Срок пребывания в агрессивной среде в годах	Сжатие			Растяжение			Игиб	
						количество	пределы проч- ности		количество	пределы проч- ности		количество	предела проч- ности
							в кгс/см²	% от кон- трольных		в кгс/см²	% от кон- трольных		в кгс/см²
12	Средняя влажность до 0,05; окислов азота в пересчете на NO ₂ до 0,01	66	16—22	Непропитанный	2	9	227 318	71	5	290 719	40	6	379 479
13		68	16—25	То же	2	9	275 318	66	—	—	—	—	—
14		66	16—22	С пропиткой петро- латумом	2	11	324 308	105	5	402 1360	30	6	500 596
15		66	16—22	С окраской лаком НИИ-200	1	8	392 497	79	—	—	—	5	504 647
16		56	16—20	Окраска лаком эпигло	2	11	401 412	98	—	—	—	5	538 631
17		56	16—20	Пропитка фурурол- ациетоновым моно- мером	2	9	391 469	84	5	287 709	41	6	572 680

Показатели прочности образцов, содержащихся в агрессивной среде
«аммиак и сернистый ангидрид»
(в знаменателе приведены пределы прочности контрольных образцов)

№ п/п	Концентрация газа в мг/л	Относительная влажность воздуха в %	Температура воздуха в °С	Вид образцов	Срок пребывания в агрессивной среде в годах	Сжатие			Растяжение			Изгиб			Скалывание			Скалывание по ключевому шву		
						количество	пределы прочности		количество	пределы прочности		количество	пределы прочности		количество	пределы прочности		количество	пределы прочности	
							в кгс/см²	% от кон-трольных		в кгс/см²	% от кон-трольных		в кгс/см²	% от кон-трольных		в кгс/см²	% от кон-трольных		в кгс/см²	% от кон-трольных
18	Аммиак до 0,04; сернистый ангидрид до 0,02	56	17—20	Непротитан-ный	1	7	414 328	126	5	601 662	91	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19	Аммиак до 0,04; сернистый ангидрид до 0,02	56	17—20	То же	2	11	438 321	136	5	573 662	86	5	760 552	146	—	—	—	6	58,7 54,8	107
20	Аммиак до 0,01	55	17—20	»	30	30	428 439	98	—	—	—	6	219 793	28	10	63,7 73	87	—	—	—
21	до 0,01	55	17—20	С протитан-кой пер-ролату-мой	2	9	543 447	122	5	613 1335	46	6	526 596	89	—	—	—	—	—	—
22	до 0,01	55	17—20	С окрас-ной пер-ролату-мой	2	8	373 101	101	4	597	52	6	510	92	—	—	—	6	59,8	101

Показатели прочности образцов, содержащихся в агрессивной среде
«сернистый ангидрид»
(в знаменателе приведены пределы прочности контрольных образцов)

№ п/п	Концентрация газа в мг/л	Относительная влажность воздуха в %	Температура воздуха в °С	Вид образцов	Срок пребывания в агрессивной среде в годах	Сжатие			Растяжение			Изгиб			Скалывание			Скалывание по ключевому образцу		
						количество	пределы прочности		количество	пределы прочности		количество	пределы прочности		количество	пределы прочности		количество	пределы прочности	
							в кгс/см²	% от кон-трольных		в кгс/см²	% от кон-трольных		в кгс/см²	% от кон-трольных		в кгс/см²	% от кон-трольных		в кгс/см²	% от кон-трольных
23	0,32	50	15—20	Непротитан-ный	2	9	290 318	91	5	781 823	95	3	408 442	93	—	—	—	5	40,5 44,2	92
24	0,01	58	16—18	То же	2	9	329 321	102	4	620 734	85	5	413 642	65	—	—	—	5	54,8 59,5	92,5
25	0,03	59	16—18	»	30	20	331 439	75	—	—	—	—	—	—	12	45 73	62	—	—	—
26	0,03	59	16—18	Протитан-ная пер-ролату-мой	2	8	506 447	104	5	646 1335	49	5	658 752	87	—	—	—	—	—	—
27	0,01	58	16—18	С протитан-ной пер-ролату-мой	1	11	322 319	101	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
28	0,03	59	16—18	С окраской пер-ролату-мой	1	9	438 469	94	—	—	—	5	437 448	98	—	—	—	—	—	—
29	0,32	50	15—20	С протитан-ной пер-ролату-мой	1	—	—	—	4	374 709	53	5	544 611	89	—	—	—	5	49,1 48	102

3. Результаты обследования древесины несущих конструкций и испытаний стандартных образцов

В результате обследования древесины несущих конструкций цехов химико-металлургических предприятий (табл. 5—9) и испытания на прочность стандартных образцов, находившихся в течение двух лет в тех же агрессивных средах, получены данные, позволяющие судить о влиянии некоторых агрессивных газовых сред на древесину несущих конструкций.

Ввиду большого объема материалов по проведенной работе они представлены в сокращенном виде.

В табл. 10—14 приводятся показатели прочности стандартных образцов, содержащихся в агрессивных средах, с указанием концентрации газов, относительной влажности и температуры воздуха в цехах.

Далее излагаются выводы по результатам обследования испытаний для каждой агрессивной газовой среды отдельно.

Агрессивная газовая среда «хлористый водород». При конденсации хлористого водорода HCl на поверхности конструкций образуется соляная кислота. Степень агрессивного воздействия зависит от концентрации HCl , температуры, относительной влажности воздуха и наличия вентиляции в цехах.

При норме $0,005 \text{ мг/л}$, или 5 мг/м^3 (см. СНиП II-М.2-62) фактическая концентрация в обследованных цехах была в пределах от $0,005$ до $0,01$, а в отдельных случаях (завод «Красный химик» в Ленинграде) достигала $0,022 \text{ мг/л}$.

Из приведенных в таблицах данных по обследованию существующих деревянных конструкций видно, что отрицательным фактором, снижающим долговечность деревянных несущих конструкций в указанной среде, является значительная концентрация газа в сочетании с высокой относительной влажностью воздуха.

Вместе с тем при соблюдении норм концентрации хлористого водорода в пределах до $0,005$ в той же агрессивной среде были обследованы деревянные конструкции, находящиеся в удовлетворительном состоянии после 15 лет эксплуатации. Конструкции, находящиеся в той же среде, после 26—30 лет эксплуатации были в неудовлетворительном состоянии ввиду расстройств узловых соединений. Причина — сильная коррозия металла болтов, сопровождавшаяся коррозией древесины в гнездах болтовых соединений. Внешний вид образцов после двух лет пребывания в контейнерах в агрессивной среде «хлористый водород» показан на рис. 23—25. Все образцы, изъятые из контейнеров, имели на поверхности зеленовато-серый налет и обладали повышенной влажностью.

Воздействие агрессивной среды в большей степени сказывалось на непропитанных образцах (рис. 23), на поверхности древе-

шины которых видны следы обугливания. Наиболее тонкие образцы, предназначенные для испытания на растяжение, обугливались на всю толщину сечения и сломались при изъятии из

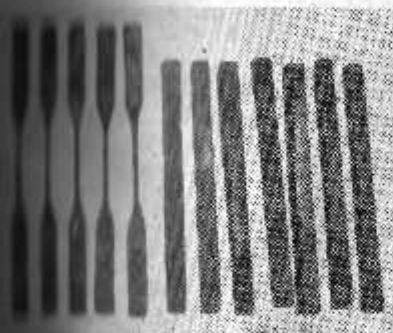


Рис. 23. Непропитанные образцы после двух лет содержания в среде «хлористый водород»

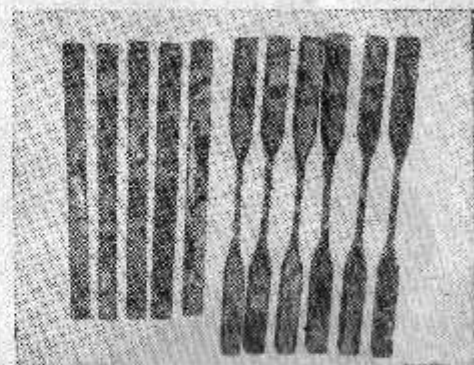


Рис. 24. Образцы, просушенные в петролатуме

контейнера. В меньшей степени обугливание наблюдалось в образцах, просушенных в петролатуме (рис. 24). Несколько лучшую сохранность показали образцы, пропитанные составом ЦНИЛХИ (рис. 25).

Агрессивная газовая среда «хлористый водород» в сильной степени воздействует на древесину; поэтому применение незащищенной древесины в конструкциях, работающих в этой среде, не может быть разрешено. Помимо окраски составом ЦНИЛХИ можно применять в качестве защитных покрытий лаки этиноль, эмаль ПХВ и др., приведенные в табл. 4. Указаний по применению деревянных конструкций в условиях химически агрессивной среды.

Агрессивная газовая среда «сернистый ангидрид». При конденсации сернистого ангидрида SO_2 на поверхности несущих конструкций образуется серная кислота.

Водяные пары в помещении, влага, выделяемая древесиной, и увлажнение конструкций при протечках кровли — вот те источники воды, которая при взаимодействии с SO_2 приводит к образованию серной кислоты ($\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4$). Интенсивность протекания этих процессов

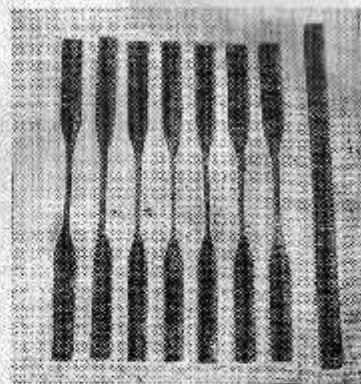


Рис. 25. Образцы, пропитанные составом ЦНИЛХИ

в значительной степени зависит от температуры, относительной влажности воздуха, атмосферного давления и т. д. Серная кислота, образующаяся на поверхности древесины, отнимает у нее воду, что ведет к обугливанию древесины и ее разрушению.

Из табл. 11 видно, что непропитанные образцы после двух лет содержания в этой среде снизили свою прочность на 30—46%. При длительной эксплуатации (до 26 лет) наблюдается значительно большее снижение прочности на растяжение, чем на сжатие и изгиб. Низкая прочность образцов на растяжение не показательна, так как при малой их толщине (4 мм) они пропитывались насквозь продуктами конденсации. Удовлетворительные результаты показала перхлорвиниловая окраска образцов (п. 9 табл. 11).

Химическая стойкость древесины в данной агрессивной среде может быть повышена путем пропитки или окраски составами, указанными в табл. 4 и 5 Указаний [5].

Агрессивная среда «пары серной, соляной, азотной кислот». Данная среда наиболее характерна для травильных отделений листопрокатных цехов.

Содержание паров перечисленных выше кислот не постоянно и трудно поддается учету. Обменная вентиляция в этих цехах рассчитывается по одной из предпосылок, требующей наибольшего объема воздуха. Нормы концентрации для серной кислоты и серного ангидрида установлены в пределах 0,001 мг/л, в натуре же концентрация его временами достигает 0,005 мг/л. Пары азотной кислоты при соединении с водой образуют азотную кислоту и окись $3\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HNO}_3 + \text{NO}$. Азотная кислота, вступая в реакцию с лигнином, вызывает его разрушение. По нормам окислы азота в пересчете на NO_2 не должны превышать 0,005 мг/л; в натуре же в обследованных цехах в отдельные промежутки времени концентрация паров вдвое превышала норму.

Изъятые из контейнеров образцы по внешнему виду были в удовлетворительном состоянии. Поверхность их была сравнительно сухая и следов обугливания не отмечалось. Неокрашенные и непропитанные образцы древесины имели серозато-бурый цвет.

В образцах, пропитанных составом ЦНИЛХИ, внешний вид не изменился. В образцах, покрытых лаками этиноль и НИИ-200, повреждения лаковой пленки не отмечалось. Изменение прочностных характеристик древесины образцов видно из табл. 11. Пропитка образцов в петролатуме и окраска лаками этиноль дали некоторый эффект по сравнению с непропитанными образцами.

Возможно, больший эффект даст применение лакокрасочных покрытий, приведенных в табл. 4 Указаний [5]. В данной агрессивной среде можно рекомендовать применение несущих конструкций с применением указанных выше защитных покрытий.

Агрессивная газовая среда «аммиак и сернистый ангидрид». Воздействие данной агрессивной среды на деревянные конструкции покрытия было исследовано в одном из цехов Дорогомиловского завода в Москве. По данным заводской лаборатории, концентрация аммиака была в пределах 0,01—0,04 мг/л, а сернистого ангидрида — в пределах 0,01—0,02 мг/л. Влажность была равна в среднем 55%.

Из табл. 13 видно значительное уменьшение прочности образцов на растяжение, которое, однако, можно не учитывать (по изображениям, изложенным выше). Прочность древесины на изгиб снизилась в образцах, взятых из кровельного настила, выложенного из тонких 2,5-см досок, находившихся в покрытии 30 лет. Очевидно, тут сказались длительный срок эксплуатации покрытия и малая толщина досок, при которой могла произойти сквозная пропитка их продуктами конденсации.

Обращает на себя внимание некоторое повышение прочности образцов на сжатие. Механизм химического воздействия агрессивной среды «аммиак и сернистый ангидрид» на древесину недостаточно ясен и требует дополнительного изучения. Видно, повышение прочности на сжатие носит временный характер, так как после 30 лет нахождения образцов в данной агрессивной среде повышения не наблюдалось (см. табл. 13).

Положительный эффект дало покрытие образцов краской МХС.

Помимо испытания образцов на сжатие, растяжение и изгиб были испытаны образцы на скалывание, отобранные из элементов несущих конструкций, находившихся в эксплуатации в данной среде 30 лет. Среднее сопротивление скалыванию составило 63,7 кгс/см² (табл. 13). Если сопоставить его со средним сопротивлением древесины скалыванию (см. выше), можно убедиться, что снижение прочности было невелико.

Одновременно с этим были испытаны на скалывание образцы, склеенные на клее КБ-3. Прочность клеевых швов в образцах на древесины, непропитанной и окрашенной составом МХС, в течение двух лет практически не снизилась. Полученные результаты совпадают с данными Указаний [5] о слабом воздействии газовой среды «аммиак и сернистый ангидрид» на незащищенную древесину.

На основании изложенного для данной агрессивной среды можно рекомендовать применение несущих конструкций как из обычной древесины, так и из элементов, склеенных на клее КБ-3, с покрытием краской МХС и другими лаками и эмалями, рекомендованными в табл. 4 Указаний [5].

Агрессивная газовая среда «уксусный ангидрид». В ряде обследованных цехов агрессивной средой является уксусный ангидрид в сочетании с парами муравьиной кислоты, с преобладающей концентрацией уксусного ангидрида. Предельно допусти-

мая концентрация уксусного ангидрида в обследованных цехах, равная 0,005 мг/л, в отдельные периоды была выше допустимой в 1,5—2 раза.

Из рассмотрения табл. 14 можно заметить некоторое снижение прочности образцов после двух лет их содержания в агрессивной среде. Это обстоятельство может быть отнесено за счет малых размеров поперечных сечений образцов, при которых происходила сквозная пропитка их продуктами конденсата. Особенно это было заметно в образцах на растяжение.

Вместе с тем взятые из крупных сортиментов образцы, испытанные на сжатие и скалывание, в данной агрессивной среде показали сравнительно высокие прочностные характеристики. Одновременно были испытаны на скалывание клееные образцы, изготовленные на клее КБ-3. При испытании они показали достаточно высокую прочность клеевых швов.

При сопоставлении результатов испытаний двух партий образцов, находившихся в одинаковых газовых средах (п. 23 и 24 табл. 14), но с различной концентрацией вредности, можно отметить небольшую разницу в прочностных характеристиках, что говорит о слабом влиянии среды «уксусный ангидрид» на прочность древесины и на прочность клеевых швов.

Результаты исследования прочностных характеристик древесины в данной агрессивной среде совпадают с данными И. Я. Клинова [28] об устойчивости древесины в среде «уксусный ангидрид». В Указаниях (табл. 1 [5]) отмечается также слабая степень агрессивного воздействия среды «уксусный ангидрид» на древесину.

Поэтому в такой агрессивной среде можно рекомендовать применение деревянных несущих конструкций, в том числе и из склеенных на клее КБ-3. В качестве защитных покрытий могут быть применены окраска ЦНИЛХИ, лаки и эмали, рекомендованные в табл. 4 Указаний.

Общие выводы по проделанной работе. По результатам проведенных исследований о влиянии агрессивных газовых сред на прочность древесины можно сделать некоторые общие выводы, справедливые для большей части рассмотренных выше сред.

Прочностные характеристики стандартных образцов, взятых из конструкций, находившихся в агрессивных средах, зависят не только от степени агрессивности среды, температуры и влажности воздуха, но и от расположения образцов на поверхности элемента. Образцы из существующих конструкций были взяты из зоны ребра элементов (см. рис. 21) и имели две грани, омываемые агрессивными средами. Стандартные же образцы, содержащиеся в контейнерах, подвергались воздействию агрессивной среды по всем четырем граням, вследствие чего ее воздействие было, несомненно, более интенсивным. Интересно отме-

тить некоторые характерные особенности воздействия агрессивных сред на древесину.

Поражение древесины происходит более интенсивно вдоль волокон и менее интенсивно — поперек волокон. Образцы из более смолистой древесины дают при испытании более высокие показатели прочности. Наличие трещин в деревянных элементах, а также зазоров в гнездах неплотно посаженных болтов способствует проникновению туда агрессивных газов и глубокому поражению древесины.

Глубина поражения древесины достаточно заметна и сопровождается изменением ее естественного цвета. Так, в агрессивной среде «хлористый водород» в начальной стадии древесина приобретает розовый цвет, который затем переходит в светло-бурый. В агрессивной среде «сернистый ангидрид» древесина приобретает розоватый оттенок, который затем переходит в бурый. В обоих случаях поверхностный слой древесины становится хрупким. Толщина пораженного слоя древесины для среды «хлористый водород» составляет примерно 1,5—2 мм в год, а для агрессивной среды «сернистый ангидрид» — примерно 1—1,5 мм.

В статье доц. Д. А. Кочеткова [3] приводятся примерно те же данные о глубине поражения — 2 мм за один год для среды «сернистый ангидрид».

В образцах, вырезанных из конструкций, находившихся в эксплуатации 20—25 лет в среде «сернистый ангидрид», наблюдалось изменение цвета древесины на глубину 40—50 мм. Следует отметить, что поражение древесины в начальной стадии протекает достаточно интенсивно, а затем замедляется. Так, серная кислота при воздействии на поверхность древесины обугливает ее и создает как бы защитный слой, предохраняющий нижерасположенные слои.

Из всего изложенного видно, что для сопротивляемости древесины воздействию агрессивных сред имеют существенное значение поперечные размеры сортиментов и их толщина. Тонкие стандартные образцы толщиной 4 мм, предназначенные для испытания на растяжение, за два года нахождения в агрессивной среде пропитались наслоем осаждающимися на них продуктами конденсации. При испытании на прочность, естественно, здесь получались низкие показатели.

Преимущество в долговечности будут иметь крупные сортименты в виде толстых брусков и окантованных бревен. Долговечность дощатых конструкций, несомненно, будет ниже.

По проведенной работе можно сделать следующие выводы.

Для агрессивных газовых сред «хлористый водород», «сернистый ангидрид» и «пары серной, соляной и азотной кислот» можно рекомендовать применение деревянных конструкций в покрытиях цехов и во внутренних обслуживающих площадках.

Элементы несущих конструкций должны быть выполнены из крупных сортиментов (брусья, бревна); мелкие сортименты (доски, бруски) не рекомендуются.

О применении клееных конструкций в указанных агрессивных средах автор не располагает достаточными данными, так как экспериментальные работы по этому разделу по ряду обстоятельств не могли быть закончены.

Для агрессивных сред «аммиак и сернистый ангидрид», а также «уксусный ангидрид» можно рекомендовать применение деревянных несущих конструкций также и из клееных элементов на водостойком клее КБ-3.

В целях повышения химической стойкости древесины в рассмотренных нами агрессивных средах могут быть предложены защитные покрытия и пропитки, приведенные выше для каждой из рассмотренных агрессивных сред.

Глава III

КЛЕЕННЫЕ ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

1. Крупнопанельные клееные фермы и арки

При сооружении промышленных гражданских зданий в качестве несущих конструкций покрытий применяются различного типа деревянные и металлодеревянные фермы и арки. Применение металла для растянутых поясов этих ферм обусловлено трудностью подбора для них высококачественного лесоматериала I и II категории.

Используя преимущество клееных деревянных элементов (они могут быть изготовлены из древесины пониженного качества путем вырезки из досок мест с недопустимыми пороками, со стыкованием по длине посредством зубчатого стыка), представляется возможным получить при склейке элементы, не уступающие по качеству цельным брусам I категории, которые могут быть с успехом применены в качестве растянутых элементов конструкций.

Деревянные фермы с клееными верхними и нижними поясами более экономичны по расходу металла по сравнению с обычными металлодеревянными фермами. Помимо этого, для ферм такого типа открывается достаточно широкая возможность применения их в цехах химических предприятий при наличии агрессивных сред (см. гл. II).

Целью изложенной ниже экспериментальной работы была разработка деревянных клееных ферм и арок треугольного и трапециевидного очертаний для гражданских и промышленных зданий.

При выборе схемы фермы имелись в виду следующие предположения:

1) фермы должны быть крупнопанельными с минимальным количеством узлов, простых в изготовлении и достаточно надежных в эксплуатации;

2) склеивание древесины позволяет изготовить элементы крупных сечений, необходимые для применения в длинномерных панелях сжатых изогнутых верхних поясов ферм.

На основе этих соображений были предложены две схемы ферм: треугольная — для кровли из асбестоцементных листов или из кровельной стали (рис. 26) и пятиугольная — для рубероидной кровли. Все узловые сопряжения ферм было

намечено выполнить в виде лобовых упоров или врубок. Для пятиугольной фермы было предусмотрено дополнительное крепление в узлах В и Г для восприятия растягивающих усилий.

Изображенные на рис. 26 фермы отличаются от обычных металлодеревянных ферм увеличенными размерами панелей и конструкцией опорных узлов, решенных в виде лобовых упоров (деталь А), в которых ослабление врубки компенсируется соответствующим увеличением сечения.

Площадка смятия в узле расположена перпендикулярно направлению сжимающей силы N (рис. 26, б).

Величина и направление этой силы определены с учетом работы верхнего пояса как балки с распределенной нагрузкой, вызывающей в нем местные поперечные силы.

При расчете верхнего пояса было также учтено воздействие разгружающих моментов ввиду внецентренного приложения сжимающей силы в узлах.

Учитывая, что опыта применения узловых соединений такого типа не было, возникла необходимость в проведении некоторых

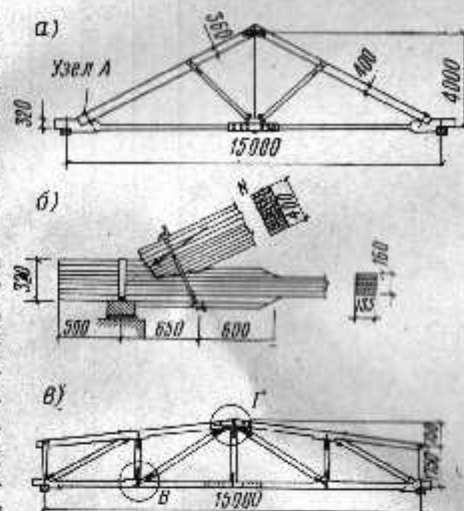


Рис. 26. Крупнопанельные фермы с клееными поясами

а — треугольная ферма; б — деталь опорного узла; в — ферма трапециевидного очертания

Таблица испытаний

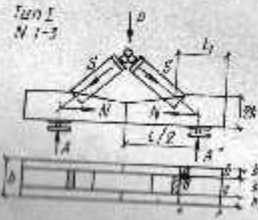
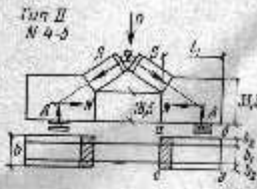
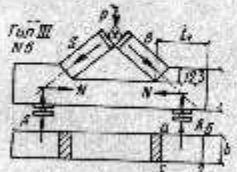
Тип узлов	№ образца	$l/2$	l_1	b_1	b_2	b	$R_{ск}$	$R_{раз}$	σ
Тип I N 1-3 	1	90	50	11	4,5	20	$20 \cdot 50 = 1000$	30,6	25,1
	2	90	46	10	4,5	19	$19 \cdot 46 = 874$	29,1	25,7
	3	90	46	9,5	4,3	18,1	$18,1 \cdot 46 = 832$	34,2	29,8
Тип II N 4-5 	4	90	54	14,4	4,3	23	$23 \cdot 54 = 1240$	36,7	32,1
	5	90	56	14,4	4,3	23	$23 \cdot 56 = 1288$	39,8	34,8
Тип III N 6 	6	90	57	—	—	14,7	$14,7 \cdot 57 = 834$	36,7	31,1

Таблица 15

Узлы типов I, II, III

$R_{ск}$	$\tau_{ск}$ кгс/см ²	Характер деформаций	Скалывание в %		Эскизы деформаций в элементах узлов	$\tau_{ск}$ кгс/см ²
			по древесине	по клею		
11,9	$\frac{21900}{1000} = 21,9$	Откол боковых накладок, затем скалывание по плоскости а, б, в, г. Значительные деформации площадок смятия, глубина обмятия до 20 мм	85	15		$\frac{21,9}{12,9} = 1,69$
91	$\frac{21000}{874} = 24$	Откол накладки по плоскости а—б, затем разрушение от скалывания по плоскости а, б, в, г	87	13		$\frac{24}{13,4} = 1,80$
94,4	$\frac{24400}{832} = 29,3$	Появление трещины в боковых досках, затем скалывание по плоскости а, б, в, г	94	6		$\frac{29,3}{13,4} = 2,19$
20,1	$\frac{26100}{1240} = 21,1$	Трещины в боковых накладках, затем скалывание по всей площади а, б, в, г. Отдир и трещины в торце	90	10		$\frac{21,1}{13,2} = 1,6$
28,6	$\frac{28600}{1285} = 22,3$	Разрушение от скалывания по всей площади а, б, в, г. Отдир и трещины в торце	92	8		$\frac{22,3}{13,2} = 1,60$
25,4	$\frac{25400}{834} = 31,3$	То же	95	5		$\frac{31,3}{12,1} = 2,57$

экспериментальных работ с целью определения их несущей способности.

Было запроектировано и изготовлено несколько опорных узлов с различными вариантами размеров плоскостей скалывания (табл. 15). В образце типа III ширина плоскости скалывания была равна ширине бруса. В образцах типа I и II ширина плоскости скалывания была увеличена приклейкой боковых накладок. Длина площади скалывания была принята с учетом рекомендуемого СНиП II-V.4-71 соотношения $l_{ск}/e \geq 8$ [20]. Испытания были проведены на гидравлическом прессе мощностью 300 т. На рис. 27 показана траверса с установленным на ней образцом, опертый на одну неподвижную, а другую подвижную опоры.

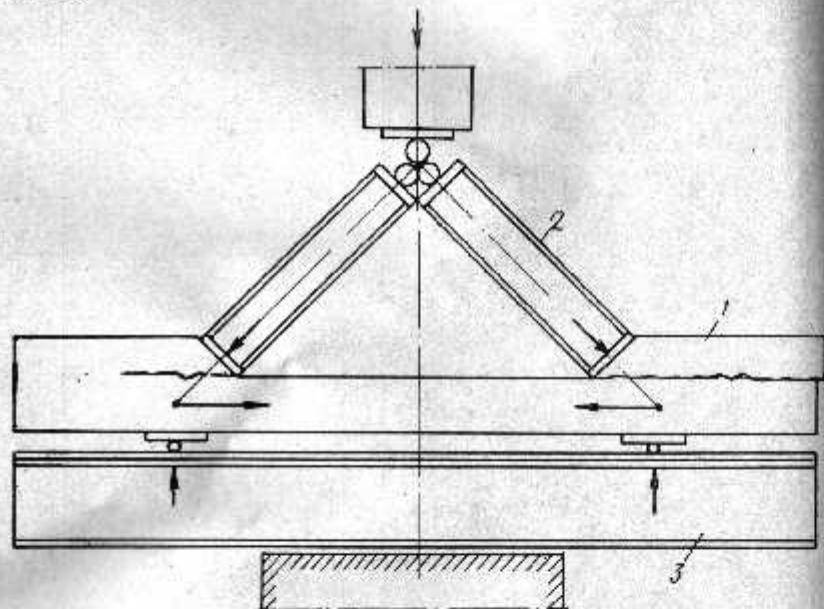


Рис. 27. Общий вид установки для испытания опорных узлов ферм. На траверсе показан образец типа III в момент разрушения от скалывания

Образцы были изготовлены из сосновой древесины влажностью 13—14% и склеены на казеиновом клее.

Перед началом испытаний образцов, представленных в табл. 15, были предварительно испытаны пробные образцы с деревянными подкосами. При их испытании установлено, что до разрушения образцов от скалывания происходило сильное обмятие площадок смятия и появление трещин в самих подкосах; из-за этого в дальнейшем деревянные подкосы заменили стальными (см. рис. 27). Такая замена была допустима, так как основной

задачей было определение несущей способности узлового соединения по скалыванию.

Результаты испытания приведены в табл. 15.

Разрушение узловых соединений от скалывания характеризовалось появлением трещин в торце. Вблизи же площадки смятия в зоне максимальных скалывающих напряжений ввиду наличия прижимающих усилий трещин в начальной стадии не наблюдалось. Далее перед разрушением отмечалось значительное раскрытие трещин в торце образцов, т. е. оказывалось влияние отдирающих усилий.

В образцах типа I и II наблюдалось в первую очередь скалывание боковых накладок на 50% по клеевому шву, а затем происходило скалывание средней части по площади $a, b, в, г$, причем скалывание происходило на 90—94% по древесине (см. табл. 15).

Соединения, в котором пласть боковых накладок приклеивалась к кромкам досок основного пакета, оказались менее надежными. Видимо, тут сказалась недостаточная прочность приклейки боковых накладок из-за наличия толстых клеевых швов.

Среднее расчетное сопротивление скалыванию было определено для каждого узла по формуле СНиП:

$$R_{ск}^{cp} = \frac{R_{ск}}{1 + \beta \frac{l_{ск}}{e}},$$

где e — плечо сил скалывания;

$$\frac{l_{ск}}{e} = 3,17 - 3,45;$$

$$\beta = 0,25.$$

В табл. 15 приводится соотношение между фактическим средним пределом прочности при скалывании t и средним расчетным сопротивлением $R_{ск}^{cp}$. Наибольшую прочность на скалывание показал образец № 6. Испытания небольшого количества образцов натуральной величины показали, что работа этого соединения аналогична работе лобовой врубки с одним зубом и прочность его не ниже прочности лобовой врубки.

С учетом опыта испытаний узлов были составлены рабочие проекты треугольных ферм пролетом 15 м в соответствии со схемой на рис. 26,а.

Фермы были рассчитаны на нагрузку от веса утепленного покрытия и снеговую нагрузку 100 кгс/м^2 . Общая нагрузка на 1 пог. м фермы составляла 934 кгс. Расчет верхнего пояса фермы выполнен как для двухпролетной балки с учетом разгружающих моментов вследствие эксцентричного приложения нормальной силы в опорном и коньковом узлах.

В ферме данного типа имеется металлический тяж. В случае необходимости применения ферм такого типа в агрессивных средах он может быть заменен элементом, выполненным из бруса с креплением в узлах болтами из СВМ или АГ-4С. На тех же нержавеющих болтах может быть решен и растянутый стык нижнего пояса.

Фермы были изготовлены на деревообделочном комбинате стройтреста № 36 на ст. Перерва Московско-Курской ж. д. и предназначались для склада готовых изделий комбината.

Верхние и нижние пояса ферм были склеены из сосновых досок толщиной 40 мм, влажностью до 15% на клею марки КБ-3.

При изготовлении верхних поясов три крайних слоя досок в верхней и нижней частях пакета стыковались на «ус», а средние доски — впритык. Все стыки нижнего растянутого пояса делались на «ус».

Запрессовку клееных элементов делали гвоздями. Подкосы фермы были выполнены из цельных брусьев. Сборка фермы производилась на подкладочных брусках, выверенных по уровню (рис. 28). Подъем и установку ферм производили с помощью 3-т автокрана. На рис. 29 показан общий вид покрытия.

В июне 1971 г. после 16 лет эксплуатации было проведено обследование состояния 7 клееных ферм покрытия склада. Было установлено хорошее состояние клееных швов. Лишь в одной крайней ферме в опорном узле была обнаружена непрочность глубиной 20 мм на длине 400 мм. Стыковые накладки нижнего пояса в трех фермах имели усушечные трещины, которые, однако, расположены не по линии расстановки болтов. Общее состояние ферм удовлетворительное.

Представляет интерес пример применения простейшей клееной треугольной арки пролетом 13 м, запроектированной автором для паровозного депо в Северодвинске (рис. 30). Из-за наличия в депо агрессивной газовой среды («сернистый ангидрид») явилось необходимым отказаться от применения в конструкции незащищенных металлических элементов. Средняя стойка арки была выполнена из брусков с креплением в узлах болтами. Все болтовые соединения окрашивались за два раза кузбасслаком. При пролетах порядка 10—12 м целесообразно решать подобные конструкции, предназначенные для цехов с агрессивными средами с нижними поясами без стыков. Арки были расставлены в покрытии с шагом 3 м и несли нагрузку от сборного щитового покрытия, утепленного шлаковатой.

Верхний сжато-изогнутый пояс арки был рассчитан с учетом разгружающих моментов в опорном и коньковом узлах. Нормальная сжимающая сила в этих узлах была приложена с эксцентриситетом $e = 14,4$ см в плоскости изгиба по отношению к оси сечения. Отношение длины площадки скалывания к эксцентриситету составляло $l_{ск}/e = 3,8$.



Рис. 28. Сборка треугольных клееных ферм

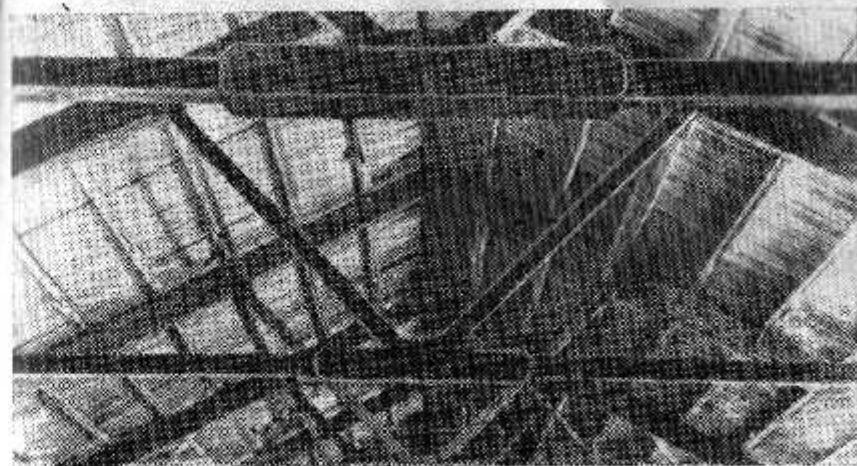


Рис. 29. Общий вид покрытия с треугольными клееными фермами

Рис. 30. Общий вид треугольной арки пролетом 13 м

Technical drawing of a triangular arch with a span of 13 m. The drawing shows a side elevation and a cross-section. The side elevation includes dimensions for the arch's height (3700 mm), span (6500 mm), and various structural details like bolts (d=18, d=20), welds (сварка), and a cross-section (Прорезь). The cross-section shows a 140 mm wide base and a 100 mm high section.

Примером применения клееных треугольных арок может служить конструкция покрытия кинотеатра в Северодвинске, про-

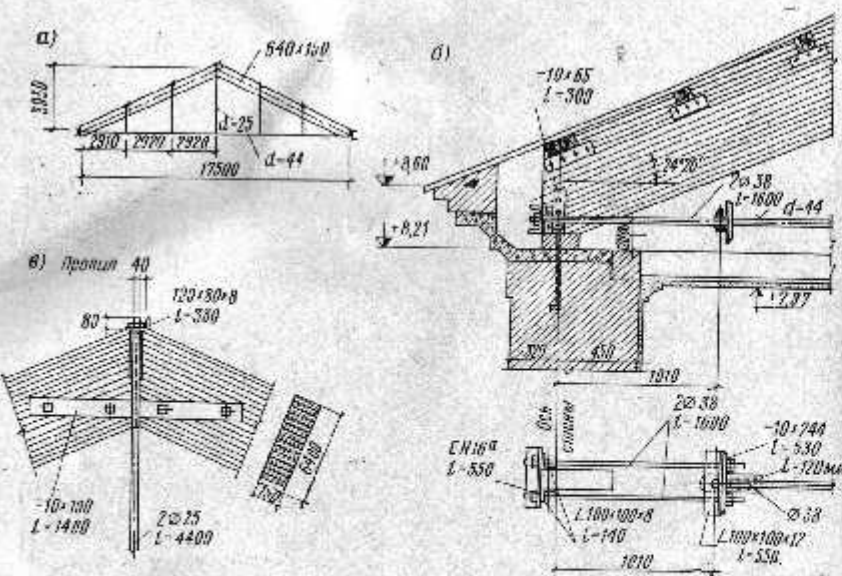


Рис. 31. Трехшарнирные клееные арки пролетом 17,5 м
а — схема арки; б — деталь опорного узла; в — деталь конькового узла

Рис. 32. Клеевые элементы верхнего пояса арки длиной 10 м до сборки

Из приведенного примера следует, что в тех случаях, когда на строительстве не может быть обеспечено хранение клееных элементов с защитой от увлажнения, следует исключить применение неводостойких и средневодостойких клеев, как, например, казеино-цементного, мочевиноформальдегидного и др.

В МИСИ в 1967 г. разработаны клееные фермы треугольного очертания [7], представляющие собой простейшую безматериальную комбинированную систему, аналогичную изображенной на рис. 30 ГирноНИИСельхоз совместно с ЦНИИСКом в 1971 г. разработали типовые проекты трехшарнирных арок с клееными

прямолинейными поясами и стальными затяжками для пролетов 9, 12 и 18 м [29]. Конструкция арок аналогична приведенной на рис. 31.

2. Склейка под углом

В клееном пакете отдельные элементы (доски и бруски) жестко соединены между собой клеявыми швами. При высыхании и увлажнении древесины жесткость этого соединения препятствует свободной усушке или разбуханию склеенных элементов.

При значительных колебаниях влажности древесины, а также при несогласованном взаимном расположении годовых слоев внутренние напряжения в досках или брусках могут превысить предельную прочность древесины и клея и привести к разрушению конструкции.

Вопрос о прочности клеевых соединений для случая, когда направления волокон в досках или брусках совпадают, достаточно изучен. СНИП установил предельные толщины склеиваемых элементов, рекомендовал согласованное расположение годовых слоев в склеиваемых пакетах, определил предельную влажность древесины и т. п. Что касается вопроса склейки под углом, т. е. случаев, когда направление волокон склеиваемых досок не совпадает, то сведения о прочности таких соединений весьма ограничены. Жесткий клеевой шов не допускает сдвигов, и в нем, независимо от наличия нагрузки, возникают при усушечных деформациях внутренние напряжения. Наибольшие напряжения — в деталях, склеенных под углом 90°. В СНИП допускается возможность склейки под углом и приводятся ограничения ширины склеиваемых досок.

В некоторых соединениях, склеенных под углом, помимо продольных сил действуют крутящие моменты. Данных о работе таких соединений и их несущей способности очень мало. Автором были проведены некоторые исследования в этой области, а также обобщены работы других авторов с целью выявления несущей способности этих соединений, пределов прочности и расчетных сопротивлений в клеевых швах для использования в описываемых ниже конструкциях.

В этой области проведены следующие работы:

1. В 1948 г. в ЦНИИСК под руководством д-ра техн. наук А. Б. Губенко были проведены экспериментальные исследования образцов из трех досок, склеенных под углом 45 и 90° [9]. В табл. 16 приведены размеры и количество испытанных образцов.

Экспериментальные работы состояли в многократном вымачивании и высушивании клееных деревянных образцов и в дальнейшем испытании их на скалывание до разрушения. Образцы были изготовлены из двух партий древесины сосны с объемными весами 575 и 478 кг/м³. Доски в образцах были тангентальной

распилки; при склейке годовые кольца располагали выпуклостью к шву с целью получить наибольшие усилия в нем от коробления элементов при вымачивании. Образцы вымачивались до 30% влажности, а затем высушивались до первоначального веса. В течение года образцы прошли от 10 до 20 циклов испытаний.

Результаты получились благоприятные, большинство образцов полностью сохранилось. Нарушение клеевых сопряжений наблюдалось лишь в образцах под углом 90° при толщине досок 55 мм и ширине 115 и 200 мм (см. образцы № 4 и 6 в табл. 16).

В таких же элементах, но со сделанными в них пропилами, нарушения прочности клеевых швов не наблюдалось.

Таблица 16
Образцы, испытанные в б. ЦНИИПС (1948 г.)

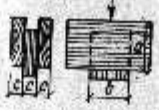
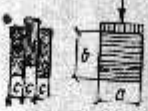
Образцы	№ образца	Размеры в мм			Количество в шт.
		a	b	c	
Под углом 90° 	1	150	75	20	10
	2	90	75	55	10
	3	230	115	20	10
	4	200	115	55	10
	5	400	200	20	10
	6	400	200	55	10
Под углом 45° 	7	75	75	55	10
	8	125	115	20	10
	9	115	115	55	10
	10	210	200	20	10
	11	210	200	55	10

Таблица 17
Результаты испытаний образцов марок I—IV

Марки образцов	Предел прочности сопряжения при скалывании в кгс/см² при угле скалывания элементов						
	0	5°	10°	15°	25°	30°	45°
I	94,4	68,5	87	83,1	70,8	64,9	39,4
II	120,5	140,7	119,7	142,5	109,4	116,1	68
III	117,2	122,2	131,8	128,7	104,8	109,7	76
IV	129,7	145	125,5	128,7	112	90,5	67,3

Проведенные работы представляют значительный интерес, однако по данным этих экспериментов все же нельзя сделать какие-либо выводы о пределе прочности такого рода соединений при различных углах склеивания элементов.

2. В 1952—1953 гг. в Ленинграде инж. Г. Л. Березиным была проведена работа на тему «Некоторые вопросы прочности клеевых сопряжений при склеивании элементов под углом» [10]. Автор изучил влияние на прочность клевого соединения угла, под которым сопрягаются элементы, а также влияние количества клеевых швов в сопряжениях.

Исследование было проведено только для образцов из ели, склеенных под углами от 0 до 45°. В работе не приводятся данные о влиянии увлажнения и усушки древесины элементов на прочность клеевых швов. Г. Л. Березину удалось установить, что прочность склеенных образцов при углах от 0 до 15° практически не меняется и начинает снижаться только при больших углах.

В табл. 17 приведены результаты испытаний образцов марок I, II, III, IV с размерами плоскости скалывания 120×120; 150×150; 180×180 и 200×200.

По данным экспериментов [10] была выведена формула зависимости предела прочности клевого сопряжения от угла склеивания:

$$\tau_{\alpha} = \tau_0 [1 - 0,014 (\alpha - 15^{\circ})],$$

где τ_0 — предел прочности при угле 0°;

α — угол сопряжения склеенных элементов.

Было также установлено, что несущая способность многоплоскостного сопряжения пропорциональна числу плоскостей (швов) склеивания и что для сухих образцов абсолютные значения прочности с одинаковым количеством швов зависят от геометрических размеров образцов и с увеличением размера прочность образца снижается.

3. В НИИ-200 автор провел исследование образцов узлов из досок, изготовленных в натуральную величину с сопряжением элементов под углом 90°.

Образцы в количестве 13 шт. были изготовлены двух типов — с двумя и с четырьмя плоскостями склейки. 5 образцов были склеены на казеино-цементном клее и 8 — на клее КБ-3.

Образцы на клее КЦ вымачивались в течение суток, затем высушивались до первоначальной влажности и испытывались на скалывание до разрушения. Образцы на водостойком клее подвергались 6-суточному вымачиванию до 27—28% влажности, а затем высушивались до первоначальной влажности (10—11%) в течение двух месяцев. После двух циклов таких испытаний образцы были испытаны на скалывание до разрушения.

В табл. 18 приведены результаты этих испытаний и форма испытанных образцов.

Таблица 18
Результаты испытания образцов на клее КЦ и на водостойком клее

№ п/п	Схема узла	Марка клея	Размеры в мм		Предел прочности на скалыва- ние при $\eta = 15\%$
			a	b	
1		КЦ	130	140	44,4
2			140	140	36,8
3			120	120	37,2
4			120	120	44,1
5			120	120	45,4
6		КБ-3	130	142	38,4
7			130	145	34,8
8			130	145	31,4
9			115	110	39,5
10			115	115	34,7
11			193	182	33
12			195	182	37,7
13			190	192	38,4

Примечание. Характер разрушения: скалывание по древесине с отрывом волокон.

Образцы после двух циклов испытаний не имели каких-либо повреждений по клеевым швам. Проведенные в дальнейшем испытания прочности этих образцов показали, что средний предел их прочности на скалывание равен 38,1 кгс/см². На рис. 33 показан характер скалывания образцов, которое происходило поперек волокон, в основном по древесине.

В 1956 г. инженерами Д. Б. Купером и Л. М. Струхтом [11] были проведены испытания образцов, склеенных под углом от 0 до 90° с градацией через каждые 10°. Образцы имели размеры 71×33 мм и были склеены на смоляном клее марки «Аэролит-300», площадь склеивания была одинаковой. Общий вид испытательной установки показан на рис. 34.

Образцы были изготовлены с различными углами наклона, но с одинаковой площадью склеивания. Зависимость между разрушающей нагрузкой и углом склеивания представлена на рис. 35.

Если величины разрушающих нагрузок, полученные по этому графику для каждого угла, разделить на площадь склеивания,

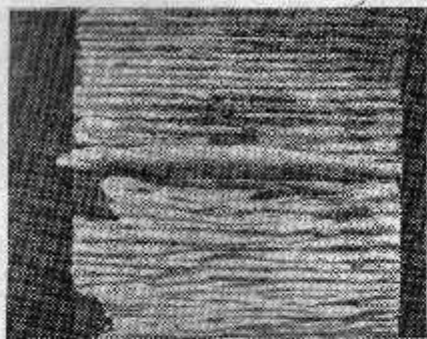


Рис. 33. Вид образца при скалывании поперек волокон

результатам испытаний упомянутых исследователей, а также результаты испытаний автора для угла 90° .

Построенная по этим точкам кривая, показанная сплошной линией, дает возможность с некоторым приближением судить об изменениях предела прочности на скалывание по клеевым швам при изменении углов склейки в сопряжениях.

В СНиП II-V.4-62 для скалывания вдоль волокон в соединениях установлено расчетное сопротивление, равное 24 кгс/см^2 , что составляет 40% временного сопротивления, равного 60 кгс/см^2 . Для практических расчетов элементов, склеенных под углом, необходимо знание расчетных сопротивлений клеевых швов, работающих в этих условиях. В связи с этим представляется возможным использовать упомянутое выше соотношение между расчетным и временным сопротивлением скалыванию в виде коэффициента 0,4.

Если величины временных сопротивлений, представленные на рис. 36, помножить на коэффициент 0,4, можно получить предварительные данные о величинах расчетных сопротивлений соединений, склеенных под углом. На том же графике (ниже) показана соответствующая пунктирная кривая.

Клееные балки с перекрестной стенкой. Клееные балки прямоугольного и двутаврового профилей, получившие довольно широкое распространение в строительстве, изготавливаются в виде пакета досок, склеенных по пластам. Длина таких балок ограничивается

равную $(7,11 \times 5,83) 41,4 \text{ см}$, можно получить величины разрушающих напряжений. Эти данные использованы для построения графика на рис. 36.

Экспериментальные данные об изменении пределов прочности склейки при различных углах сопряжений, полученные Г. Д. Березиным, и данные испытаний Купера и Структа близки по своим значениям. На рис. 36 нанесены величины пределов прочности для углов от 0° до 90° по ре-

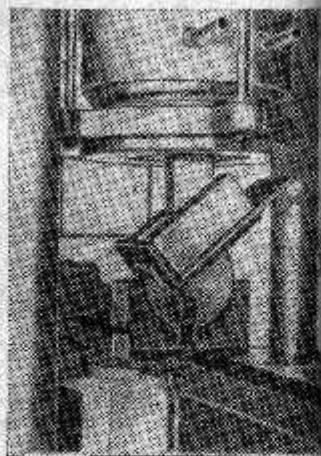


Рис. 34. Общий вид установки для испытания образцов, склеенных под углом

обычно пролетом 12 м, так как с его увеличением значительно увеличивался их собственный вес.

Если применить в балках перекрестную клееную стенку, то такого вида конструкции будут иметь значительно меньший вес и при их изготовлении можно получить экономию в расходе пиломатериала порядка 30%. Для перекрестной клееной стенки можно использовать более доступный короткомерный пиломатериал, отнесенный по качеству к II и III категории.

Актуальность применения балок с перекрестной клееной стенкой обусловлена также дефицитом водостойкой и бакелизированной фанеры, которую можно использовать в виде стенок подобных балок.

В Финляндии известны примеры применения двутавровых балок с перекрестной стенкой для пролетов до 24 м. В этих



Рис. 35. Кривая разрушающей нагрузки при испытании образцов, склеенных под углом

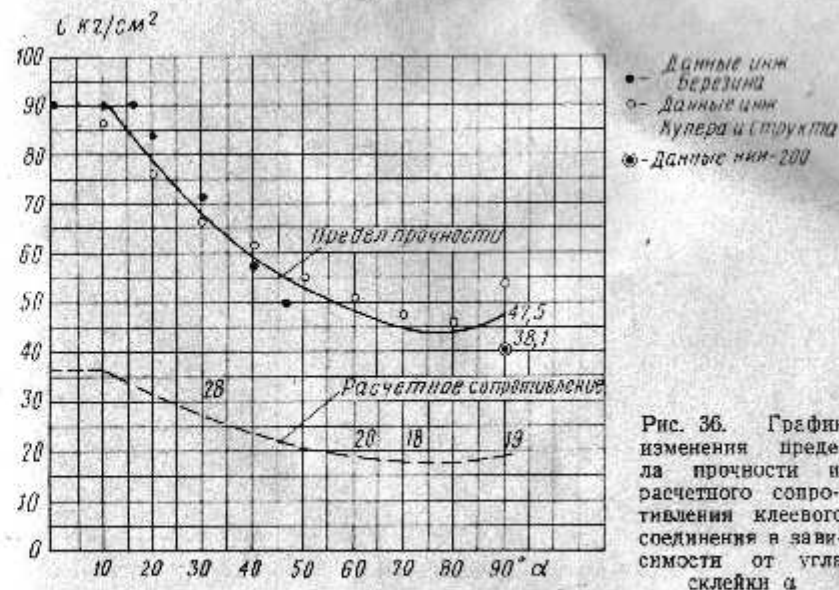


Рис. 36. График изменения предела прочности и расчетного сопротивления клевого соединения в зависимости от угла склейки α

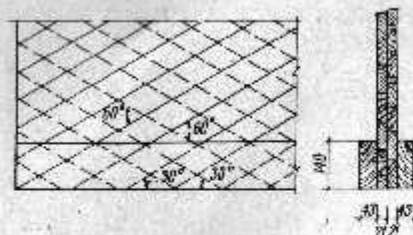
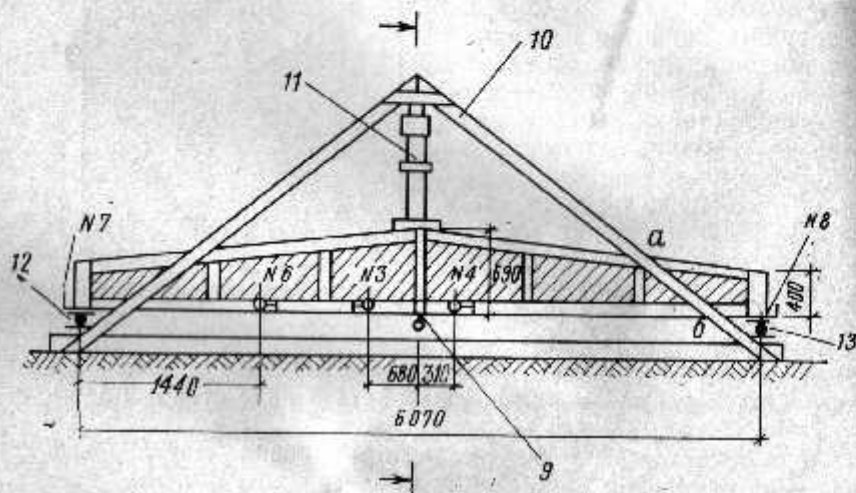


Рис. 37. Деталь склейки стенки с поясом балки двутаврового профиля

Рис. 38. Схема установки для испытания балки

7, 8 — индикаторы на опорах; 3, 4, 6 — индикаторы, поставленные с видимой стороны, и 1, 2, 5 — то же с обратной стороны; 9 — прогибомор; 10 — металлический арка; 11 — 100-т домкрат; 12 — неподвижная опора; 13 — подвижная опора



балках перекрестная стенка выполнена на гвоздях, а пояса изготовлены из досок, склеенных по длине на «ус». Для проверки полученных прочностных характеристик был изготовлен и испытан опытный образец балки двутаврового профиля с перекрестной стенкой. В этой балке доски стенки приклеены к поясам под углом 30° , а между собой — под углом 60° .

Так как поясные доски являются элементами, работающими на растяжение или сжатие, они были приклеены к стенке балки под углом 30° , при котором расчетное сопротивление скалыванию выше, чем при угле 60° (рис. 37).

Расчетное сопротивление скалыванию для угла 30° по графику равно 28 кгс/см^2 , но вместе с тем, согласно СНиП, оно не должно превышать 24 кгс/см^2 . Для досок стенки, склеенных под углом 60° , расчетное сопротивление по графику может быть принято равным 19 кгс/см^2 .

В аналогичных «гвоздевых» балках с перекрестной стенкой с углом наклона 45° считается, что стенка работает только на восприятие сдвигающих усилий, а нормальные усилия от изгибающего момента воспринимаются поясными досками. При клеевом соединении досок стенки жесткость ее значительно увеличи-

вается и представляется возможным учесть ее работу на изгибающие моменты при определении несущей способности балки. Здесь при определении момента инерции балки стенка балки была включена в расчет на изгиб с понижающим коэффициентом, равным отношению модулей упругости при растяжении вдоль волокон и при растяжении под углом 30° к волокнам. По данным д-ра техн. наук Н. Л. Леонтьева модуль упругости для сосны при растяжении вдоль волокон составляет $149\,400 \text{ кгс/см}^2$, а под углом 30° — $45\,600 \text{ кгс/см}^2$ [12].

Понижающий коэффициент может быть принят равным

$$k = \frac{E_{30}}{E_0} = \frac{45\,600}{149\,400} = 0,305.$$

Испытание клееной балки с перекрестной стенкой пролетом $6,07 \text{ м}$.

Опытный образец балки пролетом $6,07 \text{ м}$ имел высоту в середине 69 см , а на опорах — 40 см . Поясные доски имели сечение $140 \times 43 \text{ мм}$, а доски стенки — $21 \times 90 \text{ мм}$ (рис. 38).

Для испытания балки была выполнена специальная установка. В вертикальной плоскости балка была раскреплена — в середине пролета и в точках а, б (см. рис. 38). Загружение производилось 100-т домкратом ступенями через 1 т.

Для замера прогиба в середине пролета был поставлен прогибомор с ценой деления $1/1000 \text{ мм}$ и на опорах два индикатора с ценой деления $1/100 \text{ мм}$ для замера осадки опор. Для опреде-

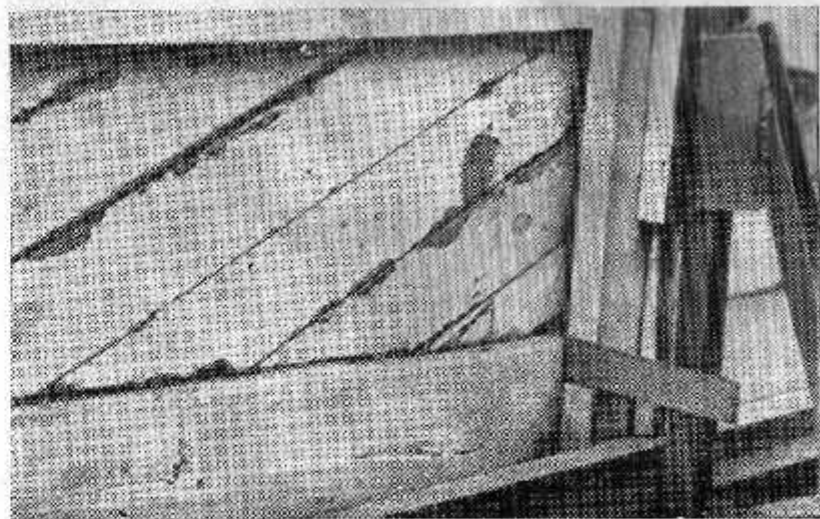


Рис. 39. Разрыв нижнего пояса при испытании балки в середине пролета

Таблица 19

Испытания на изгиб клееной балки пролетом 6,07 м

№ п/п	Величина давления в кгс	Прогиб в мм	Осадка опор в мм	Действительная величина прогиба в мм	Характер разрушения
1	—	—	0	0	—
2	2 240	4,9	0,015	4,85	—
3	3 360	6,65	0,03	6,52	—
4	4 480	7,96	0,025	7,92	—
5	5 480	9,6	0,025	9,58	—
6	6 470	11,05	0,04	11,01	—
7	7 460	12,2	0,05	12,15	—
8	8 460	13,6	0,035	13,57	—
9	9 420	15,2	0,045	15,16	—
10	10 390	16,5	0,04	16,46	Появление трещины в середине пролета. Откалывание нижнего пояса с одной стороны
11	11 350	30	—	30	—
12	12 310	32	—	32	Разрыв нижнего пояса с обеих сторон и разрыв ступки (см. рис. 39)

Таблица 20

Деформации нижнего пояса балки

№ п/п	Нагрузка в кгс	Удлинение в мм индикатора		
		индикатор 3	индикатор 4	индикатор 6
1	0,00	0,00	0,00	0,00
2	2 240	0,10	0,01	0,01
3	3 360	0,11	0,03	0,02
4	4 480	0,13	0,05	0,02
5	5 480	0,14	—	0,02
6	6 470	0,17	—	0,03
7	7 460	0,17	0,11	0,035
8	8 460	0,20	0,12	0,035
9	9 420	0,20	0,15	0,05
10	10 390	0,22	0,16	0,13

Таблица 21

Величина модулей упругости древесины на растяжение в кгс/см²

$E_{лев}$	$E_{прав}$
92 300	112 250
83 300	133 400
108 500	90 500
102 900	90 500
$E_{лев} = 96 500$	$E_{прав} = 106 662$

Таблица 22

Напряжения в нижнем поясе балки при нагрузке 10 390 кгс

№ индикатора	№ индикаторов	База индикаторов	Разность показаний	Относительные деформации	Напряжения кгс/см ² $\sigma = E \epsilon$
1-1	3	80	0,22	$\frac{0,22}{80} = 0,00275$	$96 500 \times 0,00275 = 266$
2-2	4	65	0,16	$\frac{0,16}{65} = 0,00247$	$106 666 \times 0,00247 = 264$
3-3	6	70	0,13	$\frac{0,13}{70} = 0,00186$	$96 500 \times 0,00186 = 178$

ления деформаций нижнего пояса было поставлено 6 индикаторов — по три с каждой стороны балки. Места расположения приборов показаны на рис. 38.

Величина прогибов балки указана в табл. 19, а деформации нижнего растянутого пояса даны в табл. 20.

При испытании было зафиксировано появление трещин в нижнем поясе при нагрузке 9,42 т. Разрушение балки произошло от разрыва нижнего пояса и стенки балки при нагрузке 12,3 т. На рис. 39 показан характер разрушения. После испытания были определены также величины предела прочности древесины на растяжение на 8 образцах, взятых из правой и левой половин балок. Средняя арифметическая величина $M = 484 \text{ кгс/см}^2$; среднее квадратическое отклонение $\sigma = \pm 23,8$; вариационный коэффициент $v = 4,92$.

Для нахождения действительных напряжений в нижнем поясе балки были определены модули упругости древесины в соответствии с методикой, установленной ГОСТ 6336—52. Образцы были отобраны из досок с правой и левой сторон балки после ее испытания. Величины модулей упругости приведены в табл. 21. Далее были выполнены необходимые статические расчеты балки, приведенные ниже:

расчетный изгибающий момент

$$M = R_p W \frac{Pl}{4}$$

момент инерции сечения в середине пролета

$$I = \frac{4,2 \cdot 69^3}{12} \cdot 0,305 + \left[(14 \cdot 4,3 \cdot 27,5^2 \cdot 2) + \frac{4,3 \cdot 2 \cdot 14^3}{12} \right] 2 = 221 121 \text{ см}^4;$$

момент сопротивления

$$W = \frac{I}{h/2} = \frac{221\,121}{34,5} = 6409 \text{ см}^3;$$

расчетная нагрузка в виде сосредоточенного груза

$$P_{\text{расч}} = \frac{W R_p}{l/4} = \frac{6409 \cdot 100}{607/4} = 4225 \text{ кгс};$$

нормативная нагрузка была принята равной $\frac{4225}{1,3} = 3250 \text{ кгс}$, где 1,3 — средний коэффициент перегрузки;

среднее значение модуля упругости по данным табл. 21

$$E_{\text{ср}} = \left(\frac{96\,500 + 106\,662}{2} \right) = 101\,081 \text{ кгс/см}^2;$$

прогиб теоретический

$$f = \frac{3250 \cdot 607^3}{48 \cdot 221\,121 \cdot 101\,081} = 0,73 \text{ см};$$

прогиб при разрушающей нагрузке

$$f = \frac{10\,390 \cdot 607^3}{48 \cdot 221\,121 \cdot 101\,081} = 2,19 \text{ см}.$$

Проверка прочности клеевых швов поясных досок.

Сдвигающее усилие на единицу длины пояса в опорной панели:

$$T = \frac{QS}{l}; \quad Q = \frac{P_{\text{расч}}}{2} = \frac{4225}{2} = 2112,5 \text{ кгс};$$

$$S = 14 \cdot 4,3 \cdot 2 \cdot 13 = 1560 \text{ см};$$

$$I = 2 \left(14 \cdot 4,3 \cdot 2 \cdot 13^3 \right) + 2 \left(\frac{4,3 \cdot 2 \cdot 14^3}{12} \right) = 44\,540 \text{ см}^4;$$

$$T = \frac{21\,125 \cdot 1560}{44\,540} = 73,7 \text{ кгс на 1 пог. см}.$$

Напряжения в клеевых швах

$$\tau = \frac{73,7}{(14 \cdot 2) \cdot 0,5} = 5,27 \text{ кгс/см}^2 < R_{\text{ск}} = 24 \text{ кгс/см}^2$$

($R_{\text{ск}} = 24 \text{ кгс/см}^2$ — расчетное сопротивление скалыванию в соединениях, СНиП II-V.4-72, п. 6, табл. 8).

По рис. 36 расчетное сопротивление для угла $\alpha = 30^\circ$ несколько выше и равно 28 кгс/см^2 . Коэффициент 0,5, согласно СНиП, учитывает возможность непрочности.

Проверка прочности стенки на срез в опорной панели (рис. 40):

$$Q = 2112,5 \text{ кгс};$$

$$I = \frac{40^3 \cdot 4,2}{12} \cdot 0,305 + \left[(12 \cdot 4,3 \cdot 2 \cdot 13^3) + \frac{2 \cdot 4,3 \cdot 14^3}{12} \right] 2 = 71\,220 \text{ см}^4;$$

$$S = (14 \cdot 4,3 \cdot 2 \cdot 13) + 20 \cdot 4,2 \cdot 10 \cdot 0,305 = 1823 \text{ см}^3;$$

$$\tau = \frac{QS}{Ib} = \frac{2112,5 \cdot 1823}{71\,220 \cdot 4,2} = 12,9 \text{ кгс/см}^2.$$

Временное сопротивление по перерезыванию волокон под углом 90° , по данным [6]:

Курдюмова	432—508 кгс/см ²
Изода	341

Данных о сопротивлении по перерезыванию древесины под углом 30° не имеется, однако с уменьшением угла среза до 0° уже произойдет скалывание, которое для древесины сосны равно $62—72 \text{ кгс/см}^2$.

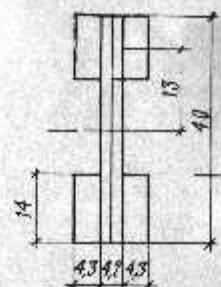


Рис. 40. Поперечный разрез балки на опоре

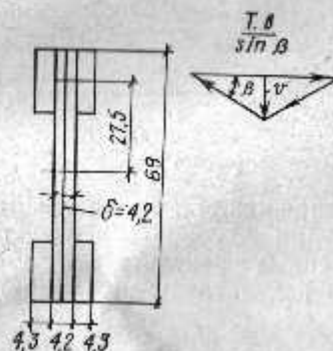


Рис. 41. Поперечный разрез балки в середине пролета

Полученная по расчету величина напряжения при срезе, равная $12,9 \text{ кгс/см}^2$, не превышает указанных выше значений.

Проверка устойчивости стенки в середине длины балки (рис. 41):

$$I = 221\,121 \text{ см}^4;$$

$$S = (14 \cdot 4,2 \cdot 2 \cdot 27,5) + \left(34,5 \cdot 4,2 \cdot \frac{34,5}{2} \right) 0,305 =$$

$$= 3310 + 2560 \cdot 0,305 = 3992 \text{ см}^3;$$

$$T = \frac{QS}{I} = \frac{2112,5 \cdot 3992}{221\,121} = 38,1 \text{ кгс/см};$$

$$V = \frac{Tb}{2 \cdot \text{кг} \beta} = \frac{38,1 \cdot 12}{2 \cdot 0,577} = 397 \text{ кгс}; \quad \beta = 30^\circ;$$

где b — ширина доски-стенки;

Сопоставление экспериментальных
и теоретических величин напряжений и деформаций

№ сечения (см. рис. 38)	Напряжения в нижнем поясе при разрушающей нагрузке 12,3 т					Величина нагрузки P , т	Прогибы балки	
	по данным испытаний, σ , кгс/см ²	по расчету					по данным испытаний, в мм	по данным расчета, в мм
		изгибающий момент в кгс/см	момент инерции в см ⁴	момент сопротивления в см ³	σ , кгс/см ²			
1—1	266	14 500	173 140	5 550	261	Нормативная, $P = 3,25$ $P = 10,39$ (См. табл. 19)	6,72	7,1
2—2	264	16 820	199 340	6 060	278		16,5	21,9
3—3	178	8 870	116 540	4 340	205		—	—

$$F = \frac{b \cdot \delta}{\sin \beta} = \frac{12 \cdot 4,2}{0,5} = 101 \text{ см}^2;$$

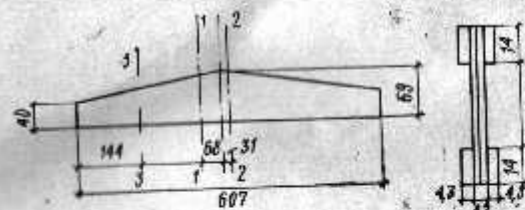
$$\lambda = \frac{41}{0,289 \cdot 4,2} = 33,9 < 120;$$

$$\varphi = 0,90; \quad \sigma = \frac{397}{0,9 \cdot 101} = 4,36 \text{ кгс/см}^2.$$

Напряжения незначительны.

В табл. 23 сопоставлены величины напряжений и деформации, полученные в результате испытаний и подсчитанные теоретически.

По результатам испытаний можно сделать следующие выводы:

Рис. 42. Контур и поперечный разрез балки, $l=6,07$ м

1. Величины напряжений, по данным испытаний и по расчету, близки между собой. Момент инерции стенки балки, при определении которого был введен снижающий коэффициент, разный соотношению модулей упругости при растяжении под углами 0 и 30°:

$$k = \frac{E_{30}}{E_0} = \frac{45\,600}{149\,400} = 0,305,$$

с достаточной точностью характеризует несущую способность стенки балки, склеенной с поясами под углом 30°.

Данные о прогибах показывают, что фактическая жесткость ее несколько выше, чем жесткость, учтенная в расчете, следовательно, принятый коэффициент $k=0,305$ не завышен.

Напряжения в клеевых швах между поясными досками и стенкой не превышают расчетных, приведенных в СНиП и на рис. 36.

Опыт применения балок. Проведенные испытания позволили перейти к применению балок такого типа для покрытия одного из цехов комбината производственных предприятий в Клину.

Балки длиной 11,5 м с высотой на опоре 50 см и в середине пролета 1,30 м были изготовлены на месте строительства в количестве 8 шт. с запрессовкой винтовыми зажимами и установлены в покрытие цеха с утепленной кровлей.

По имеющимся данным, состояние балок после 14 лет эксплуатации было вполне удовлетворительным. Общий вид балок перед установкой показан на рис. 43. В 1968 г. в связи с реконструкцией комбината цех был разобран.

Расход древесины на изготовление одной балки двутаврового профиля с перекрестной стенкой пролетом 12 м при расчетной нагрузке 700 кгс/м составляет 0,81 м³. Для изготовления аналогичной двускатной балки прямоугольного профиля в виде пакета досок требуется 1,2 м³.

Таким образом, экономия древесины при применении балок с перекрестной стенкой составляет 32%. Трудоемкость изготовления клеевых балок с перекрестной стенкой примерно на 20% выше, чем балок пакетного типа. Однако следует учитывать, что

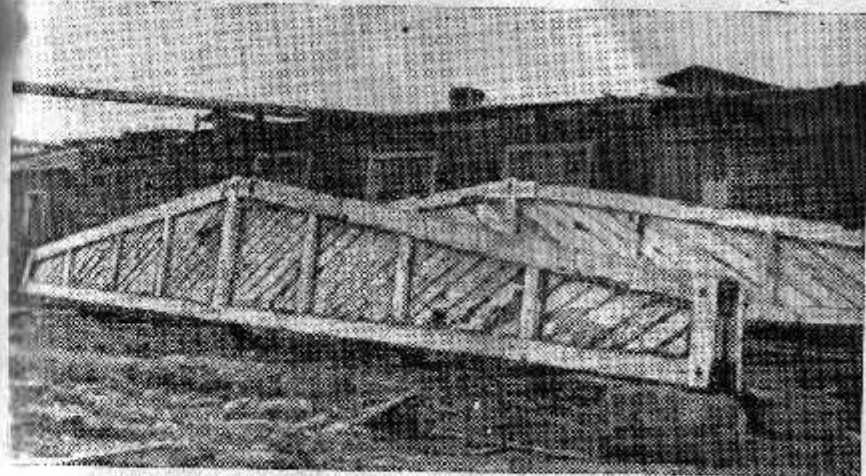


Рис. 43. Клеевые балки пролетом 11,5 м перед установкой в покрытие цеха

с увеличением пролетов балок экономия древесины будет увеличиваться, а влияние трудоемкости изготовления — снижаться.

Возможен и другой вариант конструкции — склейки досок стенки под углом 30° . В этом случае приклейка стенки к поясным доскам происходит под углом 15° (рис. 44), при котором прочность клеевых швов близка к прочности швов при продольном склеивании (см. рис. 36). Можно полагать, что несущая способность такой балки будет несколько выше.

Существенное влияние на прочность клеевых швов оказывает ширина досок стенки. Ее следует выполнять из узких досок шириной не более 90—120 мм или досок более широких с продольными пропилами.

Способ склейки стенки под углом может быть использован и для рамных конструкций. В настоящее время применяются клееные рамы из досок — двух типов: первый — из двух гнутоклееных блоков, склеиваемых из тонких досок толщиной 20—22 мм, и второй — из четырех прямолинейных элементов, ригеля и стоек, стыкуемых в местах сопряжения с помощью фанерных накладок [13]. Первый вариант весьма трудоемок в исполнении ввиду большого количества клеевых швов и необходимости гнутья досок. Второй вариант, в котором прямолинейные элементы собираются из более толстых досок 35—45 мм, менее трудоемок, однако требует устройства стыковых накладок из бакелитизированной фанеры в узлах. Предлагаемая конструкция рамы с клееной перекрестной стенкой, позволяющей получить жесткий монолитный карнизный узел, может быть применена в опытных порядках наряду с обоими вариантами трехшарнирных клееных рам.

На рис. 45 представлено проектное предложение в виде схемы трехшарнирной рамы со стенкой из трех слоев досок, склеенных между собой. При угле верхнего пояса $1/10$, что равно $\sim 6^\circ$, приклейка стенки к поясным доскам производится под углом 42° . Оба наружных слоя расположены параллельно друг другу, средний же слой расположен по отношению к ним под углом 30° .

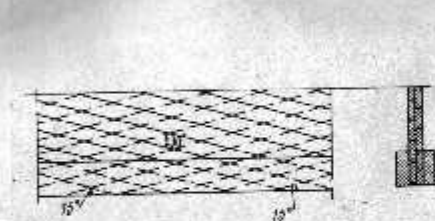


Рис. 44. Деталь склейки стенки балки с поясами под углом 15°

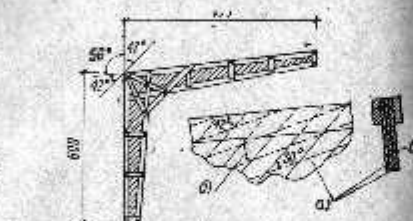


Рис. 45. Схема трехшарнирной рамы со стенкой из трех слоев досок

а — наружные слои стенки, приклеенные к поясам под углом 42° ; б — внутренний слой стенки, склеенный с наружными слоями под углом 30°

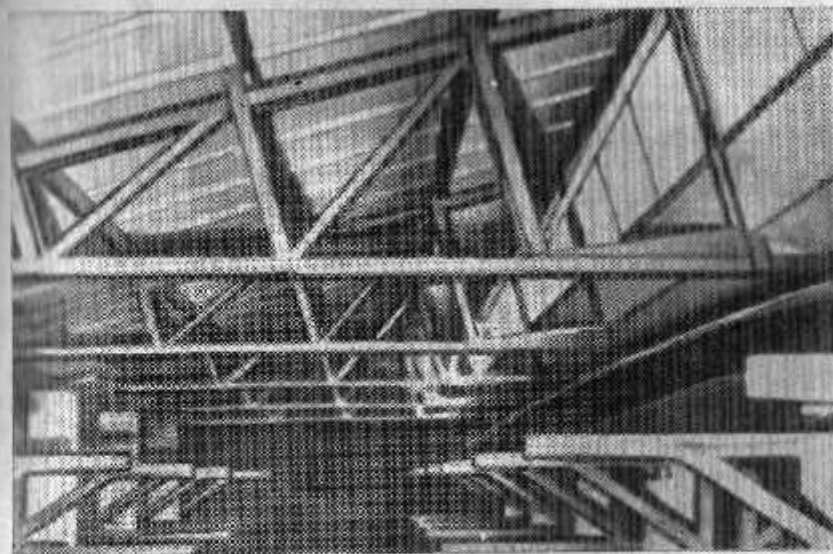


Рис. 46. Покрытие на клееных дощатых фермах пролетом $l=5,3$ м

Применение трехслойной стенки обусловлено необходимостью приклейки поясных досок ригеля и стойки под одинаковыми углами. Расчетное сопротивление скалыванию клеевых швов может быть принято для угла 42° равным 23 кгс/см^2 (см. рис. 36).

Узловые соединения клееных дощатых ферм. Целью этого раздела работы было определение несущей способности клеевых соединений дощатых ферм, в которых помимо продольных сил действуют крутящие моменты в результате изгиба стержней, жестко соединенных в узлах.

Ниже приводятся некоторые данные о работах, выполненных рядом авторов в этой области. Купер и Структ (Англия) провели испытания клеевых ферм с элементами решетки, склеенными под углом. На рис. 46 показана односкатная клееная ферма пролетом 5,3 м, несущая покрытие лодочного сарая Дурхамского университета. Фермы были склеены из гемлока (хвойная порода) на смоляном клее «Аэролит-300» из досок $7,5 \times 3,75 \text{ см}$ и брусков $5 \times 5 \text{ см}$. Запрессовка выполнялась гвоздями по три гвоздя на узел. Через 8 ч после схватывания клея гвозди были удалены.

На рис. 47 показана ферма пролетом 8 м с параллельными поясами, склеенная из досок сечением $76 \times 38 \text{ мм}$. Стойки и раскосы фермы были приклеены к поясам под углами 90° и 40° . Ферма была испытана нагрузкой 148,5 кг на 1 пог. м. При увеличении нагрузки в 1,3 раза началось разрушение клеевых швов в местах крепления решетки к поясам, у опор фермы.

Предел прочности на скалывание, по данным Купера и Структа, составлял $1/8$ предела прочности, полученного при испытании клеевых швов в лабораторных условиях для этих же углов склеивания. По графику (рис. 36) для угла 40° предел прочности равен 59 кгс/см^2 , а для угла 90° — $47,5 \text{ кгс/см}^2$. Следовательно, предел прочности клеевых соединений при воздействии крутящих моментов может быть принят для угла 40° равным $59:8=7,37 \approx 7,4 \text{ кгс/см}^2$, а для угла 90° — $47,5:8=5,94 \approx 5,9 \text{ кгс/см}^2$.

По мнению авторов испытаний, причиной разрушения оказался поворот элементов решетки при общей деформации фермы под нагрузкой.

В работе, проведенной Б. А. Архангельским и А. И. Павловым по применению клееных конструкций в речном судостроении, была также экспериментально исследована прочность узловых соединений на кручение [14].

Авторы этой работы установили, что при площади склеивания, не превышающей 400 см^2 , можно выявить зависимость между ней и величиной разрушающего крутящего момента. Ими была предложена формула

$$F = m \cdot \frac{M_{кр}}{155},$$

где F — площадь склеивания в см^2 ;

$M_{кр}$ — разрушающий крутящий момент в $\text{кгс} \cdot \text{см}$;

m — коэффициент запаса (авторы, к сожалению, не приводят значения этого коэффициента).

Представляет определенный интерес выявить зависимость между площадью склейки и величиной скалывающих напряжений при действии крутящего момента. Напряжения на скалывание могут быть определены по формуле

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_{кр}};$$

здесь $W_{кр}$ — полярный момент сопротивления, равный для квадрата $0,208 a^3$, где a — сторона квадрата (при одинаковой ширине склеиваемых элементов).

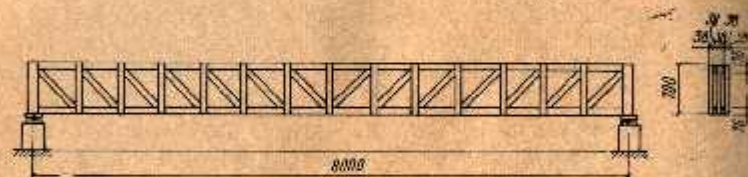


Рис. 47. Схема дощатой фермы с параллельными поясами пролетом 8 м

Пользуясь приведенной выше формулой, можно вычислить величины крутящего момента для значения площади склейки от 50 до 400 см^2 :

$$M_{кр} = \frac{155 F}{m}.$$

По этим данным построен график рис. 48, в котором близкое к предельному значение временного сопротивления скалыванию принято за 100% при площади скалывания $F=50 \text{ см}^2$. Величина коэффициента запаса m , будучи величиной постоянной, условно принята равной единице. Из рассмотрения кривой видно значительное снижение напряжений на скалывание при значениях площади F от 50 до 200 см^2 и менее заметное снижение при увеличении площади в пределах от 200 до 400 см^2 . Полученные данные дают представление только о характере снижения временного сопротивления скалыванию при изменении площади склейки.

Авторы этих исследований, учитывая неравномерное восприятие усилия клеевым соединением, не рекомендуют применять площадь склейки более 400 см^2 , а размеры поверхностей склеивания в направлении действия сил — более 200 мм.

По мнению тех же авторов, а также д-ра техн. наук А. В. Губенко, влияние неравномерности восприятия усилия клеевыми швами может быть в некоторой степени устранено при применении пропилов в виде канавок шириной 5 мм и глубиной $1/3$ толщины элемента. Осуществление этого конструктивного мероприятия сложно, так как при склейке клей будет неизбежно проникать в канавки и склеивать их вновь. При применении пропилов можно рекомендовать в порядке эксперимента заполнять их перед склейкой каким-либо нейтральным составом.

Работа угловых соединений характеризуется сложным напряженным состоянием. Помимо воздействия крутящего момента и отрывающих усилий само распределение скалывающих напряжений не носит равномерного характера, и прочность клеевого соединения зависит от его формы и величины. Точный расчет клеевых соединений под углом представляет известные затруднения. Ряд авторов в своих исследованиях базировались на небольших по объему экспериментальных работах; фундаментальных исследований на большем количестве образцов проведено не было.

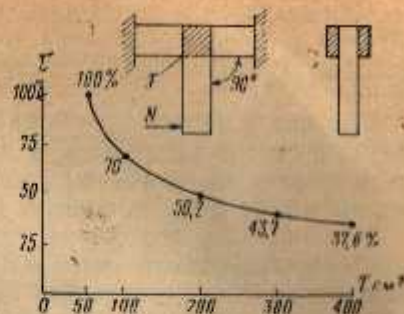


Рис. 48. График изменения величины предела прочности на скалывание τ в % в зависимости от площади склейки

Для выявления некоторых данных о несущей способности клеевых узловых соединений дощатых ферм автор изготовил и испытал опытную ферму пролетом 6 м полигонального очертания.

Так как в задачу испытаний входило только исследование несущей способности узлов, а не фермы в целом, линейные размеры фермы для удобства работы были сокращены. Общий вид фермы и сечение ее элементов представлены на рис. 49.

Склеивание узлов фермы производилось на водостойком фенолформальдегидном клее КБ-3 при двусторонней намазке. Запрессовка осуществлялась стяжными болтами $d=12$ мм с усиленными шайбами. Ферма была установлена на две опоры, надлежащим образом раскреплена и нагружена в узлах верхнего пояса ящиками с песком. Узловую расчетную нагрузку определили исходя из несущей способности узла 2 (рис. 49), имевшего наименьшую площадь склейки под углом 86° . При определении несущей способности узла приняли напряжение на скалывание по клеевому шву поперек волокон — 5 кгс/см^2 при площади склеивания в двух плоскостях, равной 570 см^2 :

$$T = 570 \cdot 5 = 2850 \text{ кгс.}$$

В соответствии с этим по диаграмме единичной нагрузки для данной фермы установили узловую нагрузку:

$$P = \frac{2850}{1,15} = 2480 \text{ кгс.}$$

После загрузки фермы не было обнаружено никаких нарушений прочности клеевых швов. Прогиб от расчетной нагрузки составил 3,6 мм.

В течение четырехлетнего периода ферма неоднократно обследовалась; и только через три года экспозиции на открытом

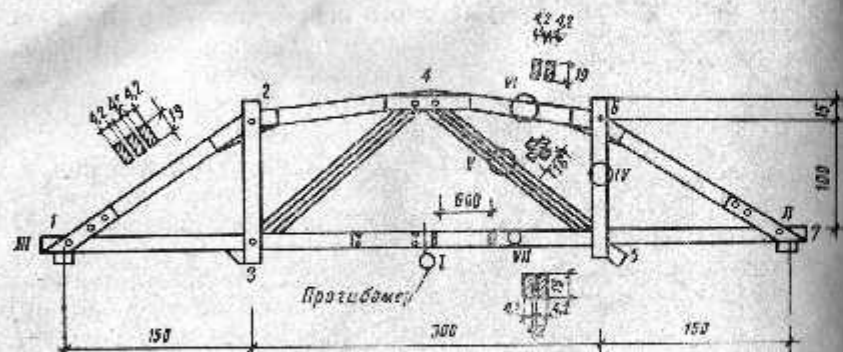


Рис. 49. Схема опытной фермы пролетом 6 м

1—7 — номера узлов; I — установка прогибомера; II—VII — номера индикаторов

Таблица 24

Прогиб фермы под нагрузкой

№	Нагрузка в кгс	Прогиб в мм	№	Нагрузка в кгс	Прогиб в мм
0	0	0	5	6 470	6
1	2 240	3,3	6	7 460	6,6
2	3 360	3,9	7	8 460	7,3
3	4 480	4,7	8	10 390	8,8
4	5 480	5,6	9	11 350	10,2

воздухе было отмечено появление трещин в клеевых швах, в опорном узле. Еще через год ферма была разгружена и испытана до разрушения на новой установке — 100-т домкратом, установленным в коньковом узле фермы. При проведении испытаний деформации всех элементов измерялись индикаторами, а прогибы определялись прогибомером (см. рис. 49).

Из древесины фермы были изготовлены стандартные образцы для определения предела прочности на скалывание по клеевому шву. В результате испытания образцов был получен средний предел прочности на скалывание $\tau=62,9 \text{ кгс/см}^2$. Ниже приводится табл. 24 прогибов фермы под нагрузкой. После испытания из элементов ферм были отобраны образцы и определены модули упругости поясов, расколов и стоек.

В таб. 25 приведены величины фактических напряжений в стержнях фермы и напряжений, полученных по расчету. При расчете фермы с жесткими узлами, 18 раз статически неопределимой (см. ниже), были учтены жесткости при постоянном модуле упругости, равном $100\,000 \text{ кгс/см}^2$. В действительности фактические модули упругости (см. табл. 25) несколько отличаются от расчетного. Тем не менее расхождение в величинах нормальных напряжений сравнительно невелико.

Разрушение фермы произошло в результате скалывания клеевых швов в узловых соединениях. При нагрузке 13,32 т одновременно скололись узловые накладки в коньковом узле № 4 (рис. 50). В узлах № 2 и 6 произошло скалывание по клеевым швам парных стоек и промежуточных прокладок между досками верхнего пояса (рис. 51). В узлах № 3 и 5 скололись швы парных стоек и швы расколов с образованием в расколе (в узле № 5) продольной трещины (рис. 52 и 53).

Величины скалывающих напряжений, при которых произошло разрушение клеевых швов в узлах фермы, были определены теоретически.

Опытную ферму, показанную на рис. 49, можно рассмотреть как конструкцию с жесткими узлами, в которых возникают моменты, стремящиеся сместить плоскости склеивания одну относительно другой.

Напряжения в элементах фермы при разрушающей нагрузке

№	Наименование элемента	Профиль	Площадь сечения F , см ²	$\xi = \frac{\Delta l}{l}$	Напряжения в кг/см ²	
					фактические $\sigma = E \cdot \xi$	по расчету $\frac{1}{2} \sigma$
1	Верхний пояс		159,6	$\frac{0,063}{35} = 0,0018$	$\sigma = 97\,150 \times 0,0018 = 175$	191
2	Нижний пояс		139,6	$\frac{0,039}{35} = 0,0011$	$\sigma = 118\,070 \times 0,0011 = 131,5$	103
3	Средний раскос		118	$\frac{0,046}{35} = 0,00131$	$\sigma = 105\,880 \times 0,00131 = 138,5$	102
4	Стойка		124	$\frac{0,014}{31} = 0,00045$	$\sigma = 110\,350 \times 0,00045 = 49,7$	37,4



Рис. 50. Скалывание узловых накладок в коньковом узле фермы. На фото виден торец сместившейся вниз накладки

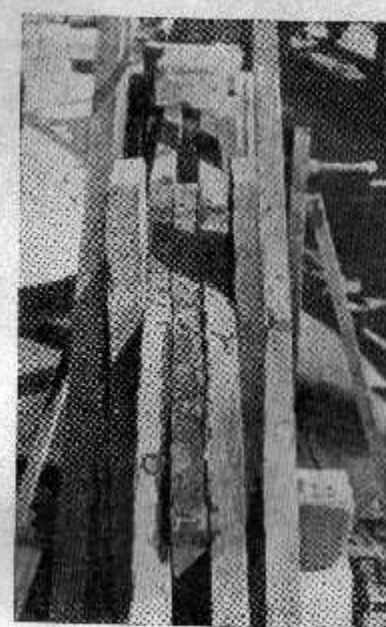


Рис. 51. Вид фермы с торца. Видно скалывание по клеевым швам прокладки между поясами

Статический расчет фермы был выполнен на ЭВМ «НАИРИ-1» по программе Н-59, предназначенной для выполнения статических и динамических расчетов произвольных плоских стержневых систем. В программе реализован метод перемещений, применяемый для расчета канематически неопределимых систем (с решением системы линейных уравнений ленточной структуры по Гауссу).

Канонические уравнения метода перемещений для решения данной 18 раз статически неопределимой задачи имеют вид:

$$\begin{aligned}
 1) \quad & z_1 r_{11} + z_2 r_{12} + z_3 r_{13} + z_4 r_{14} + z_5 r_{15} + z_6 r_{16} + z_7 r_{17} + z_8 r_{18} + \\
 & + z_9 r_{19} + z_{10} r_{110} + z_{11} r_{111} + z_{12} r_{112} + z_{13} r_{113} + z_{14} r_{114} + z_{15} r_{115} + \\
 & + z_{16} r_{116} + z_{17} r_{117} + z_{18} r_{118} + R_1 p = 0; \\
 2) \quad & z_1 r_{21} + z_2 r_{22} + z_3 r_{23} + z_4 r_{24} + z_5 r_{25} + z_6 r_{26} + z_7 r_{27} + z_8 r_{28} + \\
 & + z_9 r_{29} + z_{10} r_{210} + z_{11} r_{211} + z_{12} r_{212} + z_{13} r_{213} + z_{14} r_{214} + z_{15} r_{215} + \\
 & + z_{16} r_{216} + z_{17} r_{217} + z_{18} r_{218} + R_2 p = 0.
 \end{aligned}$$

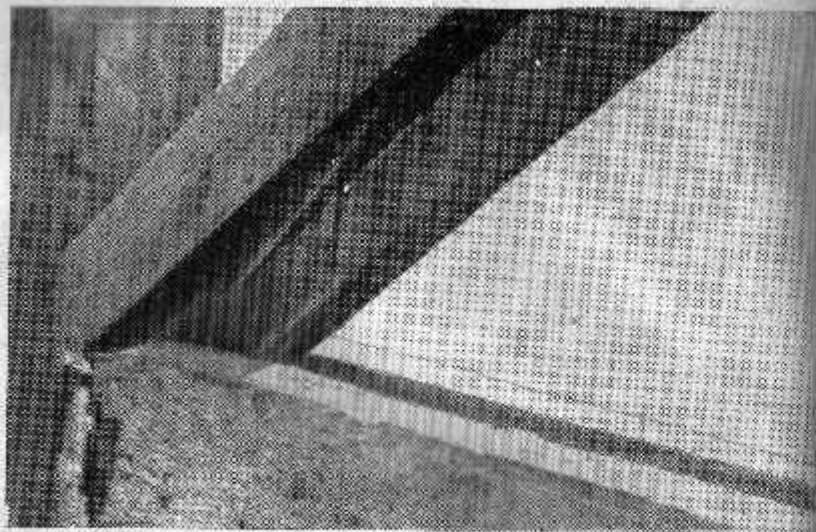


Рис. 52. Скалывание по клеевым швам стоек в узлах № 3 и 5

Последнее 18-е уравнение имеет вид

$$18) z_1 r_{181} + z_2 r_{182} + z_3 r_{183} + z_4 r_{184} + z_5 r_{185} + z_6 r_{186} + z_7 r_{187} + \\ + z_8 r_{188} + z_9 r_{189} + z_{10} r_{1810} + z_{11} r_{1811} + z_{12} r_{1812} + z_{13} r_{1813} + \\ + z_{14} r_{1814} + z_{15} r_{1815} + z_{16} r_{1816} + z_{17} r_{1817} + z_{18} r_{1818} + R_{18} p = 0.$$

В этих уравнениях $z_1, z_2, \dots, z_{18}$ — неизвестные метода перемещений, т. е. углы поворота узлов и их линейные перемещения (см. расчетную схему, рис. 54); $r_{11}, r_{21}, \dots$ — коэффициенты при неизвестных; $R_{1p}, R_{2p}, \dots$ — грузовые члены реакций дополнительных

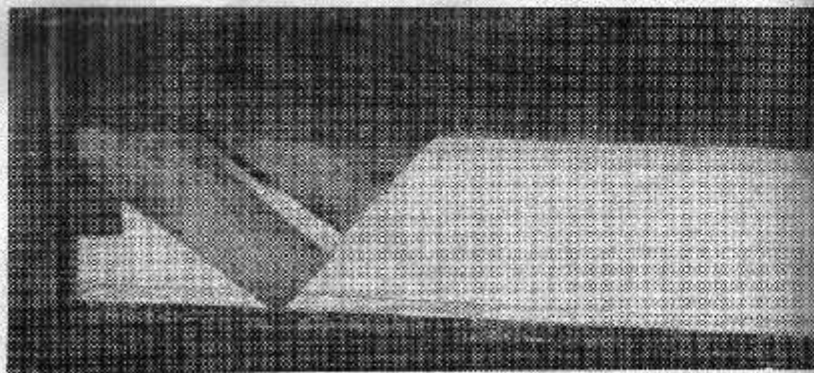


Рис. 53. Скалывание по клеевым швам раскоса. Видна продольная трещина в раскосе

ных закреплений в основной системе метода перемещений. Изгибающие моменты в заданной системе получены суммированием ординат элюры M_p , построенной в основной системе от нагрузки, с ординатами единичных элюр изгибающих моментов, умноженными на значения неизвестных

$$M = M_p + \bar{M}_1 z_1 + \bar{M}_2 z_2 + \dots + \bar{M}_{18} z_{18}.$$

Ниже приводятся необходимые для расчета величины жесткостей элементов ферм при модуле упругости $E = 1\,000\,000 \text{ т} \cdot \text{м}^2$.

Верхний пояс, нижний пояс и крайние раскосы:

$$F = 0,042 \cdot 0,19 \cdot 2 = 0,01596 \text{ м}^2;$$

$$I = 2 \frac{0,042 \cdot 0,19^3}{12} = 0,000048013 \text{ м}^4;$$

$EF = 15\,960 \text{ т}; EI = 48\,013 \text{ тм}^2$ (1-я группа жесткостей, см. рис. 54).

Средние раскосы:

$$F = 0,042 \cdot 0,16 \cdot 2 = 0,01344 \text{ м}^2;$$

$$I = \frac{0,042 \cdot 0,16^3}{12} + \frac{0,042 \cdot 0,06^3}{12} = 0,000015848 \text{ м}^4;$$

$EF = 11\,760 \text{ т}; EI = 15\,848 \text{ тм}^2$ (2-я группа жесткостей).

Стойки:

$$F = 0,042 \cdot 0,16 \cdot 2 = 0,01344 \text{ м}^2;$$

$$I = 2 \frac{0,042 \cdot 0,16^3}{12} = 0,000028672 \text{ м}^4;$$

$EF = 13\,440 \text{ т}; EI = 28\,672 \text{ тм}^2$ (3-я группа жесткостей).

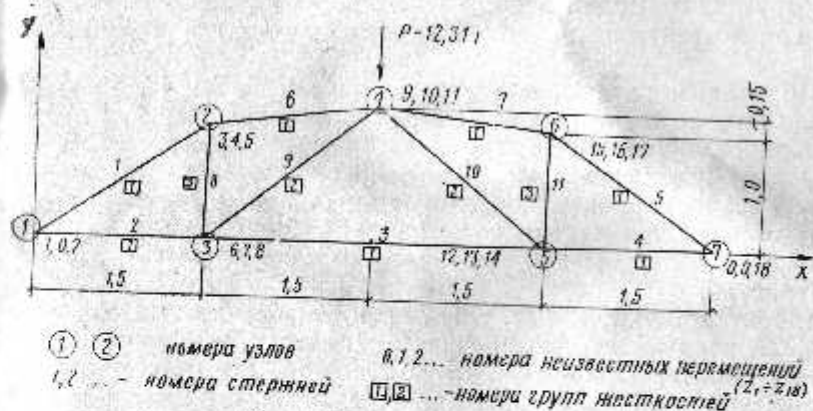


Рис. 54. Расчетная схема ферм

в кружках — номера узлов; 1, 2 — номера стержней; 0, 1, 2 — номера неизвестных перемещений ($z_1, \dots, z_{18}$); в четырехугольниках — номера групп жесткостей

По полученным данным были построены элюры моментов нормальных и поперечных сил (рис. 55—57).

В табл. 26 представлены схемы узлов № 1, 2, 3, 4 площади склейки прямоугольного, трапециевидного и эллипсовидного

очертаний, величины крутящих моментов, полученные по расчету значения полярных моментов сопротивления и величины касательных (скальвающих) напряжений.

При рассмотрении данных таблицы можно установить некоторую зависимость величин разрушающих напряжений при воздействии крутящих моментов от углов склейки.

Представляют интерес исследования А. П. Павлова [14] по вопросу работы клевого соединения под углом 90° при воздействии крутящих моментов для площадей склейки от 100 до 300 см^2 . Результаты показаны на графике (рис. 58).

Так, для площади 300 см^2 величина разрушающего крутящего момента равна 4150 кгс/см . Размеры сторон площади склейки:

$$a = \sqrt{\frac{300}{2}} = 12,25 \text{ см};$$

$$W_k = 0,208 \cdot 12,25^3 = 383 \text{ см}^3. \quad (26)$$

Разрушающее напряжение при двух плоскостях склейки будет равно

$$\tau_{\text{макс}} = \frac{M_k}{W_k} = \frac{4150}{383 \cdot 2} = 5,42 \text{ кгс/см}^2.$$

Далее представляется возможным воспользоваться данными упомянутых выше работ Купера и Структа, которые по результатам испытаний ферм с параллельными поясами (рис. 47) установили, что величина разрушающих напряжений при воздействии крутящего момента составляет $1/8$ разрушающих напряжений при воздействии продольной силы при тех же углах склейки.

По данным рис. 36, для углов оклейки 15, 30, 40, 60 и 90° можно подсчитать величины разрушающих напряжений. Результаты работ, проведенных тремя авторами, сведены в табл. 27.

Полученные результаты не позволяют выявить достаточно четкую закономерность изменения разрушающих напряжений в клеевых швах при изменении углов склейки; однако они достаточно ясно обрисовывают верхние и нижние пределы этих характеристик.

Характер кривой рис. 59, построенной по материалам табл. 27, показывает, что прочность клеевых швов вначале возрастает с увеличением угла от 10 до 30° и с соответственным уменьшением площади склейки — отрицательно сказывается увеличение угла взаимного расположения волокон в склеиваемых элементах. Наибольший разброс отмечается при углах склейки 90° ; видимо, тут влияет размерность образцов (см. примечание к табл. 27).

В дощатых фермах помимо крутящих моментов на узловые соединения действуют также и продольные сжимающие или растягивающие силы. При воздействии крутящих моментов кас-

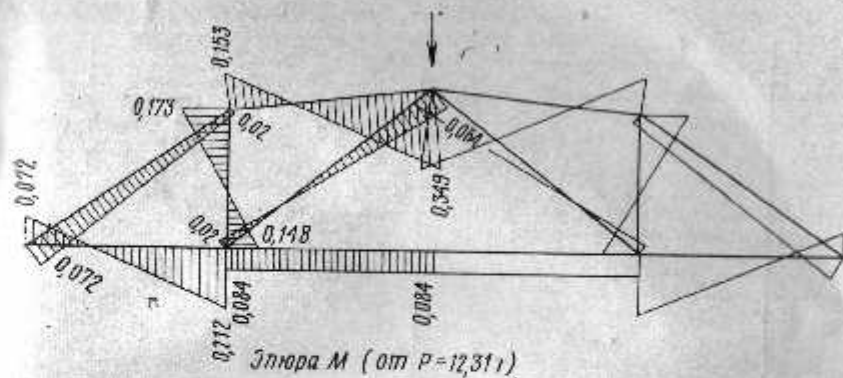


Рис. 55. Эпюра моментов M в тл от $P=12,3 \text{ тс}$

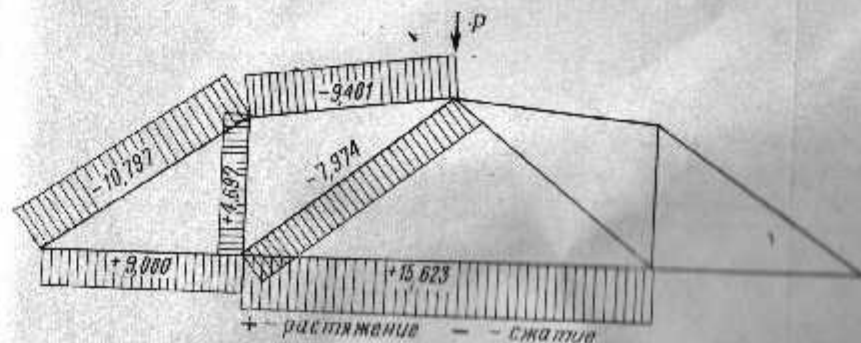


Рис. 56. Эпюра нормальных сил от $P=12,3 \text{ тс}$

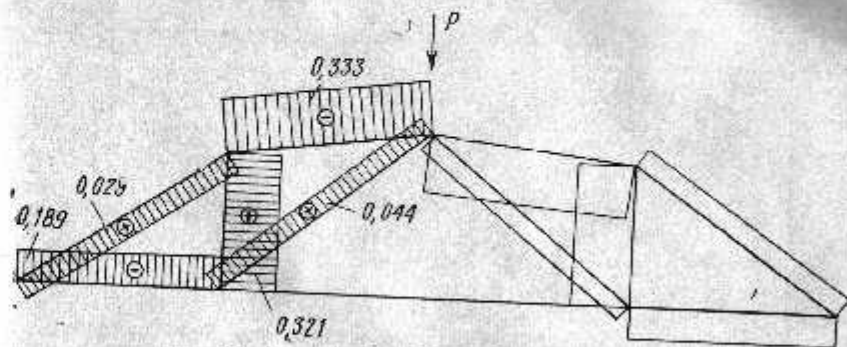


Рис. 57. Эпюра поперечных сил от $P=12,3 \text{ тс}$

Напряжения в клеевых швах

№ узла	Схемы узлов	Расчетная площадь склейки F , см ²	Крутящий момент M_k , кгс/см
1		Подкос $4 \left(\frac{3,14}{4} 17 \cdot 35 \right) = 1872$	7 200
2		Стойка $2 (17,8 \cdot 16) = 570$ Верхний пояс $2 \left(40 \frac{19 + 10}{2} \right) = 1160$ Опорный раскос $2 \left(40 \frac{19 + 10}{2} \right) = 1160$	17 300 15 300 2 000
3		Стойка $2 (19 \cdot 16) = 608$ Раскос $2 \left(\frac{3,14}{4} 15 \cdot 25 \right) = 590$	14 800 21 200
4		Накладки верхнего пояса $2 \left(40 \frac{19 + 14}{2} \right) = 1320$ Раскосы $2 \left(\frac{3,14}{4} 25 \cdot 15 \right) = 590$	34 900 6 400

Примечание. На всех схемах узлов показаны размеры расчетных

узлов фермы при нагрузке 13,32

Полный момент сопротивления W_K , см ³	$\tau = \frac{M_K}{W_K}$, кгс/см ²	Нормальная сила N , кгс	$\sigma = \frac{N}{F}$, кгс/см ²	Примечания
$\frac{4(3,14 \cdot 17^2 \cdot 35)}{16} = 7940$	$\frac{7200}{7940} = 0,91$	-10 797	$\frac{10\,797}{1872} = 5,76$	Швы по плоскости склейки расколов нарушены не были
$2(0,218 \cdot 17,8 \cdot 16^2) = 1990$ $2 \left[\frac{40(19^4 - 14^4)}{12 \cdot 19(19 - 10)} - \frac{0,105(19^4 - 14^4)}{19} \right] = 3070$	$\frac{17\,300}{1990} = 8,70$ $\frac{15\,300}{3070} = 5,0$	+4 697 -9 401	$\frac{4697}{70} = 8,22$ $\frac{9401}{1160} = 8,12$	Скалывание по клееным швам стоек Скалывание по клееным швам верхнего пояса
$2(0,208 \cdot 19 \cdot 16^2) = 2040$ $\frac{2(3,14 \cdot 15^2 \cdot 25)}{16} = 2204$	$\frac{14\,800}{2040} = 7,24$ $\frac{21\,200}{2204} = 9,62$	-10 797	$\frac{10\,797}{1160} = 9,3$	Швы по плоскости склейки опорных расколов нарушены не были
$2 \left[\frac{40(19^4 - 14^4)}{12 \cdot 19(19 - 14)} - 0,105 \left(\frac{19^4 - 14^4}{19} \right) \right] = 4834$ $2 \frac{(3,14 \cdot 15^2 \cdot 25)}{16} = 2204$	$\frac{34\,900}{4834} = 7,22$ $\frac{6400}{2204} = 2,9$	4 697 7 974	$\frac{4697}{608} = 7,22$ $\frac{7974}{590} = 13,5$	Скалывание по клееным швам стоек Скалывание по клееным швам расколов
		9 401 7 974	$\frac{9401}{1280} = 7,15$ $\frac{7974}{590} = 13,5$	Скалывание по клееным швам накладки верхнего пояса Швы по плоскости склейки расколов не нарушены

площадей склейки элементов.

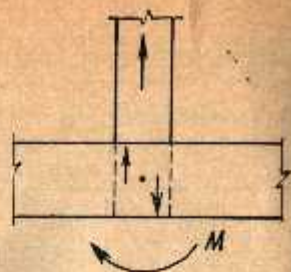
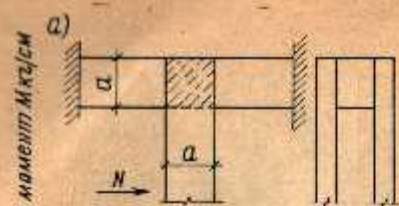


Рис. 60. Схема работы клевого соединения при воздействии продольных сил и крутящего момента



Рис. 58. График зависимости прочности клевого соединения, работающего на скалывание при действии крутящего момента, от площади склейки

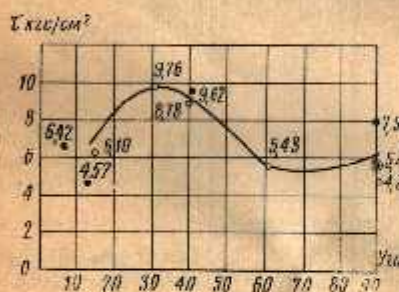


Рис. 59. График изменения величины разрушающих напряжений в записи от угла склейки при действии крутящих моментов
○ — результаты испытаний Купера и Струка; ● — результаты испытания узлов фермы; ○ — результаты испытания образцов, склеенных под углом 90°, по данным А. И. Павлова

тельные напряжения в плоскостях склейки имеют наибольшие значения по серединам более длинных сторон плоскостей склеивания. Они будут противоположны по направлению и поэтому одно из них обязательно совпадет с направлением напряжения от продольной силы. Наибольшее касательное напряжение можно было бы получить как сумму этих составляющих (рис. 60).

По данным испытаний фермы пролетом 6 м было установлено, что клевые соединения в некоторой части узлов при разрушающей нагрузке 13,32 т нарушены не были. Это находится в соответствии с малой величиной крутящих моментов, полученной по расчету (см. эпюру на рис. 55). Сохранились клееные швы в опорных узлах № 1 и 7, частично в узлах № 2, 4 и 6 (см. табл. 26). Ниже приводятся величины касательных напряжений от крутящих моментов [2] и от продольных сил в этих узлах.

Из табл. 28 видно, что величины касательных напряжений от воздействия крутящих моментов относительно невелики. Касательные напряжения от воздействия продольных сил по своей

величине примерно соответствуют напряжениям в клеевых швах узлов подвергшихся разрушению. В разрушившихся узлах касательные напряжения от продольной силы нигде не достигли своей предельной величины (см. рис. 36).

Таблица 27

Величины разрушающих напряжений в клеевых соединениях при воздействии крутящих моментов

№ п/п	Авторы работ	Угол склейки							Примечания
		0°	13°	15°	30°	40°	60°	90°	
1	Д. Купер и А. Структ. Испытание образцов	—	—	6,1	9,76	8,78	5,48	4,88	При постоянной площади склейки. Соединения из досок 76×38 а) При переменной площади склейки. Соединения из досок 190×42 и 160×42 мм; б) для угла 90° принято среднее значение разрушающих напряжений, равное $\frac{7,24 + 8,70}{2} = 7,97$ кг/см² (см. табл. 26)
2	Б. С. Соколовский, Испытание фермы, l = 6 м	7,22	5,0	—	—	9,62	—	7,97	
3	А. И. Павлов. Испытание образцов	—	—	—	—	—	—	5,49	Соединения из досок шириной 130—150 мм

Таблица 28

Величины касательных напряжений

Наименование узлов	τ, кг/см²	σ, кг/см²
Опорный узел № 1	0,91	5,76
Узлы № 2 и 6, крепление опорных раскосов	0,65	9,30
Узел № 4, крепление средних раскосов	2,9	13,50

Таблица 29

Предел прочности на скалывание при кручении

Углы склейки, α	R _{ск} , кг/см²	Углы склейки, α	R _{ск} , кг/см²
10°	6,0	50°	7,5
15°	7	60°	5,5
25°	9	90°	5,5
40°	9		

Из изложенного можно сделать вывод о преобладающем влиянии крутящих моментов на прочность клеевых соединений. Исследования трех авторов показывают близкие по величине результаты. Исходя из этого, можно принять в опытных порядках величины разрушающих напряжений за предел прочности на скалывание при кручении, при кратковременном воздействии нагрузки. Величины, приведенные в графике (рис. 59) даны с некоторым округлением в табл. 29.

Полученные результаты следует рассматривать как предварительные. Желательно дальнейшее продолжение исследований работ по склейке под углом, с учетом одновременного действия крутящих моментов и продольных сил. Такие работы могут иметь важное значение также для расчета клееных рам с фанерными накладками в карнизных узлах, клееные швы которых работают на кручение.

Глава IV

ИЗГОТОВЛЕНИЕ КЛЕЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

1. Общие сведения

В этой главе кратко изложены общие сведения по технологии изготовления клееных конструкций на основе отечественной и зарубежной практики, а также освещаются отдельные вопросы технологии по данным работ, проведенных автором в строительных организациях.

Технология изготовления клееных конструкций состоит из следующих основных операций: отбор и сортировка пиломатериалов, сушка, обработка поверхностей для склеивания, нанесение клея, запрессовка, выдерживание в прессах под давлением, обработка поверхностей готовых элементов и отправка их на склад.

Пиломатериал, предназначенный для изготовления клееных конструкций, сушится в сушильных камерах до влажности 10—15%, сортируется по качеству, раскраивается по длине с вырезкой дефектных мест и подготавливается для склейки на «зубчатый стык». Длина склеенной нитки досок обычно равна длине конструкции или ее элемента. После склейки осуществляется острожка элементов на четырехстороннем строгальном станке.

Для склейки несущих конструкций в СССР обычно применяется водостойкий фенолформальдегидный клей марки КБ-3. Отверждение этого клея производится при температуре 16—18°C. В целях ускорения отверждения в ряде случаев применяется нагрев. Недостаток клея — его токсичность, проявляющаяся до полного его отверждения; поэтому в сборочных цехах необходимо устройство специальной приточно-вытяжной вентиляции. Помещения для приготовления клея и мойки посуды, кистей,

переносных клеомешалок и т. п. требуют усиленной вентиляции и специальных мероприятий по охране труда.

Жизнеспособность клея КБ-3 после введения отвердителя (контакт Петрова) равна примерно 1,5—2 ч, поэтому каждая партия клея готовится в количестве, которое может быть использовано в процессе сборки и запрессовки соответствующего количества клееных элементов.

Другой недостаток этого клея, который выявляется в дальнейшем, в процессе эксплуатации, — повышенная хрупкость клееных швов, что особенно заметно в конструкциях, не защищенных от воздействия переменной влажности, солнечной радиации и повышенных температур. При нормальных условиях эксплуатации в закрытых помещениях прочность клееных швов сохраняется длительное время.

Более устойчивы к климатическим и температурным воздействиям резорциновые клеи, разработанные в США. В Англии широкое применение находит резорциновый клей «Каскофен» и др. В ФРГ для производства клееных конструкций применяются мочевиноформальдегидные клеи различных марок. Наряду с этими клеями за рубежом применяются также и поливинилацетатные клеи, отличающиеся длительной жизнеспособностью, бесцветностью клеевого шва, быстротой отверждения. Недостаток их — малая водостойкость.

2. Изготовление клееных балок

Запрессовка клееных балок обычно осуществляется в специальных горизонтальных и вертикальных ваймовых прессах, а также в пневматических и гидравлических прессах.

В СССР клееные балки изготавливают преимущественно в ваймовых прессах. Наряду с этим довольно широко применялась запрессовка гвоздями; этот способ трудоемок и требует постоянного технического надзора. При запрессовке пакета необходимо соблюдение двух основных требований: во-первых, доски должны быть тщательно калиброваны (недопустимы их покореженность и различная толщина); во-вторых, намазка клеом, осуществляемая клеевыми вальцами, пистолетами-распылителями или кистями, должна быть равномерной, при строгом соблюдении установленной инструкции [15] вязкости клея и времени сборки и запрессовки.

При гвоздевой запрессовке в местах неплотного примыкания досок, т. е. при толстом (более 0,3 мм) клеевом шве, делается дополнительный гвоздевой забой.

Способом гвоздевой запрессовки в период 1948—1954 гг. было изготовлено большое количество клееных балок двутаврового профиля и прямоугольного сечения. Эти балки уложены на десятках тысяч квадратных метров площади междуэтажных и чердачных перекрытий в Ленинграде, Североморске, Севастопо-

ле, Риге, Омске, Бежице и других городах. В настоящее время гвоздевая запрессовка применяется для изготовления полуарок пролетом 45 м для покрытий складов солей, калийных комбинатов в Солигорске, Соликамске и др. Этот, казалось бы, кустарный способ запрессовки балок и арок с помощью гвоздей имеет преимущество, что не требует быстрой сборки всего пакета, ограниченного временем жизнеспособности клеевого раствора.

Балка пакетного типа не может находиться в прессе в течение времени, необходимого для полимеризации клея, так как производительность прессы была бы при этом ничтожной. Возможно осуществлять запрессовку в пресс-вагонетках, количество которых должно быть достаточным для обеспечения непрерывности технологического процесса, учитывая необходимый срок выдержки под давлением [15]. Вместе с тем это требует дополнительных расходов на оборудование и соответствующей площади цеха для размещения пресс-вагонеток.

Новые возможности представляет запрессовка гвоздями при использовании специальных пневматических молотков для забивки гвоздей. Трудоемкость запрессовки сокращается в несколько раз и этот способ в отдельных случаях может конкурировать со способом запрессовки в прессы. В США, ФРГ, Финляндии и других странах этот новый инструмент получил широкое распространение. Пневматический молоток при наличии соответствующего приспособления допускает программируемую забивку гвоздей.

Для приготовления клея и нанесения его на склеиваемую поверхность необходимы клеемешалки, клеевые вальцы или пистолеты для нанесения клея. Индустрийпроектом и ЭКБ ЦНИИСК разработана клеемешалка для приготовления клея. За рубежом аналогичные клеемешалки выпускаются фирмами «Драй-Торрмаш», «Дей» и др. В клеемешалках предусмотрены механизмы, обеспечивающие нагрев и охлаждение смеси. Для нанесения вязких клеев (КБ-3) удобны выпускаемые нашей промышленностью пистолеты марки КВС-2 с увеличенным пролетом других марок диаметром сопла. Двухсопловые пистолеты разработаны и выпускаются фирмой «Эрспрей». Они сконструированы с раздельной подачей компонентов клея; смешивание их происходит в факеле пистолета только при выходе из аппарата. Значительным преимуществом этих пистолетов является возможность нанесения клея в течение суток, независимо от срока его жизнеспособности. При массовом поточном изготовлении однотипных балок целесообразно применять автоматические линии склеивания непрерывного действия с нагревом в поле ТВЧ или в специальных камерах.

В СССР опытную установку для склеивания брусьев любой длины разработал ЦНИИМОД. Испытания установки дали положительные результаты.

В Финляндии, ФРГ и США на специальных заводах имеются

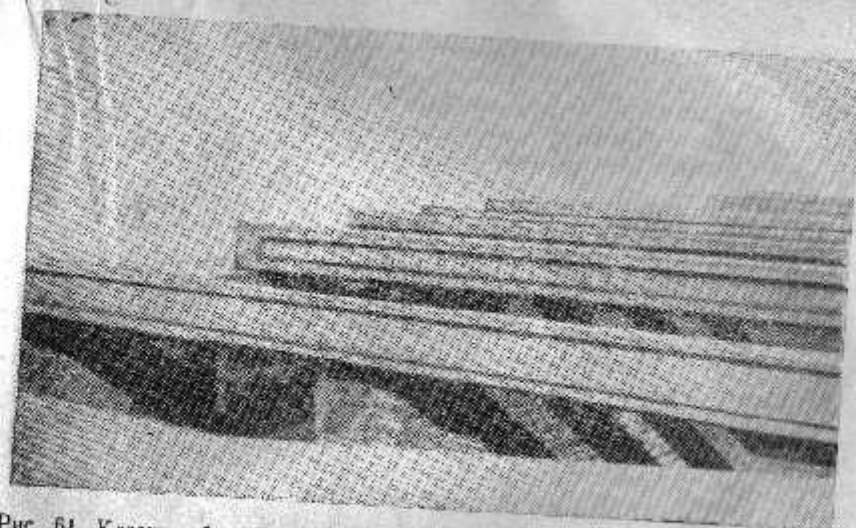


Рис. 61. Клееные балки междуэтажного перекрытия жилого дома в Автове (Ленинград)

поточные линии по изготовлению клееных балок. Так, в США балки высотой 76 см и длиной до 14 м, состоящие из 60 слоев досок толщиной по 12,5 мм, склеиваются резорцинформальдегидным клеем в течение 8 мин в специальных прессах. В ЧССР разработана технология изготовления клееных балок с применением пневматических прессов, перемещающихся с запрессованным элементом в камеру контакционного нагрева, где клей отверждается в течение 1,5—2 ч [16].

Представляют интерес некоторые примеры из опыта изготовления клееных балок на отечественных предприятиях. В Ленинграде на Охтенском комбинате было организовано изготовление клееных балок длиной 6,5 м двутаврового профиля с размерами поперечного сечения 290×150 мм взамен дефицитных балок из высококачественного леса сечением 260×200 мм. Для балок (см. ниже рис. 68,6) применялись доски и бруски размерами 150×35 и $80 \times$

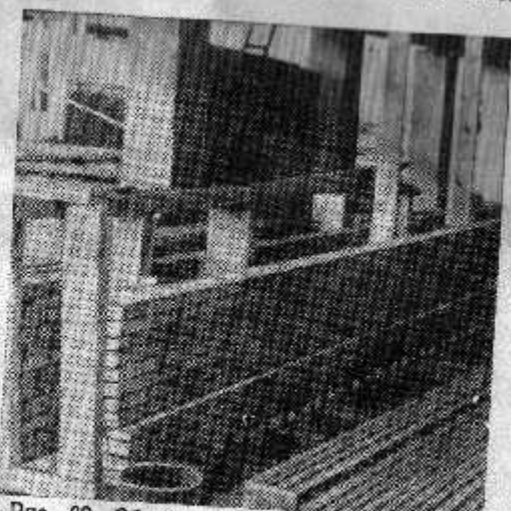


Рис. 62. Сборка клееных балок двутаврового профиля пролетом 12 м с запрессовкой гвоздями

Х37 мм, которые выпиливались из маломерного пиловочника диаметром от 15 до 18 см. Трудоемкость изготовления составила 13,4 чел.-часа на 1 м³ балок данного типа.

Балки изготавливались на кизеино-цементном клее с запрессовкой гвоздями. Стоимость 1 м³ клееных балок не превышала стоимости балок из брусьев. На рис. 61 представлено междуэтажное перекрытие жилого дома в Автове, выполненное применением клееных балок.

На том же комбинате были изготовлены балки двутаврового сечения пролетом 6,9 и 12 м. Ниже приводятся данные о трудоемкости их изготовления, а на рис. 62 показана сборка этих балок с запрессовкой гвоздями.

В деревообделочной мастерской в Клину были изготовлены клееные балки двутаврового профиля с перекрестной стенкой, доски которой были расположены под углом 30° по отношению к поясным доскам. Эти балки имели повышенную несущую способность по сравнению с гвоздевыми (см. выше об испытании балок). Для балок был применен пиломатериал — сосна влажностью 15—16%.

Нижние растянутые пояса были отнесены к элементам I категории, верхние сжатые пояса — к элементам II категории, стенка — к элементам III категории. Общий вид балок см. на рис. 43. Пояса в этой балке были запроектированы из четырех слоев строганных досок толщиной 36 мм со стыками,

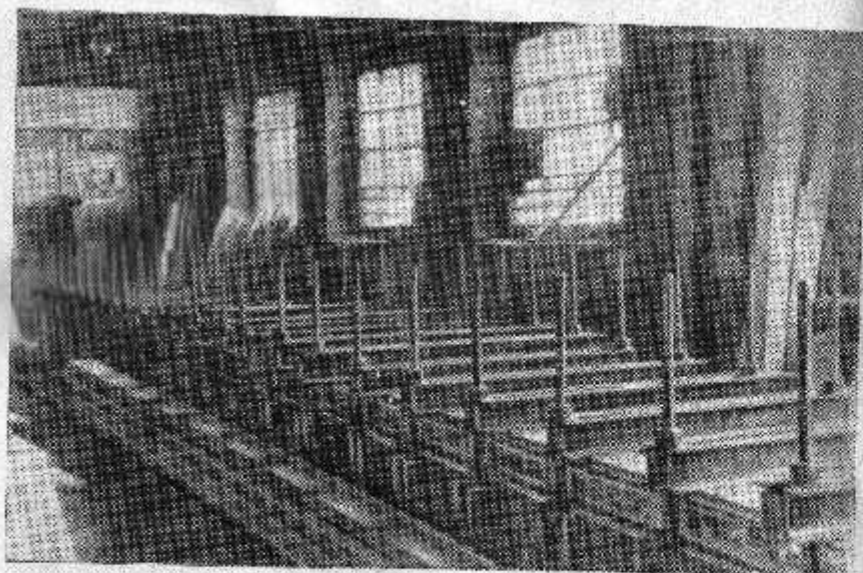


Рис. 63. Стенд с винтовыми зажимами для запрессовки балок двутаврового профиля с перекрестной стенкой

выполненными на «ус» и «вразбежку». Стенка была выполнена из двух слоев тонких маломерных строганных досок толщиной 21 мм. Для запрессовки балок был запроектирован и выполнен специальный стенд с винтовыми зажимами (рис. 63).

Изготовление балок производилось следующим образом. Вначале были склеены отдельно нижние пояса в виде сплошной ленты из одного слоя толщиной 36 мм со стыками на «ус». Далее на стенде по шаблону укладывали доски верхнего и нижнего поясов, а также доски ребер жесткости, намазанные клеем; затем поверх досок под углом 30° укладывали один слой стенки из заранее опиленных по длине досок толщиной 19 мм. После намазки слоя клеем укладывали второй слой досок стенки в обратном направлении. Далее собранные на стенде элементы запрессовывались винтовыми зажимами, расставленными по длине балки через 480 мм. Балки выдерживались в прессах в течение 12 ч при температуре +18°C. После снятия винтовых зажимов наклеивали второй слой поясных досок и производили вторичную запрессовку. После вторичного выдерживания в течение 12 ч балку освобождали от зажимов и снимали со стенда.

При сборке двухслойной стенки балки особое внимание было уделено тщательной калибровке досок. Отклонение размеров по толщине не превышало $\pm 0,5$ мм, что в значительной степени уменьшило возможность появления непроклеев в швах при запрессовке.

Запрессовка поясов балки в два приема потребовала излишней затраты времени на выдержку в прессе и была вызвана тем, что при большой протяженности балки (12 м) и ограниченной по времени жизнеспособности фенолформальдегидного клея КВ-3 (1,5 ч) практически не было возможности склеить и запрессовать всю балку в такой короткий срок. При применении пистолетов для нанесения клея марки КВС-2, и особенно двухсопловых пистолетов с раздельной подачей компонентов клея, срок запрессовки может быть сокращен не менее чем на 30%.

3. Изготовление клееных свай

Изготовление клееных пакстов, предназначенных для свай, производилось на деревообделочных предприятиях Министерства морского флота [18], в цехах, оборудованных для этой цели.

Запрессовка осуществлялась с помощью гвоздей и в опытным порядке на стенде с винтовыми зажимами.

Преимуществом первого способа, несмотря на его трудоемкость, является то, что свая в процессе сборки занимает место на верстаке сравнительно короткое время (15—60 мин), после чего она может быть перемещена на стенд для выдержки в течение времени, необходимого для отверждения клея.

При изготовлении по второму способу необходима выдержка в прессе свай в запрессованном состоянии в течение 7—8 ч, что нерентабельно; поэтому целесообразно иметь набор из 6—7 не-

реносных стенов-зажимов, транспортируемых с помощью тельфера или на вагонетках.

Представляет интерес особенность склейки широких пакетов с двумя-тремя досками в каждом ряду. Такого рода клееные пакеты были использованы в качестве свай в гидротехническом строительстве [17]. В гражданском строительстве они могут найти применение в виде стоек и колонн, а также в виде мачт при строительстве линии электропередач (рис. 64).

Применение пневматических молотков для забивки гвоздей позволит сократить трудоемкость запрессовки. Этот способ может стать вполне целесообразным, особенно если иметь в виду возможность программированной забивки гвоздей. Учитывая большую длину свай и наличие в каждом слое, состоящем из двух и трех досок (табл. 32), 6—9 стыков на «ус», независимо от способа запрессовки необходима предварительная склейка каждой нитки досок. При склейке на «ус» можно пользоваться винтовыми зажимами. Выдерживание в зажимах может быть сокращено при устройстве местного подогрева зажатых стыков до температуры 50—60°C. При наличии шипорезных станков и высокочастотной установки целесообразно использовать стыкование шипов досок на зубчатый шип, как более производительное. Зубчатые стыки выполняются с длиной зуба 30—50 мм, с шагом 8—12 мм и с затуплением конца зуба 0,3 мм.

На Московском деревообрабатывающем комбинате № 3 Главмостроя действует поточная линия для склейки заготовок столярных изделий. Продолжительность склеивания на высокочастотной установке английской фирмы «Филдинг» составляет 1—5 мин [16]. Перед сборкой на кле следует предварительно подготовить весь пакет, собрав его насухо на параллельно расположенном верстаке с целью ускорения сборки на кле и проверки плотности прилегания досок по пласти и по кромкам по избежание могущих быть непроклеек.

Нанесение клея удобнее всего производить упомянутым выше пистолетом КВС-2 или двухконцовым пистолетом.

Применение клеонамазывающих вальцов типа KB-2 и KB-20 при изготовлении свай или клееных пакетов иного назначения менее удобно, так как после прохождения досок через вальцы необходима еще дополнительная промазка кромок.

Лучшее качество склейки при запрессовке широких пакетов в винтовых прессах получается при наличии двух прижимных площадок, которые обеспечивают запрессовку по всей ширине пакета (рис. 65).

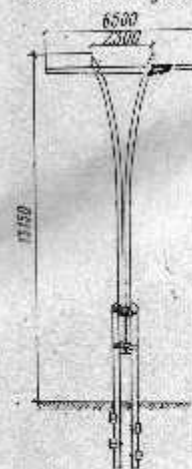


Рис. 64. Схема клееной мачты для линии электропередач



Рис. 65. Поперечное сечение клееных свай при запрессовке в прессе

а — при наличии одного прижима; б — при наличии двух прижимов

При сборке пакета обычно получается некоторая разница в толщине досок, расположенных в одном ряду; при одной прижимной площадке происходит неравномерная запрессовка досок.

Следует иметь в виду, что при запрессовке широких пакетов в винтовых прессах требования к качеству обработки пиломатериала несколько выше, чем при запрессовке гвоздями. При сборке на гвоздях каждый слой досок поочередно прижимается к нижележащему слою; поэтому при наличии в одном слое досок

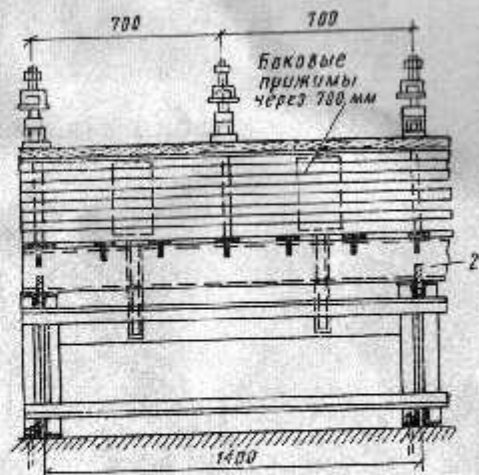
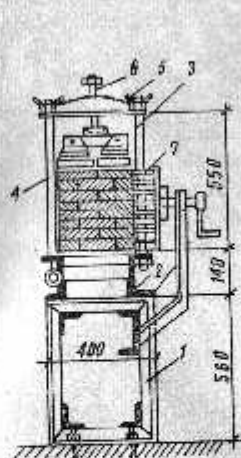


Рис. 66. Винтовые зажимы для запрессовки свай
а — основание; 2 — съемная рама с винтовыми зажимами; 3 — стойка зажима; 4 — откидная стойка; 5 — верхняя планка рамы; 6 — винт; 7 — боковые прижимы

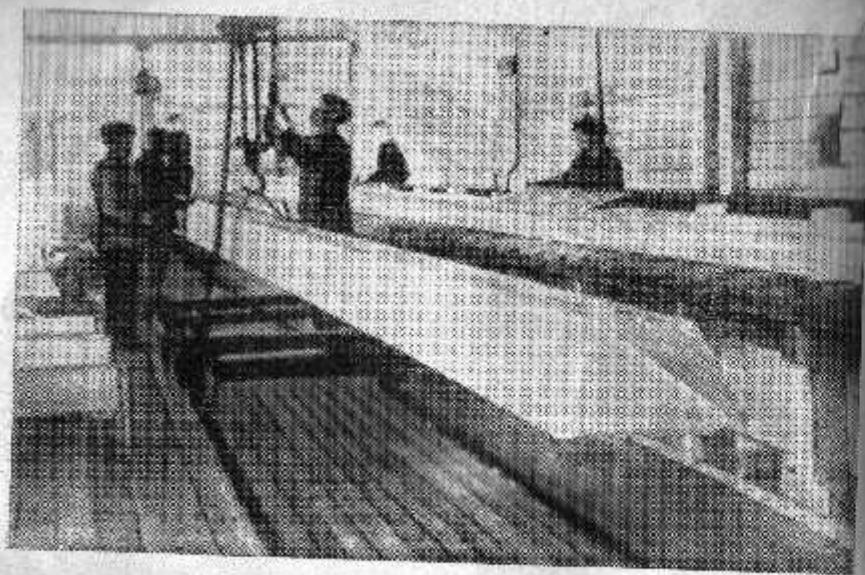


Рис. 67. Клееная свая сечением 290×290 мм, длиной 20 м

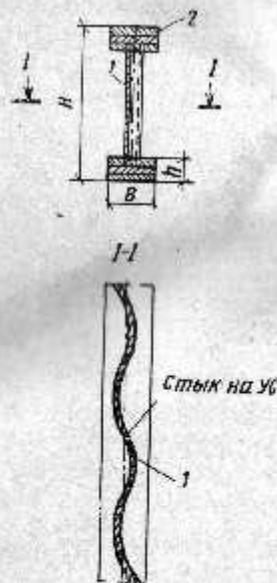


Рис. 68. Клефанерная балка
1 — волнистая стенка из фанеры; 2 — клеевые пояса из досок

с разницей в толщине порядка 0,2—0,3 мм непрочности могут быть частично устранены путем дополнительной подтяжки гвоздями верхней доски к нижней. В винтовых же зажимах (рис. 66) запрессовка всего пакета происходит сразу и ликвидировать непрочности путем прижатия отдельной доски не удается.

По данным опыта изготовления клееных свай и шпунта на предприятиях Министерства морского флота [18] были получены данные о трудоемкости этих работ (табл. 32). В норму времени на изготовление свай и шпунта включены работы по сортировке пиломатериала, подноске его к станкам, обработке, снятию свай или шпунта с верстаков, надеванию башмаков и бугелей и вывоза готовой продукции из цеха.

Из табл. 32 видно, что трудоемкость увеличивается с увеличением длины свай и уменьшением толщины досок. На рис. 67 представлена клееная свая сечением 290×290 мм, длиной 20 м.

В процессе проектирования клееных несущих конструкций все основные по-

казатели, характеризующие данный тип конструкции — поперечное сечение, длина, толщина досок или брусков, способ стыкования их по длине и др., — должны быть согласованы и увязаны с возможностью организации соответствующего технологического процесса, который базируется на имеющемся в наличии оборудовании для обработки пиломатериала, склейки и запрессовки конструкций. Имеются примеры, когда поступивший на производство проект клееной конструкции подвергался изменению, которые диктовались технологическим процессом. Так, при изготовлении трехшарнирных клееных рам типа «Бумеранг» полурамы собирались из тонких досок толщиной 20—25 мм. Процесс был достаточно трудоемок и требовал большого расхода клея; в связи с этим был предложен и осуществлен другой, менее трудоемкий, вариант изготовления этих рам из более толстых досок (35—45 мм) со стыкованием стоек и ригелей в углах с фанерными накладками [13].

В последнее время за рубежом находят широкое применение в сельскохозяйственном складском и промышленном строительстве клефанерные балки с волнистой стенкой (рис. 68). В ФРГ, Великобритании, Финляндии и других странах разработано и внедрено технологическое оборудование для поточного выпуска клефанерных балок пролетом до 14 м. В Москве на Международной выставке «Стройматериалы-71» такие конструкции экспонировались финской фирмой «Аалтопаки». Производительность поточных линий по изготовлению балок с волнистой стенкой на заводах ФРГ достигает 10 м/мин. Ежегодно в ФРГ производится более 1 млн. пог. м таких балок [30].

Глава V

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПО ПРИМЕНЕНИЮ КЛЕЕНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Одной из побудительных причин применения клееных балок является дефицит круглого леса необходимых диаметров для изготовления балок цельного сечения. В ряде случаев пиловочник, доставляемый на деревообрабатывающие предприятия, — маломерный, диаметрами от 14 до 18 см, в то время как для изготовления балок из брусков необходим высококачественный крупномерный пиловочник. Для пролетов 4—5 м балки вынуждаются из бревен $d=24$ см; для пролетов до 5,5—6 м необходим пиловочник $d=26$ см.

В послевоенный период при дефиците крупномерного леса клееные балки применялись в значительных объемах в жилом

и гражданском строительстве в Севастополе, Одессе, Брянске, Днепрпетровске и других городах.

На рис. 69 представлены схемы разделки маломерного пиловочника, а на рис. 70, а, б, в показан общий вид клееных балок. Из полученного при распиловке набора досок и брусков можно изготовлять довольно обширный сортимент клееных балок, представленных в табл. 30. В ней показаны клееные балки двутаврового профиля и для сопоставления с ними балки из брусьев с близкими по величине моментами сопротивления.

Как видно из таблицы, расход пиломатериалов на изготовление клееных балок, одинаковых по несущей способности с балками из брусьев, ниже на 22—36%.

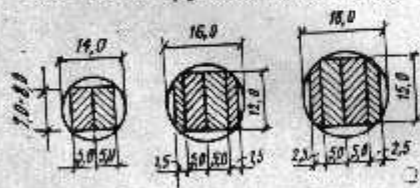


Рис. 69. Схемы разделки маломерного пиловочника

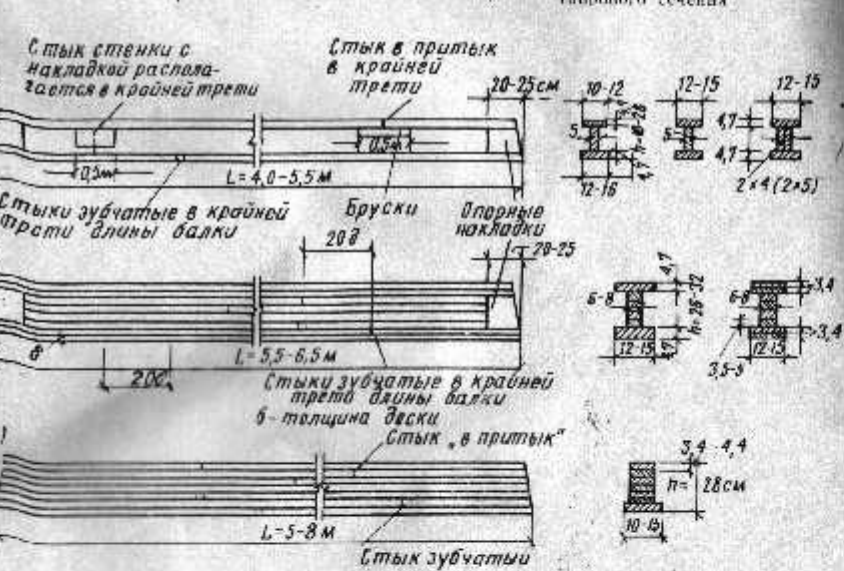


Рис. 70. Типы клееных балок
а — балки двутаврового и рельсовидного профилей со стенкой из досок; б — то же, со стенкой из брусков; в — проемы извращенного сечения

Размеры балок из брусьев, приведенные в табл. 30 (колонка 11), отличаются от принятого сортимента и от балок по ГОСТу. Если же сопоставить расход лесоматериала на клееные балки с балками по ГОСТу, то экономия лесоматериала будет более значительной. По данным калькуляций, составленных некоторыми ДОКАми, относительная трудоемкость изготовления клееных балок при опрессовке гвоздями по отношению к балкам из брусьев равна примерно 1,70.

Основные характеристики клееных двутавровых балок, выполненных из досок от распиловки брусен диаметром 14—18 см									
№ п/п	Сечение клееных балок	Расход материалов			Соотношение: требуемое сечение бруска по ГОСТ 4981-49 к диаметру бруска	P, см² бруска	W, см³	% экономия при использовании клееных балок	Балки по ГОСТ 4981-49
		гвоздей	1 м³ на 1 м²	1 м³ на 1 м²					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		166	173	7 360	736	0,0166	0,10	4,5/125	0,22
2		171	180	8 360	796	0,0171	0,10	4,5/125	0,22
3		204	215	11 620	1054	0,0204	0,10	4,5/125	0,22
4		214	225	14 750	1225	0,0214	0,10	4,5/125	0,22

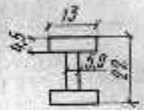
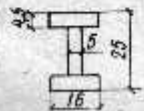
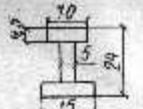
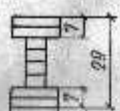
№ п/п	Сечение клеевых балок	F, см ² из стропильных досок	P, см ² из стропильных досок	l, см ²	W, см ³	Объем стропильной древесины на 1 м ³ бруса	Расход материалов			Соответствующее сечение бруса по W и необходимая диаметр бруса	P, см ² бруса	W, см ³	% экономии древесины в клееных балках	Балки по ГОСТ 4081-49	W, см ³
							брус	доска	гвоздей						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
5		219	230	6350	1310	0,0219	0,40	4,5/125	0,53		336	1340	35,1		1533
6		270	303	29950	1780	0,0270	0,40	4,0/100	0,42		432	1728	30,7		1920
7		290	310	23060	1690	0,0290	0,40	4,5/125	0,53		432	1728	28,4		1920

№ п/п	Сечение клеевых балок	F, см ² из стропильных досок	P, см ² из стропильных досок	l, см ²	W, см ³	Объем стропильной древесины на 1 м ³ бруса	Расход материалов			Соответствующее сечение бруса по W и необходимая диаметр бруса	P, см ² бруса	W, см ³	% экономии древесины в клееных балках	Балки по ГОСТ 4081-49	W, см ³
							брус	доска	гвоздей						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
8		330	374	27800	1915	0,033	0,70	4,5/125	0,53		480	1920	21,5		1920
9		330	368	27800	1915	0,033	0,46	4,5/125	0,53		480	1920	23,5		1920

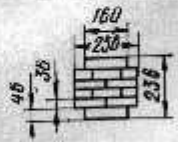
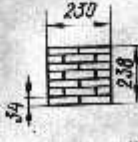
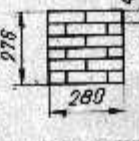
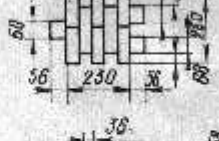
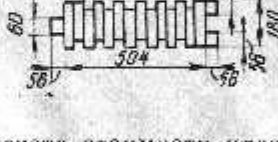
Примечание. Размеры бруса в колонке 11 даны без учета ГОСТа на балки и без учета сортамента, в колонке 15 даны балки по ГОСТу.

По данным ДОК № 2 в Северодвинске, экономия древесины при замене балок сечением 22×10 клееными балками таврового сечения 22×15 составила 22,7%. По данным Костоловского комбината, экономия древесины составляла 23,5%. Трудоемкость изготовления клееных балок различных типов показана в табл. 31.

Таблица 31
Трудовые затраты на изготовление 1 м³ клееных балок при гвоздевой запрессовке

№ п/п	Тип балок	Количество чел.-час	Место изготовления
1		14,5	Док. № 2, Северодвинск
2		12	Охтинский ДОК, Ленинград
3		12,5	Костоловский комбинат (по данным инж. Крен)
4		13,4	Охтинский ДОК, Ленинград
5		15,3	ДОК № 2, Северодвинск
6		15,7	То же

Нормы времени на изготовление свай и шпунта

№ п/п	Наименование	Сечение конструкции	Длина в м	Объем 1 сваи в м ³	Разряд рабочих	Норма времени на 1 сваю в чел.-час	Норма времени на 1 м ³ изделий в чел.-час
1	Свая		13	0,622	IV—V	15,6	25
2	"		8	0,438	IV—V	13,14	30
3	"		15,5	1,198	IV—V	37,15	22,6
4	"		20	1,67	IV—V	59,5	35,6
5	Шпунт		12	0,747	IV—V	22,3	30
6	"		9	0,752	IV—V	19,55	26

При подсчете стоимости клееных балок и балок из брусев следует учитывать:

а) разницу в стоимости обычного маломерного пиловочника $d=15-18$ см, используемого для изготовления клееных балок, и высококачественного пиловочника $d=23-26$ см;

б) экономии древесины, составляющую не менее 22%.

По калькуляциям, составленным рядом предприятий, стоимость 1 м³ клееных балок примерно равна стоимости 1 м³ балок из брусьев или несколько ее превышает.

По сборнику цен Главмостстроя (ч. V, разд. 12, 1961 г.), с учетом удорожания лесоматериалов на 1969 г. (9%), стоимость балок из брусьев составит 41,09 руб. на 1 м³. Если учесть экономию в древесине 22% при применении клееных балок вместо балок из брусьев, то для одного и того же участка перекрытия потребуется 1,22 м³ балок из брусьев стоимостью $41,09 \times 1,22 = 50,13$ руб. Стоимость 1 м³ клееных балок по тому же сборнику цен, с учетом удорожания на 1969 г., составит — 50,36 руб., т. е. стоимость балок обоих типов примерно одинакова.

Наблюдающийся недостаток в длинномерном свайном лесу, трудность его заготовки и высокая стоимость обусловили применение в строительстве гидротехнических сооружений клееных деревянных свай и шпунта. Клееные сваи и шпунт могут быть выполнены любых необходимых размеров, из коротких досок малых поперечных сечений, полученных при распиловке короткомерного леса небольших диаметров. Форма свай и шпунта по поперечному сечению и по длине может быть назначена наиболее выгодной в зависимости от условий их работы (работы по применению клееных свай и шпунта проводились под руководством д-ра техн. наук проф. М. Е. Кагана).

Известны случаи применения свай большой несущей способности (до 30 т) сечением 320×288 мм и длиной 18 и 20 м. Технико-экономическое сопоставление обычных деревянных свай и шпунта с клееными дано в специальном разделе книги «Клееные сваи и шпунт» [18]. В настоящей главе в табл. 32 для иллюстрации приводятся нормы времени на изготовление свай и шпунта.

Изготовление клееных балок, свай и шпунта до сих пор производилось в обычных цехах деревообрабатывающих предприятий, приспособленных для этой цели, при ручной сборке и запрессовке гвоздями.

При изготовлении клееных элементов в специально оборудованных цехах, снабженных сушильными камерами, оборудованных станками для стыкования по длине, высокочастотными установками и вальцовыми или гидравлическими прессами и т. п., трудоемкость изготовления клееных элементов и их стоимость значительно снизятся.

Список литературы

1. Дандбеков С. Д. Восстановление деревянных покрытий и перекрытий. Изд-во Мин-ва коммунального хозяйства РСФСР, 1962.
2. Спесивцев Г. В. Деревянные конструкции. Госстройиздат, 1962.
3. Колетков Д. А. Иллюстрация древесины газом. «Строительная промышленность», 1965, № 1.
4. Champion P. I. Wood frame building. «Chemical Metallurgical Engineering», 1941, may.
5. Указания по применению деревянных конструкций в условиях химически агрессивной среды. Стройиздат, 1966.
6. Перелыгин Л. М. и Леонцов А. Х. Механические свойства и испытания древесины. Госстройиздат, 1934.
7. Катан М. Е., Катан М. Е., Спесивцев Г. В., Освенский Б. А., Сидяков Ю. В. Индустриальные деревянные конструкции, примеры проектирования. Стройиздат, 1967.
8. Губенко А. В. Клееные конструкции из досок. Госстройиздат, 1949.
9. Губенко А. В. Клееные деревянные конструкции. Госстройиздат, 1957.
10. Берсая Г. Д. Некоторые вопросы прочности клееных соединений при склеивании элементов под углом. Отчет Ленинградского инженерно-строительного института за 1953 г.
11. Леонтьев Н. Л. Упругие деформации древесины. Гослесбуиздат, 1962.
12. Штейнберг С. Е. Опыт производства клееных деревянных конструкций. Доклад на конференции 1963 г. в Новосибирске.
13. Ахмангальский Б. А. и Павлов А. И. Клей и деревянные клееные конструкции в речном судостроении. Речиздат, Л., 1953.
14. Инструкция по проектированию и изготовлению клееных деревянных конструкций и строительных деталей (СН 11-57). Госстройиздат, 1958.
15. Ковалчук Л. М. и Пресображенская И. П. Клееные деревянные конструкции. Мил-30 лесной и деревообрабатывающей промышленности СССР, 1960.
16. Инструкция по проектированию, изготовлению и применению клееных деревянных свай и шпунта в гидротехническом строительстве. Авторы Катан М. Е., Соколовский Б. С. Госстройиздат, 1952.
17. Катан М. Е., Соколовский Б. С., Яковлевский С. Д. Клееные сваи и шпунт. Изд-во «Речной транспорт», 1965.
18. ГОСТ 6336-52. Лесоматериалы. Методы физико-механических испытаний древесины.
19. СНиП 11-В.1-82 «Деревянные конструкции. Нормы проектирования».
20. Исаев В. Ф. Проблемы долговечности деревянных конструкций. Госстройиздат, 1950.
21. Отчет лаборатории деревянных конструкций НИИ-200 по теме «Применение деревянных конструкций в цехах, где по условиям коррозии применение стали и железобетона исключено». Автор Б. С. Соколовский, 1959.
22. Научно-технический отчет по теме «Применение деревянных конструкций в цехах с агрессивными средами, где по условиям коррозии применение металла и железобетона исключено». Составлен лабораториями деревянных конструкций ЦНИИСК и НИИ-200. Авторы Б. С. Соколовский и Б. П. Гусев, 1960.
23. Фесик С. П. Справочник по сопротивлению материалов. «Будильника», Киев, 1970.
24. Коченев В. М. Несущая способность элементов и соединений деревянных конструкций. Госстройиздат, 1963.
25. Клинов И. Я. Дерево как материал для химической аппаратуры. Госхимиздат, 1966.
26. Центральный Институт типового проектирования. Альбом типовых проектов трехшарнирных арок из гнимолинейных элементов со стальными затяжками для пролетов в 12 и 18 м. Серия 1860-2, вып. 1, 1972.
27. Клинов И. Я. Деревянные конструкции поточного производства в зарубежном строительстве. ЦНИИ по гражданскому строительству и архитектуре (Ротарианское изд.), 1972.

Оглавление

	Стр.
Предисловие	3
Глава I. Долговечность деревянных конструкций и мероприятия по продлению срока их эксплуатации	5
1. Балки в междуэтажных и чердачных перекрытиях	5
2. Гвоздевые балки с перекрестной стенкой	7
3. Деревянные фермы	15
4. Усиление конструкций цельных, гвоздевых балок и ферм	31
5. Усиление конструкций клееных трехшарнирных арок	39
Глава II. Деревянные конструкции в агрессивных средах	41
1. Состояние конструкций покрытий цехов химических и химико- металлургических заводов	42
2. Прочность древесины в агрессивных газовых средах	47
3. Результаты обследования древесины несущих конструкций и испытаний стандартных образцов	56
Глава III. Клееные деревянные конструкции	62
1. Крупнопанельные клееные фермы и арки	62
2. Склейка под углом	72
Глава IV. Изготовление клееных конструкций	102
1. Общие сведения	102
2. Изготовление клееных балок	103
3. Изготовление клееных свай	107
Глава V. Техничко-экономические данные по применению клееных конструкций в строительстве	111
Список литературы	119

Цена 38 коп.