

Г.Е.Панов

ОХРАНА ТРУДА

при разработке
нефтяных
и газовых
месторождений

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебника для студентов вузов, обучающихся по специальностям «Технология и комплексная механизация разработки нефтяных и газовых месторождений» и «Бурение нефтяных и газовых скважин»



МОСКВА «НЕДРА» 1982

Панов Г. Е. Охрана труда при разработке нефтяных и газовых месторождений. Учебник. М., «Недра», 1982, 246 с.

Показаны значение охраны труда и последние достижения в области его безопасности. На основе системного подхода проанализированы факторы, определяющие безопасность производственных систем, причины травматизма, аварий, профотравлений и заболеваний в зависимости от характера деятельности человека. Описаны методы анализа, расследования и учета травматизма. Рассмотрена организационная структура и функции административной, технической, спасательной и санитарной служб безопасности на предприятиях. Освещены вопросы регламентации режима труда и отдыха, нормативы и правила по охране труда.

Книга предназначена в качестве учебника для студентов вузов, обучающихся по специальности «Технология и комплексная механизация разработки нефтяных и газовых месторождений».

Табл. 19, ил. 59, список лит.— 41 назв.

Рецензенты:

кафедра охраны труда АЗИНЕФТЕХИМа им. М. Азизбекова,
инж. *В. Н. Хоботко* (Миннефтепром)

Курс охраны труда в технических вузах является дисциплиной, комплексно изучающей правовые, санитарно-гигиенические, инженерно-психологические, естественно-научные, экологические и другие вопросы, связанные с производственной деятельностью человека. Труд и условия, в которых протекает трудовая деятельность, рассматриваются во всех аспектах безопасности человека и производства. При этом изучаются все материальные, энергетические, информационные и другие факторы, воздействующие в процессе труда на работоспособность и здоровье человека, типичные производственные системы с их основными компонентами человек — машина — среда.

Задачи охраны труда решаются во взаимосвязи с технологическими процессами и оборудованием, свойствами веществ и особенностями производственной среды.

Основной целью курса охраны труда является определение и профилактика производственных опасностей (внезапное разрушение оборудования, несущих конструкций, взрывы, пожары, аварийные утечки токсичных веществ), профессиональных вредностей (чрезмерные мышечные и нервно-психические напряжения отдельных органов и систем организма, монотонность труда, нерациональная рабочая поза, неблагоприятные метеорологические и другие условия), случаев травматизма, аварий и отравлений. В конечном счете целью охраны труда является разработка научных основ безопасной деятельности человека, коллективных и индивидуальных средств защиты его в процессе труда.

Охрана труда — это, кроме того, система законодательных актов и соответствующих им социально-экономических, технических, гигиенических и организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

В ходе научно-технической революции значение охраны труда, как и всего комплекса наук о человеке, быстро возрастает. Обусловлено это интенсивным воздействием технического прогресса на содержание и характер производственной деятельности человека, повсеместным переходом ее из сферы простой физической работы в сферу сложной чувственно-двигательной, интеллектуальной деятельности.

Известно, что развитие общества выражается прежде всего в безостановочном развитии человеческой деятельности. Научно-технический прогресс порождает новые проблемы в области безопасности. Для каждого исторического этапа характерны свои проблемы: для примитивной технологии еще на заре

человеческой цивилизации возникли санитарно-гигиенические проблемы, кустарное производство породило различные виды профессиональной патологии, машинная индустрия — производственный травматизм, научно-техническая революция — психические заболевания. Исторический опыт показывает, что не трудовые процессы сами по себе, не машины или пробелы в навыках человека, а производственные отношения данного общественного строя определяют в конечном счете действительные условия труда.

По этой причине условия труда в социалистическом обществе коренным образом отличаются от условий труда в капиталистических странах. В социалистических странах средства производства принадлежат всему народу, полностью исключается эксплуатация человека человеком, труд является важнейшей потребностью человека.

В основе производственных отношений в капиталистических странах лежит частная собственность на орудия и средства производства, беспощадная эксплуатация человека человеком, неудержимая погоня за прибылью.

Современное производство, любой технологический процесс состоит из последовательного ряда образующихся, функционирующих и разрушающихся человеко-машинных систем (ЧМС) разной степени сложности. Деятельность человека в структуре этих систем можно представить в виде бесконечного ряда возникающих проблем, принимаемых и реализуемых решений. Современный человек действует одновременно в физической (двигательной), психофизиологической (чувственно-двигательной) и психической (умственной) сферах, нередко при больших технических, информационно-пространственных, временных и других ограничениях. Эффективность и безопасность трудовой деятельности в значительной степени зависят от типа системы, числа и сложности задач, решаемых в единицу времени, характера и структуры связей между компонентами системы.

Во всяком современном промышленном продукте (1 т добытой нефти, 1 м пройденной скважины) реализуются одновременно труд человека, работа машины, свойства и реакции сложной производственной среды. Зарождение, формирование и проявление производственных опасностей и вредностей происходит в структуре ЧМС при решении разноплановых задач человеком и машиной в различной производственной среде. Поэтому причина несчастного случая всегда включает одновременно человеческий, машинный и объемно-пространственный факторы и должна изучаться на основе системного метода.

В структуре действующей системы функции человека, машины и среды тесно связаны между собой и взаимообусловлены. Условия безопасной и эффективной деятельности человека предполагают в этой связи разностороннюю согласован-

ность основных компонентов системы между собой и системой в целом. Достижение такой согласованности возможно только на основе комплексных исследований рабочего места, организации трудовых процессов, операций и приемов, опасных и вредных работ. Только научно организованный труд, при котором обеспечиваются нормальные условия для работы, наиболее целесообразное использование производственных навыков, творческих способностей человека и рабочего времени устраняет чрезмерное напряжение, утомление и вредные воздействия на работающего окружающей среды, а выполняемая работа становится безопасной. В этом сущность глубокой внутренней связи охраны труда с научной организацией труда (НОТ).

Охрана труда также изучает порядок учета и расследования производственных несчастных случаев, физическую природу акустических, радиационных, метеорологических и других факторов, инженерно-психологические свойства современной техники, надежность сосудов, работающих под давлением, влияние на работоспособность, здоровье и поведение человека геофизических факторов — радиации Солнца, лунного тяготения и др.

Разработка указанных проблем невозможна без знания физики, математики, химии, экологии, профессиональной патологии (наука о влиянии неблагоприятных условий труда на состояние здоровья человека), промышленной токсикологии (наука о влиянии ядовитых веществ на организм человека), инженерной психологии (психологические аспекты современной техники, технологии), физиологии труда (наука о функциональном состоянии организма), эргономики (наука о законах работы человека в системе человек—машина—среда).

В нашей стране уделяется исключительное внимание вопросам охраны труда. Всемирное оздоровление и облегчение условий труда КПСС и Советское правительство рассматривают как одну из главных задач подъема народного благосостояния. В Конституции СССР (ст. 21) записано, что государство заботится об улучшении условий и охране труда, его научной организации, о сокращении, а в дальнейшем и полном вытеснении тяжелого физического труда на основе комплексной механизации и автоматизации производственных процессов во всех отраслях народного хозяйства.

В условиях социалистического строя разработана и широко реализуется на предприятиях система мер по охране труда, включающая трудовое законодательство, стандарты безопасности труда, правила и нормы, а также комплекс социально-экономических (планы НОТ и социального развития), гигиенических и организационных мероприятий, обеспечивающих здоровые и безопасные условия труда каждому советскому человеку. При этом имеется в виду также предотвращение огромного экономического ущерба, который влекут за собой

травматизм, профессиональные заболевания, загрязнение окружающей среды, взрывы, пожары, крупные аварии.

Разработкой актуальных проблем безопасности труда и производства в нашей стране заняты институты охраны труда в Москве, Ленинграде, Свердловске, Тбилиси, Иванове, Казани и Ташкенте, специализированные институты и лаборатории отраслевых министерств, а также институты гигиены труда Министерства здравоохранения СССР и союзных республик, НИИ труда Государственного комитета Совета Министров СССР по труду и социальным вопросам, кафедры и лаборатории вузов.

Нефтяная и газовая промышленность относится к отраслям, в которых быстро происходят коренные изменения в производственных функциях человека, в условиях его труда. Отмечается повсеместный переход от инструмента к машине, от машины к системе, от системы к сложному биотехническому комплексу. Причины этого — сложность современной технологии бурения скважин, добычи, транспортирования и подготовки к переработке нефти и природного газа, необходимость широкого применения тяжелого, энергоемкого оборудования, токсичность и взрывоопасность добываемых в настоящее время сернистых нефтей, сероводородсодержащих газов и применяемых реагентов, а также использование аппаратов, работающих при высоких давлении, температуре, все более широкое применение в технологии средств контроля, управления, программирования. Операторы основной группы (бурильщики, помощники бурильщиков, операторы по добыче нефти и газа и др.) иногда выполняют свои производственные функции при дефиците времени и информации, при эпизодическом или постоянном воздействии опасных и вредных факторов (токсичных и взрывчатых газов, жидкостей, электрического тока и др.), труд их связан с большим объемом погрузочных и разгрузочных работ, применением ручных и механизированных инструментов и т. д. Очевидно, что высокое качество подготовки специалистов в этих отраслях, в том числе по курсу охраны труда, имеет первостепенное значение.

Настоящий курс охраны труда состоит из четырех разделов:

- 1) общие вопросы охраны труда;
- 2) охрана труда при разработке нефтяных и газовых месторождений;
- 3) безопасность технологических процессов и оборудования;
- 4) пожаро-взрывобезопасность на объектах нефтяной и газовой промышленности.

К общим вопросам отнесены правовые и организационные вопросы охраны труда, комплекс факторов, определяющих условия труда, уровень безопасной деятельности человека, подходы и принципы при ее проектировании. Раздел охраны труда

при разработке нефтяных и газовых месторождений посвящен основам научного нормирования и обеспечения санитарно-гигиенического, метеорологического, акустического, радиационного, светового и других видов комфорта на рабочих местах. В разделе инженерной охраны труда отражены современные научные достижения в области безопасности машин и оборудования, технологических процессов, спуско-подъемных, транспортных систем. Рассмотрено использование комплексной автоматизации и механизации, роботов, манипуляторов, сигнализационных, предохранительных, регулирующих и других защитных устройств. В разделе пожаро-взрывозащиты описаны современные представления о природе горения и взрыва, пожароопасные свойства нефтей, газов и других веществ, научные основы противопожарной профилактики, взрывозащитное оборудование, профилактика опасных проявлений статического и атмосферного электричества и др.

Задача учебника — дать будущим инженерам необходимые знания научных основ инженерной охраны труда, современных методов профилактики случаев производственного травматизма, аварий, взрывов, пожаров, во всей разносторонней сложности показать трудовую деятельность человека в динамической структуре типичных биотехнических производственных систем, многостороннее согласование в них основных компонентов с эргономическими требованиями, стандартами безопасности труда, правилами и инструкциями.

Раздел первый

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ОХРАНЫ ТРУДА

Глава I

ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ ОХРАНЫ ТРУДА

§ 1. Вопросы охраны труда и Конституция СССР

В нашей стране в области охраны труда достигнуты большие успехи благодаря ликвидации частной собственности на средства производства, построению развитого социалистического общества. Существующая в СССР система трудового законодательства охватывает все основные направления охраны труда — правовые, законодательные, организационные, технические, санитарно-гигиенические и др.

Конституция СССР навечно закрепила основополагающие права советского человека на труд, на отдых, на охрану здоровья, материальное обеспечение в старости. Советское государство обеспечивает своим гражданам свободный выбор профессии и рода занятий, ежегодный оплачиваемый отпуск, гарантированный 7-часовой, а в некоторых отраслях 6-часовой рабочий день, бесплатное медицинское обслуживание и др.

Улучшение условий труда, охрана здоровья советских людей обеспечиваются также развитием и совершенствованием техники безопасности и производственной санитарии, проведением широких профилактических мероприятий, мерами по оздоровлению окружающей среды, развитием научных исследований, направленных на предупреждение и снижение заболеваемости, на обеспечение активной жизни граждан.

Эти положения Конституции как Основного Закона Союза ССР нашли отражение в трудовом законодательстве и широко и полно реализуются в интересах советского народа усилиями партийных, государственных и профсоюзных органов, всех трудовых коллективов нашей страны.

§ 2. Основные законодательные акты по охране труда

В Основах законодательства Союза ССР и союзных республик о труде, принятых Верховным Советом СССР, систематизированы нормы советского трудового права в области охраны и улучшения условий труда. С учетом физиологических особенностей человека, интересов охраны материнства и детства Основы устанавливают специальные нормы по охране труда женщин, запрещают прием на работу лиц моложе 16 лет; для подростков в возрасте от 16 до 18 лет устанавливают продолжительность рабочего времени 24 и 36 ч в неделю и месячный

отпуск в летнее время, запрещают привлекать их к сверхурочной работе, к работе в выходные дни, в неблагоприятных производственных условиях, по переноске тяжестей — грузов массой свыше 16 кг для юношей и 10 кг для девушек.

Для всех работающих во вредных условиях Основы устанавливают сокращенный рабочий день продолжительностью 6 ч, а для некоторых профессий до 4 ч, дополнительный отпуск 6, 12, 18, 24, 30 и 36 рабочих дней, повышение тарифов заработной платы (на 13—33 %), бесплатное лечебно-профилактическое питание, выдачу мыла, мазей (пасты) для мытья и защиты кожного покрова рук, тела и др. Регламентируется проведение медицинского осмотра и порядок возмещения работникам материального ущерба в случае ухудшения здоровья в результате невыполнения правил, стандартов и норм безопасности.

Все трудовые споры на предприятиях СССР рассматриваются и решаются комиссиями по трудовым спорам, фабрично-заводскими и местными комитетами, районными (городскими) народными судами.

Кодексы законов о труде (КЗоТы) РСФСР и других союзных республик разработаны в соответствии с Основами законодательства Союза ССР и союзных республик о труде. В Кодексе указано, что охрана здоровья трудящихся, обеспечение безопасных условий труда, ликвидация профессиональных заболеваний и производственного травматизма составляют одну из главных задач Советского государства. Право на охрану здоровья и безопасные условия труда КЗоТ относит к основному трудовому праву рабочих и служащих. Кодекс требует повсеместного обеспечения здоровых и безопасных условий труда; запрещается ввод в эксплуатацию предприятий, цехов, установок, а также передача в серийное производство технических изделий и оборудования, не отвечающих требованиям правил, норм, стандартов безопасности труда. КЗоТ обязывает администрацию предприятий проводить обучение рабочих безопасным методам труда, инструктажи, контролировать выполнение требований, правил, норм и стандартов, расследовать несчастные случаи и вести их учет.

В соответствии с КЗоТом трудящиеся, в свою очередь, обязаны строго соблюдать технологическую и трудовую дисциплину, КЗоТ устанавливает также порядок использования денежных средств на мероприятия по охране труда.

В Кодексы законов о труде включены: закон о предупредительном надзоре; закон об ответственности руководителей предприятий за производственный травматизм, аварии, нарушения правил, норм и стандартов по охране труда; закон о надзоре по технике безопасности, который возлагается на инспекции; предусматривается право трудящихся на получение

ние спецодежды, средств индивидуальной защиты и профилактического питания.

КЗоТ четко регламентирует следующие положения.

1. Рабочее время трудящихся: недельная норма рабочего времени в СССР 41 ч; на производствах с вредными условиями труда — 36 ч; продолжительность рабочей смены в ночное время на 1 ч короче, чем дневной; сверхурочные работы (за пределами установленных норм), как правило, запрещены и т. д.

2. Время отдыха: перерыв на обед через 4 ч после начала смены; междудневный (междусменный) перерыв не менее 16 ч, еженедельный отдых не менее 42 ч; праздничные нерабочие дни; ежегодный очередной отпуск — 15 рабочих дней с выплатой за время отпуска заработной платы; дополнительный отпуск — по вредности, при длительной работе на данном предприятии, за ненормированный рабочий день, в районах Крайнего Севера и т. д.

3. Трудовой договор: при приеме на работу лиц, достигших 16-летнего возраста, дается испытательный срок от 6 дней до 1 мес.; перевод работника на другую работу без его согласия не допускается (исключение — на срок до 1 мес. с оплатой не ниже среднего заработка); увольнение с работы по инициативе администрации возможно только при согласии профсоюза и по конкретной причине (ликвидация предприятия, сокращение объема работ, остановка работ на срок до 1 мес., систематическое неисполнение работником трудовых обязанностей без уважительных причин, прогул, уголовное преступление или длительная нетрудоспособность).

4. Гарантии и компенсации: сокращенный рабочий день (6 ч), дополнительный отпуск, предоставление государственных пенсий на льготных началах, повышение тарифов заработной платы, лечебно-профилактическое питание, бесплатная спецодежда, медицинское освидетельствование и т. д.

Повсеместное и полное выполнение законодательства по охране труда позволит исключить на предприятиях случаи травматизма и аварии, превратит труд в первую жизненную потребность человека.

§ 3. Государственный надзор и общественный контроль за охраной труда

Высший надзор за исполнением законов о труде на территории СССР осуществляется Генеральным Прокурором СССР и органами прокуратуры. Исполкомы Советов народных депутатов и их отделы контролируют соблюдение законодательства о труде в порядке, предусмотренном законодательством Союза ССР. Министерства и ведомства осуществляют

внутриведомственный контроль подчиненных им предприятий, учреждений, организаций.

✓ Выполнение законов о труде, комплекса правил, норм, стандартов, инструкций по охране труда на предприятиях нефтяной и газовой промышленности контролируется специализированными органами государственного надзора и профсоюзами. Государственные органы и технические инспекции не зависят в своей деятельности от администрации предприятий, учреждений, организаций и вышестоящих органов.

Техническая инспекция труда профсоюзов осуществляет надзор за выполнением требований охраны труда на всех объектах нефтяной и газовой промышленности. Ее представители контролируют выполнение номенклатурных мероприятий, расследуют групповые, тяжелые и смертельные несчастные случаи. Их включают в состав государственных комиссий по приему в эксплуатацию новых предприятий, цехов, установок.

Государственный санитарный надзор за состоянием окружающей среды (атмосферного воздуха, почвы, водоемов), количеством вредных промышленных выбросов, выполнением профилактических мероприятий, за случаями заболеваний, отравлений среди работающих, уровнем производственных вредностей осуществляется санитарно-эпидемиологическими службами (СЭС) Министерства здравоохранения СССР и союзных республик.

Государственный комитет по надзору за безопасным ведением работ в промышленности и горному надзору при Совете Министров СССР (Госгортехнадзор СССР) осуществляет государственный надзор за соблюдением правил по безопасному ведению работ в нефтегазодобывающей, нефтеперерабатывающей и других отраслях промышленности. Госгортехнадзор является союзно-республиканским органом, контролирует соблюдение технологических регламентов, норм, правил, инструкций по технике безопасности, в том числе на пожаро- и взрывоопасных производствах. Органы Госгортехнадзора СССР на местах контролируют соблюдение правил устройства и безопасной эксплуатации паровых котлов и других аппаратов, работающих под давлением более 70 кПа, водогрейных котлов, температура в которых превышает 115 °С; трубопроводов для пара и горячей воды, грузоподъемных кранов и лифтов; контролируют изготовление на предприятиях аппаратов и оборудования котлоагрегатов и спуско-подъемных систем, хранение, перевозку и расходование взрывчатых и радиоактивных веществ и т. д.

Государственный пожарный надзор в СССР возложен на Главные управления пожарной охраны МВД СССР (ГУПО МВД СССР) и союзных республик и их местные органы, находящиеся в системе Советов народных депутатов. Органы

пожарного надзора контролируют выполнение противопожарных мероприятий на всех производственных объектах нефтяной и газовой промышленности, уровень подготовки пожарных служб и исправность средств пожаротушения, соблюдение правил пожарной безопасности при проектировании новых производств; участвуют в приемке и пуске новых производственных объектов.

Энергетический надзор за техническим состоянием электростанций, электрических и тепловых установок, их безопасным обслуживанием осуществляют Госэнергонадзор при Министерстве энергетики и электрификации СССР.

Охрану всех водных бассейнов в СССР от загрязнения, контроль за использованием вод, качеством вод, сбрасываемых в водоемы, осуществляют Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР, Главное санитарно-эпидемиологическое управление Министерства здравоохранения СССР, Министерство рыбного хозяйства СССР через соответствующие функциональные подразделения.

Представители государственного надзора имеют право приостанавливать работу предприятия (цеха), если она ведется с нарушением установленных санитарных и других норм и правил, накладывать штраф на должностные лица, допускающие нарушения, давать представления об освобождении от работы лиц, систематически нарушающих правила и нормы охраны труда, возбуждать уголовное дело о привлечении нарушителей к судебной ответственности.

Общественный контроль за выполнением законодательства по охране труда обеспечивается общественными инспекторами, которые контролируют на своем производственном участке выполнение законов о труде, правил, норм и инструкций по охране труда, исправность оборудования и инструмента, обеспеченность рабочих спецодеждой, средствами индивидуальной защиты, питьевой водой и т. д. ✓

При каждом комитете профсоюза (фабрично-заводские и местные комитеты) создаются комиссии по охране труда и социальному страхованию, контролирующие соблюдение трудового законодательства, правильность размеров пособий по временной нетрудоспособности и т. д., специально избранные страховые делегаты проверяют правильность выдачи и оплаты больничных листков, ведут учет рабочих и служащих, нуждающихся в специальном или санаторно-курортном лечении и т. д.

§ 4. Правила, нормы, стандарты и инструкции по охране труда

В СССР требования по охране труда разрабатываются на основе действующих законов, результатов научных разработок и положительного опыта работы промышленных предприятий.

Утверждаемые в установленном порядке соответствующими комитетами Совета Министров СССР и министерствами и согласованные с Всесоюзным Центральным Советом Профессиональных Союзов (ВЦСПС) и соответствующими ЦК профсоюзов, эти правила, нормы, стандарты и инструкции приобретают силу закона для всех отраслей (общесоюзные) или предприятий одной отрасли (отраслевые) на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации. В нефтяной и газовой промышленности к таким документам относятся Строительные нормы и правила (СНиП), Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий (СН), Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением, Типовая инструкция по организации безопасного проведения огневых работ на взрывоопасных и взрывопожароопасных объектах, Правила устройства электротехнических установок (ПУЭ), Правила пожарной безопасности при проведении сварочных и других огневых работ на объектах народного хозяйства, Правила изготовления взрывозащищенного и рудничного электрооборудования (ПИБРЭ), Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов, Правила безопасности в нефтегазодобывающей промышленности, Правила безопасности в газовом хозяйстве и др.

В нефтяной и газовой промышленности используется более 170 правил, норм, стандартов и инструкций по разным вопросам, объектам, видам работ и функциональным подразделениям. В нефтяной промышленности, кроме того, действует Единая система работ по созданию безопасных условий труда, согласованная с Госгортехнадзором СССР и утвержденная Министерством нефтяной промышленности и ЦК профсоюза рабочих нефтяной и газовой промышленности.

§ 5. Ответственность за нарушения законов по охране труда

За нарушение трудового законодательства должностные лица несут ответственность: дисциплинарную (административное взыскание), административную (штрафы, накладываемые представителями государственного надзора), гражданскую (взыскание с виновных денежных средств, полностью или частично выплачиваемых потерпевшему от несчастного случая, профессионального заболевания, а также при незаконном увольнении) и уголовную (лишение свободы сроком до одного года или исправительные работы на тот же срок, а при смертельном исходе или групповом несчастном случае — до пяти лет).

На предприятиях ответственность за безопасность труда и производства возложена на первых руководителей (директор и главный инженер).

§ 1. Условия и безопасность труда

Под условиями труда понимают совокупность производственных факторов, оказывающих влияние на здоровье и работоспособность человека в процессе труда.

Воздействуя на человека, они изменяют состояние организма и, как следствие, его производственную активность, работоспособность, состояние здоровья. Под влиянием их формируются три характерных состояния организма человека: нормальное (без тяжелого утомления), пограничное (между нормой и патологией, при нарастающем утомлении) и патологическое (не проходящее переутомление организма, снижение его отдельных функций). В первом случае человек выполняет свою работу, сохраняя в течение всей жизни нормальное здоровье и высокий уровень работоспособности; во втором — в организме работающего развивается опасное утомление, могущее стать причиной полной или частичной потери здоровья, работоспособности; в третьем — у человека, выполняющего чрезмерно сложную, опасную или тяжелую работу, может возникнуть профессиональное или профессионально обусловленное заболевание. Каждое из этих состояний имеет специфические признаки, поддается как медико-физиологической, так и технико-экономической оценке.

Важнейшим фактором в создании безопасных условий труда в нефтяной и газовой промышленности является комплексное научно обоснованное проектирование технологических процессов и оборудования, а также высококачественная подготовка персонала.

При проектировании нормальных условий труда необходимо учитывать, что разные по энергозатратам виды работ предъявляют разные требования к условиям труда; нормальные условия исключают потерю рабочего времени и нанесение ущерба здоровью, жизнедеятельности, приводят к развитию физических и умственных способностей. Напряженность труда зависит от применяемых технических средств, продолжительности рабочего дня, уровня квалификации, социально-экономических условий жизни. Весь этот комплекс факторов нормируется и учитывается современной охраной труда.

Охрана труда изучает причины и обстоятельства несчастных случаев, их распределение по категориям работающих, технологическим приемам, действиям, операциям, типичным человеко-машинным системам, а также травматологические последствия (увечье, смерть, незначительные повреждения тела, его отдельных частей и т. д.), частоту (число несчастных случаев на 1000 работающих) и тяжесть (число потерянных человеко-

дней на один случай) травматизма и т. д. За основу этих исследований принимается: изучение прошлого опыта (причины несчастных случаев и аварий); оценка действующей технологии, техники и условий труда; анализ потенциально существующих опасностей.

Во всех развитых странах мира число профессиональных заболеваний превышает число несчастных случаев. Одной из причин этого является глубокая рассогласованность физических, психофизиологических и психических возможностей человека и требований, которые предъявляет к нему современная технология, техника, окружающая среда. С целью решения этих задач охрана труда использует научные методы гигиены, физиологии, психологии, физики, химии и т. д., выполняет в больших объемах различные исследования — технические (определение содержания вредных веществ в воздухе рабочих помещений, оценка прочности конструкций, их несущих способностей, огнеопасности, анализ качества воды, металлических изделий и т. д.), монографические (детальное описание конструкций машин, технологических процессов, сырья, выпускаемой продукции, вредных выделений, шума, вибрации, радиоактивности и т. д.).

Проблема обеспечения безопасности труда человека может быть решена только на основе комплексных исследований, обобщения прошлого опыта и научного прогнозирования. Охрана труда основательно изучает потенциально существующие, хотя бы и не проявившиеся, производственные опасности и профессиональные вредности, используя для исследования причин и обстоятельств несчастных случаев топографический, статистический, эргономический и другие методы, учитывает самые различные факторы, при непосредственном или косвенном воздействии которых зарождались, формировались и проявлялись опасные производственные ситуации.

§ 2. Факторы, характеризующие условия и безопасность труда

Совокупность опасных и вредных факторов можно разделить на четыре группы, относящиеся соответственно: 1) к деятельности и функциональному состоянию организма человека; 2) к работе и свойствам машин; 3) к составу, реакциям и свойствам производственной среды; 4) к структуре и функции человеко-машинной системы, биотехнического комплекса. Каждая группа факторов и каждый фактор в отдельности отличаются по степени и виду воздействия на работоспособность, безопасность человека, его физическое, психофизиологическое и психическое состояние.

Анализировать условия труда в нефтяной и газовой промышленности целесообразно отдельно по каждой сфере деятельности и характерным для нее факторам.

В методических рекомендациях НИИТруда¹ определены все объективные факторы, характеризующие условия труда. Их явное и скрытое влияние формирует соответствующие медико-физиологические признаки, симптомы в функциональном состоянии организма человека. Анализ этих признаков, их сложного комплексного проявления позволяет количественно оценить (числом баллов) биологическую значимость каждого и всей совокупности факторов условий труда, их вклад в тяжесть и напряженность выполняемой работы.

Количественную оценку тяжести работы выполняют в два этапа: 1) изучают характер взаимодействия компонентов системы человек — производственная среда при получении запрограммированного результата (высокой производительности труда при сохранении здоровья и работоспособности); 2) устанавливают корреляционную связь между компонентами системы с помощью математических моделей, созданных на основе результатов исследований.

Факторы условий труда оценивали по шестибальной шкале, характеризующей соответственно шесть категорий работы во всем возможном диапазоне изменения ее тяжести. Каждому фактору и каждому физиологическому, медицинскому и эргономическому показателю в зависимости от того, к какой группе условий труда и к какой категории тяжести он относится, присваивается балл от 1 до 6. При отсутствии фактора или признака ставят 0. Это позволило впервые количественно охарактеризовать тяжесть труда и с помощью методов численной таксономии (науки о составлении классификаций с помощью математических методов) формализовать (описать аналитически) взаимосвязи между факторами условий труда и соответствующими реакциями на них организма.

§ 3. Роль человека в создании нормальных условий и безопасности труда

Во всякой операторской деятельности в нефтегазодобывающем производстве проявляются только необходимые для решения данной задачи функции и свойства человека (характер, темперамент, интеллект, физические качества, определяющие возможность приспособления работающего к производственной среде, выполняемой работе и т. д.). Избыток требуемых свойств увеличивает продолжительность выполнения задачи, порождает ошибки; недостаток — развивает утомление, делает работу монотонной, опасной. Каждому виду эффективной деятельности соответствует конкретный комплекс анализаторных и исполни-

¹ Количественная оценка тяжести работ. Методические рекомендации. НИИТруда Государственного комитета Совета Министров СССР по труду и социальным вопросам. Изд. НИИТруда, М., 1977.

тельных функций человека: физических (сила, выносливость, рабочая поза, затраты мышечной энергии, темп ее расходования, скорость и точность движений, статическая и динамическая соразмерность частей тела и т. д.), психофизиологических (зрительное, слуховое, осязательное, обонятельное и тактильное¹ различие) и психических (восприятие, представление, внимание, память — кратковременная-оперативная и долговременная, мышление, эмоциональная устойчивость, уравновешенность, уровень ориентации в поведении, выдержка).

Нормальное состояние предполагает полное соответствие свойств и возможностей человека требованиям выполняемой работы; в патологическом состоянии наблюдается рассогласование свойств человека с производственной функцией; в пограничном (между нормой и патологией) состоянии часть свойств и возможностей человека согласована с его деятельностью, условиями труда, а часть — рассогласована. В качестве критерия, характеризующего это соответствие, используются показатели производительности труда (выполнение норм выработки), качество выпускаемой продукции, число сбоев и ошибок в единицу времени и др. Критериями такой согласованности элементов деятельности операторов нефтегазодобывающей промышленности могут, например, быть объем поступающей информации в единицу времени и скорость ее восприятия, число одновременно наблюдаемых объектов и способности оператора сохранять их в сфере внимания, число выполняемых в единицу времени технологических операций, ловкость и быстродействие работающего, величина усилий пальцев, рук, ног и др.

Понятно, что невыполнение этих требований хотя бы по одному фактору ухудшает условия труда, снижает эффективность и безопасность деятельности человека в целом.

Число факторов, влияющих на тяжесть работы и условия труда человека, из-за которых могут произойти ошибки и сбои, бесконечно велико. Конечное число их можно выделить только при дифференциации процесса труда на функциональной (а не материальной) основе. Теоретические предпосылки расчленения, квантификации деятельности человека по функциональному принципу разработаны пока еще недостаточно полно. Проблема адаптации работающих к основным компонентам и системе в целом может решаться в настоящее время только приближенно, в рамках отдельных факторов или их групп, которыми и определяется фактически достижимый уровень эффективности и безопасности труда.

Проявлением вредных или неблагоприятных условий труда является нарастающее, непроходящее утомление. Помимо рез-

¹ Чувственно-двигательная координация, интенсивность мышечных усилий, общая подвижность и ловкость, гибкость и быстродействие двигательных органов.

кого снижения работоспособности, утомление рассеивает внимание человека, замедляет психические процессы по опознанию и переработке информации, ослабляет восприятие и сенсомоторные реакции¹ на различные сигналы. Непосредственной причиной утомления может быть чрезмерная интенсивность труда или его однообразие, монотонность.

Многочисленные исследования показывают, что скорости биохимических процессов и поглощения кислорода человеческим организмом (кислородный запрос — КЗ) прямо пропорциональны числу трудовых движений в единицу времени (интенсивности труда). Физически здоровый человек в зависимости от тренированности в течение 1 мин может потреблять при самой интенсивной работе 3—5 л кислорода (кислородный потолок КП). Условия труда считаются нормальными, если $КЗ < КП$. Развенство этих показателей, а также небольшое превышение КЗ над КП характеризует пограничное функциональное состояние организма человека — между нормой и патологией. Значительное превышение КЗ над КП приводит к кислородной недостаточности, истощению жизненных сил, непроходящему утомлению организма и в конечном счете к патологическим нарушениям. Энергетические затраты в каждом рассмотренном случае составляют: до 630 кДж/ч при легкой работе ($КЗ < КП$), 630—1050 кДж/ч — при работе средней тяжести ($КЗ = КП$); свыше 1050 кДж/ч — при тяжелой работе ($КЗ > КП$).

Нормальные условия труда возможны в пределах нормальной его интенсивности, которая при производительном использовании рабочего времени обеспечивает высокую эффективность труда, не причиняя ущерба здоровью, развитию физических и умственных способностей человека. В каждом конкретном случае она должна быть согласована с индивидуальными особенностями работающего, характером и сложностью выполняемой работы и зависит от продолжительности рабочего дня, уровня квалификации, условий внешней среды и социально-экономических условий жизни (здоровья, питания, жилищных условий, режима труда и отдыха, уровня мотивации и стимулирования и т. д.). Оптимальная интенсивность труда будет определяться также анатомическими, физиологическими и психологическими факторами (склонность к избранной деятельности, прилежание, настроение, внимание, воля и т. д.).

Совпадение во времени и в пространстве двух событий — проявления производственной опасности и нахождения в зоне ее действия человека — приводит к несчастному случаю — травме, увечью (повреждению отдельных органов, расстройству их функций). Травмы классифицируются на механические (ушибы, переломы, порезы), тепловые (ожоги, обмороживание), химические

¹ Сенсомоторные реакции — чувственно-двигательные реакции, возникающие в виде сложного психофизиологического действия работающего в ответ на сигнал.

(интоксикация, химический ожог, поражение), электрические (электрический удар, падение), лучевые (от ионизирующих излучений), комбинированные.

Разнообразные неблагоприятные факторы трудового и производственного процесса, санитарно-гигиенических условий, вызывающие ухудшение здоровья работающих, принято называть производственными вредностями. Заболевания, развивающиеся под влиянием этих вредностей (неудобная рабочая поза, чрезмерные физические, психофизиологические нагрузки, неблагоприятные метеорологические, акустические, санитарные условия и др.), называются профессиональными заболеваниями. На предприятиях нефтяной и газовой промышленности пока еще встречаются случаи заболеваний профессионального характера (пояснично-крестцовый радикулит, полиартрит, остеохондроз, вибрационная болезнь и др.).

Комплексное решение проблемы безопасности труда предполагает проведение научных исследований одновременно по многим направлениям.

§ 4. Роль машинного компонента в условиях и в безопасности труда

Всякая машина¹, технологический процесс, которым человек управляет или работу которого контролирует, предопределяет при прочих равных условиях характер его деятельности, а по многим показателям фактические условия труда. Сложность и тяжесть выполняемой работы определяется в данном случае степенью соответствия: 1) размеров тела человека, его отдельных частей размерам и конструкции рабочего места, органов управления, расстоянию их от человека в характерной рабочей позе и т. д. (антропометрическое соответствие); 2) физических усилий, условий их приложения, траекторий и скоростей движения рук, ног и т. д. физическим возможностям и привычным, стереотипным движениям человека (биомеханическая сфера); 3) фактического уровня чувственно-двигательных способностей и профессиональных навыков характеру и сложности выполняемых им производственных функций (психофизиологическая сфера); 4) объема, структуры и скорости поступающей информации способностям человека по ее приему, опознанию, переработке и принятию решения (психическая сфера). Первая группа факторов определяет рациональность рабочего пространства, вид и сложность рабочей позы; вторая — объем, структуру и тяжесть физической работы; третья — удельный вес и сложность чувственно-двигательного (психофизиологического) компонента, реализуемого в производственной функции; четвер-

¹ Под машиной в данном случае имеется в виду любое техническое устройство, с помощью которого осуществляется связь между человеком и объектом его труда.

тая — насыщенность труда умственно-психическими элементами. Типичная деятельность оператора в нефтяной и газовой промышленности на 15—25 % состоит из элементов первой и второй групп; на 75—85 % из элементов третьей и четвертой групп. Последние две группы являются определяющими в тяжести и психологической напряженности труда, но остаются пока что менее всего изученными в современной охране труда.

В структуре любой производственной системы машина не должна требовать от человека неравномерного участия отдельных двигательных органов, групп мышц, нерациональной рабочей позы, больших физических усилий или статических напряжений, чрезмерной скорости и точности движений, а также перегружать фактические возможности зрительного, слухового и обонятельного восприятия или вынуждать оператора выполнять свои функции при чрезмерно больших технических, пространственных, временных и информационных ограничениях; ставить перед оператором в единицу времени число задач, превышающее его фактические возможности по их решению. Работа аппаратов и оборудования не должна быть связана с загрязнением рабочего пространства токсичными веществами, шумом, электромагнитными, радиоактивными, тепловыми и другими излучениями. Машина также не должна лишать работающего возможности выбора и смены рабочей позы «стоя» и «сидя» или, например, заставлять оператора выполнять работы при чрезмерном напряжении функций внимания, оперативной памяти, мышления и др.; длительное время работать в ожидании высоко значимых сигналов, принимать решения по неполной информации, при дефиците времени, иметь большое число движущихся, незащищенных элементов, представляющих опасность травмирования.

Техника, которая не исключает хотя бы одну из приведенных здесь перегрузок, не является безопасной и не должна использоваться на предприятиях нефтяной и газовой промышленности.

§ 5. Роль производственной среды в условиях и в безопасности труда

Глубокое, многоплановое влияние на условия труда оказывает производственная среда. Она является самостоятельным объектом изучения современной гигиены, комбинаторики, эргономики, технической эстетики, производственной архитектуры, инженерной психологии и других наук.

Окружающая производственная среда служит для работающего:

- 1) постоянным источником жизненно необходимого для него кислорода;
- 2) основным регулятором температуры его тела, многочисленных биохимических, физиологических и других процессов в организме;

- 3) комплексным фактором, формирующим содержание производственной функции;
- 4) пространством, где зарождаются и проявляются наиболее тяжелые производственные опасности и вредности;
- 5) местом расположения органов управления;
- 6) источником информации.

Для безопасного труда, сохранения здоровья человека одинаково необходимы: нормальный химический состав воздуха, надежность технологического оборудования и правильная конструкция рабочего места, просторность рабочей зоны и ширина проходов. Эффективная деятельность человека практически невозможна, если не выполнено хотя бы одно из этих условий. Известно, например, что при высокой температуре воздуха изменяется работа всех физиологических систем организма, нарушается точность движений. Инфракрасное излучение затрудняет передачу нервных возбуждений, вибрация и шум ускоряют утомление, рассеивают внимание, большая скорость ветра угнетает нервную систему. Недостаток кислорода замедляет реакции человека на сигналы, влияет на выполнение им трудовых движений и т. д. Эти глубокие физические и психофизиологические воздействия снижают надежность деятельности человека, увеличивают число сбоев и ошибок, несчастных случаев и аварий.

Важное значение для условий труда имеют также объемно-пространственные, информационные, топографические, экологические, световые и другие свойства среды.

§ 6. Условия труда в структуре типичных производственных систем

Производственная система — это совокупность действующих объектов, объединенных общим процессом. Структура системы характеризуется составом элементов, узлов, звеньев и их взаимной связью. Объекты (человек, машина, среда) определяют параметры системы: вход, процесс, выход, управление. Управление реализуется в структуре и функции системы с помощью обратной связи и ограничения.

Свойства системы характеризуют параметры объектов, ее внешнее проявление, по которому и формируются знания о системном объекте, его целостной структуре и функции.

Все производственные опасности в нефтяной и газовой промышленности зарождаются в структуре производственных систем. Это означает, что без глубокого знания структуры, функций и свойств систем, их оптимизации невозможно исключить несчастные случаи и аварии.

Между всеми элементами системы, а также между сопряженными системами и подсистемами (компонентами) существуют связи — материальные, энергетические, информационные. Человек в структуре системы является управляющей подсистемой; машина и среда — управляемые подсистемы. Каналы связей могут быть механические (жесткие), гидравлические, пневматические, акустические, оптические, электрические, информационные и т. д. По значимости связи разделяют на: функционально необходимые — первого порядка; дополнительные, улучшающие действие системы — второго порядка;

избыточные, ухудшающие действие системы — случай, когда система содержит ненужные объекты.

Различают простые системы — с обменом между элементами материей и энергией и сложные системы — с обменом материей, энергией и информацией, с разветвленной структурой, разнообразными связями и сложной функцией (производственный процесс). Сбои и ошибки, несчастные случаи и аварии происходят вследствие разрывов или нарушения функционально необходимых связей. В этом проявляется их огромное влияние на условия труда.

Производственный процесс представляет собой бесконечный ряд образующихся, функционирующих и разрушающихся систем, реализующих конкретные цели и функции. Систему можно определить как средство, с помощью которого выполняется процесс решения проблем. В зависимости от характера проблемы процессы могут быть умственными (информационными), умственно-двигательными (контроль, построение) и механическими (действие). В каждом случае будет разным вход, обеспечивающий систему материалом, поступающим в процесс (веществом, информацией, энергией), и выход (результат системного процесса), а следовательно, неодинаковые условия труда.

Процессы определяют текущее состояние всякой биотехнической системы, которое описывается множеством показателей по каждому системному объекту. Изменять процессы, спроектированные человеком, можно только изменением объектов, свойств и связей.

Для того чтобы описать набор объектов, свойств и связей, постулируется сама система, ее структура, функции, параметры.

В физических (технические изделия) и абстрактных (символы) системах процесс существует одновременно на многих уровнях. Иерархия и число подсистем зависят от внутренней сложности системы в целом. Чем сложнее система, тем труднее управлять ею и тем выше вероятность сбоев, ошибок, отказов и поломок.

Системы могут быть централизованными (с доминирующей, главенствующей ролью одной важной подсистемы, значение которой превосходит значение других компонентов) и децентрализованными (важнейшие подсистемы имеют одинаковую ценность), могут действовать параллельно или последовательно. В каждом из этих случаев условия труда человека в их структуре неодинаковы.

Для нефтегазодобывающих предприятий типичными являются человеко-машинные системы, которыми управляет и работу которых контролирует человек. Эти системы, характерные для современного производства вообще, классифицируются по числу людей-операторов, степени и непрерывности участия человека в их управлении и виду связи человека с объектом труда. Человек при этом рассматривается только с точки зрения его сущности, необходимой для управления машиной (человек-оператор). Под машиной в данном случае понимается всякое техническое устройство, преобразующее энергию, материю, информацию.

Согласование основных компонентов выполняется в рамках эргономических (необходимых для осуществления деятельности) свойств человека, машины и среды. Комплекс этих свойств (чувственных, двигательных, психических) определяется характеристиками машины и среды. Функциональное и эмоциональное состояние человека, от которого в основном зависят эффективность и безопасность труда его и целостной системы, обусловлены эргономическими характеристиками среды, физической и информационной нагрузкой, распределением функций между человеком и машиной и полнотой учета человеческих факторов при создании машины и всей биотехнической системы. Этот комплекс факторов определяет фактические условия труда человека-оператора в структуре всякой ЧМС. Разностороннее согласование этих факторов с требованиями одновременно всех компонентов и каждого отдельного компонента с целостной системой на функциональном, структурном, материальном, информационном уровнях определяет подлинную безопасность и эффективность деятельности человека, условий его труда.

Типичные для нефтегазодобывающего производства системы и их анализ рассмотрены ниже.

§ 7. Охрана труда инженерно-технического персонала

Технические, управленческие, социальные и другие проблемы, которые решает в настоящее время инженер-нефтяник, характеризуются большей, чем, например, пять лет тому назад, сложностью и масштабностью. В теории и на практике, в общем и частном он использует сегодня больший объем знаний, перерабатывает более плотную (по числу смысловых единиц в единице времени) информацию, применяет комплексные системные методы. Все это значительно интенсифицировало его психофизиологическую и интеллектуальную деятельность, усложнило мыслительные процессы, увеличило информационные нагрузки на воспринимающие, опознающие, сопоставляющие, программирующие, решающие анализаторы и системы его организма. При этом резко повысилась ответственность за правильность принимаемых решений, «стоимость» ошибок и сбоев, упущений.

В этих новых условиях творческий труд инженера, как и всякий другой труд, нуждается в научно обоснованном нормировании, планировании и управлении. Без нормирования немислимы высокая эффективность и надежность труда инженера в нефтегазодобывающем производстве. Нормирование является главным элементом управления, фактором, определяющим эффективность и безопасность человеческой деятельности. Известно, что если работающему человеку сообщить 2—3 раза в течение смены об объеме выполненной им работы, то производительность его труда возрастет на 20—30 %. Эффективность труда ИТР можно оценивать по затратам времени.

Научно обоснованное нормирование труда ИТР является одним из важных направлений повышения безопасности труда.

Проблема нормирования умственного труда разрабатывается комплексом наук об управлении, в том числе эргономикой, инженерной психологией и др. Основным объектом исследования здесь является психофизиологическая и умственная деятельность специалиста, работа функций внимания, мышления, памяти, восприятия, опознания и др.

В нефтяной и газовой промышленности коэффициенты частоты производственных несчастных случаев среди ИТР и буровиков одинаковы.

Известно, что вероятность несчастного случая, аварий, сбоев, ошибок инженера при работе его в структуре ЧМС равна $2 \cdot 10^{-2}$. Для дорогостоящих производственных систем такой уровень надежности не всегда можно считать достаточным, а следовательно, безопасным.

В первый час рабочей смены здоровый нормальный человек-оператор допускает 7—9 отвлечений с общей продолжительностью 10—12 с. Если после этого не предусмотреть «разрядки» (перерыв в работе, изменение вида деятельности и др.), то во второй час смены число отвлечений (потенциальных ошибок,

сбоев) возрастает до 50—60 с общей продолжительностью 10—120 с.

Вероятность ошибки в течение первого часа равна $3 \cdot 10^{-4}$, в течение второго — $3 \cdot 10^{-2}$. Поддержание надежности работы инженера на уровне первого часа является необходимым условием высокой безопасности его труда.

Фундаментальные инженерно-психологические исследования показывают, что эффективная деятельность ИТР протекает при высокой концентрации его внимания. Это возможно в том случае, если внимание сосредоточено на одном объекте. При чрезмерно большом числе объектов наступает рассеянность внимания, которая является распространенной причиной производственных несчастных случаев, в том числе и на предприятиях нефтяной и газовой промышленности.

Установлено, что чем больше количество информации на единице длины объекта (разнообразие объекта), тем сосредоточеннее при прочих равных условиях внимание человека. Эффективная умственная деятельность возможна при высокой информативности объекта труда. Это обстоятельство не всегда учитывают в условиях труда ИТР. Одна из причин — недостаточная изученность роли, состава, структуры и свойств информации в инженерной деятельности человека. Практика и научные исследования показывают, что одно только слово может ментально изменить состояние работающего человека: повысить его кровяное давление, пульс, температуру тела и даже вызвать травму, психологический криз. Аналогичное действие на человека может оказать любой другой информационный сигнал. Все зависит от содержания и значимости сигнала. Это обстоятельство следует полнее учитывать при изучении условий и безопасности труда инженерно-технического персонала.

Особое значение для работников умственного труда имеют также метеорологические, санитарно-гигиенические и другие факторы окружающей среды. Эргономическими исследованиями установлено, что в условиях повышенной температуры окружающего воздуха мозг человека переориентирует на аварийный режим работу многих физиологических систем. Высокая температура нарушает точность двигательных функций, координацию движений, сенсорные, психические процессы. Интенсивное солнечное излучение затрудняет передачу нервных возбуждений. Длительное воздействие большой скорости ветра (более 5 м/с) угнетает нервную систему. Общая вибрация снижает точность, быстроту движений, ускоряет утомление, ухудшает выполнение функции внимания, оперативной памяти. Недостаток кислорода в воздухе понижает слуховую чувствительность, ухудшает сенсорные реакции, ограничивает подвижность и т. д. Все это также необходимо учитывать при нормировании режима труда ИТР.

Большое влияние на эффективность творческой деятельности

специалиста оказывают объективные «недостатки» некоторых анализаторных систем человека. Отдельные участки человеческого мозга, например, в зависимости от характера воспринимаемой информации имеют разные по времени периоды возбуждения. Если информация была использована человеком для выработки решения, «след» прохождения ее в соответствующем участке мозга сохраняется в течение 10 с; если сообщение было просто принято к сведению — только 1 с. Аналогичные «следы», «задержки» характерны для зрительного восприятия, мышления и т. д. Поскольку человек вообще не может выполнять более одной психической операции одновременно, то эти «задержки» во многих случаях являются причиной сбоев и ошибок работающего. В условиях возрастающей интенсивности труда современный инженер чаще ошибается не потому, что не воспринял необходимой информации, а потому, что не успевает вовремя забыть уже использованную и т. д.

Аналогичные сбои и ошибки могут быть в функциях мышления, памяти и т. д.

В гигиене труда уделяется большое внимание изучению влияния на состояние и работоспособность человека состава атмосферы, метеорологических условий, уровня шума, освещенности, ионизирующих излучений и т. д., но совершенно недостаточно исследовано воздействие на человека информационного фактора, хотя воздействие информации на состояние и поведение человека может быть значительно более глубоким и опасным, чем перечисленных выше факторов в характерных пределах их изменения. Известно, что не следует допускать длительного сосредоточения внимания на одном объекте, чрезмерно быстрого переключения его с одного объекта на другой. Во всех случаях ИТР не должны прилагать больших волевых усилий для концентрации внимания, поиска информации в памяти и др., так как эти усилия утомляют человека, снижают надежность и эффективность его трудовых действий, увеличивают число ошибок и сбоев. Число переключений внимания в единицу времени характеризует напряженность труда и должно нормироваться во всех видах операторской деятельности. При этом перегрузка внимания также вредна, как и недогрузка. Недостаток информации (редкие сигналы) расхолаживает, демобилизует работающих.

Нормирование условий умственного труда инженерно-технического персонала является актуальной научной проблемой, которая должна быть решена современной охраной труда.

§ 8. Комплексное проектирование безопасных условий труда на нефтегазодобывающих предприятиях

Производственная деятельность человека-оператора в нефтяной и газовой промышленности сложна и имеет тенденцию к дальнейшему усложнению. При выполнении своей производст-

венной функции бурильщик, например, контролирует, управляет, решает, воспринимает, замеряет, собирает, разбирает, определяет, испытывает, ловит, предвидит, предупреждает и т. д. При этом он имеет дело с людьми, машинами, приборами, системами, сигналами, задачами, измерениями, автоматизированными инструментами и др. Операторская деятельность бурильщика отличается большой сложностью и разнообразием. Частые переходы из одной биотехнической системы в другую изменяют содержание и условия его труда; быстрая смена производственных операций, решаемых задач вовлекает в деятельность все новые системы и функции его организма. Наряду с неравномерностью физических, информационных и других нагрузок это предъявляет высокие требования к его профессиональной подготовке (опыт, стаж, тренировка), работоспособности, выносливости, надежности. Установлено, в частности, что 20 % травм, регистрируемых ежегодно среди этой категории рабочих, происходит из-за того, что пострадавший растерялся в опасной ситуации; 30 % — из-за его ошибочных действий.

Считается, что нормальный человек из 100 оперативных производственных решений два решения принимает ошибочных. Фактическое число ошибок значительно больше указанного и обусловлено рассогласованием профессиональных качеств работающего с требованиями, которые предъявляет выполняемая работа. Удельная значимость профессионально важных свойств человека в его эффективной деятельности характеризуется приведенными ниже данными.

Коэффициент
корреляции
с успешностью
работы

Психологические качества

Устойчивость внимания	0,40
Кратковременная память на числа	0,35
Переключаемость внимания	0,30
Объем внимания	0,24
Репродуктивное мышление	0,20

Физические качества

Частота движений	0,47
Выносливость	0,33
Сила	0,25

Если успешность работы характеризовать числом ошибок, то из приведенных данных следует, что 40 % их происходит из-за пробелов в устойчивости внимания, 35 % — из-за недостатков оперативной памяти, 47 % — при реализации двигательных действий и т. д. Около 75 % несчастных случаев и аварий в промышленности вообще, более 50 % в нефтегазодобывающей отрасли происходит из-за ошибок работающего. Недостаточная надежность человека в типичных биотехнических системах в 2—2,5 раза сокращает срок службы дорогостоящей техники, около

35 % которой выходит из строя из-за неадекватных конкретным ситуациям действий работающего в самом начале эксплуатации.

С точки зрения безопасности роль человека в материальном производстве становится все более определяющей. Проектирование его производственной функции является весьма важной задачей охраны труда, которая включает:

1) оптимальное распределение в структуре человеко-машинной системы функций между человеком и машиной;

2) определение профессионально-значимых свойств человека для каждой конкретной профессии;

3) согласование этих свойств во всех сферах деятельности человека и на всех иерархических уровнях структуры ЧМС с требованиями выполняемой работы;

4) многомерную оптимизацию трудовой деятельности при всестороннем учете человеческих, машинных факторов, производственной среды и системы в целом.

Перечисленные задачи не могут решаться на основе частных рекомендаций гигиены, физиологии, психологии труда и других традиционных наук. В данном случае необходим системный комплексный подход, разрабатываемый современной эргономикой.

Рассмотрим кратко некоторые методологические принципы, на основе которых решаются эти задачи.

В рамках распределения функций между человеком и машиной в структуре ЧМС эргономика рассматривает четыре подхода:

1) находят прототип — уже существующую систему или ее отдельные узлы и поручают человеку обычные производственные виды деятельности; 2) человеку-оператору поручают решения тех задач, которые невозможно формализовать; 3) человеку поручают наиболее ответственные функции с высокой технологической значимостью; 4) распределение задач между человеком и машиной базируется на раздельной оценке преимуществ человека, машины и их функций (табл. 1). Последняя задача является наиболее важной в системном проектировании. Люди и машины в структуре ЧМС

Таблица 1

Сравнение функций человека и машины в системе

Показатели, по которым человек превосходит машину	Показатели, по которым машина превосходит человека
Обнаружение полезных сигналов, имеющих очень низкий энергетический уровень Чувствительность к чрезвычайно широкому диапазону стимулов Опознавание образов и их обобщение	Предостережение (как человека, так и машины) Выполнение однообразных чрезвычайно точных операций Способность очень быстро реагировать на управляющие сигналы
Способность выносить суждения при неполной информации о событиях Проявление оригинальности в решении проблем Способность учитывать прошлый опыт и менять способ действия	Выполнение сложных вычислений и с большой точностью Дедуктивные процессы Нечувствительность ко многим посторонним факторам

должны сочетаться таким образом, чтобы положительные качества одних восполняли соответствующие недостатки других. Биотехническую систему при этом следует рассматривать как совокупность человек—технические средства, дополняющие его профессиональные производственные возможности.

Главная задача проектирования — не распределять функции между человеком и машиной, а перепоручать машине функции человека. Эта задача решается в две стадии: 1) выбор компонентов в соответствии с требованиями к ним других компонентов и целостной системы в функциональной структуре; 2) согласование компонентов и реализуемых ими функций между собой и системой в целом. В любой ЧМС можно выделить функции, выполняемые человеком, выполняемые машиной и выполняемые как машиной, так и человеком. Каждый компонент используется для выполнения функций, к которым он наиболее приспособлен.

Отличительной особенностью системного проектирования является усиленное внимание ко всему объекту в целом, отрицание возможности его обособленного существования. Объект рассматривается не сам по себе, а с позиций его использования — функционирования, обеспечивающего решение задачи. При этом функциональные единицы могут быть реализованы как в человеке, так и в машине.

Исходные требования к ЧМС включают: надежность, эффективность, безаварийность. Человеческая деятельность в структуре ЧМС оценивается по критериям: достаточности (возможность выполнения задачи в рамках различных ограничений) и необходимости (в деятельности задействуются только те элементы — средства контроля, управления и пр., которые необходимы для выполнения задачи). «Избыточность» их увеличивает время выполнения задачи, порождает ошибки; недостаточность — затрудняет деятельность, делает ее монотонной. Достаточность оценивается комплексностью требований к выполнению отдельных единиц деятельности, числом и значимостью ошибок на каждом из этапов работы, быстрействием, точностью и правильностью действий.

§ 9. Проектирование нормальных условий труда

Увеличение продолжительности высокой, устойчивой работоспособности в общем фонде рабочего времени возможно ожидать при значительном улучшении условий труда.

При проектировании новых предприятий, технологических процессов, операций и конструкций машин нормальные условия труда необходимо разрабатывать с учетом требований каждого фактора и всей совокупности их на основе комплексно обоснованных норм, правил и стандартов. Так, температура, скорость движения воздуха, содержание токсичных веществ, промышленной пыли в атмосфере производственных помещений должны отвечать требованиям ГОСТов. Значение относительной влажности воздуха (в %) должно согласовываться количественно с его температурой. Предельно допустимые уровни шума, вибрации, ультразвука, электромагнитного поля радиочастот устанавливаются соответствующими ГОСТами.

Санитарные нормы (СН), Строительные нормы и правила (СНиП) и отраслевые нормативные документы (Нормы радиационной безопасности НРБ) регламентируют безопасные уровни инфракрасного (теплого) и ионизирующего излучений. Наличие микроорганизмов (бактерий, вирусов и др.) и макроорганиз-

мов (растений и животных) на рабочем месте, степень и характер их опасности для человека, необходимые профилактические меры устанавливаются в каждом конкретном случае санитарно-эпидемиологической службой и т. д.

Содержание производственной функции определяют размеры рабочего пространства, объем и сложность движений и т. д. Отдельные категории операторов газонефтепромысловых сборных пунктов, газоперерабатывающих заводов, установок по добыче, подготовке и перекачке нефти и газа, перемещаясь в пределах своего рабочего места, преодолевают в течение смены путь длиной 10—12 км, выполняют сотни раз наклоны корпуса тела, опускаются на корточки, на колени, выполняют действия с рычагом, тумблером управления, расположенными за пределами их зоны досягаемости и т. д.

Проектная разработка условий труда по фактору «Рабочая поза и перемещения в пространстве, рабочее место» — весьма важная и чрезвычайно сложная задача. Научные основы для решения ее разработаны инженерной психологией и эргономикой и должны широко применяться при проектировании условий труда.

Оптимальные решения о продолжительности рабочей смены в течение суток и рабочей недели определяются комплексом наук о человеке и, как правило, закреплены соответствующими положениями трудового законодательства. При проектировании условий труда эти документы принимаются в качестве исходных. Напряженность зрения — точность работы проектируют с учетом требований СНиП и условий ясного видения (см. гл. VI), которое достигается при соответствующих уровнях и равномерности освещенности, светлоте фона, величине контраста, оптимальной яркости, спектральном составе, близком к составу естественного света.

Раздел второй

ОХРАНА ТРУДА ПРИ РАЗРАБОТКЕ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Глава III

ВОЗДУХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ, ЕГО СОСТАВ И СВОЙСТВА

§ 1. Вредные вещества. Общие сведения

Человек ежедневно потребляет в среднем 800 г твердой пищи, 2 л воды и 40 м³ воздуха. В зависимости от тяжести и интенсивности выполняемой работы эти количества изменяются в широких пределах. Объем вдыхаемого воздуха, например, колеблется от 5 до 60 л/мин.

Чистым принято называть воздух, который состоит из 20,96 % кислорода, 0,04 % углекислого газа, 78 % азота, 1 % инертных газов (аргона, неона, ксенона и др.) и не содержит ядовитых, агрессивных и взрывчатых газов, паров и твердых пылевых частиц. Загрязненным считается воздух, бедный кислородом (выдыхаемый воздух содержит 17 % кислорода, 4 % углекислого газа, 78 % азота и 1 % инертных газов) или содержащий одно или несколько вредных веществ.

При дыхании человек поглощает из воздуха около 4 % жизненно необходимого кислорода и выделяет примерно такое же количество углекислого газа.

В воздух производственных объектов нефтяной и газовой промышленности основной объем вредных веществ поступает из нефти и газа, продуктов их переработки и сгорания. Опасные выбросы вредных веществ в воздух возможны при всех технологических процессах бурения, добычи, подготовки, транспортирования и хранения нефти, газа и газового конденсата. В большинстве случаев ядовитые вещества при дыхании проникают в кровь и разносятся по всему организму, попадая в жизненно важные органы.

Глубина и тяжесть действия вредных веществ на человека зависят от их вида, физико-химических свойств, агрегатного состояния и растворимости, а также путей проникновения в организм человека, сферы действия (общее — на организм в целом, местное (локальное) — на отдельный орган), температуры, давления, концентрации, времени действия, состояния здоровья человека и способности накапливаться в организме.

Вредные вещества делятся на ядовитые и неядовитые. Ядовитые вещества могут проникать в организм человека

(при дыхании, приеме пищи, питье воды, курении, иногда через кожу), растворяться в жидкой фазе (в крови, лимфе и др.), вступать в сложное химическое взаимодействие с тканями и веществами организма и нарушать его нормальную жизнедеятельность. Следствием такого нарушения является отравление человека, сопровождающееся ухудшением состояния его здоровья, понижением работоспособности.

Неядовитые вещества раздражающе действуют на слизистые оболочки дыхательных путей, кожу, глаза. При больших концентрациях они резко снижают содержание кислорода в воздухе (метан, азот), затрудняют дыхание.

Отравление может быть острым (внезапно большим количеством ядовитого вещества) и хроническим (при малых концентрациях — без явного начала в течение длительного времени).

Имеются многочисленные научные данные о связи токсичности веществ с их химической структурой. У низкомолекулярных предельных углеводородов, например, токсичность повышается с увеличением молекулярной массы (бутан токсичнее пропана, пропан токсичнее этана и т. д.), с повышением валентности (окись марганца токсичнее закиси), с появлением в молекулах кратной связи (ацетилен токсичнее, чем этилен, этилен токсичнее, чем этан). Сырые нефти и газы, не содержащие непредельные углеводороды, менее токсичны, чем продукты их переработки. Непредельные углеводороды вообще токсичнее предельных. Чем больше в нефтепродукте содержится непредельных углеводородов, тем сильнее его отравляющее (наркотическое) действие.

Токсичность углеводородов повышается при их галоидировании, понижается при введении в их молекулы гидросильных групп (спирт менее токсичен, чем углеводород, из которого он получен) и т. д.

Существенное влияние на токсичность веществ оказывают их агрегатное состояние и физические свойства. Газы (пары) и аэрозоли при прочих равных условиях токсичнее, чем твердые вещества и жидкости. Токсические свойства выше у кипящих при низких температурах и легко испаряющихся жидкостей (бензин, бензол, эфиры более токсичны, чем масла и мазуты), у веществ с большим содержанием летучих и высоким давлением пара (бензол опаснее толуола).

Некоторые вещества, проникая в организм, способны накапливаться в отдельных органах (например, ртуть в печени). По мере накопления они усиливают свое вредное биологическое действие на организм. Особенно опасна функциональная кумуляция (свинец, мышьяк, ароматические углеводороды), вызывающая изменения в функциях отдельных органов и повышающая чувствительность их к другим не опасным до этого веществам.

Хорошо растворимые вещества быстро удаляются из организма через мочегонные пути; плохо растворимые (ртуть, марганец) — через кишечник.

Все перечисленные выше типичные для нефтяной и газовой промышленности вещества могут поражать центральную нервную систему, вызывать головокружение, сердцебиение, повышенную возбудимость человека, общую слабость, потерю сознания.

Не всегда возможно надежно прогнозировать опасность вредных веществ по их виду, структуре и свойствам. Известны случаи, когда при взаимодействии с биологической средой, другими вредными ингредиентами токсичные вещества приобретают новые свойства, становятся нетоксичными, или, напротив, увеличивают свою биохимическую опасность. Углекислый газ, например, усиливает токсичность ароматических углеводородов. В помещениях, где используются бензол, фенол, толуол, не рекомендуется газировать питьевую воду.

Алкоголь, высокая температура, шум, вибрация и т. д. улучшают всасывание ядовитых веществ и усиливают их действие на организм человека.

По физиологическому действию на организм вредные вещества разделяют на раздражающие (сернистый газ, хлор, окислы азота, пары серной кислоты и др.), удушающие (сероводород, окись углерода и др.), наркотические (бензин, ацетилен, дихлорэтан и др.) и соматические — отравляющие организм, его отдельные органы и системы (бензол, ртуть, свинец и др.). По специфической направленности действия различают: печеночные (гепатотропные), ферментные (биологические катализаторы — расщепляют белки, жиры, углеводы), мутагены (действующие на наследственность), аллергены (изменяющие реактивную способность) и др.

Действие на организм двух однонаправленных ядов при концентрации 10 мг/м^3 аналогично действию одного из них при концентрации 20 мг/м^3 . Сумма отношений фактических концентраций каждого из них (C_1, C_2, \dots) в воздухе к их предельно допустимым концентрациям ($\text{ПДК}_1, \text{ПДК}_2, \dots$) не должна превышать единицы:

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1.$$

Однонаправленностью действия обладает ограниченное число веществ. Оценка опасного изменения состава воздуха, загрязненного многокомпонентной ядовитой смесью, должна выполняться по концентрации того вещества, для разжижения которого требуется наибольшее количество чистого воздуха. ПДК для основных компонентов этой смеси остаются теми же, что и при изолированном воздействии (ГОСТ 12.1.005—76. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования).

Воздух производственных объектов современных нефтяных и газовых промыслов обычно загрязняется природным и попутным нефтяным газом, парами сырой нефти, ее фракций (бензиновой, керосиновой, лигроиновой), конденсата, метилового спирта, поверхностно-активных веществ (ПАВ), полимерных добавок, ингибиторов коррозии, диэтиленгликоля, а также сероводородом, меркаптанами, углекислым газом, сернистым ангидридом, окисью углерода, сероуглеродом, окисью и двуокисью азота и большим числом химически активных веществ, используемых в технологических процессах.

Атмосфера объектов нефтяной и газовой промышленности загрязняется промышленной пылью — мелкими частицами различных твердых веществ, которые находятся во взвешенном состоянии в воздухе и образуют сложные аэрозольные системы. Пылевые полидисперсные частицы в этих системах называют дисперсной фазой, а воздух — дисперсионной средой.

На объектах нефтяной и газовой промышленности пыль образуется при измельчении, дроблении и перетирании твердых химических веществ, производстве технологической сажи, транспортировании и погрузке твердой серы и т. д.

Опасность пыли как профессиональной вредности зависит от ее химического и дисперсного состава, физико-химической активности, растворимости, адсорбционных и других свойств, а также от концентрации и времени пребывания работающих в запыленной атмосфере.

По аналогии с другими веществами промышленные пыли также разделяют на ядовитые (твердая сера, каустическая сода и др.) и неядовитые (горные породы). По крупности — на макроскопические с размерами частиц более 10 мкм (видимые невооруженным глазом); микроскопические — 0,25—10 мкм (видимые под микроскопом) и ультрамикроскопические — менее 0,25 мкм (видимые в электронном микроскопе).

Наибольшую опасность для человека представляет пыль крупностью 5 и особенно 1—2 мкм. Пылинки таких размеров сохраняют токсичные и другие свойства веществ, из которых они образовались, обладают повышенной химической активностью и легко проникают в организм.

Растворяясь в биологической среде организма, пыль образует ядовитые соединения (кислоты, полимеры), поражающие ткани организма, нарушающие жизненно важные функции его отдельных органов и систем; могут развиваться тяжелые профессиональные заболевания — пневмокониоз, рак легких и кожи, перфорация носоглотки и др.

Аэрозоли, дисперсные фазы которых представлены органическими веществами с выходом летучих более 20 %, при концентрации 40—2000 г/м³ и наличии источника воспламенения с температурой 700—800 °С способны взрываться. Взрывчатость растет с увеличением выхода летучих веществ, крупности (поси-

телями взрывчатых свойств являются пылинки размерами 75—100 мкм) и температуры воспламенения. Вероятность взрыва резко возрастает при наличии в воздухе метана, водорода и других взрывчатых газов.

§ 2. Действие вредных веществ на человека

Нефть и ее фракции (бензиновая, лигроиновая, керосиновая), а также предельные и непредельные углеводородные газы и ароматические вещества (бензол, толуол, ксилол) являются одновременно наркотическими ядами и ядами крови. Токсичность нефтей, нефтяных газов и продуктов их переработки значительно возрастает при содержании в них сернистых соединений H_2S , SO_2 , SO_3 , CS_2 и др. Даже кратковременное вдыхание паров этих веществ при концентрациях выше ПДК может привести к замедлению пульса, понижению кровяного давления, потере сознания и смерти. Особенно опасны пары бензина с ароматическими соединениями, способные в течение 10 мин при концентрации 10 мг/л вызывать расстройство нервной системы и всего организма с симптомами головокружения, головной боли, сердцебиения, тошноты, судорог, потери сознания.

Сырая нефть, бензин, керосин, фенол, попадая на кожу человека, обезжиривают, сушат ее, вызывая зуд, красноту, пигментацию. При этом происходит растрескивание ткани, развиваются кожные заболевания (экзема и дерматит). Нефть и ее пары могут вызвать острые и хронические отравления всего организма.

Полициклические ароматические углеводороды являются канцерогенами, вызывают рак легких; печная сажа — рак кожи; азотистые соединения и амины — рак мочевого пузыря.

Бензин при концентрации его в воздухе 30—40 мг/м³ может через несколько минут вызвать смертельное отравление; при меньших концентрациях — головокружение, сердцебиение, проявляет глубокое наркотическое пьянящее действие. Хроническое отравление возможно при концентрациях 5—10 мг/м³.

Керосин действует на человека аналогично бензину, только значительно слабее.

Предельные углеводороды (бутан, пентан и др.) — химически наиболее инертные среди органических соединений. Потенциально сильное наркотическое действие их на человека значительно ослабляется ничтожно малой растворимостью их в воде и крови. Опасное отравление они могут вызвать только при высокой концентрации.

Воздействие предельных углеводородов с большим числом атомов углерода даже при малых концентрациях (в пределах ПДК) вызывает расслабление, неустойчивость реакций центральной нервной системы. При этом опасно понижаются точность и быстродействие движений человека.

Действие природного газа аналогично действию отдельных предельных углеводородов. При больших концентрациях (более 20 %) газов в воздухе резко снижается содержание в нем кислорода, возникает расстройство дыхания из-за кислородной недостаточности (асфиксия). Токсичность природного газа обусловлена содержащимися в нем сероводородом, углекислым газом, предельными углеводородами и др.

Особо опасными ядами при разработке нефтяных и газовых месторождений являются неуглеводородные газообразные, парообразные и жидкие вещества, содержащиеся в относительно больших объемах в сернистой нефти, природном газе и продуктах их переработки (сероводород, сернистый ангидрид, серный ангидрид, сероуглерод, окись углерода, окислы азота, углекислый газ и химически активные вещества, используемые при добыче и транспортировании нефти и газа).

Сероводород H_2S — бесцветный, ядовитый газ с резким запахом тухлых яиц; ощущается в воздухе при концентрации $1 \cdot 10^{-6}$. С увеличением концентрации ощущение запаха ослабевает вплоть до полного исчезновения (опасный эффект привыкания). В сернистых нефтях и природных газах содержание H_2S колеблется от следов до 4,5 %, а иногда и более. В относительно больших объемах этот наиболее опасный яд содержится в продуктах крекинга нефти.

Сероводород в организме человека действует: 1) на центральную нервную систему (возбуждает, угнетает, вызывает паралич дыхательного и сердечно-сосудистого центров); 2) на окислительные процессы (снижает на 80—85 % способность гемоглобина крови поглощать кислород); 3) на кровь (повышает количество эритроцитов, свертываемость и вязкость крови, затем снижает содержание эритроцитов и гемоглобина). Отравление организма происходит при одновременном действии сероводорода на организм человека в целом. При содержании в воздухе $0,0014$ — $0,0023$ мг/м³ ощущается запах H_2S . При концентрации 100 мг/м³ — наблюдается легкое отравление; при 140 — 150 мг/м³ — глубокое поражение слизистых оболочек (происходит через 2—3 ч). Такое поражение часто приводит к тяжелой форме пневмонии, отека легких, а иногда и к менингиту. В атмосфере, где содержание сероводорода равно 160 мг/м³ (0,1—0,3 %), смерть наступает через два-три вдоха.

Токсическая опасность сероводорода резко повышается при действии его в смеси с другими вредными веществами. Более высокая токсичность этого яда отмечена, например, в составе нефтяного газа. Аналогичное усиление отравляющего действия сероводорода наблюдается в средах углекислого газа, сернистого ангидрида, хлора, окиси углерода, окислов азота, паров бензина и бензола.

Значение ПДК для сероводорода — 10 мг/м³, в смеси с углеводородами C_1 — C_5 — 3 мг/м³.

Сернистый ангидрид SO_2 — бесцветный газ с резким запахом. Растворяясь в жидкой фазе организма, он образует серниую и сернистую кислоты, тяжело поражает слизистые оболочки, кровеносные органы, изменяет костные ткани, нарушает углеводный и белковый обмен. При концентрации в воздухе 20—60 мг/м^3 раздражает слизистые оболочки дыхательных путей и глаз (покалывание в носу, чихание, кашель); при 120 мг/м^3 вызывает одышку, синюшность; при 300 мг/м^3 — расстройство сознания уже через 1 мин. Токсичность SO_2 резко возрастает, если он находится в атмосфере, содержащей окись углерода.

Серный ангидрид SO_3 по токсичности аналогичен SO_2 . Растворяясь в воде, образует чрезвычайно опасную и агрессивную серную кислоту.

Сероуглерод CS_2 — бесцветная жидкость, обладающая в чистом виде (100 %-ная концентрация) приятным запахом. Хронические заболевания могут возникать при концентрации 15 мг/м^3 и более. Опасные отравления происходят при концентрации 15—20 мг/м^3 ; ПДК для сероуглерода равна 1 мг/м^3 .

Углекислый газ CO_2 — без цвета и запаха, со слабощелочным вкусом. В 100 объемах воды растворяется 180 объемов CO_2 . При содержании в воздухе 0,04—0,06 % стимулирует дыхание; при 3 % частота дыхания удваивается; при 5 % — утраивается; при 10 % наступает обморочное состояние; при 25 % происходит смертельное отравление. ПДК CO_2 в воздухе составляет 1 %.

Меркаптаны — органические высокотоксичные серосодержащие газы, образующиеся при термическом воздействии на сернистую нефть, конденсат, природный газ. Содержание меркаптанов в воздухе производственных объектов (на территории нефтепромысла, газоперерабатывающего завода) в сотни, тысячи раз меньше, чем сероводорода.

Окись углерода CO — газ без цвета, вкуса и запаха, образуется при неполном сгорании веществ, содержащих углерод (сажевое производство, выхлопные газы автомобилей двигателей внутреннего сгорания, содержащие более 13 % CO и др.). Горит синеватым пламенем. При концентрации 13—17 % CO способна взрываться. Весьма ядовита. Имеет в 250—300 раз большее химическое сродство с гемоглобином крови, чем кислород, образует метгемоглобин. При концентрации 0,1 % через час начинается головная боль, тошнота, недомогание; при 0,5 % — наступает опасное отравление организма. ПДК окиси углерода в производственных помещениях равна 20 мг/м^3 .

Окись азота NO — бесцветный газ, легко реагирующий с кислородом воздуха с образованием двуокиси азота. Окись азота — яд крови. Оказывает также прямое действие на центральную нервную систему.

Двуокись азота NO_2 — газ бурого цвета, с удушливым запахом, легко переходит в четырехокись азота. При температуре 0 °С двуокись азота представляет бесцветную жидкость с рез-

ким своеобразным запахом. Длительная работа (3—5 лет) при концентрации NO_2 в воздухе 0,8—5 мг/м³ вызывает заболевания бронхитом, эмфиземой легких и астмой. ПДК в пересчете на NO_2 — 5 мг/м³.

Дихлорэтан и четыреххлористый углерод (хлорированные углеводороды) применяются в больших объемах в технологических процессах добычи, подготовки и переработки нефти и газа. Попадая в организм, они вызывают структурные изменения в печени, воздействуют на генетический аппарат клетки.

Один из наиболее опасных для человека ядов — ртуть. Металлическая ртуть в нефтяной и газовой промышленности применяется в контрольно-измерительных приборах, при изучении коллекторских свойств на лабораторных установках. Опасна металлическая ртуть, и особенно опасны ее пары. Обладая высокой проникаемостью, ртуть проникает в тончайшие поры пола, стен, предметов, спецодежды, обуви работающего и длительное время (месяцы, годы) десорбируется из них в воздух. Являясь чрезвычайно токсичным веществом, ртуть (в виде паров) отравляет весь организм человека или поражает печень и кровеносные органы. ПДК для металлической ртути 0,01 мг/м³.

Среди веществ, используемых также в технологических целях, наиболее распространенными и опасными являются аммиак, хлор, тетраэтилсвинец (нейротропный яд), фенол, четыреххлористый углерод и дихлорэтан (поражают печень), серная, соляная, азотная кислоты, этиленгликоль (в организме превращается в щавелевую кислоту и отравляет человека), метанол (высокотоксичен за счет трансформации в организме в формальдегид и муравьиную кислоту), а также ПАВ, полимерные добавки, ингибиторы коррозии, эпоксидные смолы, парафины и др.

Большую опасность для человека представляют кислоты и щелочи, которые могут обезвоживать, разрушать верхние слои кожи, вызывать тяжелые ожоги. Ожоги могут быть вызваны также действием хлорной извести, фенола, аммиака и других веществ.

Под действием кислоты белковые вещества свертываются и препятствуют дальнейшему проникновению кислоты; под действием щелочи — омыляется жировой слой, обезвоживается ткань, растворяется белковое вещество.

Тяжесть ожога зависит от токсичности вещества, его концентрации, температуры, величины пораженной поверхности, времени контакта и характеризуется четырьмя степенями: первая — припухлость, покраснение, ожоговая рана; вторая — пузыри, частичное омертвление кожи; третья — неполное или полное омертвление всей толщи кожи (некроз); четвертая — омертвление подложной ткани.

Серная кислота при контакте с кожей вызывает ее обугливание. Особенно опасны пары серной кислоты. Попадая на слизистые оболочки глаз, дыхательных путей они глубоко травми-

Свойства токсичных веществ на объектах газовой промышленности

Вещество	Класс опасности	Санитарно-гигиенические концентрации, мг. м ³				Относительная плотность (по воздуху)	Запах	Время существования в воздухе	Количество вещества, участвующего в производстве, м ³
		ПДК в населенных пунктах	ПКД в рабочей зоне	начало вредного действия	смертельно опасные				
Сероводород	2	0,008	10	230	1 100	1,19	Тухлых яиц	2 сут.	5,5 · 10 ⁴
Серный ангидрид	2	0,1	1	250	1 000	1,53	Острый	Несколько суток	1,3 · 10 ²
Двуокись азота	2	0,085	5	480	1 200	1,53	Неприятный	5 сут.	3 · 10 ²
Этилмеркаптан	2	9 · 10 ⁻⁶	1	2	2 000	2,03	Неприятный	—	1 · 10 ³
Сернистый ангидрид	3	0,05	10	290	1 460	2,14	Острый	4 сут.	1,3 · 10 ³
Оксись углерода	4	1	20	1 050	12 500	0,97	Нет	3 г.	6 · 10 ³
Серная пыль	4	—	6	30	300	1,61	Раздражающий	—	—
Аммиак	4	0,2	2	100	700	1,1	Острый	7 сут.	7,8
Углекислый газ	—	9800	78 500	165 000	410 000	—	Слабокислый	2—4 г.	16 · 10 ³
Метан	4	200	300	180 000	235 000	0,65	Нет	16 лет	5 · 10 ⁵
Этан	4	200	300	96 000	125 000	1,05	То же	16 лет	—
Пропан	4	200	300	6 500	8 600	1,56	»	16 лет	—
Бутан	4	200	300	48 000	62 000	2,07	»	16 лет	—
Газовый конденсат	4	200	300	38 000	50 000	2,52	Ощутимый	16 лет	—

руют их; вызывают кашель, спазмы горловой щели, дыхания. Предельно допустимая концентрация серной кислоты — 1 мг/м³.

В порядке убывания токсичности кислоты можно расположить в ряд: смесь азотной и соляной, азотная, серная, плавиковая, соляная, уксусная и т. д. Перечень вредных веществ с каждым годом увеличивается и создает необходимость их комплексной санитарно-гигиенической оценки.

§ 3. Источники токсичных загрязнений воздуха на объектах нефтяной и газовой промышленности

✓ Почти все вредные вещества, характерные для современной технологии добычи нефти и газа, оказывают общетоксичное, раздражающее, канцерогенное и мутагенное действие на человека и представляют по этой причине опасность для его здоровья и жизни. Определение источников и объемов вредных веществ, поступающих в атмосферу, изучение их токсических свойств, роли технологических процессов и отдельных операций в загрязнении воздушной среды стало необходимым условием эффективного контроля и всей профилактической работы.

Типичные вредные вещества, встречающиеся при разработке месторождений природного газа, приведены в табл. 2.

Основными источниками этих ядов в структуре крупных газодобывающих комплексов являются: факелы на установках комплексной подготовки газа (УКПГ) и газоперерабатывающих заводов, дымовые трубы, установки для получения серы, продувка скважин, выпуск газа из трубопроводов и емкостей перед ремонтом и производством сварочных работ, ямы жидкой серы, установки по регенерации метанола, сжиганию конденсата, разгерметизирование оборудования и др. Объемы этих выбросов достигают иногда 5—6 % от всего добываемого газа и создают большую опасность для людей и окружающей среды.

Утечки газа через неплотности в оборудовании на газоперерабатывающих заводах занимают 13-е место, а на установках комплексной подготовки газа — 1-е место среди прочих источников вредных примесей в воздухе. Далее идут насосные промыслов, насосные метанола, продувка скважин, сжигание конденсата и др.

Для эффективной борьбы с загрязнением воздуха важно знать не только объемы выбросов, но и их состав.

При разработке месторождений природного газа особо опасными и наиболее распространенными токсичными веществами являются: сероводород, углеводороды, меркаптаны, сернистый и серный ангидриды, окись углерода и углекислый газ; менее распространенными окислы азота и аммиак.

Состав вредных веществ (на примере Оренбургского газоконденсатного месторождения и отдельных УКПГ) характеризуется данными табл. 3 и 4. Как видно из таблиц, для место-

Качественный состав вредных выбросов из основных источников на Оренбургском газоконденсатном месторождении

Источник выбросов	H ₂ S	SO ₂	SO ₃	C ₂ H ₅ OH	Углеводороды	Окислы азота	CO	CO ₂	CH ₃ OH
Газоперерабатывающий завод	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Отдувка скважин	++	+	+	++	+	-	++	+	-
Установка регенерации метанола	++	-	-	++	+	-	-	-	+
Сжигание конденсата	++	+	+	++	+	-	+	+	-
Ремонтные работы	++	+	+	++	+	+	+	+	+
Надземные исследования	++	-	-	+	+	-	-	-	+
Установка комплексной подготовки газа (УКПГ)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Крановые узлы	++	-	-	+	+	-	-	-	-
Насосные промстоков	++	-	-	++	+	-	-	-	+
Утечки из скважин	+	-	-	+	+	-	-	-	-
Место в ранговом ряду	1	2	2	1	1	4	2	2	3

Таблица 4

Качественный состав вредных веществ, выделяющихся на установке комплексной подготовки газов Оренбургского месторождения

Источник выбросов	H ₂ S	SO ₂	Углеводороды	C ₂ H ₅ SH	SO ₃	NO, NO ₂ , N ₂ O ₃	CO	CO ₂	C ₂ H ₅ OH
Утечки через неплотности	++	-	+	+	-	-	-	-	+
Насосные промстоков	++	-	++	++	-	-	-	-	+
Отдувка скважин	++	+	++	++	+	-	+	+	-
Сжигание конденсата	++	+	++	++	+	-	++	++	+
Факелы	++	+	++	++	+	+	+	+	-
Насосные метанола	++	-	++	++	-	-	-	-	+
Исследовательские работы	+	-	+	+	-	-	-	-	+
Место в ранговом ряду	1	3	1	1	3	4	3	3	2

рождения в целом основными источниками их являются: газоперерабатывающий завод, продувка скважин, сжигание конденсата, ремонтные работы, УКПГ; для УКПГ — продувка скважин, сжигание конденсата, факелы.

√ На промыслах основное количество вредных веществ поступает в воздух из резервуаров, скважин, находящихся в стадии проходки и ремонта, факелов, при разливах и утечках нефти, паров и газов, при аварийном повреждении емкостей, нефтепроводов, через сальники и задвижки, вентили, краны и другую запорную, регулирующую арматуру, пропуски во фланцевых соединениях, через неплотности в швах, разъемных соеди-

нениях и т. д. Исследования показывают, что из сопла дыхательной арматуры одного резервуара при некоторых метеорологических условиях может выделяться 5—6 кг/ч токсичных газов и паров сырой нефти.

§ 4. Методы и средства контроля состава воздуха

На объектах нефтяной и газовой промышленности существует стройная система контроля состава воздуха с отдельной во времени и пространстве оценкой содержания в нем каждого конкретного вредного вещества. Аналитический арсенал такого контроля включает следующие методы и средства: лабораторные (сложные, точные, длительные по времени, не оперативные, используемые чаще для научных исследований), экспрессные (простые, оперативные, широко применяемые для определения вредных газов и паров в воздухе непосредственно на рабочих местах) и автоматические (быстро, непрерывно регистрирующие пороговые концентрации, сигнализирующие о них). Эти методы и средства должны быть пригодны для определения содержания в воздухе всех ядовитых, агрессивных и взрывоопасных веществ на фоне других при концентрации до и выше ПДК (или нижнего предела взрываемости) во всех зонах рабочего пространства, производственных объектов и близлежащих населенных пунктов. Так как неодинаковы цели и функции контроля, то различны и принципы, на которых основаны рассматриваемые методы: в лабораториях — фотометрические, электрохимические, спектроскопические, хроматографические, люминесцентные и др.; в экспресс-методах — термокондуктометрические (измерение теплопроводности), электрокондуктометрические (используется изменение электропроводности растворов при поглощении ими исследуемого вещества — приборы типа КУ), оптические (изменение одного из оптических свойств при разной концентрации, например, интерферометр ГИК, ГИП и др.), фотоколориметрические (приборы типа УГ, ФТЦ) и др. В автоматических приборах используются магнитные, тепловые, электрические, спектрометрические, оптические и другие принципы. Это позволило разработать и широко освоить на практике более 200 различных методик по определению содержания вредных веществ в воздухе и создать множество приборов самых различных конструкций.

В соответствии с действующим ГОСТом (Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования) все средства контроля должны обеспечивать избирательное определение содержания вредного вещества на уровне 0,5 ПДК (в приточном воздухе — 0,3 ПДК) в течение не более 30 мин; точность измерений в пределах $\pm 10\%$, специфическое определение содержания вредных веществ в присутствии других веществ; максимальная ошибка измерения не должна превышать $\pm 25\%$.

На объектах нефтяной и газовой промышленности широкое применение находят фотоколориметрические экспресс-методы (цветовая реакция определяемого вещества со специальным реагентом в индикаторной трубке), термхимические (тепловой эффект реакции окисления в присутствии катализатора — приборы типа ПГФ, ИВП и др.), оптические и др. Хорошо зарекомендовали себя автоматические газоанализаторы (сигнализаторы) отечественные (СКВ-3М1, СГП-1) и зарубежные (магнитный газоанализатор ГДР и др.). Эти приборы одновременно фиксируют опасные до взрывных концентрации газов, подают сигнал тревоги и реализуют профилактические меры (автоматическое пожаротушение, отключение электроэнергии, включение аварийной вентиляции и т. д.).

Концентрацию пыли можно определять путем выделения твердых частиц из воздуха — весовой (гравиметрический, мг/м³) и счетный (кониметрический, число частиц в 1 см³) методы — или выделения — фотоэлектрические, электрометрические, радиационные, оптические и др. При весовом способе содержащиеся в воздухе твердые частицы выделяются на фильтре при пропускании через него определенного объема запыленного воздуха и концентрация пыли определяется по разности масс фильтра после и до отбора пылевой пробы. При счетном способе частицы пыли выделяются при ударе запыленного воздуха, проходящего через узкую щель с большой скоростью, о покровное стекло, смазанное липким бальзамом (кониметр ОУЭНС-1). Высчитанное под микроскопом число частиц пыли делят на объем прошедшего через кониметр воздуха и определяют концентрацию пыли.

Для профилактики возможного действия вредных веществ на человека в нашей стране работающим выдают бесплатное лечебно-профилактическое питание (молоко), сокращают рабочий день, предоставляют дополнительный отпуск и т. д. ✓

§ 5. Нормирование содержания вредных веществ в воздухе и меры защиты

В период научно-технической революции на предприятиях нефтяной и газовой промышленности ежегодно внедряются в производство десятки, сотни новых химических веществ, катализаторов, ингибиторов, адсорбентов и т. п. Абсолютное количество их получает относительную токсикологическую оценку и только для 50—70 случаев устанавливаются ПДК. Это обстоятельство в некоторой степени затрудняет научно обоснованное нормирование содержания вредных веществ в воздухе, выдвигает необходимость проведения дополнительных профилактических мероприятий.

Предельно допустимыми концентрациями вредных веществ в воздухе рабочих зон принято считать такие, которые при еже-

дневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч или при другой продолжительности, но не более 41 ч в неделю в течение всего рабочего стажа не могут вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Под рабочей зоной здесь понимается пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного или временного пребывания работающих. ПДК устанавливается для воздуха производственных помещений, горных выработок, открытых площадок, транспортных средств и т. д.

В СССР установлены ПДК в настоящее время более чем для 800 широко распространенных опасных веществ. Разработанная советскими учеными система важнейших санитарно-гигиенических нормативов находит широкое применение во многих социалистических странах мира и имеет огромное социально-экономическое и научно-практическое значение. Без установления ПДК невозможно выполнить инженерные расчеты по вентиляции, предельно допустимым объемам вредных выбросов в атмосферу, организовать работу по профилактике отравлений и профессиональных заболеваний; ПДК является основополагающим показателем при нормировании условий труда и т. д.

В соответствии с санитарными нормами все вредные вещества по степени опасного действия их на человека делятся на четыре класса: 1 — чрезвычайно опасные (карбонил никеля, тетраэтилсвинец, пары ртути, двуокись хлора, бромистый метил с ПДК соответственно 0,0005; 0,005; 0,01; 0,1; 1 мг/м³); 2 — высоко опасные (кобальт и его окись, бензол, сероводород, четыреххлористый углерод с ПДК соответственно 0,5; 5; 10 и 20 мг/м³); 3 — умеренно опасные (пыль, содержащая более 70 % свободной SiO₂, фенол, метиловый спирт, толуол с ПДК соответственно 1; 5; 5 и 50 мг/м³); 4 — вещества мало опасные (аэрозоли алюминия и его окиси, аммиак, бензин топливный, этиловый спирт с ПДК соответственно 2; 20; 100; 1000 мг/м³).

В зависимости от класса опасности веществ регламентируется соответствующее оформление зданий, аппаратов и технологических процессов (изолированные кабины, дистанционное управление и др.), определяются требования к объему и содержанию мер защиты. Чем ниже ПДК, тем опаснее вредное вещество, сложнее, масштабнее и значимее усилия по обеспечению безопасности человека.

Для одного и того же токсичного вещества нередко устанавливают несколько значений ПДК. Для атмосферного воздуха значение ПДК тем меньше, чем длительнее контакт человека с токсичным веществом. Так, ПДК для окиси углерода может быть повышена до 50 мг/м³ при длительности работы не более 1 ч, до 100 мг/м³ — при 30 мин, до 200 мг/м³ — при 15 мин.

Предельно допустимые концентрации вредных веществ

Вещества	Величина предельно допустимой концентрации, мг/м ³		
	в рабочей зоне	в атмосферном воздухе населенных пунктов	
		максимальная разовая	среднесуточная
Аммиак	20	0,2	0,2
Бензол	5	1,5	0,8
Бензин топливный	100	5	1,5
Сероводород	10	0,008	0,008
Оксид углерода	20	3	0,05

Для атмосферного воздуха населенных пунктов ПДК значительно ниже, чем для рабочих зон, и имеют два значения: максимальная разовая концентрация и среднесуточная концентрация (табл. 5).

Наряду с токсичностью вещества при установлении ПДК учитывают также запах и раздражающее действие его на слизистые оболочки и промежутки времени между предыдущей и последующей работой в условиях повышенного содержания вредных веществ.

Для устранения или уменьшения опасности вредных веществ для человека важно ограничить применение их по числу и объему, а где возможно, заменить высокотоксичные на менее токсичные, сократить длительность пребывания людей в загрязненном воздухе и следить за эффективным проветриванием производственных помещений. Во всех случаях необходим постоянный контроль за чистотой воздуха. Наряду с другими средствами контроля эффективна одоризация выбросов сильно пахнущими одорантами (этилмеркаптан и др.). Появление запаха в воздухе равнозначно оповещению работающих о приближающейся опасности.

Эффективно также сокращение времени пребывания работающих в загрязненной среде, чередование работы с пребыванием на свежем воздухе, знание ими свойств ядов, характера действия их на организм, понимания необходимости соблюдения личной гигиены. В особо опасных условиях следует шире применять индивидуальные средства защиты: для органов дыхания — респираторы, шланговые противогазы ПШ-1, кислородно-изолирующие приборы (КИП), фильтрующие и изолирующие противогазы, респираторы-лепестки разных модификаций; для глаз — очки, маски, светофильтры; для тела — противопылевые комбинезоны; для рук — перчатки и т. д.

Важнейшими профилактическими мероприятиями следует считать разработку и внедрение современных схем безотходной технологии, новых закрытых процессов и более герметичного, надежного оборудования, ограничение применения вредных веществ, рабочих параметров и т. д.

На производственных объектах нефтяной и газовой промышленности, где в больших объемах используются кислоты и щелочи, необходимо исключить переливы кислот при заполнении емкостей. Рекомендуется транспортировать эти опасные жидкости по специальным трубопроводам (из свинца, винилпласта, специальной стали и т. п.) с автоматическим контролем за перекачкой; слив кислоты из железнодорожных цистерн выполнять при помощи гибких шлангов. Для наполнения мелкой тары необходимо применять сифоны, оборудованные устройствами для создания вакуума; при разбавлении кислоты наливать ее в воду, а не наоборот. Разлившуюся кислоту необходимо нейтрализовать каустической содой или известью.

Основные меры первой помощи: при отравлении — искусственное дыхание, внешний массаж сердца; при химических ожогах — удаление одежды, наложение стерильной повязки, промывание места ожога большим количеством воды, удаление кислоты фильтровальной бумагой, вынос пострадавшего на свежий воздух, искусственное дыхание.

Глава IV

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

§ 1. Психофизиологический аспект метеорологических условий

Количество вырабатываемой в организме теплоты частично расходуется на поддержание обмена веществ (318—630 кДж/ч) и в большом объеме (836—2090 кДж/ч) отдается окружающей среде. При этом поддерживается нормальная температура тела ($36,5 \pm 0,5$ °C) и высокая работоспособность человека. При отклонении температуры от нормы даже на 2 °C ухудшаются деятельность организма и состояние здоровья человека, происходят серьезные биологические нарушения. Чрезмерный перегрев тела резко учащает пульс и частоту дыхания, нарушает водно-солевой баланс организма, замедляет мыслительную деятельность, рассеивает внимание, ухудшает восприятие, развивает опасные сердечно-сосудистые, желудочно-кишечные и другие заболевания. Наиболее тяжелое последствие перегрева — тепловой удар. Его симптомы: рвота, головокружение, расширение кровеносных сосудов кожи, падение кровяного давления, нарушение кровообращения, дыхания, судороги, иногда — потеря сознания и смерть.

При охлаждении тела человека резко падает работоспособность, теряются координация движений, их быстроедействие и точность, появляются вялость, сонливость, опасная замедленность (заторможенность) центральной нервной системы, рост числа ошибок — неправильных действий и, следовательно, несчастных случаев и аварий. При очень сильном охлаждении чрезмерно сужаются сосуды, ухудшается кровообращение, создается опасность замерзания.

Длительное воздействие холода на человека может развивать профессиональные заболевания — в условиях нефтяной и газовой промышленности заболевания периферической нервной системы, пояснично-крестцовый радикулит, невралгия лицевого, седалищного и других нервов; обострение суставного и мышечного ревматизма, заболевание мышц, резкое ослабление кожной чувствительности.

Создание нормальных метеорологических условий на буровых установках, сливно-наливных эстакадах, нефтепричалах, нефте- и газосборных пунктах, в насосных и компрессорных, на замерных и сепарационных установках, на установках комплексной подготовки газа и других производственных объектах нефтяной и газовой промышленности является одной из актуальных научно-профилактических задач.

§ 2. Микроклиматические условия. Определяющие факторы

Количество теплоты Q , отдаваемой человеком окружающей среде (или получаемой от нее), равно алгебраической сумме количества теплоты, вырабатываемой в организме, M (химическая терморегуляция) и количества теплоты, отводимой в окружающую воздушную среду (или получаемой из нее) излучением R и конвекцией C , а также теплоты E , отдаваемой при испарении влаги, выделяемой организмом (физическая терморегуляция — делиберация):

$$Q = M \pm R \pm C - E.$$

Отвод избыточной теплоты регулируется температурой t ($^{\circ}\text{C}$), скоростью движения v (м/с) и относительной влажностью воздуха f (%); она передается: 1) инфракрасным излучением — от предметов более нагретых к менее нагретым (радиация); 2) конвекцией — передачей теплоты телом омывающему его воздуху; 3) испарением влаги (скрытая теплота парообразования).

Температура воздуха существенно влияет на условия отвода теплоты из организма. Так, при понижении температуры с 26 до 11 $^{\circ}\text{C}$ выработка теплоты в организме увеличивается на 1672 кДж/с. Отдача теплоты радиацией и конвекцией возможна, если $t_{\text{тела}} > t_{\text{среды}}$; она тем интенсивнее, чем больше поверхность тела и градиент температуры Δt .

Относительной влажностью f воздуха принято называть отношение фактического количества влаги в единице объема воздуха к максимально возможному ее количеству при данной температуре. Относительная влажность выражается в процентах. Чем выше относительная влажность, тем меньше объем испаряющейся влаги и количество расходуемой на испарение теплоты E . При испарении 1 г воды в 1 м³ воздуха расходуется 2,5 кДж теплоты, а температура воздуха понижается при этом на 1,9 °С.

Большое значение испарения влаги для физической терморегуляции видно из следующих данных: в состоянии покоя при $t=15$ °С человек выделяет 30 г влаги за 1 ч, а при $t=30$ °С и интенсивной работе 1—1,5 кг/ч.

Движение воздуха способствует увеличению отдачи теплоты, если температура тела человека выше температуры окружающей среды. При температуре среды, превышающей температуру тела, горячий движущийся воздух приводит к перегреву, при отрицательных температурах вызывает простудные заболевания. Минимальная ощутимая человеком скорость воздуха равна 0,2 м/с; при отрицательных температурах она не должна превышать 0,3—0,5 м/с; в горячих цехах — 3,5 м/с. Скорость движения воздуха также имеет ограничения по показателям пылевого и газового факторов, чрезмерно высокая скорость повышает пылеобразование.

Атмосферное давление не оказывает существенного влияния на метеорологические условия. Изменение парциального давления кислорода, азота может затруднять дыхание. Для здоровья человека имеет значение не абсолютная величина атмосферного давления, а его быстрое изменение, вызывающее болезненные ощущения.

При нормальных условиях ($t=15$ °С, $f=60$ % и $p=0,1013$ МПа) в относительно неподвижном воздухе 45 % избыточной теплоты человек отдает радиацией, 30—35 % — конвекцией и 20 % — испарением влаги (пота). Вообще это соотношение непостоянно и зависит от состояния окружающей среды и вида выполняемой работы. При относительной влажности воздуха 100 % избытки теплоты не связываются скрытыми процессами тепло- и массообмена; при $t>37$ °С отвод теплоты радиацией и конвекцией исключается; скорость воздуха ослабляет действие высокой температуры и усиливает действие пониженной температуры и т. д.

Теплоотдача организма при разной температуре характеризуется данными, приведенными на графиках рис. 1. При низких температурах человек больше теплоты выделяет при сухой теплоотдаче; при высокой температуре основная часть теплоты отводится за счет испарения влаги.

Оптимальные микроклиматические условия в производственных помещениях и рабочих зонах определяются температурой,

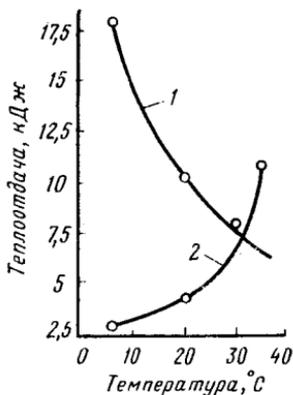


Рис. 1. Теплоотдача организма (при одинаковых температурах воздуха):

1 — излучением и конвекцией; 2 — испарением влаги

относительной влажностью и скоростью воздуха. Существенное влияние на них оказывают тепловое излучение от нагретых поверхностей и технологического оборудования, а также свойства производственной среды.

Действие температуры, относительной влажности и скорости воздуха может быть антагонистическим (действие одних ослабляет действие других) или синергическим (действие одних усиливает действие других).

В системе стандартов безопасности труда оптимальные микроклиматические условия определяются как сочетание параметров микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают сохранение нормального функционального и теплового состояния организма без напряжения терморегуляции. Они обеспечивают ощущение теплового комфорта и создают предпосылки для высокого уровня работоспособности.

§ 3. Нормирование метеорологических условий

Микроклиматические параметры на производственных объектах нефтяной и газовой промышленности нормируются в соответствии с действующими санитарными нормами и стандартами. Различают оптимальные и допустимые условия. В первом случае работающему обеспечивается постоянный метеорологический комфорт, исключающий напряжения в терморегуляции, создаются предпосылки для высокого уровня работоспособности; во втором — допускаются переходящие и быстро нормализующиеся изменения функционального и теплового состояния организма, напряжения в терморегуляции, не выходящие за пределы физиологических приспособительных возможностей и не влекущие за собой нарушение состояния здоровья.

В СССР метеорологические условия в промышленных, жилых и общественных зданиях регламентируются по оптимальной и допустимой величине температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха. Значения последних устанавливаются с учетом избытков явной теплоты, тяжести выполняемой работы и времени года.

Явной принято называть теплоту, поступающую в рабочее помещение от оборудования, отопительных приборов, нагретых материалов, людей и воздействующую на температуру воздуха в этом помещении.

По количеству явной избыточной теплоты производственные помещения разделяют на холодные — с незначительным избытком явной теплоты, не превышающим или равным $23 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$, и горячие — со значительным избытком явной теплоты, превышающим $23 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$.

При нормировании важно помнить, что наличие нагретой поверхности вблизи работающего человека может существенно изменить микроклиматические условия и соотношение t , f и v воздуха, так что необходимо эти параметры рассматривать во взаимосвязи.

Выполняемые работы на основе общих энергозатрат организма разграничиваются на три категории. К категории I относятся легкие физические работы с энергозатратами до 172 Дж/с , выполняемые сидя, стоя или связанные с ходьбой, но не требующие систематического физического напряжения или поднятия и переноски тяжестей; категория II включает физические работы средней тяжести, охватывающие виды деятельности, при которых расход энергии составляет $172\text{—}232 \text{ Дж/с}$ (категория IIa) и $232\text{—}293 \text{ Дж/с}$ (категория IIб). К категории IIa относятся работы, связанные с постоянной ходьбой, выполняемые стоя или сидя, но не требующие перемещения тяжести. К категории IIб относятся работы, связанные с ходьбой и переноской небольших (до 10 кг) тяжестей. Категория III характеризует тяжелые физические работы с энергозатратами более 293 Дж/с , связанные с систематическим физическим напряжением, в частности, с постоянными передвижениями и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей.

При нормировании метеорологических условий во времени года выделяют теплый (со среднесуточной температурой наружного воздуха 10°C и выше), переходный и холодный периоды (со среднесуточной температурой наружного воздуха ниже 10°C).

Диапазон оптимальных температур в производственных помещениях колеблется от 16 до 23°C в холодный период года и от 18 до 25°C в теплый период года. Влажность воздуха при этом должна составлять соответственно $30\text{—}60\%$, скорость его движения $0,2\text{—}0,5 \text{ м/с}$. В горячих цехах скорость воздуха может быть $3,5 \text{ м/с}$. Влажность воздуха не должна быть ниже 30% ; при 20% -ной влажности пересыхают слизистые оболочки рта и горла. Максимально допустимая температура для постоянной работы в закрытых помещениях равна 28°C , температура воздуха вне постоянных рабочих мест 33°C , относительная влажность 85% , скорость движения воздуха $0,7 \text{ м/с}$.

При кондиционировании должны создаваться оптимальные метеорологические условия. При этом надо иметь в виду, что постоянное пребывание человека в наилучших метеорологических условиях ведет к снижению защитных функций организма — к климатической монотонии. Работающие в таких

условиях больше подвержены простудным, инфекционным и другим заболеваниям. В течение рабочей смены целесообразно с учетом этого периодически изменять параметры микроклимата, обеспечивая в то же время оптимальные условия в целом.

В помещениях площадью более 100 м² регламентированные метеорологические условия обеспечиваются только на рабочих местах. В помещениях со значительным выделением влаги допускается повышение относительной влажности: для теплого периода года — на 10 % (при тепловлажностном отношении¹ 4186—6279 кДж/кг; на 20 % — соответственно до 4186 кДж/кг). В обоих случаях относительная влажность не должна превышать 75 %.

Приведенные здесь нормы распространяются на все производственные помещения объектов нефтяной и газовой промышленности (здания газосборных пунктов и установок комплексной подготовки газа, машинные залы газовых турбин, насосные станции, цехи по ремонту промыслового оборудования, помещения для диспетчеров и т. д.).

§ 4. Тепловые и ультрафиолетовые облучения.

Допустимые дозы

Солнце, нагретые поверхности, открытые топки и электросварка являются типичными источниками ультрафиолетового и теплового излучения на объектах нефтяной и газовой промышленности. Иногда эти источники определяют микроклиматические условия. По интенсивности их подразделяют на незначительные — до 84 кДж/ч, значительные — от 84 до 630 кДж/ч и чрезмерные — более 630 кДж/ч.

Прозрачность кожного покрова человека неодинакова для различных участков спектра. Лучше поглощается и рассеивается в тканях организма тепловое (инфракрасное) и ультрафиолетовое излучение с длиной волны 3 мкм. Если максимум энергии приходится на эти части спектра, повышение температуры тела при облучении максимально. Поглощенная часть падающего теплового потока здесь больше отраженной. При интенсивности излучения 6,3—8,4 Дж/(см²·мин) температура кожного покрова может повыситься до 46 °С и более. Человек ощущает при этом непереносимую боль (жжение). Организм приспосабливается к этим условиям нередко за счет перенапряжения отдельных приспособительных функций. В некоторых случаях это может приводить к стойким длительным патологическим изменениям, заболеваниям и ожогам разной степени тяжести.

¹ Тепловлажностное отношение — отношение суммы явной и скрытой теплоты к количеству выделяющейся влаги (Дж/кг).

Допустимые значения E , v и t при выполнении работ разной тяжести

Работа	E , Дж/(см ² ·мин)	v , м/с	t , °С
Легкая	6,3	2	25
Средней тяжести	10,5	2—3	15—20
Тяжелая	8,5	4—5	8—12

Допустимые значения интенсивности тепловых излучений E , скорости воздуха v и температуры t °С при выполнении работ разной тяжести по энергозатратам приведены в табл. 6.

Тепловое облучение интенсивностью 3,4 Дж/(см²·мин) считается слабым и переносится человеком неопределенно долго.

§ 5. Обеспечение нормальных микроклиматических условий труда

Все технологическое оборудование, процессы, операции проектируются с учетом их возможного воздействия на микроклиматические условия в рабочих зонах. Из производственной среды, технологического процесса следует исключать источники избыточной теплоты. При невозможности их исключения необходимо предусматривать их теплоизоляцию. При этом температура нагретых поверхностей и ограждений во всех случаях не должна превышать 45 °С, а для установок, внутри которых температура равна 100 °С,— соответственно 35 °С.

Если невозможно обеспечить нормальные микроклиматические условия рациональным размещением оборудования, отдельных установок, их теплоизоляцией, для защиты работающих от перегрева применяют экраны, водяные, воздушные и воздушно-водяные завесы, снижающие интенсивность теплового излучения на 70 % и более, или выносят нагреваемые технические устройства в отдельные изолированные помещения или на открытый воздух.

При размещении нагреваемого оборудования в производственных помещениях важно исключить возможность попадания тепловых потоков на рабочие места, стены, которые в последующем могут оказаться дополнительными источниками тепловой энергии.

Во многих случаях целесообразна комплексная механизация и автоматизация производственных процессов и дистанционное управление, исключающие необходимость пребывания человека в неблагоприятном микроклимате.

Весьма эффективно использовать общеобменную и местную вентиляцию (воздушное душирование), рассчитанную для помещений с большими избытками явной теплоты. Действие венти-

ляции на параметры воздушной среды во много раз выше при применении ее в сочетании с кондиционированием.

Помещения, где температура ниже установленных норм, следует оборудовать приточной вентиляцией с предварительным подогревом воздуха, тепловыми воздушными завесами и специальными отопительными установками.

В нефтяной и газовой промышленности остается проблемой создание нормальных метеорологических условий в производственных помещениях больших объемов (машинные ангары, ремонтные цехи), а также на объектах, где невозможно оборудовать замкнутое пространство (современные буровые установки). Эта проблема особенно актуальна для районов Крайнего Севера. В последние годы все шире применяют душирование теплой и охлажденной струей, снабжают работающих специальной одеждой.

В нормах регламентируются температура и скорость движения воздуха при душировании с разной интенсивностью. В Уфимском НИИТБ была создана и опробована установка для обогрева рабочих мест на буровой установке БУ-75 теплым воздухом. При температуре окружающего воздуха от -10 до -15 °С температура на уровне пола составляла 2 °С, на уровне 1 м от пола $+5$ °С.

Выявленные недостатки этой системы — высокая температура и скорость подаваемого воздуха, непостоянство параметров микроклимата по вертикали, возможность образования при низких температурах воздуха тумана и снижение видимости — были устранены в предложенной новой системе обогрева буровых теплым воздухом (ОБВ), предназначенной для обогрева рабочих мест, пультов управления и приборов контроля, противобросового устьевого оборудования, блока очистки, емкостей для промывочной жидкости и циркуляционной системы, гидравлической коробки буровых насосов и др. Эта система в настоящее время широко внедряется на буровых установках Западной Сибири и Крайнего Севера.

Весьма перспективными следует признать исследования по созданию терморегулируемой спецодежды с применением автономного источника искусственного терморегулирования.

Глава V

ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

§ 1. Схемы и способы проветривания производственных помещений

Основная задача вентиляции во всех производственных помещениях нефтяной и газовой промышленности состоит в том, чтобы поддерживать постоянный химический состав воздуха, соответствующий по чистоте и содержанию кислорода его есте-

ственному составу, не допускать загрязнения воздуха ядовитыми, взрывчатыми и другими вредными веществами, поддерживать его температуру, относительную влажность, скорость и давление в допустимых пределах.

Выполнение этой задачи на объектах нефтяной и газовой промышленности осложняется наличием значительного количества ядовитых и взрыво-пожароопасных веществ, используемых в больших объемах и в разном агрегатном состоянии, постоянным и периодическим выделением вредных примесей, теплоты и влаги в воздух производственных помещений, широким использованием в технологии высоких давлений и температур, токсичных жидкостей и газов, сложной структурой и реакциями производственной среды и т. д.

В связи с этими особенностями нефтегазодобывающего производства к эффективности и надежности вентиляционных систем разного назначения здесь предъявляются повышенные требования.

Высокая надежность вентиляционных систем обеспечивается их научно обоснованным проектированием, высококачественным исполнением и правильной эксплуатацией.

Под вентиляцией вообще понимают совокупность устройств, предназначенных для организованного воздухообмена, в результате которого на всех рабочих местах поддерживаются надлежащие санитарно-гигиенические свойства атмосферного воздуха и обеспечивается метеорологический комфорт.

Различают естественную и искусственную (механическую) вентиляцию. При естественной вентиляции воздухообмен осуществляется за счет разности плотностей воздуха (при различных температурах) и скоростного (ветрового) напора (депрессии); при искусственной вентиляции воздухообмен создается вентиляторами и другими механическими устройствами.

В зависимости от вида и опасности вредных выбросов в производственных помещениях и режима их поступления вентиляция может быть организованной (через окна, фрамуги, аэрационные фонари-каналы с дефлекторами) и неорганизованной (через щели, неплотности и т. д.); приточной, вытяжной и приточно-вытяжной; общеобменной, местной и смешанной; рабочей и аварийной.

В зависимости от соотношения количеств подаваемого $Q_{\text{п}}$ и удаляемого ($Q_{\text{уд}}$) воздуха в производственном помещении может поддерживаться давление выше или ниже атмосферного. В каждом из этих случаев будет разной вероятность опасной рециркуляции, попадания в атмосферу вредных токсичных веществ, загрязненного воздуха из соседних помещений и т. п.

Помещения машинных залов газовых турбин, компрессорных, насосных станций, котельных, например, могут проветри-

ваться только по приточной схеме ($Q_{пр} \gg Q_{уд}$, так как $Q_{уд} \approx 0$) и не менее чем при 20-кратной замене воздуха в течение часа. Создаваемый при этом подпор воздуха (давление в помещении выше атмосферного) исключает возможность проникновения в помещение вредных и взрывоопасных веществ. Вытяжка в данном случае вообще неприемлема.

В то же время аварийную вентиляцию проектируют только на отрицательный баланс воздушной среды $Q_{пр} < Q_{уд}$, ускоряющий рассеивание вредных веществ с течением времени и т. д.

§ 2. Естественная вентиляция (аэрация)

Естественную вентиляцию применяют обычно в помещениях, где выделяется небольшое количество избыточной теплоты, относительно быстро прогреваются воздух и содержащиеся в нем вредные вещества. При организованной естественной вентиляции (аэрации) воздухообмен регулируют наиболее полным использованием ветрового напора, задвижками в вытяжных и приточных каналах с дефлекторами, большим или меньшим открытием фрагуг в незадуваемых фонарях, перекрытиях, стенах и окнах; при неорганизованной вентиляции (инфильтрации) проветривание реализуется за счет утечек через неплотности в стенах (складские помещения, ангары, крытые стоянки машин, гаражи для ремонта и др.).

Преимущества аэрации: экономически выгодная подача относительно больших количеств воздуха, простота и дешевизна устройств, возможность организованного проветривания, регулирования в определенных пределах. Недостатки: непостоянство депрессии (напора) и количества подаваемого воздуха, небольшая кратность воздухообмена (3—6), иногда недостаточного для поддержания нормальных санитарно-гигиенических условий, невозможность очистки воздуха без установки дополнительных механизмов, способствующих его движению и оптимальному распределению, а также специфические требования к конструкции здания, компоновке оборудования и т. д.

Естественное движение воздуха в производственных помещениях происходит под влиянием разности барометрического и гидростатического давлений в различных точках по высоте и скоростного напора. Все виды энергии движущегося воздуха можно определить по уравнению Бернулли:

$$\rho + z\gamma + \frac{v^2}{2g} \gamma = \text{const},$$

где ρ — статическое давление воздуха в рассматриваемой точке; $z\gamma$ — гидростатическое давление столба воздуха в рассматриваемой точке; $(v^2/2g)\gamma$ — скоростное давление движущегося воздуха.

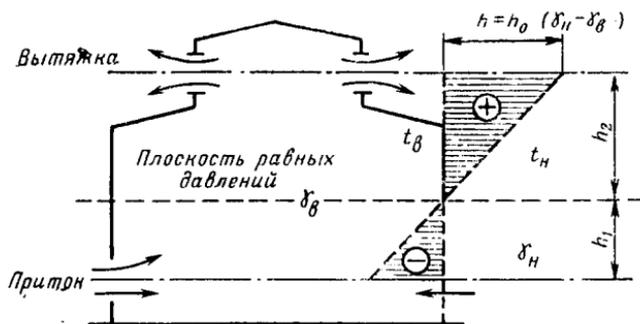


Рис. 2. Эпюра теплового напора при естественной вентиляции производственного помещения

Сумма энергии 1 м³ движущегося воздуха в начальном сечении А воздуховода равна сумме энергии в сечении Б.

По уравнению Бернулли

$$p_1 + z_1\gamma + \frac{v^2}{2g} \gamma = p_2 + z_2\gamma + \frac{v^2}{2g} \gamma + h,$$

где h — разность давлений в точках А и Б, называемая депрессией. Если $z_1 = z_2$, $v_1 = v_2$, а сечение воздуховода $S = \text{const}$, то $h = p_A - p_B$; p_A , p_B — давление воздуха в точках А и Б.

При отсутствии ветрового напора среднее давление воздуха в производственном помещении практически равно давлению окружающего атмосферного воздуха. Однако это равенство наблюдается только в горизонтальной плоскости, на уровне примерно середины высоты цеха по ремонту крупногабаритной техники и называется плоскостью равных давлений (рис. 2). Если температура в цехе $t_{в}$ выше наружной температуры $t_{н}$, то удельный вес воздуха внутри цеха $\gamma_{в}$ (Н/м³) будет меньше удельного веса наружного воздуха $\gamma_{н}$ (Н/м³). Тогда давление, создаваемое столбами воздуха высотой h_1 от центра нижних открытых отверстий до плоскости равных давлений, составит: внутри здания $h_1\gamma_{в}$, снаружи $h_1\gamma_{н}$. На уровне центра нижних отверстий возникает разность давлений, обусловленная весом столбов наружного и внутреннего воздуха:

$$h_{н} = h_1\gamma_{н} - h_1\gamma_{в} = h_1(\gamma_{н} - \gamma_{в}).$$

Эта разность давлений вызывает движение наружного воздуха в помещении. Аналогично

$$h_{в} = h_2(\gamma_{н} - \gamma_{в}).$$

Суммарная величина всей разности теплового давления

$$h_{т} = h_1 + h_2 = H(\gamma_{н} - \gamma_{в}).$$

Скорость воздуха в проеме приблизительно можно вычислить из выражения

$$v \approx 4\sqrt{h_{т}}.$$

Из рис. 2 видно, что с наветренной стороны здания создается повышенное давление воздуха (масса движущегося воздуха «заторможена» и изменяет направление движения, создает давление на стену здания). На подветренной стороне здания и под кровлей образуется зона пониженного давления. Под влиянием разности давлений часть наружного воздуха проходит через здание (см. рис. 2).

Движущей силой при такой вентиляции является действие ветра и разности температур (плотностей) воздуха. Аэродинамическая задача аэрации производственного здания значительно усложняется.

Эффективность естественной вентиляции будет зависеть в данном случае от комплексной согласованности средств и способов управления сложной аэрацией с природой и характером сил и энергии в потоке движущегося воздуха (рис. 3).

Наиболее эффективные схемы естественного проветривания производственных помещений при разных метеорологических (погодных) условиях приведены на рис. 4, а, б. Из рис. 4 видно, что при направлении ветра поперек продольной оси здания в теплый период года эффективно открывать дверки 1 с наветренной стороны. При этом с подветренной стороны дверки 2 открывают полностью, и воздух удаляется через открытую створку 4 (см. рис. 4). Створка 3 закрыта полностью.

В холодный период года воздух подается через отверстия 5 и 6 (см. рис. 4, б), выходит через створку 4 с уменьшенным зазором. Высокая эффективность этих схем достигается за счет наиболее полного использования естественной депрессии движущихся потоков воздуха. При безветрии естественный воздухообмен происходит только под действием разности температур (плотностей) воздуха в различных точках. Это обстоятельство учтено в схемах вентиляции, приведенных на рис. 5. В теплый период года большее количество воздуха в производственное помещение поступает при полностью открытых проемах 1, 2 (рис. 5, а); вытяжка происходит через полностью открытые проемы 3, 4.

В холодный период года процесс аэрации происходит эффективнее, если приток воздуха осуществляется через средние проемы 5, 6 (рис. 5, б), а вытяжка — через обе стороны фонаря 3 и 4.

Оптимальный вариант организованной вентиляции производственных помещений за счет скоростной и тепловой депрессии выбирают в каждом конкретном случае на основе анализа метеорологических условий, конструкции здания, ориентации его в отношении ветра, планировки, источников теплоты и т. д.

Для улучшения местного проветривания и общей естественной вентиляции помещений широко применяют дефлекторы — специальные насадки, создающие дополнительную тягу в вытяжном канале. Движущийся воздух при обтекании дефлектора

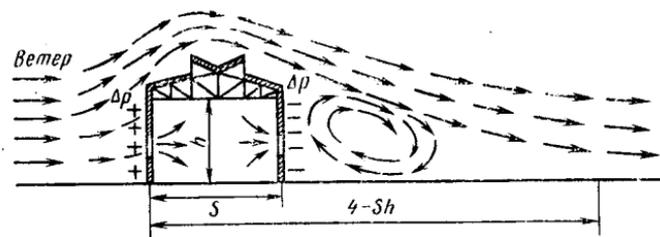


Рис. 3. Приращение давления Δp с наветренной стороны здания за счет скоростного напора

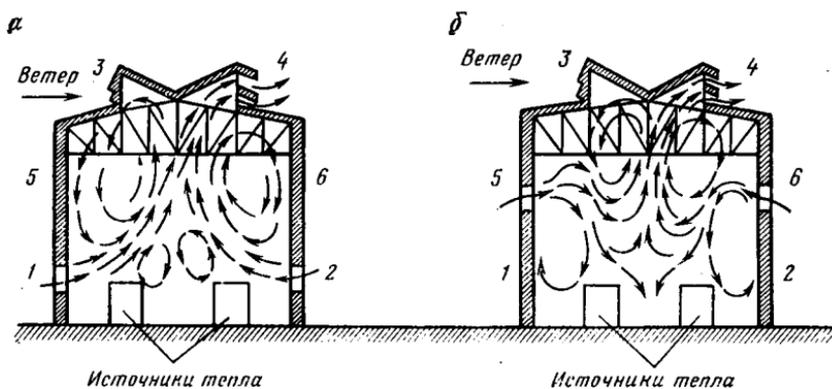


Рис. 4. Схема аэрации за счет теплового и скоростного напоров

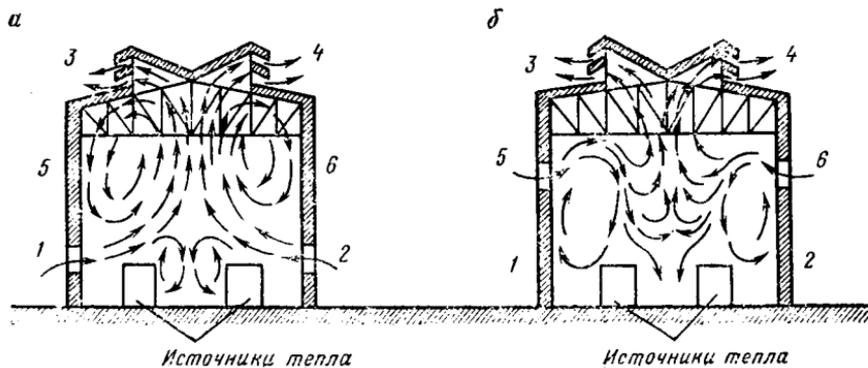


Рис. 5. Схема аэрации многопролетного помещения:
 а — в теплое время года; б — в холодное время года

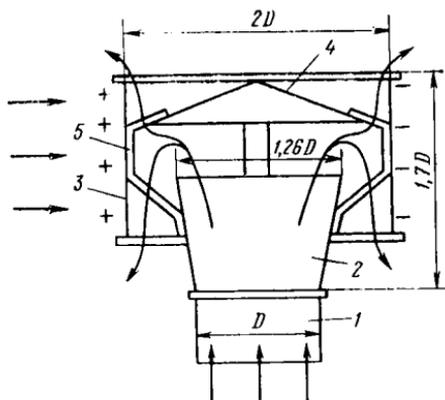


Рис. 6. Схема дефлектора ЦАГИ:
 1 — патрубок; 2 — раструб; 3 — корпус; 4 — зонт; 5 — лапки для крепления зонта

(рис. 6) на значительной части его поверхности создает пониженное давление (разрежение). Величина возникающего градиента давления при этом зависит от направления движения, скорости воздуха, скоростного напора, конструкции дефлектора, сечения и длины вытяжного канала. Дефлекторы обычно устанавливают на крышах зданий (открытые площадки) с учетом характерных для данной местности скоростей и направлений ветра (розы ветров).

Имеются дефлекторы разных конструкций. Предпочтительным является дефлектор ЦАГИ, характеризующийся более совершенными параметрами, при которых ветер создает разрежение на $\frac{5}{7}$ его окружности (обечайки). Оптимальный диаметр подводящего канала определяется из выражения

$$D = 0,0188 \sqrt{\frac{Q_d}{v_n}},$$

где Q_d — производительность дефлектора; v_n — скорость воздуха в патрубке, соответствующая значению D , не превышающему 1 м. Дефлектор рассчитывают по формуле

$$\frac{Q}{n} = \frac{\pi D^2}{4} v_d,$$

где Q — количество воздуха, которое может удаляться из производственного помещения дефлекторами; n — число дефлекторов; D — диаметр патрубка дефлектора; v_d — скорость движения воздуха в дефлекторе.

Для цилиндрического дефлектора ЦАГИ $v_d = 0,5v_v$; для звездообразного $v_d = 0,4v_v$ (v_v — скорость ветра).

Недостатки дефлектора: непостоянная и не всегда достаточная производительность, зависящая от скорости воздуха и, как следствие, невысокая кратность воздухообмена.

В особо опасных производствах (кустовые насосные компрессорные станции и др.), где возможно внезапное выделение токсичных и взрывоопасных газов, предусматривают аварийную вентиляцию, которая обеспечивает воздухообмен большой кратности, при необходимости опрокидывание (реверс) вентиляционных струй, создание разрежения и т. д.

Цель общеобменной механической вентиляции (наряду с местными вытяжками вредных примесей) — обеспечить нормаль-

ные санитарно-гигиенические условия в производственном помещении за счет замены и разбавления загрязненного воздуха свежим. При объеме помещения на одного рабочего до 20 м³ и отсутствии в нем вредных примесей (материально-технические склады, помещения управления) количество подаваемого чистого воздуха должно быть не менее 30 м³/ч на одного рабочего; при объеме помещения от 20 до 40 м³ — соответственно 20 м³/ч на одного рабочего.

Потребное количество воздуха при механической вентиляции определяется по количеству выделяющихся вредных веществ, по количеству избыточной теплоты и влаги, по числу одновременно занятых в производственном помещении людей.

Ниже приведены расчетные формулы.

1. Количество подаваемого воздуха, необходимого для разбавления выделяющихся вредных примесей до концентраций ниже предельно допустимых при общеобменной вентиляции, определяется по формуле (в м³/ч):

$$Q_{уд} = \frac{q}{C_3 - C_0},$$

где $Q_{уд}$ — количество воздуха, удаляемого из помещения, м³/ч; q — количество вредных веществ, поступающих в помещение, мг; C_3 — концентрация вредных веществ в загрязненном воздухе, мг/м³; C_0 — концентрация вредных веществ в поступающем воздухе, мг/м³ (должна быть не более 30 % от ПДК).

Количество вредных газов q_r , выделяющихся через неплотности оборудования, вычисляют по формуле (в г/ч)

$$q_r = \frac{n\eta\rho}{100\rho_0} v_a\rho K,$$

где n — потеря герметичности в течение 1 ч (принимается равной 2—5 %); η — коэффициент запаса, принимается в зависимости от состояния оборудования ($\eta=1-2$); ρ — рабочее давление в аппаратуре, Па; ρ — плотность паров или газов, выделяющихся из аппарата, кг/м³; ρ_0 — давление в помещении, Па; v_a — внутренний суммарный объем аппаратуры и коммуникаций, м³; K — коэффициент, зависящий от давления внутри аппарата (принимается по приведенным ниже данным).

Рабочее давление, 9,8 ×

× 10⁴ Па <2 2 7 17 41 161 401 1001
Коэффициент K 0,121 0,166 0,182 0,189 0,252 0,298 0,327 0,370

Приведенной формулой можно пользоваться, если технологические процессы осуществляются полностью в закрытом герметичном оборудовании (трубопровод, насосная, компрессорная и т. д.).

Иногда общий объем выбрасываемых вредностей вычисляют по материальному балансу производственного процесса (разность между общей суммой потерь и потерями с промывочными

жидкостями, выхлопными газами и т. п., равная количеству вредных выбросов, поступающих в окружающую среду). Утечка летучих продуктов, по данным практики, составляет через сальники (при хорошем обслуживании) 100 г/ч; через неплотности в компрессорах 250—400 г/ч.

2. Количество воздуха при расчете по тепловыделению в производственном помещении Q_t , м³/ч, определяют по формуле

$$Q_t = \frac{\theta_{\text{изб}}}{c\rho(T_y - T_{\text{п}})},$$

где $\theta_{\text{изб}}$ — количество избыточной теплоты, подлежащей удалению из помещения, кДж/ч; c — теплоемкость воздуха (1,01 кДж/(кг·К)); ρ — плотность воздуха, кг/м³; T_y — температура воздуха, удаляемого из помещения, °С; $T_{\text{п}}$ — температура воздуха, поступающего в помещение, °С.

Значение $\theta_{\text{изб}}$ вычисляют по формуле

$$\theta_{\text{изб}} = \Sigma\theta_{\text{пр}} - \Sigma\theta_{\text{ог}}.$$

$\Sigma\theta_{\text{пр}}$ — общее количество теплоты, поступающей в производственное помещение от различных источников,

$$\Sigma\theta_{\text{пр}} = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4 + \theta_5,$$

где θ_1 — тепловыделение от людей¹, зависящее от тяжести выполняемой работы и метеорологических условий; θ_2 — тепловыделение от механизмов (при переходе механической энергии в тепловую);

$$\theta_2 = \varepsilon 860 N \eta \beta, \text{ кДж/ч},$$

где ε — коэффициент использования загрузки установочной мощности электродвигателя, равный в среднем 0,7—0,8; N — суммарная установочная мощность электродвигателя, кВт; 860 — теоретический эквивалент 1 кВт или $4,18 \cdot 10^2$ Дж; β — коэффициент одновременности работы механизмов; θ_3 — тепловыделение от печей, котлоагрегатов (определяют по тепловому балансу печи); θ_4 — тепловыделение от солнечной радиации²; θ_5 — тепловыделение от поступающего воздуха; $\Sigma\theta_{\text{ог}}$ — теплоотдача в окружающую среду через наружные ограждения.

Количество воздуха, необходимое для выноса избыточной теплоты (обеспечение метеорологического комфорта), можно определить по формуле

$$Q_t = \frac{\theta_{\text{изб}}}{0,24(T_y - T_{\text{п}}) 3600},$$

где T_y и $T_{\text{п}}$ — соответственно температура удаляемого и поступающего воздуха.

¹ Один человек выделяет в среднем 17,8—43,6 кДж/ч теплоты.

² В разных районах страны оно неодинаково; для Москвы, например, через окна с Ю, Ю—В, В—З (деревянные переплеты) — 50 кДж/ч; с В, З, С—В, С—З — 26,2 кДж/ч. Для окон с двумя переплетами вводится коэффициент 0,6; для металлических оконных переплетов соответственно 1,25.

Зависимость фактора гравитационной подвижности
воздушной среды от температуры

Температура, °С	До 30	40	50	60	70	80	90	100
<i>a</i>	0,022	0,023	0,033	0,037	0,041	0,046	0,051	0,06

3. Количество воздуха, необходимое для удаления избыточной влаги (Q_B), определяют по выражению

$$Q_B = \frac{W_B 100}{\alpha_y - \alpha_n},$$

где W_B — количество выделяющейся влаги, кг/ч; α_y — влагосодержание удаляемого воздуха, г/м³; α_n — влагосодержание поступающего воздуха, г/м³.

W_B вычисляют по формуле

$$W_B = F (a + 0,017v) (p_2 - p_1),$$

где F — поверхность испаряющейся жидкости (с мокрого пола и т. п.); a — фактор гравитационной подвижности воздушной среды (табл. 7); p_1 — давление водяных паров в окружающем воздухе, Па; p_2 — давление водяных паров в воздухе производственного помещения при температуре испаряющейся жидкости, Па; v — скорость движения воздуха над источником испарения, $v = 0,1 - 0,3$ м/с.

Производительность вентилятора определяют по наибольшему расчетному количеству потребного воздуха:

$$Q_B = k Q_p,$$

где k — коэффициент, учитывающий потери или подсос воздуха (для стальных, асбестоцементных и пластмассовых воздуховодов длиной до 50 м $k = 1,1$; в отдельных случаях — 3,15).

Необходимую установочную мощность на валу электродвигателя вентилятора вычисляют по формуле

$$N_g = k \frac{Q_B H}{3600 \cdot 102 \eta_B \eta_{II}},$$

где k — коэффициент запаса (1,1 + 1,5); Q_B — производительность вентилятора, м³/ч; H — создаваемый напор, Па; η_B — к. п. д. вентилятора (принимается по характеристикам вентиляторов); η_{II} — к. п. д. передачи.

Для оценки эффективности вентиляции на практике широко используют также показатель кратности воздухообмена K —

отношение объема удаляемого (подаваемого) воздуха (Q , м³/ч) к объему помещения V (м³):

$$K = Q/V.$$

Значение K для разных производственных объектов может изменяться от 5 до 40 и более.

§ 3. Местная механическая вентиляция

Научные исследования и опыт свидетельствуют о том, что всякую вредность легче подавить в источнике ее образования, чем уловить, выделить и утилизировать вредные вещества из загрязненного воздуха.

Распространение вредных примесей в производственных помещениях предупреждают при помощи устройств местной вентиляции: вытяжных шкафов, вытяжных зонтов полузакрытого и открытого типов, бортовых отсосов от сальников и мест отбора проб и т. п. С помощью воздушных душей, оазисов и завес создаются нормальные метеорологические условия на рабочих местах.

Отсос загрязненного воздуха от замкнутых объемов технологического оборудования, где выделяются вредные вещества, называется аспирацией. Аспирацию применяют в тех случаях, когда невозможно обеспечить герметизацию аппарата, установки и удалить вредные вещества при помощи общеобменной или местной вытяжной вентиляции.

Количество воздуха, отсасываемого из-под воздушного зонта (рис. 7), можно определить из выражения

$$Q_3 = 3600v_3S_3,$$

где v_3 — скорость воздуха в открытом сечении зонта, равная 0,8—1,25 м/с (зависит от места расположения зонта).

Если воздух под зонт засасывается с четырех сторон, $v_3 = 1,05$ —1,25 м/с; если с трех сторон, $v_3 = 0,9$ —1,05 м/с; если с двух сторон, $v_3 = 0,75$ —0,9 м/с; S_3 — площадь сечения зонта, м².

Во всех случаях размер зонта должен быть больше, чем расстояние H от поверхности выделения вредных газов и паров до приемного отверстия зонта, на 0,4 м. Загрязненный воздух отсасывается с противоположной стороны от места нахождения рабочего.

Бортовой отсос (от бортов ванн) может быть одно- и двусторонним — отсос с испаряющейся поверхности жидкости и плоская вентиляционная струя, поступающая к борту ванны с внешней стороны (система с продувкой). Плоская струя выходит из щели шириной 5—7 мм со скоростью 6—10 м/с. Этот способ вентиляции применяется, в частности, на установках очистки сточных вод. Бортовые отсосы нельзя применять при высоких температурах и значительной летучести жидкости.

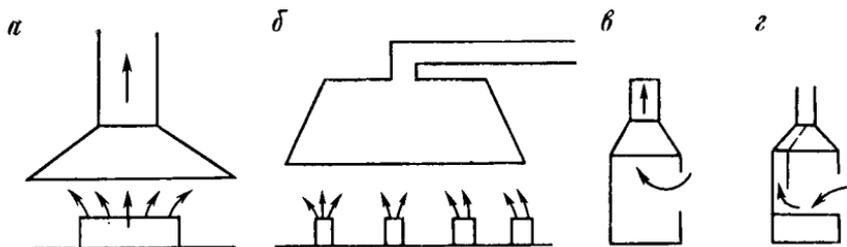


Рис. 7. Схемы местных вытяжных систем вентиляции:
 а — индивидуальный зонт; б — групповой зонт; в — односторонний вытяжной шкаф; г — двухсторонний вытяжной шкаф

Воздушные души — поток подогретого до 15—25 °С воздуха, направленного на человека со скоростью 2—4 м/с, необходимо применять, когда интенсивность теплового облучения человека превышает $4,18 \cdot 10^3$ Дж/(см²·мин). Количество подаваемого при этом воздуха определяют по формуле

$$Q_d = 3600v_d S,$$

где v_d — скорость воздуха в открытой части дозирующего патрубка, м/с; S — площадь сечения патрубка, м². Величину v_d определяют по формуле

$$v_d = \frac{v_x d}{ax},$$

где x — расстояние от дузирующего патрубка до рабочего места, м; d — диаметр патрубка, м; v_x — скорость движения воздуха на рабочем месте, м/с; a — коэффициент, при разных соотношениях x/d равен:

x/d	3	4	5	6	7
a	0,2	0,12	0,08	0,06	0,045

Воздушные завесы — струи воздуха, выдуваемые из узкой щели воздуховода со скоростью 10—15 м/с под углом 30—45° навстречу потоку холодного воздуха, устремляющегося в открытые двери или наперерез потоку горячего воздуха из топок. Взаимодействие двух потоков препятствует движению естественного потока воздуха и выполняет роль регулятора метеорологических условий. Вытяжные шкафы (рис. 8) рассчитывают по формуле

$$Q = 3600v \Sigma S_z,$$

где v — скорость воздуха в сечении всасывающих отверстий, м/с (скорость воздуха v равна 0,5—0,7 м/с при концентрации K вредных веществ 0,1 мг/л; 0,7—1 м/с — при $K > 0,1$ мг/л; 0,25—0,5 м/с — при выделении паров влаги; 1,5—4 м/с — при

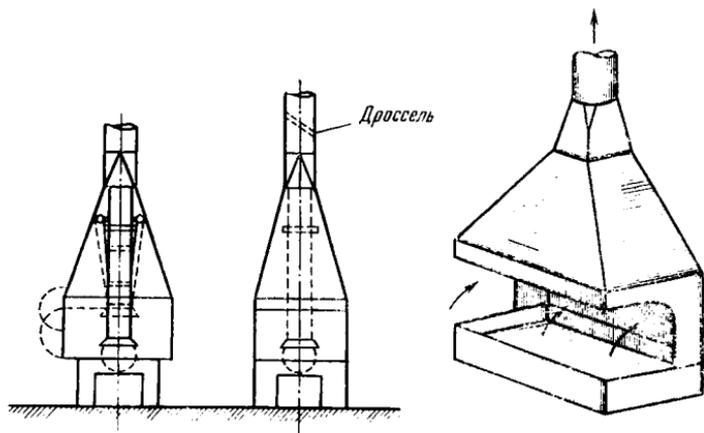


Рис. 8. Схемы вытяжных шкафов

выделении пыли); ΣS — суммарная площадь всасывающих отверстий; z — коэффициент запаса, равный 1,1—1,15.

Приведенные выше методы расчета используются при проектировании вентиляции, выборе вентилятора, воздуховодов, калорифера и кондиционера по производительности.

Глава VI

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

§ 1. Роль освещения в условиях труда

Свет оказывает большое влияние на организм человека, работу основных физиологических систем, характер психических процессов. Недостаточная или чрезмерная освещенность, например, может изменять кровяное давление, замедлять биохимический обмен веществ, понижать активность и работоспособность. Состояние зрения имеет большое значение в безопасности труда. При помощи зрения человек воспринимает величину, форму, цвет, расположение предметов, расстояние между ними, приобретает возможность ориентироваться в пространстве.

От светового комфорта на рабочем месте зависит качество восприятия осведомительной, командной информации, которое определяет в последующем эффективность деятельности человека по управлению, контролю, выработке и исполнению принимаемых решений.

Эффективность зрения принято характеризовать остротой — способностью глаза различать две точки на минимально ко-

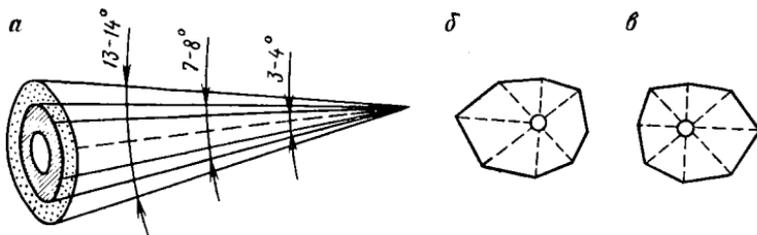


Рис. 9. Область (а) и поле (б, в) острого зрения

ротком расстоянии друг от друга, равно, например, одной угловой единице 0,04 мм (по эталонному кругу). Острота зрения человека непостоянна. Она зависит от состояния здоровья, профессионального опыта, условий и режима труда и отдыха. У людей в возрасте 20 лет она максимальная — 100 %, у 40-летних — 90 %, у 60-летних — 74 %. В темноте 60-летние видят в 8 раз хуже, чем 20-летние. Светочувствительность у людей максимальна в 5—6 ч утра; в светлую лунную ночь она снижается до 30—70 %, а в темную ночь — до 3—5 %.

При монохроматическом свете (одной длины волны) острота зрения повышается. Вообще она неодинакова для разных частей оптического спектра. Днем лучше виден желтый свет (длина волны 555 мкм); в сумерках — зелено-голубой (500 мкм). Наиболее остро объекты воспринимаются в области центрального зрения — в конусе 3—4°; хорошо — в конусе 7—8°; удовлетворительно — 13—14°. За пределами 20° предметы видны без ясных деталей и окраски (рис. 9).

Нормальное поле зрения (обозреваемое пространство при неподвижном взгляде) для глаза имеет размеры: 80° вправо и влево, 60° вверх и 90° вниз.

Характерные для объектов нефтяной и газовой промышленности высокие темпы производственных операций, работы машин, изменения среды предъявляют повышенные требования к глазомеру, с помощью которого человек воспринимает и предвидит направление, скорость движения, расстояние. Зрительный акт состоит из перемещения взгляда (затрата времени 0,1—0,3 с), фиксации зрения (0,1—0,3 с), оценки ситуации (0,6 с), принятия решения (1,0 с). Эти ограничения, а также свойственная зрению человека инерция (после перевода взгляда с одного объекта на другой человек в течение сотых долей секунды продолжает «видеть» образ первого объекта) служат причиной многих опасных сбоев и ошибок. При этом причиной ошибки является не то, что человек не воспринял нового сигнала, а то, что он своевременно не смог забыть уже использованную информацию и т. д.

§ 2. Светотехнические показатели

По физической природе свет представляет собой электромагнитное излучение с длиной волны, значительно меньшей длин радиоволн (770—380 нм — видимый диапазон; 380—10 нм — ультрафиолетовый диапазон).

За единицу светового потока принят люмен (лм), соответствующий потоку лучистой энергии, проходящему через площадку в 1 см^2 в 1 с .

Величину светового потока F можно определить по формуле

$$F = J\omega,$$

где J — сила света, кд (кандела); ω — телесный угол, ср (стерадиан).

За единицу силы света принята кандела — излучение с $1/60 \text{ см}^2$ поверхности платины (государственного светового эталона) в перпендикулярном направлении при температуре затвердевания ее $2046,65 \text{ К}$ и давлении 101325 Па (760 мм рт. ст.).

Отношение светового потока F к величине освещаемой поверхности S (плотность потока) называется освещенностью E

$$E = F/S.$$

Световой поток в 1 лм , падающий на площадь в 1 м^2 , создает освещенность, равную 1 люксу (лк).

Освещенность отдельной рабочей поверхности в зависимости от силы света J и расстояния ее от источника света r

$$E = J \cos \alpha / r^2,$$

где α — угол между падающим лучом света и нормалью, опущенной из точечного источника света на освещаемую поверхность.

Яркость B — мера светового излучения самосветящейся поверхности (или поверхности, светящейся отраженным светом). Ее можно вычислить по формуле

$$B = J/S.$$

Если излучение (отражение) света происходит под углом α , значение B определяется из уравнения

$$B = J/S \cos \alpha.$$

В качестве единицы яркости принят стильб (сб) — яркость светящейся поверхности, с 1 м^2 которой излучается свет силой в 1 канделу .

Скорость и точность зрительного восприятия (распознавания) зависят также от контраста яркостей объекта различения (B_0) и фона (B_Φ) — поверхности, на которой рассматривается

объект. Количественно контраст можно характеризовать показателем K :

$$K = \frac{B_0 - B_\phi}{B_\phi}.$$

Если $K > 0,5$ — контраст большой; при $K = 0,2 - 0,5$ — средний; при $K < 0,2$ — малый. Предметы труда, рабочие поверхности должны быть ярче других элементов производственной среды.

Чрезмерную яркость принято называть блескостью. Излишняя блескость ослепляет, снижает контраст, ухудшает видимость.

Значение контраста (при $B_0 = \text{const}$) определяется светностью поверхностей производственных помещений M , равной

$$M = dF/dS = E\rho,$$

где F — световой поток; S — площадь поверхности; E — освещенность; ρ — коэффициент отражения света,

$$\rho = F_{\text{отр}}/F_{\text{пад}},$$

где $F_{\text{отр}}$ — отраженный световой поток; $F_{\text{пад}}$ — падающий световой поток.

Значение M зависит от вида, силы и конструкции источников света, размеров и формы помещений, их цветового оформления, системы освещения и светлоты фона. Фон считается темным, если $\rho < 0,2$; средним, если $\rho = 0,2 - 0,4$ и светлым — при $\rho > 0,4$.

Контраст и светлоту фона принято называть качественными показателями освещенности. Эти показатели вместе с другими характеризуют условия эффективной работы зрительного аппарата человека (условия ясного видения).

Эффективность зрительного восприятия (видимость объекта v) зависит условно от размера воспринимаемого предмета, его яркости и длительности рассмотрения. Это означает, что предметы разных размеров и яркости, расположенные в разных частях поля зрения, воспринимаются человеком за различные промежутки времени. Это необходимо учитывать при разработке и проектировании конструкции рабочего места, условий труда.

Количественно видимость объекта v можно характеризовать выражением

$$v = K_d/K_{\text{пор}},$$

где K_d — действительный контраст; $K_{\text{пор}}$ — пороговый контраст.

Показатель ослепленности P можно определить по формуле

$$P = (S - 1) 1000,$$

где S — коэффициент ослепленности ($S = v_1/v_2$; v_1 — видимость объекта при экранировании блеских источников света; v_2 — видимость объекта при наличии блеских источников света).

§ 3. Системы производственного освещения (СПО)

Производственное освещение имеет несколько видов. По источнику света различают: а) естественное освещение (солнечный и диффузный свет небосвода); б) искусственное (электрические лампы); в) совмещенное — сочетание естественного и искусственного освещения. По конструкции источника света естественное освещение делится на боковое, верхнее, комбинированное; искусственное — на общее, местное, комбинированное. По назначению освещение подразделяют на рабочее, аварийное и специальное. В свою очередь аварийное освещение может устраиваться: а) для продолжения работы; б) для эвакуации людей; специальное: а) для охраны, дежурства; б) для ультрафиолетового облучения (компенсации дефицита солнечной радиации в Заполярье, например); в) для стерилизации воздуха, воды, уничтожения грибков, микробов (бактерицидное).

§ 4. Естественный свет в производственных помещениях

Широкое использование естественного света в производственных помещениях не только экономично, но и благоприятно для человека. Световой комфорт на рабочих местах обеспечивается при этом за счет диффузного света небосвода — многократно отраженных прямых солнечных лучей от многочисленных облаков и миллиардов твердых и жидких частиц, содержащихся в атмосфере. В результате такой дезинтеграции свет диффузно распределяется в атмосфере, приобретая новые оптические свойства, способность проникать через оконные проемы и фонари в производственные и жилые помещения.

В разных географических широтах нашей страны количество естественного света неодинаково. Оно зависит также от погодных условий, времени года и суток. В ясный декабрьский день в Москве, например, естественная освещенность составляет 4 тыс. лк; в июльский день — 38 тыс. лк. Уровень освещенности зависит от высоты стояния солнца, облачности неба, чистоты воздуха и изменяется во времени и пространстве. По этой причине прямой солнечный свет в расчетах вообще не учитывается, а световые условия нормируются на основе так называемого коэффициента естественного освещения (КЕО). Значение КЕО — e выражают в процентах и вычисляют по формуле

$$e = E_{\text{в}}/E_{\text{н}}100,$$

где $E_{\text{в}}$ — естественная освещенность в некоторой точке внутри производственного помещения; $E_{\text{н}}$ — то же, вне производственного помещения.

Значение КЕО определяют, измеряя освещенность при помощи люкметров в пяти наиболее характерных точках рабо-

чей поверхности внутри помещения (на высоте 0,8 м от пола) и в том же порядке снаружи здания, освещенного равномерным солнечным светом. По полученным данным вычисляют значение e . В зависимости от времени года величина e для одного и того же рабочего места может различаться в десятки раз. В разных географических пунктах СССР (пяти поясах светового климата) этот коэффициент зависит от фактического ресурса природной световой энергии (уровня солнечной радиации, облачности, числа ясных солнечных дней в году, отношения отраженного света к падающему и т. д.).

В ряде нефтяных районов нашей страны из-за недостатка естественного света многие работы в дневное время выполняются при электрическом освещении (Крайний Север); для других районов характерен избыток солнечной радиации, и производственные помещения оборудуют специальными солнцезащитными устройствами — жалюзи, экранами, козырьками (Туркмения).

Уровень естественного света в производственных помещениях, при прочих равных условиях, можно регулировать изменением числа и размеров световых проемов, рационального соотношения площади окон, световых фонарей с площадью межоконных перегородок, пола, длины, ширины и высоты помещения и др. Количественно обоснованным является соотношение, при котором обеспечивается нормированное значение КЕО (e_n) в проектируемом производственном помещении. Расчет ведут по следующим формулам.

а) Для помещений с боковым освещением

$$100 \frac{S_o}{S_n} = \frac{e_n \eta_o}{\tau r_1} K_{зд},$$

где S_o — площадь окна, м²; S_n — площадь пола, м²; e_n — нормированное значение КЕО; η_o — световая характеристика окна (зависит от отношения длины помещения к глубине, ширины к высоте, изменяется от 6,5 до 66); τ — общий коэффициент светопропускания проема; учитывает оптические свойства стекла, потери света в переплетах, от загрязнения остекленной поверхности, в несущих конструкциях и солнцезащитных устройствах; r_1 — коэффициент, учитывающий влияние отраженного света при боковом освещении ($r=1-10$ при одностороннем освещении; $r=1-6,3$ при двустороннем освещении); $K_{зд}$ — коэффициент, учитывающий затемнение окон противостоящими зданиями (1,0—1,7).

Коэффициент e_n (в %) определяется по формуле

$$e_n = emC,$$

где e — коэффициент, принимаемый в зависимости от разряда работы; m — коэффициент светового климата; C — солнечность (определяется по СНиП II-4—79). Естественное и искусственное освещение, нормы проектирования).

б) При вертикальном освещении

$$100 \frac{S_{\phi}}{S_{\pi}} = \frac{\epsilon_n \eta_{\phi}}{\tau r},$$

где r — коэффициент, учитывающий повышение КЕО при верхнем освещении за счет отражения света от пола и других поверхностей (1,05—1,7); S_{ϕ} , S_{π} — площадь поверхности фонаря, проема; η_{ϕ} — световая характеристика фонаря (2,0—9,1) или светового проема (1,44—3,8).

Значения КЕО при расчетах определяют по табл. 8.

Естественное освещение в производственных помещениях нормируется соответствующими строительными нормами и стандартами. В них определены также значения всех коэффициентов, используемых в расчетах.

§ 5. Искусственный свет на объектах нефтегазодобывающей промышленности

Работы и технологические процессы на объектах нефтяной и газовой промышленности идут круглосуточно. Ряд предприятий, расположенных за Полярным кругом, работает в условиях длительной полярной ночи. В производственных условиях имеется немало затемненных рабочих мест, технических устройств и установок, где необходимо искусственное освещение.

Выбор системы светильников и устройств освещения выполняется с учетом следующих основных требований действующих строительных норм и правил:

- обеспечение достаточной освещенности рабочих мест, инструментов, предметов труда;
- ограничение прямой и отраженной блескости;
- научное обоснование выбора системы освещения, конструкции и мощности светильников, их числа, расположения, вида, исполнения и др.;
- обеспечение благоприятного спектрального состава света, степени его рассеивания и направления;
- постоянство освещенности и других светотехнических показателей во времени и пространстве;
- надежность работы осветительных устройств в специфических условиях;
- пожарная и электрическая безопасность светильников;
- возможность управления и регулирования света;
- экономичность сооружения и эксплуатации устройств.

Эффективность работы различных электрических источников света зависит от номинального напряжения, мощности, светового потока, линейных размеров и световой отдачи (лм/Вт). Понижение, например, напряжения в осветительной сети на 5 % уменьшает световой поток ламп накаливания на 10 %. Светоотдача этих ламп равна 7—18 лм/Вт при теоретически воз-

можной 683 лм/Вт. С повышением их мощности (в целях большей светоотдачи) увеличивается износ нити накаливания, сокращается и без того небольшой срок их службы (800—1000 ч), снижаются к. п. д. (10—13 %) и светоотдача (10—15 %). Чрезмерная яркость ламп накаливания оказывает слепящее действие на работающих, вуалирует контраст и др. Основные характеристики ламп накаливания — светоотдача, световой поток, средний срок службы и др. — регламентируются действующими ГОСТами.

Несмотря на отмеченные недостатки, лампы накаливания находят широкое применение на объектах нефтяной и газовой промышленности. Помимо простоты изготовления, удобства в эксплуатации (легкость включения в сеть) большой спрос на эти источники света обусловлен тем, что на базе их в настоящее время серийно выпускаются многие типы светильников во взрывобезопасном исполнении, а относительно большое число рабочих мест, на которых не предъявляются повышенные требования к освещенности, является наиболее подходящей областью их применения.

Значительно большими светоотдачей (60—80 лм/Вт), сроком службы (5000 ч) и к. п. д. характеризуются люминесцентные лампы. Создаваемый ими искусственный свет имеет благоприятный спектральный состав, близкий к естественному свету, что улучшает условия работы, повышает надежность восприятия, исключает перегрузки, утомление. Электрическая энергия в этих лампах превращается в световое излучение без перехода в теплоту, поэтому люминесцентные лампы менее пожаро- и взрывоопасны (температура поверхности колбы их около 50 °С) и в 3 раза экономичнее ламп накаливания.

✓ Широкое использование люминесцентных источников света на объектах нефтяной и газовой промышленности сдерживается в настоящее время из-за их высокой стоимости и относительной сложности включения в электрическую сеть (требуются регулирующие пусковые устройства — дроссель, стартер), а также в связи с высокой чувствительностью к температуре окружающей среды (резкое уменьшение светового потока при понижении и повышении температуры).

Значительную опасность при эксплуатации люминесцентных ламп представляет так называемый стробоскопический эффект. Пульсирующий с частотой 50 Гц свет лампы, падающий на части машин, вращающиеся с аналогичным числом оборотов (валы, маховики, шкивы), создает видимость их неподвижности. Отклонение частот в ту или другую сторону искажает восприятие их человеком по показателям направления и скорости движения, числу объектов наблюдения и т. д. Все это увеличивает вероятность ошибок и неправильных действий при работе, а следовательно, случаев травматизма и аварий.

			г	Средний Большой	Светлый Средний	1500 —	400 —	— —	— —	— —	— —	— —	— —		
Средняя точность	0,9—1	IV	а	Малый	Темный	750	300	—	—	—	—	—	—		
			б	Средний	Темный	500	200	—	—	—	—	—	—	—	
			в	Малый	Светлый	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			г	Средний	Средний	400	200	4	1,2	1,5	2,4	0,7	0,9	—	
				Большой	Темный	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			г	Средний Большой	Светлый Средний	— 300	150	— —	— —	— —	— —	— —	— —		
Грубая (очень малая) точность	> 5	VI	—			—	150	2	0,4	0,5	1,2	0,3	0,3		
Общее наблюдение за ходом производственно- го процесса (постоян- ное)		VIII			Независимо от харак- теристики фона и конт- раста объекта с фоном	—	75	1	0,2	0,3	0,7	0,2	0,2		

Примечания. 1. Для системы комбинированного освещения освещенность определяется как сумма от общего и местного освещения.

2. В помещениях, специально предназначенных для работы или производственного обучения подростков, нормированные значения КЕО повышаются на один разряд.

Использование многоламповых светильников, подключенных по специальной схеме, позволяет исключить пульсации светового потока, опасность стробоскопического эффекта¹.

Открытые пространства, высокие производственные помещения (более 6 м) в последнее время все чаще освещаются при помощи дуговых люминесцентных ртутных ламп высокого давления (ДРЛ). Эти лампы при небольших размерах имеют мощность 250—1000 Вт, эффективно работают при любой температуре и могут устанавливаться в обычных светильниках вместо ламп накаливания. Недостаток их — относительно длительная (5—7 мин) процедура включения в работу при запуске.

Более совершенны по всему комплексу характеристик кварцевые лампы ДКСТ, заполняемые ксеноном под большим давлением, а также галоидные и натриевые лампы. Эти новые источники света со спектром, максимально близким к естественному свету, со светоотдачей 110—130 лм/Вт имеют мощность 1—2 кВт и могут применяться для освещения производственных помещений высотой более 10 м.

Оригинальны по физическому принципу действия иодные лампы. В колбу их вводят пары иода, благодаря этому повышается температура накала вольфрамовой нити, а соответственно светоотдача (30 лм/Вт) и уменьшается износ (распыление) нити. Срок службы этих ламп — до 3000 ч.

§ 6. Типы и устройство светильников

Осветительные приборы, состоящие из источника света, специальной арматуры, обеспечивающей требуемое направление светового потока, защиту глаз от слепящего яркого света, предохранение ламп от механических повреждений, загрязнений и других неблагоприятных факторов внешней среды, принято называть светильниками (для дальнего действия — прожекторами).

Типичные виды светильников с лампами накаливания имеют специфическое целевое назначение (рис. 10). По характеру распределения светового потока в пространстве их подразделяют на три класса: прямого, рассеянного и отраженного света (рис. 11). К первому классу относятся: «Универсаль», «Глубокоизлучатель», «Широкоизлучатель», «Альфа», направляющие в нижнюю полусферу не менее 90 % светового потока (высокие производственные помещения); ко второму классу — «Шар молотого стекла», «Кольцевые» и другие, излучающие 10 % света в верхнюю и 90 % — в нижнюю полусферы (административные, чертежно-конструкторские помещения, читаль-

¹ Основные характеристики люминесцентных ламп приводятся в действующем ГОСТе.

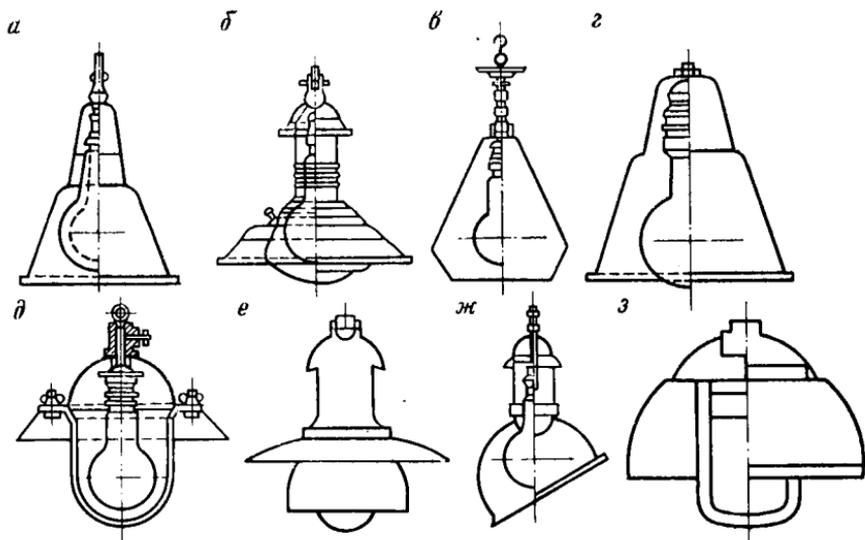


Рис. 10. Типы светильников:

а — «Глубокоизлучатель» (для невысоких помещений); *б* — «Универсаль» (для невысоких помещений); *в* — люцеста (для лабораторий); *г* — «Альфа» (для местного освещения); *д* — водонепроницаемый (для сырых помещений); *е* — «Широкоизлучатель» (для открытого пространства); *ж* — кососвет (для освещения через окна снаружи); *з* — СХ (для химически активной среды).

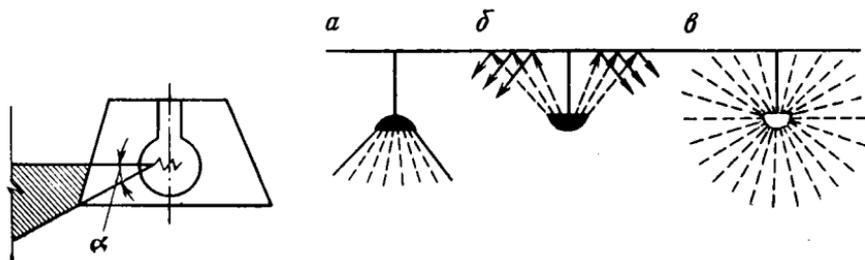


Рис. 11. Виды освещения:

а — прямой свет; *б* — отраженный свет; *в* — рассеянный свет; *г* — защитный угол светильника

ные залы); к третьему классу — «Тарельчатые» и другие, излучающие более 90 %, всего светового потока в верхнюю полу-сферу, обеспечивающие мягкое освещение без резких теней (машинописные бюро, музеи, театры).

Серийно выпускаются также светильники типа ГПМ-500, ГкХР, ГсХР, ГХР («Глубокоизлучатель»), УПМ-500, СХ-60, СХ-200 и СХ-500 («Универсаль») — для химически активной окружающей среды; СПБ — пылебрызгозащитные; ПУ-100, ПУ-200 — для сырых и пыльных помещений.

Взрывозащищенные светильники выпускают во взрывоне-проницаемом исполнении и повышенной надежности против

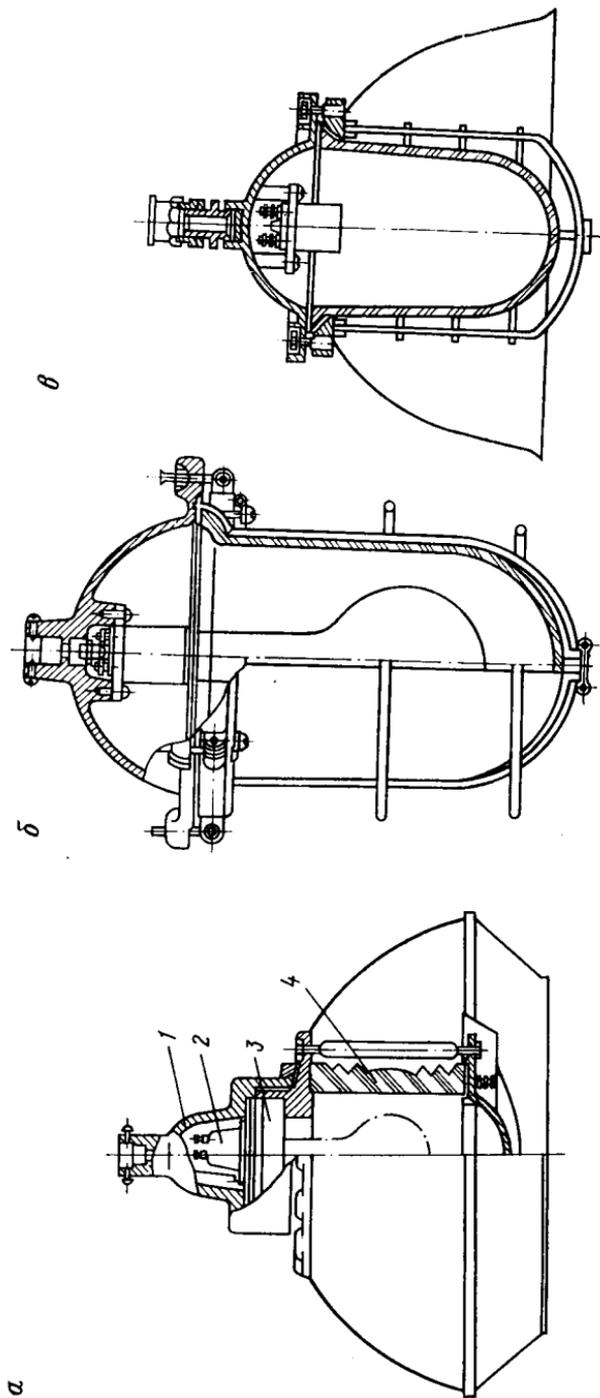


Рис. 12. Светильники:
 а — варьозащитный типа ВЧА-100; б, в — повышенной надежности (НОБ-300, НЗБ-150); 1 — крышка; 2, 3 — блокирующее устройство; 4 — цилиндрическая линза

взрыва. Большое распространение получили светильники во взрывонепроницаемом исполнении В4А и ВЗГ, снабженные жесткой шелевой защитой в местах соединения деталей, взрывонепроницаемым патроном для блокировочных контактов, расположенных во взрывонепроницаемой полости.

Для освещения взрывоопасных помещений применяют светильники ВЗГ-300, ВЗГ-200М, ВЗГ-100, ВЗГ-60. На передвижных агрегатах — ФВН-64; для местного освещения — БП-62В, ПР-60В, ВЗГ-25 (сетевые), В2А, СЗГ (аккумуляторные), светильники Н4Б-300М, НОБ-300, НЗБ-150 используют во взрывобезопасных помещениях некоторых классов (рис. 12). Повышенная надежность этих светильников обеспечивается прочной оболочкой, герметичностью исполнения, термической стойкостью стеклянного колпака и др.

Производственные помещения, в воздухе которых содержатся в небольших концентрациях пыль и влага, освещаются светильниками типа ОДА со сплошным отражателем, а также типа ОДР и ОДОР — с экранирующей решеткой. Помещения с повышенным содержанием пыли и влаги (относительная влажность более 75 %) должны освещаться светильниками ПВЛ-1, ПВЛ-6 на две люминесцентные лампы мощностью 40 Вт каждая; аналогичные предыдущим по опасности помещения с химически активной средой могут освещаться при помощи светильника ВОД и т. д.

Все более широкое применение для освещения взрывоопасных помещений классов В-Ia и В-II, в которых имеются открытые емкости и аппараты с горючими испаряющимися жидкостями, оборудование с утечками газа через сальники, фланцы и другие неплотности, т. е. там, где могут образоваться взрывоопасные смеси всех категорий и групп T_1 , T_2 , T_3 и T_4 , кроме T_5 , находит светильник повышенной надежности против взрыва типа НОГЛ-80 с люминесцентной лампой мощностью 80 Вт. В помещениях со взрывоопасной средой группы T_5 можно применять также люминесцентные светильники типа НОДД-40 и НОДД-80, отличающиеся от светильника НОГЛ-80 только схемой включения ламп, массой и длиной.

§ 7. Нормирование искусственного освещения

В соответствии с действующими санитарными нормами проектирования зданий и сооружений промышленных предприятий минимальную искусственную освещенность на рабочих местах устанавливают с учетом размера объектов различения, разряда работы, контраста объекта различения с фоном и светлоты фона. Регламентируют также яркость в поле зрения, показатель ослепленности и частоту пульсации освещенности (СНиП II-4—79. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение).

Нормы светового комфорта неодинаковы при искусственном освещении для комбинированного и общего освещения. Нормы освещенности и пределы их изменений для I, IV, VI и VIII разрядов зрительной работы приведены выше в табл. 8.

Минимальная освещенность по общей схеме равна 150 лк; для VIII разряда зрительной работы (общее наблюдение за ходом производственного процесса) — 75 лк.

Нормы освещенности рабочих мест на объектах нефтяной и газовой промышленности устанавливаются с учетом специфических требований, а также светового пояса, режима работы и др. и корректируются в каждом конкретном случае применительно к действительным условиям. Коэффициент запаса для диспетчерских помещений, пультов операторов, контрольно-измерительных приборов устанавливается равным 1,3 (для ламп накаливания) и 1,5 (для люминесцентных ламп). Минимальная освещенность (в лк) равна соответственно: устье нефтяных скважин (моторные будки станков-качалок) — 13; машинные залы компрессорных и насосных станций — 20; рабочее место при подземном ремонте скважин на устье скважины — 26; лебедка — 15; подъемная мачта — 2; люлька верхового рабочего — 15; механические мастерские — 50; нефтяные резервуары — 20; стоянка автомашин — 10; пространство между резервуарами — 2.

§ 8. Расчет искусственного освещения

Источник света, систему освещения, тип светильника выбирают с помощью расчета. Расчетом также определяют требуемое число светильников и их рациональное распределение, нормируют освещенность на рабочем месте. При решении этих задач учитывают метеорологические условия, состав, взрыво- и пожароопасность среды, возможные колебания напряжения в электрической сети, экономичность системы освещения, требования светового комфорта (направленность и величина светового потока, равномерность его распределения, номинальные яркость, контраст, светлота фона и др.) и разряд работы по точности. При этом одним из трех приведенных ниже методов расчета определяют либо требуемую мощность осветительной установки, обеспечивающей заданный уровень освещенности, либо, при известном числе и мощности источников света, ожидаемую освещенность.

1. Метод расчета по коэффициенту использования светового потока

Применяется в основном для расчета светового потока ламп, необходимого для создания заданной освещенности горизонтальной поверхности при общем равномерном освещении с учетом света, отраженного стенами и потолком. Требуемый поток света $F_{д}$ от одной лампы накаливания или группы люмине-

сцентных ламп в светильнике, при котором достигается заданный уровень освещенности, находят по формуле (в лм)

$$F_{л} = \frac{E_{\min} K S_{п} z}{N \eta};$$

действительная освещенность $E_{д}$ при заданном потоке равна

$$E_{д} = \frac{F_{л} N \eta}{K S_{п} z},$$

где E_{\min} — минимальная освещенность, лк; $E_{д}$ — действительная освещенность от установленных светильников, лк; K — коэффициент запаса, учитывающий фактическую прозрачность воздуха, равный 1,3—1,6 для ламп накаливания и 1,4—1,8 для люминесцентных ламп; $S_{п}$ — площадь помещения; z — отношение средней освещенности к минимальной (изменяется в пределах 1,1—1,5, среднее равно 1,2); N — число светильников; η — коэффициент использования светового потока (отношение потока, падающего на расчетную поверхность, к суммарному потоку всех ламп), равный 0,14—0,7.

2. Точечный метод расчета освещенности

Этим методом определяют световой поток ламп, необходимый для обеспечения заданной освещенности на рабочем месте при условии, что отраженный свет не играет существенной роли при любом расположении рабочей поверхности и светильников:

$$F_{л} = \frac{1000 E_{\min} K}{\mu \Sigma e},$$

где E_{\min} — минимальная горизонтальная освещенность, лк; K — коэффициент запаса; μ — коэффициент, учитывающий влияние удаленных светильников и отраженного света; Σe — совокупное действие ближайших светильников (e — условная освещенность, лк).

Действительная освещенность в определенной точке рабочей поверхности при заданном размещении, высоте подвеса и мощности ламп в светильниках определяется по формуле (в лк):

$$E_{д} = \frac{E_{л} \mu \Sigma e}{1000 K}.$$

Точечный метод применяют как обязательный при расчете локализованного и наружного освещения, а также освещения наклонных поверхностей.

3. Метод расчета освещенности по удельной мощности светильника

Применяется для определения мощности лампы, достаточной для обеспечения нормируемой освещенности, а также для

выбора основных показателей на стадии проектирования. Мощность лампы (в Вт)

$$P_{л} = \frac{PS}{N},$$

где P — удельная мощность (отношение мощности осветительной установки к площади освещаемого помещения), Вт/м²; S — площадь помещения, м²; N — число светильников в помещении.

Значение удельной мощности в зависимости от требуемого уровня освещенности, площади помещения, высоты подвеса и типа светильника при коэффициенте запаса, равном 1,5, колеблется в пределах от 3,4 до 71 Вт/м².

Принятое значение удельной мощности умножается на площадь помещения. Потребное число светильников определяется как частное от деления расчетной мощности для помещения на мощность выбранного светильника.

Глава VII

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ШУМ, ВИБРАЦИЯ И УЛЬТРАЗВУК

§ 1. Основные показатели

Постоянное увеличение мощности машин, перекачивающих агрегатов, спуско-подъемных, транспортных и других технических устройств при одновременном уменьшении их массы и габаритов, повышении скоростей, давлений и температур приводит к значительным вибрациям и к увеличению шума. На объектах нефтяной и газовой промышленности источниками шума в основном являются механические, аэро-, гидродинамические, электромагнитные и другие нестационарные процессы, упругие колебания, пульсации потоков жидкостей и газов, сложное движение инерционных тел, работа редукторов и др.

Под шумом вообще понимается аperiодическая смесь звуков, спектр которой в некотором интервале частот является непрерывным. По физической природе шум можно рассматривать как нерегулярные упругие колебания, сопровождающиеся образованием звуков разной интенсивности, частоты и фазы. В воздухе эти колебания создают воздушные звуки; в твердых телах — структурные (материальные) звуки. Каждая частица среды (воздуха) при этом колеблется одновременно около своего положения равновесия и в структуре волны, распространяющейся со скоростью звука C , м/с, равной

$$C = \sqrt{\kappa \frac{p}{\rho}},$$

где κ — показатель адиабаты (для воздуха, равный 1,41); p и ρ — соответственно давление и плотность воздуха (газа).

Скорости звука при нормальных условиях (температура 20 °С и давление 0,1013 МПа) равны (в м/с): в воздухе — 344; в жидкости — 1500; в металлах — 5000.

Действие шума на организм человека зависит от физических характеристик звуковых волн: силы звука и частоты. Слуховой аппарат человека нечувствителен к фазе колебаний.

Силой звука J называют среднее количество звуковой энергии, которое переносят звуковые волны в единицу времени через единицу поверхности, перпендикулярной к направлению распространения волн. В общем случае J определяется произведением полной средней энергии \bar{w} в единице объема на скорость распространения v :

$$J = \bar{w}v.$$

Энергия звуковых колебаний состоит из потенциальной (деформации) $w_{\text{пот}}$ и кинетической энергии (скорость колебаний) $w_{\text{кин}}$, которые для гармонического колебательного процесса в среднем равны между собой. Общая энергия определяется выражением:

$$\bar{w} = \bar{w}_{\text{кин}} + \bar{w}_{\text{пот}} = \frac{1}{2} \rho \bar{\xi}^2 + \frac{1}{2} \frac{\sigma^2}{E} = 2\bar{w}_{\text{кин}} = \rho \bar{\xi}^2,$$

где ρ — плотность среды; $\bar{\xi}$ — функция шума (его непрерывного спектра); E — модуль упругости среды; σ — упругое напряжение (при распространении в жидкости E есть объемный модуль упругости).

Для синусоидальной волны

$$\xi(t) = a \sin(Kx - \omega t),$$

тогда

$$\bar{\xi} = (a\omega)^2 \cos^2(Kx - \omega t) = \frac{1}{2} (a\omega)^2.$$

Если учесть, что $\cos^2(Kx - \omega t) = \frac{1}{2}$, то

$$J = \bar{w}v = \rho \bar{\xi}^2 v = \frac{1}{2} \rho (a\omega)^2 v.$$

В этих формулах t — время; x — фаза колебаний; K — постоянный коэффициент.

Заменяя v значением $\sqrt{E/\rho}$, получим

$$J = \frac{1}{2} a^2 \omega^2 \sqrt{\frac{E}{\rho}}.$$

Сила чистого (синусоидального) тона ξ пропорциональна квадратам амплитуды a волны ($a^2 = \xi_{\max}^2$) и амплитуды скорости колебания ($a^2 \omega^2 = \xi_{\max}^2$). При постоянных J и произведении $a\omega$ амплитуды чистых звуков обратно пропорциональны их частотам.

Сила звука может измеряться в Вт/м^2 — интенсивность звука J — векторная величина или в Па (Н/м^2) — звуковое давление p — скалярная величина.

Под звуковым давлением понимается вообще разность между мгновенным значением давления, возникающего при звучании, и средним давлением среды при отсутствии звука. Чем больше сила звука, тем громче шум; чем выше частота колебаний, тем выше тональность звучания.

На слух человека действует среднеквадратическое значение звукового давления \bar{p}^2 , равное $p = \sqrt{\bar{p}^2}$;

$$\bar{p}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt,$$

где T — период колебания (изменяется от 30 до 100 мс).

Интенсивность звука количественно связана со звуковым давлением формулой

$$J = p^2/\rho C,$$

где ρC — удельное акустическое сопротивление среды.

Для плоской звуковой волны¹

$$\rho C = p/v.$$

Для воздуха, воды и стали значения ρC равны соответственно 410; $1,5 \cdot 10^6$ и $4,8 \cdot 10^7$ Н/м^3 .

Абсолютное изменение физиологического ощущения ΔS пропорционально относительному изменению физического возбуждения ($\Delta J/J$):

$$\Delta S(J, \nu) = K(\nu) \frac{\Delta J}{J},$$

где ν — частота колебаний.

Интегрируя это выражение, получим

$$S(J, \nu) = K(\nu) \lg J + \text{const}.$$

Из последней формулы видно, что звуковые ощущения пропорциональны логарифму раздражения (закон Вебера — Фехнера).

¹ Плоской называется звуковая волна, площадь сечения которой перпендикулярна к направлению ее распространения и проходит через точки с одинаковой фазой.

Если ощущение $S(J, \nu)$ равно нулю для некоторого возбуждения $J_0(\nu)$ при какой-либо частоте ν , то получим

$$\begin{aligned} S[J_0(\nu)\nu] &= 0 = \\ &= K(\nu) \lg J_0(\nu) + \text{const}. \end{aligned}$$

Откуда

$$\text{const} = -K(\nu) \lg J_0(\nu) \quad \text{и}$$

$$S(J, \nu) = K(\nu) \frac{J(\nu)}{J_0(\nu)}.$$

Здесь $J_0(\nu)$ — пороговое значение силы звука, зависящее от частоты ν (рис. 13).

Орган слуха человека реагирует не на абсолютное нарастание силы и частоты звука, а на их относительное увеличение. Увеличение громкости шума, например, человек ощущает всякий раз при увеличении силы звука в 1,26 раза; повышение тональности звучания — при увеличении частоты колебаний в 2 раза.

Для количественной характеристики условий труда по шуму установлена специальная логарифмическая шкала, начало отсчета на которой (нулевая отметка) соответствует (при частоте 10 000 Гц) порогу слышимости (два слышимые звуки $p_0 = 10^{-5}$ Па, $J_0 = 10^{-12}$ Вт/м²), предельное значение — болевому порогу (оглушительно громкий звук, вызывающий болевые ощущения — $p = 10^2$ Па и $J = 10$ Вт/м²).

Вся шкала от порога слышимости до болевого порога разделена на 140 децибелл (дБ). Порог слышимости на этой шкале условно равен 0 дБ, болевой порог — 140 дБ (см. рис. 13). В соответствии со шкалой шелест молодой листы оценивается в 10—12 дБ; тихая речь — в 30 дБ; обычный разговор в 65 дБ; шум реактивного самолета (сбоку) — в 100 дБ.

Сила звукового возбуждения существенно зависит от частоты колебаний. Слух человека неодинаково чувствителен к звукам разных частот. Звуки с частотой до 20 Гц (область инфразвуков и вибраций) и выше 20 кГц (ультразвук) слух человека вообще не воспринимает.

Слышимая часть звукового спектра (от 20 до 20 000 Гц) неоднозначна по восприятию в пределах каждой октавы со среднегеометрической частотой 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц. Полнее и отчетливее (при одной и той же силе) воспринимаются звуки на средних (300—800 Гц) и высоких (800—4000 Гц) частотах; хуже — на частотах до 300 Гц. По

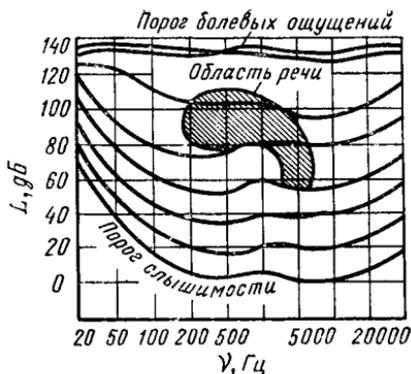


Рис. 13. Кривые равной громкости, пороги слухового ощущения в диапазоне частот от 20 до 20000 Гц

этой причине звуки, равные по силе, но неодинаковые по частоте воспринимаются нами как звуки разной громкости. Поэтому наряду с понятием уровня силы звука необходимо было ввести понятие уровня громкости (при 1000 Гц). За единицу измерения громкости принят фон. На частоте 1000 Гц, когда громкость при изменении частоты остается постоянной, численные значения уровней силы и громкости совпадают. Количественно уровни громкости и силы звука отличаются тем больше, чем слабее звук и ниже его частота. Так, уровень силы звука 50 дБ на нижнем тоне с частотой 50 Гц человеком не воспринимается, а при частоте 1000 Гц он оценивается в 50 дБ. Изменение громкости на один фон на низких и средних частотах едва заметно, изменение на 10 фон независимо от начального уровня субъективно ощущается как повышение громкости звука в 2 раза.

При нормальных атмосферных условиях уровень шума L можно вычислить по значениям интенсивности или звукового давления:

$$L = 10 \lg \frac{J}{J_0} = 20 \lg \frac{p}{p_0}.$$

Ухо человека более чувствительно к среднему квадратическому значению давления. Этот показатель широко используют для измерения шума и оценки его воздействия на человека. Показатели интенсивности шума чаще применяют в акустических расчетах.

↗ Вибрации (сотрясения) аналогичны шуму по физической природе. Они образуются в результате колебаний упругих тел в пространстве, периодического изменения их формы и плотности. Как и шум, вибрацию выражают в абсолютных и относительных логарифмических единицах. Уровень L колебательной скорости вибраций ξ по отношению к его пороговым значениям ($\xi_0 = 5 \cdot 10^{-5}$ мм/с) можно определить по формуле

$$L = 20 \lg \frac{\xi}{\xi_0},$$

где ξ — колебательная скорость вибрирующей поверхности, мм/с.

Человек воспринимает вибрации в диапазоне частот от 12 до 8000 Гц. Вибрации с частотой 12 Гц воспринимаются как толчки (сотрясения). Особо опасны колебания в области низких звуковых и дозвуковых (инфразвуковых) частот (до 16 Гц).)

В качестве сложного физического явления и производственной опасности для человека вибрация полно характеризуется амплитудой вибросмещения (мм), амплитудой виброскорости (мм/с), амплитудой колебательного ускорения (м/с²), частотой (Гц) и периодом колебаний (с). Эти показатели характеризуют максимальное отклонение колеблющейся точки от положения

равновесия, условия звукообразования, величину передаваемой энергии (динамический процесс), число полных колебаний и время между двумя последовательными одинаковыми состояниями колеблющейся системы.

На объектах нефтяной и газовой промышленности вибрации представляют опасность также как причины разрушения технологического оборудования, несущих конструкций зданий, разгерметизации аппаратов и установок. Эффективные меры профилактики вибрации на стадиях проектирования, изготовления, и эксплуатации машин и оборудования являются необходимым условием обеспечения нормальных и безопасных условий труда.

§ 2. Влияние шума, вибрации и ультразвука на организм человека

Шум, вибрации, ультразвук разрушительно действуют на организм человека в целом и относятся к опасным факторам в условиях труда. Они способны вызвать полную или частичную потерю слуха, глубокое расстройство нервной системы, стимулируют сердечно-сосудистые, раковые, желудочно-кишечные и другие заболевания. Важные функции нервной системы нарушаются при этом раньше, чем функции слухового аппарата и проявляются в повышенной раздражительности, утомляемости, бессоннице и головной боли. Это полностью согласуется с выводом И. М. Сеченова о том, что при мышечной работе утомляются в первую очередь не мышцы, а нервные центры.

Глубина и тяжесть воздействия шума на работоспособность, поведение человека зависят от громкости, высоты и тембра звука (субъективные аналоги интенсивности, частоты и формы звуковых волн), регулярности и продолжительности. Результатом воздействия шума на слух может быть: утомление слуха, шумовая травма и профессиональная тугоухость. В первом случае наблюдается острое утомление клеток мозга (профессиональная тугоухость); во втором — механическое разрушение барабанной перепонки и как следствие головокружение, боль в ушах; в третьем — прогрессирующее снижение слуха вплоть до его полной потери. Особо следует выделить воздействие шума на работу мозга, его биоэлектрические характеристики, определяющие психофизиологическое состояние и поведение человека. В результате такого воздействия нарушается восприятие человеком оперативной информации, рассеивается внимание, ухудшается память, эффективность мышления. При этом замедляются психические процессы, реакции человека на световые (180—300 мс), звуковые (150—350 мс) раздражители, затраты времени и энергии на единицу выполняемой умственной и физической работы. Человек становится рассеянным, пропускает важные сигналы, задерживается с принятием решений, выполнением ответных действий. Это

снижает показатели производственной деятельности, ее безопасность.

Каждый человек обладает своей собственной мерой полноты, точности и силы восприятия раздражителей (а равно всякой информации). По этой причине шум, так же как и другой внешний раздражитель, способен возбуждать, активизировать человеческий организм или подавлять его, повышать работоспособность или понижать ее. Максимум производительности труда и числа допускаемых ошибок сдвигается при повышении требований к трудовой деятельности, уменьшении или увеличении уровня активности человека в процессе труда.

Более четко эти различия выражаются при выполнении сложных видов деятельности, решении важных физических, психофизиологических и психических задач. Так, при подгонке штифтов к двум пазам — отверстиям одной правой рукой (при ограниченной степени свободы) выработка 80 человек из 100 испытуемых с увеличением уровня шума с 50 дБ (относительная тишина) до 90 дБ снизилась на 7,7 %; число ошибок возросло на 45 %. В то же время 20 человек при этих условиях повысили свою производительность. При более сложной деятельности (наращивание высоты цилиндрического тела компенсационными шайбами разной высоты на ощупь) в аналогичных условиях выработка 40 % испытуемых снизилась на 40 %, а число ошибок возросло на 117 %. При подгонке штифтов влияние шума проявилось в снижении как количественного (число подогнанных штифтов), так и качественного (число ошибок) показателей; при «наращивании высоты» оно было направленно качественным. Первый вид деятельности в условиях повышенного шума и относительной тишины выполняется с большим абсолютным числом ошибок, чем второй. Во всех случаях число ошибок растет с увеличением разностотного и высокочастотного шума до 90 дБ.

Прослеживается также характерная неоднозначность воздействия шума на функции внимания, памяти, времени двигательных реакций, нарастание утомления, изменение силы мышц, снижение вибрационной чувствительности и т. д. Снижение шума, как видно, может явиться важным мероприятием на пути повышения надежности и безопасности деятельности человека и производственных систем.

Вибрации и сотрясения происходят вследствие различных колебаний упругих тел и при частоте более 16—20 Гц сопровождаются звукообразованием. Вибрации нарушают работу сердца, опорно-двигательного и вестибулярного (органы равновесия) аппаратов, желудочно-кишечного тракта, обуславливают глубокие изменения в костно-суставных и мышечных органах. Особенно опасны вибрации для центральной нервной системы. Под влиянием их нарушаются биоэлектрические характеристики и функции мозга, происходят опасные изменения

памяти, внимания, мышления, восприятия и двигательной сферы.

Развитие и тяжесть профессионального вибрационного заболевания зависят от спектрального состава вибраций, переданной энергии, скорости, амплитуды и времени действия на человека (общая вибрация) или его отдельные органы (местная вибрация).

Еще более опасно для человека одновременное воздействие шума и вибрации. Порог слуховой и вибрационной чувствительности повышается при этом соответственно в 1,7—1,8 и в 1,1—1,2 раза. Более сложной оказывается адаптация организма, значительно тяжелее восстанавливаются его важные функции, выведенные шумом из нормы.

В действии ультразвука (диапазон частот 20—100 кГц) на организм человека можно выделить две характерные фазы: первая фаза отмечается в день воздействия ультразвука и на третий—пятый день. В это время учащается пульс, реже становится дыхание. В течение второй фазы (последующие две недели) наблюдается понижение температуры тела с одновременным изменением многих важных функций организма. Одновременно увеличивается теплоотдача с поверхности тела. Отметим, что сильный звук слышимой части спектра обычно повышает температуру тела. При частоте 20 кГц ультразвук слышимый, а при частоте 100 кГц—практически бесшумный. Воздействие ультразвука разной частоты различно.

Глубокое комплексное воздействие акустических явлений на человека и его поведение должны обязательно учитываться при проектировании предприятий и организации безопасных условий труда.

§ 3. Источники шума, вибрации, ультразвука на объектах нефтяной и газовой промышленности

Все технологические процессы, транспортные операции, установки, аппараты, машины, механизированные и другие инструменты создают «шумовое загрязнение» производственной среды. При работе насосов дожимных насосных станций, например, создается стабильный, широкополосный шум с уровнем 80—85 дБ. Манифольды и буллиты производят шум в 70, 75 дБ; приводы, редукторы и талевые системы—90—105 дБ. Роторное и турбинное бурение сопровождается шумом в 105—115 дБ; работа тракторов-подъемников, пневмоинструмента, электромоторов, цементировочных агрегатов цеха капитального подземного ремонта скважин—шумом 90—115 дБ; буровые лебедки (рабочее место бурильщика) и ключи АКБ создают соответственно низко-среднечастотный (90—110 дБ) и среднечастотный (80 дБ) шум. Высокие уровни высокочастотного шума характерны для работы турбокомпрессоров (105—

115 дБ), газомоторных компрессоров (среднечастотный шум 85—95 дБ), компрессоров с электрическим приводом (92—104 дБ), отбойных молотков (низкочастотный шум в 120 дБ) и т. д. Предельно высокие уровни шума отмечались вблизи фонтанирующих нефтяных и газовых скважин, а также вблизи компрессорных. В окрестностях газораспределительных станций создаются неблагоприятные акустические условия для обслуживающего персонала, а также и для жителей ближайших населенных пунктов.

Шум типичных производственных объектов нефтяной и газовой промышленности представлен всеми участками частотного спектра — низкочастотными (до 30 Гц), среднечастотными (300—800 Гц) и высокочастотными (свыше 800 Гц); всем диапазоном уровней — от порога слышимости до болевого порога; типичными видами шума: широкополосными (звуковая энергия распределена по всему спектру воспринимаемых частот); тональным (с локальным усилением звука на отдельных участках частотного спектра); импульсным (состоящим из дискретных импульсов звуковой энергии с продолжительностью звучания от 1 до 200 мс, следующих один за другим с интервалом времени не более 10 м/с). Отметим, что интенсивность и характер спектров шума зависят от типа и компоновки оборудования, приводных двигателей, редукторов и др.

Количественная и качественная акустическая неоднозначность производственной среды, состоящей из разнотипного технологического оборудования, формирует на объектах нефтяной и газовой промышленности чрезвычайно сложную акустическую обстановку, создает специфические условия труда по уровням шума, вибраций и ультразвука. Для распределения источников смешанного шума, излучаемой звуковой энергии характерна значительная неравномерность. В одних случаях она определяется пульсацией протекающего газа (нефти, конденсата); в других — вибрацией, передающейся по стенкам труб, и т. д. Даже в пределах одного рабочего места общий уровень шума иногда локально усиливается — более мощными источниками с высокоинтенсивными тональными импульсными пиками. В одних случаях эти пики генерируются колеблющимися частями оборудования; в других — рабочими жидкостями и газами. По этой причине виброизоляция на одном оборудовании может рассматриваться и как средство борьбы с шумом, на другом оборудовании — не может. Это исключает возможность организации надежной речевой связи (уровень звука при разговоре должен быть на 10 дБ выше уровня шумового поля), затрудняет эффективное снижение абсолютного уровня шума (источники с более высоким уровнем шума маскируют источники с низким уровнем), объективную оценку воздействия акустических процессов на работоспособность человека, его поведение (высокие, знакопеременные градиенты частот, зву-

Средние квадратические значения колебательной скорости, дБ относительно порогового значения $5 \cdot 10^{-5}$ мм/с

Источники вибрации	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц										Допустимый уровень, дБ
	16	31,5	63	125	250	500	100	2000	4000	8000	
Насосы (ДНС)	113	—	121	129,5	—	127,0	125	118	123,5	129,5	92
Булиты	—	115,0	122	—	123	123,5	—	117,5	—	110,0	—
Замерная установка	106	—	116	117,0	—	—	101	99	94,5	—	92
Будка КИП	109	115,0	—	119,0	109	119,0	119	—	105,0	104,0	92

ковых давлений, непостоянство видов и формы звуков, их сложное сочетание в структуре шумового поля, индивидуальная реакция на воздействия нерегулярных звуков). В связи с этим биологическое и психологическое воздействие шума, непостоянного акустического процесса на человека остается пока что недостаточно изученным. Все это затрудняет эффективное нормирование и разработку профилактических мероприятий, обеспечивающих нормальные условия труда по показателям шума, вибрации и ультразвуку.

Почти все перечисленные источники шума являются одновременно основными источниками вибраций. Вибрация, которую они создают, охватывает многие участки частотного спектра. Средние квадратические значения колебательной скорости в дБ относительно ее порогового значения ($5 \cdot 10^{-5}$ мм/с) для основных технических устройств нефтяной и газовой промышленности приведены в табл. 9.

Ультразвук находит все более широкое, многоцелевое применение при разработке нефтяных и газовых месторождений. Ультразвуковые колебания большой частоты (от 500 кГц до 5 МГц) и малой мощности (от 0,1 до 2,0 Вт/см²) используются в дефектоскопии строительных, металлических конструкций и оборудования, при изучении состава и структуры образцов горных пород, их физических, физико-химических и других свойств. Особенно широкое применение находят ультразвуковые колебания низкой частоты (от 18 до 30 кГц) и высокой мощности (до 6—7 Вт/см²). Они используются в технологических процессах по обезвоживанию нефти, очистке и обезжириванию деталей, для ускорения химических реакций и т. д. Низкочастотное ультразвуковое оборудование (установки по обезвоживанию нефти и др.) в большинстве случаев генерируют одновременно слышимый шум и низкочастотные ультразвуки. Этот акустический комплекс с неравномерным звуковым дав-

лением, изменяющимся от 80 до 120 дБ и максимумом энергии на рабочей частоте ультразвуковых установок 20—24 кГц хорошо распространяется в воздушной среде, но быстро затухает по мере удаления от источника.

Отметим, что с увеличением частоты ультразвуковых колебаний возрастают величина и плотность (количество энергии в единице объема упругой среды) звуковой энергии, резко увеличивается тепловое, механическое и кавитационное воздействие ультразвука на состав, структуру и состояние биологической среды. Частые знакопеременные деформации клеток, тканей ускоряют их утомление; при интенсивности колебаний более 4 Вт/см² клетки разрушаются, изменяются их свойства. Кавитация разрыхляет ткани, повышает локально их температуру, изменяет характер и скорость протекающих в организме человека биохимических реакций.

Защита работающих в нефтегазодобывающем производстве от шума, вибрации и ультразвука является актуальной научно-практической проблемой. Решением ее заняты в настоящее время многие творческие коллективы научно-исследовательских институтов, лабораторий, высших учебных заведений.

§ 4. Нормирование условий труда по уровню шума, вибрации и ультразвуку

Условия труда по шуму, вибрациям и ультразвуку нормируются в соответствии с действующими санитарными нормами проектирования промышленных предприятий. В качестве нормируемых параметров принимаются следующие.

1. Для постоянного шума — уровень звукового давления L (дБ), измеренный в восьми октавах со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. В данном случае объективно оценивается общее количество энергии и ее распределение по характерным участкам звукового спектра.

2. Для изменяющегося во времени шума — эквивалентные (по энергии) уровни звука $L_{A экв}$ (дБА); измеряется энергия, которую человек воспринимает в качестве звука одновременно по всему слышимому диапазону частот (абсолютный уровень звукового давления p_A без учета неравномерного распределения ее по спектру — «субъективная» оценка уровня шума при помощи шумомера).

3. Для дискретного, импульсного шума измеряются эквивалентные уровни звукового давления $L_{экр}$ (дБ) в восьми октавах со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц. Определяется количество звуковой энергии и ее распределение по октавным полосам частотного спектра. Допустимые значения этих уровней принимаются в соответствии с действующим ГОСТом. Эти показатели не-

одинаковы для разных видов работ. В производственных помещениях, на территории предприятий для шума разной частоты установлены следующие допустимые уровни звукового давления:

Среднегеометрическая частота октавных полос, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровень звукового давления, дБ	103	96	91	88	85	83	81	80

Уровень звука, соответствующий приведенным выше уровням звуковых давлений, равен 90 дБА.

Для более полной оценки возможного физиологического действия шума на человека допустимые уровни звукового давления корректируют на продолжительность его воздействия в течение рабочего дня, спектральный состав и временную структуру. При действии широкополосного шума в течение 1—4 ч за смену поправка составляет +6 дБ, в течение 1/4—1 ч—12 дБ и т. д.

Условия труда при вибрации нормируются по амплитуде вибросмещения и средней квадратической виброскорости в зависимости от частоты колебаний. Допустимые значения нормируемых параметров, приведенные ниже, относятся как к вертикальным, так и к горизонтальным вибрациям, оцениваемым раздельно.

Среднегеометрические граничные частоты октавных полос, Гц	2	4	8	63
	1,4—2,8	2,8—5,6	5,6—11,2	45—90
Частота, Гц	1,4—2,5	2,8—5	10—20	50—90
Амплитуда вибросмещения, мм	3,11—0,73	0,61—0,16	0,045—0,022	0,009—0,005
Средняя квадратическая виброскорость, мм/с	11,2	5	2	2
ДБ (относительно 5 × 10 ⁻⁵ мм/с)	107	100	92	92

Установлены следующие допустимые уровни звукового давления при обслуживании ультразвуковых установок:

Среднегеометрические частоты 1/3 октавных полос, кГц	12,5	16	20 и более
Уровень звукового давления, дБ	75	85	110 и более

С поправкой на продолжительность действия ультразвука нормируемые значения звукового давления увеличиваются: в течение 1—4 ч—на 6 дБ; в течение 1/4—1 ч—на 12 дБ и т. д.

§ 5. Защита от шума, вибрации и ультразвука

Во всех случаях наибольшая эффективность защиты достигается при уменьшении интенсивности шума и вибрации в источнике их возникновения путем выбора специальной кон-

струкции совершенного, бесшумного оборудования и инструмента, использования соответствующих материалов, высокого качества изготовления деталей, их правильного монтажа и эксплуатации. Следует иметь в виду, что при работе всех технических устройств около 40 % шума создают различные зубчатые передачи и другие трансмиссии. При выборе способов и средств защиты следует использовать возможность замены шумного оборудования или технологии менее шумными, выносить шумное оборудование за пределы рабочего помещения, более широко использовать средства подавления шума на путях его распространения (локализация шума и вибрации). Рационально также использовать дистанционное управление, ограничивать время работы шумного оборудования, предупреждать опасное маскирующее воздействие интенсивных источников, затрудняющих эффективную борьбу с шумом в отдельных производственных помещениях.

В последние годы разработано и внедрено на практике много весьма эффективных звукоизолирующих материалов, специальных конструкций и звукоизолирующих преград. Широкое использование их для изоляции, локализации, снижения уровня шума должно быть одним из важных профилактических направлений.

Все более широко используются также виброизолирующие устройства и вибропоглощающие материалы.

К высоким уровням шума при работе технологического оборудования часто приводят:

1) конструктивные особенности машин (удары и трение узлов и деталей); недостаточная жесткость крепления отдельных частей машины, создающая вибрацию; изготовление механизмов из звенящих металлов и др.;

2) технические недостатки из-за низкого качества изготовления оборудования: плохая динамическая балансировка вращающихся деталей и узлов, неточное выполнение шага зацепления и формы профиля зуба. Даже ничтожно малые отклонения в размерах деталей машин отражаются на спектре, уровне и других характеристиках шума;

3) некачественный монтаж оборудования на производственных площадках, приводящий к перекосам при работе деталей и узлов машин, а также к вибрациям несущих конструкций;

4) нарушение правил технической эксплуатации машин и агрегатов: отклонение в режиме работы оборудования по сравнению с паспортным, плохой уход за ним и др.;

5) несвоевременный и некачественный ремонт оборудования, ухудшающий качество работы машины и увеличивающий уровень производственного шума;

6) использование высокошумных технологических процессов, операций, отдельных машин и инструментов.

Интенсивным источником низкочастотных вибраций и шума является неуравновешенность вращающихся частей машин, выбор нерационального, излишне жесткого фундамента и т. д.

Комплекс мер по борьбе с шумом и вибрациями включает:

- жесткое крепление вибрирующих деталей и узлов;
- амортизацию, демпфирование, виброизоляцию с помощью рессор, упругих материалов (резина, войлок, асбест и др.), при которых невозможна передача собственных колебаний вибрирующих узлов и механизмов (за счет высокого внутреннего трения) основанию (фундаменту), другим частям оборудования. При этом собственная частота колебаний системы должна быть в $\frac{2}{3}$ раза меньше возбуждающей частоты. Образование шума и вибраций в этих условиях будет исключено, если одновременно будет обеспечена изоляция фундамента оборудования от грунта с помощью воздушных разрывов (акустических швов);

- снижение уровня шума от вентиляционных и нагревательных установок путем уменьшения скорости движения воздуха (газа) в установках и воздуховодах (увеличения площади их поперечного сечения), а также уменьшения числа поворотов, разделения воздушных (газовых) потоков, устранения вибрации трубопроводов от пульсирующих потоков и др.

При встрече с преградой одна часть энергии звуковой волны отражается от нее, другая — поглощается ею, третья — проходит через нее. Увеличением поглощающей и отражающей способности преграды (звукоизоляции) эффективно снижается уровень шума на рабочих местах.

Звукопоглощающие материалы (войлок, минеральная шерсть, асбест, асбосиликат, арболит, пористые штукатурки и др.) способны уменьшать шум. Эта способность различна для звуков разной частоты (высокочастотные звуки поглощаются лучше, чем низкочастотные) и зависит от толщины звукопоглощающих преград. Особенно эффективно использовать многослойные звукоизолирующие кожухи, состоящие из гладких плотных материалов, между которыми размещены рыхлые, пористые звукопоглотители и др. Коэффициент звукопоглощения указанных выше современных материалов при частоте 1000 Гц равен 0,3—0,9, бетона и кирпича — 0,01—0,03.

Особое значение для профилактики шума имеют архитектурно-планировочные решения. Снижение уровня шума в воздухе пропорционально квадрату расстояния от источника шума. Защита расстоянием от шума является весьма эффективной. Шум ослабляется значительно сильнее над поверхностью озер и прудов с характерными для них вертикальными потоками влажного воздуха. Мощным естественным звукопоглотителем является лиственный лес. При частоте 800—1000 Гц уровень звукового давления в лесу на 1 м расстояния снижается на 0,15 дБ.

Все это рекомендуется использовать для борьбы с шумом. При этом наиболее шумные производственные объекты следует выносить за пределы предприятий и жилых массивов на необходимое расстояние и располагать их с учетом розы ветров, направления, распределения звуковых волн (шум слышится дальше и сильнее по направлению ветра), рационально использовать лесонасаждения и водоемы.

Известно, что шум с более высоким уровнем звукового давления маскирует шум с низким уровнем. При наличии нескольких одинаковых источников результирующий уровень шума L_p определяется по формуле

$$L_p = L_1 + 10 \lg N,$$

где L_1 — уровень одного источника, дБ; N — число источников.

Предположим, что для установки комплексной подготовки газа $N=100$, а $L=120$ дБ. Допустим, что с помощью соответствующих мероприятий число источников шума на установке уменьшено до 50. Сниженный уровень шума при этом будет равен 117 дБ.

Борьба с шумом должна быть направлена, как видно, на устранение наиболее мощных высокочастотных источников, которые в основном определяют условия труда по шуму на рабочих местах и маскируют большое количество других источников с более низким уровнем шума. Если комплекс технических, организационных, архитектурно-планировочных и других мер не обеспечивает нормальных условий труда по шуму и вибрациям, используются различные средства индивидуальной защиты (антифоны, беруши, шумозащитные наушники и шлемы), изготовленные из пластичных (неопрен, воск) и твердых (резина, эбонит) материалов. Использование антифонов снижает уровень шума средней частоты на 15—30 дБ. Противошумные наушники ВЦНИИОТ — на 10—40 дБ. Антифоны эффективнее защищают от наиболее вредного высокочастотного шума.

✓ Для защиты от вибраций широкое применение находят виброизолирующие перчатки и обувь.

Устранение отмеченных недостатков в технологии, технике, организации производства, комплексное использование современных методов борьбы с шумом позволят значительно снизить уровни шума и вибрации и улучшить условия труда на предприятиях нефтяной и газовой промышленности.

Для измерения шума и вибрации на предприятиях нефтяной и газовой промышленности широкое применение получили универсальный вибро-шумоизмерительный комплект ИШВ-2, шумомер Ш-71, переносной виброметр ВИП-2 и др.

Всякое колеблющееся тело, являющееся источником шума, наряду со слышимыми звуками генерирует инфра- и ультра-

звуки с частотой соответственно до 16 Гц и более 20 кГц (сопутствующее, паразитическое излучение звуковой энергии).

На производственных объектах нефтяной и газовой промышленности используются мощные ультразвуковые установки для очистки сточных вод, интенсификации технологических процессов по первичной подготовке нефти и газа, очистке, сварке и обработке деталей и др. Эти установки излучают опасный для обслуживающего персонала поток ультразвуковых колебаний, который влияет на организм человека, нарушает биохимические процессы обмена веществ, изменяет состав и свойства крови, структуру клеток, состояние нервной системы, оказывает, как и шум, вредное воздействие на здоровье и работоспособность.

Комплекс защитных мер от ультразвука аналогичен противозвуковому комплексу и дополняется рациональным изменением рабочих частот, устройством системы блокировок, отключающей технологические установки при нарушении звукоизоляции, использованием для укрытия источников ультразвука и магнитострикционных преобразователей стальных кожухов толщиной 1—2 мм, покрытых звукопоглощающим материалом с внутренней поверхностью, в 15 раз большей поверхности кожуха, и др.

В технической характеристике оборудования указывают показатели ультразвуковой опасности: уровни звукового давления в третьооктавных полосах принятого диапазона частот, измеряемые в четырех контрольных точках по контуру оборудования на расстоянии между точками 1,0 м, между точкой и кожухом оборудования — 0,5 м, от отражающей поверхности 2,0 м и на высоте 1,5 м от пола. Условия труда по уровню ультразвука нормируются действующим ГОСТом по показателям допустимого уровня звукового давления, создаваемого на рабочих местах колебаниями воздушной среды с частотами более 11,2 кГц. Допустимые уровни звукового давления на рабочих местах (для 8-часового рабочего дня) нормируются в третьооктавных полосах частот следующим образом:

Среднегеометрические частоты третьооктавных полос, Гц	12500	1600	≥20000
Уровни звукового давления, дБ	75	85	110

При продолжительности рабочей смены менее 4 ч (240 мин) указанные уровни звукового давления соответственно увеличиваются:

Суммарная длительность воздействия ультразвука в смену, мин.	60—240	20—60	5—15	1—5
Поправка, дБ	+6	+12	+18	+24

Уровень звукового давления измеряется на рабочем месте при выполнении наиболее шумной технологической операции,

в основной рабочей позе работающего на уровне уха (на расстоянии 5 см от него), непосредственно после пуска (ремонта) оборудования, а также в процессе эксплуатации (не реже 1 раза в год). Для измерения уровней ультразвука используют: анализатор типа СБ-2 или СБ-3; конденсаторный микрофон типа МК-6; комплекты портативной аппаратуры для измерения частот до 50 тыс. Гц.

Глава VIII

БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ РАБОТЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

В нефтегазодобывающей промышленности радиоактивные вещества (РАВ) находят широкое применение. С их помощью контролируют технологические процессы, заполнение емкостей, нейтрализуют заряды статического электричества. Использование радиоактивных индикаторов позволяет изучать сложное движение подземных вод (заводнение коллекторов нефти и газа), расслоение потоков жидких и газообразных углеводородов в трубопроводах, коллекторские и другие свойства горных пород. Расширяется также сфера использования ионизирующих, возбуждающих, рассеивающих, и других свойств РАВ в различных технологических целях (дефектоскопия, контроль и управление, направленное изменение свойств веществ, химических реакций и др.).

§ 1. Основные свойства радиоактивных веществ

Известно, что радиоактивное излучение, взаимодействуя с облучаемой средой, образует электрические заряды разных знаков (ионы). Этот процесс называется ионизацией и обусловлен действием на облучаемую среду ядер атомов гелия (α -частицы), электронов, позитронов (β -частицы), заряженных и незаряженных частиц (корпускулярное и нейтронное излучение), электромагнитного (γ -излучение)¹, фотонного (характеристическое, тормозное и рентгеновское) и другого излучения². Ни один из этих видов радиоактивного излучения не воспринимается органами чувств человека. Глубина проникновения и степень воздействия каждого из них и всех вместе на организм, состояние здоровья человека зависят от следующих факторов:

— величины потока частиц (фотонов);

¹ Скорость распространения γ -излучения в вакууме $3 \cdot 10^5$ км/с.

² Многие радиоактивные изотопы испускают одновременно β -частицы и γ -кванты.

— числа частиц (флюенс), проникающих в тело через единицу площади;

— плотности потока (число частиц в его единичном объеме);

— величины потока энергии (ионизация, приходящаяся на единицу площади);

— интенсивности излучения (поток энергии излучения в единицу времени);

— линейной плотности ионизации (число пар ионов, образующихся под влиянием заряженной частицы на единице длины пробега);

— линейной передачи энергии (ЛПЭ) — отношение средней энергии, ΔE , локально переданной среде движущейся заряженной частицей с энергией E при перемещении ее на некоторое расстояние Δl к этому расстоянию.

Для потоков частиц и фотонов разной физической природы, проникающей, ионизирующей способности и т. д. значения приведенных выше показателей сильно различаются.

В качестве интегрального показателя глубины и тяжести воздействия РАВ на организм человека принята величина поглощенной дозы D , представляющая собой среднюю энергию dE , переданную веществу в некотором элементарном объеме, деленную на массу вещества dm в этом объеме:

$$D = \overline{dE}/dm.$$

За единицу измерения¹ поглощенной дозы (для нейтронного излучения) принят Дж/кг (грэй) — энергия в 1 Дж, поглощенная одним килограммом вещества:

$$1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг} = 100 \text{ рад}$$

(рад — внесистемная единица поглощенной дозы).

$$1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг/кг} = 0,01 \text{ Дж/кг} = 0,01 \text{ Гр}.$$

Для квантовых излучений (рентгеновское или γ -излучение) поглощенная доза определяется по электрическому заряду. В качестве экспозиционной принята такая доза, при воздействии которой на 1 кг сухого атмосферного воздуха при нормальных условиях (0 °С, 0,1013 МПа) образуется количество ионов, несущих 1 Кл (кулон) электричества каждого знака.

Внесистемной единицей экспозиционной дозы является рентген (Р) — доза, при которой сопряженная корпускулярная эмиссия в 0,001293 г (1 см³) воздуха при 0 °С и 0,1013 МПа образует ионы, несущие заряд в одну электростатическую единицу электричества каждого знака ($2,083 \cdot 10^9$ пар ионов):

$$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}.$$

¹ В настоящем разделе использованы единицы физических величин: рентген, рад, бэр и кюри, отмененные с 1 января 1980 г.

Если учесть, что для получения одной пары ионов с помощью характерного для современного производства источника РАВ требуется энергия 34 эВ, то поглощенная энергия 1 см³ воздуха при дозе облучения в 1 Р будет

$$E = 2,083 \cdot 10^9 \cdot 34 = 7,08 \cdot 10^4 \text{ МэВ} = 0,113 \text{ эрг} = \\ = 3,15 \cdot 10^{-15} \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 2,71 \cdot 10^{-9} \text{ кал.}$$

Мощность поглощенной дозы P равна приращению поглощенной дозы dD за малый промежуток времени dt :

$$P = dD/dt,$$

Внесистемной единицей мощности поглощенной дозы является рад в секунду (рад/с).

Для смешанного ионизирующего излучения произвольного состава введено понятие эквивалентной дозы H , характеризующей опасность хронического облучения РАВ произвольного состава, равного произведению поглощенной дозы D на средний коэффициент качества излучения \bar{Q} в данной точке ткани:

$$H = D\bar{Q} = \sum_{i=1}^{\infty} D_i Q_i = D_1 Q_1 + D_2 Q_2 + D_3 Q_3 + \dots = \\ = \int_0^{\infty} D(L_{\infty}) Q(L_{\infty}) dL_{\infty},$$

где 1, 2, 3 ... относятся к РАВ с разным качеством излучения;

$D = \sum_{i=1}^{\infty} D_i = D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D(L_{\infty})$ — распределение дозы по полной ЛПЭ (L_{∞}); $Q(L_{\infty})$ — регламентированная зависимость коэффициента от полной ЛПЭ.

Безразмерный коэффициент качества Q определяет зависимость неблагоприятных биологических последствий облучения человека в малых дозах от полной ЛПЭ излучения.

Регламентированная зависимость коэффициента качества Q от полной ЛПЭ $Q(L_{\infty})$ характеризуется следующими данными.

L_{∞} , кэВ/мкм воды	...	<3,5	7,0	23	53	≥ 175
$Q(L_{\infty})$...	1	2	5	10	20

$$\bar{Q} = \frac{D_1 Q_1 + D_2 Q_2 + D_3 Q_3 + \dots}{D} = \frac{1}{D} \int_0^{\infty} D(L_{\infty}) Q(L_{\infty}) dL_{\infty}.$$

Эквивалентную дозу и коэффициент качества следует использовать только для целей радиационной безопасности при значении H не более 5 предельно допустимых доз (ПДД).

Мощность эквивалентной дозы определяют аналогично мощности поглощенной дозы.

За единицу измерения эквивалентной дозы смешанного излучения принят Вт/кг.

При нормировании условий труда чаще используют биологический эквивалент рентгена — бэр; это специальная единица эквивалентной дозы:

$$1 \text{ бэр} = \frac{100 \text{ эрг/ч}}{Q} = \frac{1 \cdot 10^{-2} \text{ Дж/кг}}{Q} = \frac{0,01 \text{ Гр}}{Q}$$

Активность A радиоактивного вещества — число спонтанных ядерных превращений dN в этом веществе за малый промежуток времени dt , деленное на этот промежуток:

$$A = dN/dt.$$

Единицей изменения активности является одно ядерное превращение в секунду; в СИ она получила название беккерель (Бк).

Имеется также специальная единица активности — кюри (Ки), соответствующая $3,7 \cdot 10^{10}$ ядерных превращений в секунду.

За показатель активности точечного источника понизирующего излучения, позволяющего сравнивать различные РАВ, в дозиметрической практике принят γ -эквивалент радия m_{Ra} — условная масса точечного источника Ra_{226} , создающего на данном расстоянии такую же мощность экспозиционной дозы, как данный источник. Специальной единицей γ -эквивалента является килограмм-эквивалент радия; 1 кг-экв радия на расстоянии 1 см от источника создает в воздухе мощность экспозиционной дозы 2,33 кР/с или $8,4 \cdot 10^6$ Р/ч, соответственно 1 мг-экв радия — $2,33 \cdot 10^{-3}$ Р/с, или 8,4 Р/ч.

При распаде многих РАВ образуются промежуточные газообразные радиоактивные продукты — эманации. Особенно характерно выделение эманаций из радиоактивной воды, омывающей урановые месторождения. Большой объем газообразных РАВ выделяется также из радиоактивной взвешенной пыли, токсичных газов, образующихся в воздухе в результате взрывных работ и т. д. Более других известны эманации: радон, торон, актинон — продукты распада радия, тория и актиния. Для воздействия их на человека характерны ионизация биологической среды, изменения в клетках, белках, нарушения в системе кровообращения и т. д. Концентрация эманаций измеряется в эманах. Одному эману соответствует концентрация, при которой в 1 л воздуха происходит 3,7 распада в секунду. Предельно допустимая норма — не более 10 эманов.

§ 2. Воздействие радиоактивных веществ на человека

Опасность РАВ зависит от вида их источника, агрегатного состояния РАВ, активности, времени эффективного периода, радиотоксичности, характера технологического использования и радиационных свойств отходов. Глубина и тяжесть биологического действия РАВ проявляется прежде всего в степени ионизации атомов и молекул организма, изменении его химического состава, структуры, характера связей.

При высокой интенсивности радиационный поток поражает хромосомы и ядра клеток, может явиться причиной гибели отдельных клеток. В среде живого образуются при этом «новые» комплексы, группы Н и ОН и молекулы, не свойственные биологической среде и тканям тела человека. Это нарушает стерильность организма или отдельных органов.

Большие дозы РАВ (4—5 Дж/кг, 400—500 рад) нарушают функции кроветворных органов, ухудшают свертываемость крови, индуцируют длительно протекающие в теле человека реакции, резко снижают сопротивляемость организма к различным заболеваниям, а при больших дозах могут оказаться смертельно опасными (смерть при облучении).

На предприятиях нефтяной и газовой промышленности РАВ используют в твердом, жидком и газообразном состояниях. Опасное вещество способно распределяться в объеме и проникать в организм человека при вдыхании, приеме пищи, воды, курении и может накапливаться в нем, образуя внутренние ионизирующие источники. Особую опасность при работе с РАВ представляют операции по их механическому измельчению, разбрызгиванию, конденсации паров и самопроизвольное образование радиоактивных аэрозолей, эманаций. Более тяжелое воздействие внутреннего облучения по сравнению с внешним обусловлено непрерывным действием РАВ и тем, что оно поражает не защищенные роговым слоем кожи (эпидермисом) внутренние органы. Время $T_{эф}$ эффективного действия РАВ в данном случае зависит от периода полураспада и равно

$$T_{эф} = \frac{T_{1/2} T_b}{T_{1/2} + T_b},$$

И. З. 98

где $T_{1/2}$ — период полураспада, изменяется от 14 сут. (фосфор) до 5586 лет (углерод); T_b — период полувыведения.

Значения $T_{эф}$ для углерода и фосфора равны 10—13 сут., для радона — 30 мин, для радия — 10 лет. Оно зависит от растворимости, химического сродства и других свойств. Радиоактивные натрий, хлор и вода, например, быстро выводятся из организма со шлаками; от инертных газов (аргон, криптон, ксенон) организм легко освобождается, так как эти газы не вступают в химические реакции и т. д.

Радиоактивные вещества как потенциальные источники

внутреннего облучения по степени радиотоксичности делятся на пять групп: А — изотопы с особо высокой радиотоксичностью, активность которых равна $3,7 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ (0,1 мкКи); Б — изотопы с высокой радиотоксичностью — $3,7 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$ (1 мкКи); В — изотопы со средней радиотоксичностью — $370 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ (10 мкКи); Г — изотопы с малой радиотоксичностью — $3700 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ (100 мкКи); Д — изотопы, для которых активность равна $37\,000 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ (1000 мкКи).

Некоторые РАВ опасны для человека не как источники ионизирующего излучения, а как сильные ядовитые вещества (уран и его производные).

По характеру распределения в организме человека радиоактивные вещества подразделяют на три группы:

1 — накапливающиеся в скелете (радий, стронций, цирконий и др.); 2 — накапливающиеся в печени (торий, церий, америций и др.); 3 — равномерно распределяющиеся по всему организму (полоний, теллур, сурьма, ниобий и др.). Каждая из этих групп веществ в разной степени опасна для человека. Первые две группы обладают мощным кумулирующим действием; тяжесть воздействия третьей группы веществ определяется поглощенной дозой и радиотоксичностью.

Наиболее тяжелым исходом ионизирующего поражения является лучевая болезнь. Для нее характерно четыре периода: 1 — первичная реакция (тошнота, вялость); 2 — видимое благополучие (скрытый период); 3 — период прогрессирующего усиления болезни (тошнота, сильное недомогание, температура тела $40\text{--}41^\circ\text{C}$, кровотечение из десен, резкое снижение количества лейкоцитов и другие изменения в составе крови); 4 — период выздоровления.

При смертельно опасной величине поглощенной дозы летальный исход наступает через 20—22 дня после облучения.

Опасность поглощенных доз разной величины иллюстрируется следующими данными:

0—25 Р — непроходящих поражений не возникает. Через четыре дня после облучения изменений в составе крови не отмечается;

25—50 Р — возможны нерегулярные изменения в составе крови; опасных необратимых патологических изменений в организме человека не наблюдается;

50—100 Р — происходит изменение состава крови и ее основных составляющих, ухудшается самочувствие, при сохранении работоспособности;

100—250 Р — наблюдается недомогание, легкая форма лучевой болезни с симптомами: головная боль, потеря аппетита, вялость, бессоница, в большинстве случаев потеря трудоспособности;

250—450 Р — возникает лучевая болезнь средней тяжести; летальный исход возможен в половине случаев облучения;

более 600 Р — лучевая болезнь тяжелой степени — устойчивая головная боль, тошнота, рвота, уменьшение гемоглобина и лейкоцитов в крови, кровотечение из слизистых оболочек, выпадение волос.

Для сравнения укажем, что величина поглощенной дозы от естественного радиоактивного фона в среднем в СССР равна 400—200 мбэр/год; при рентгеновском просвечивании желудка 1,5—3 Р; от экрана телевизора, на расстоянии 10 см — 0,4 мР/ч. В среднем годовая доза медицинского облучения составляет 30—50 % от естественного фона. Во всех случаях чем меньше мощность дозы, тем легче поражение. Существенно важно поэтомудробить дозы, увеличивать разрыв между работами, связанными с облучениями, и длительность воздействия РАВ при одной и той же общей величине поглощенной дозы.

§ 3. Нормирование условий труда при работе с РАВ

Человек всегда подвергался воздействию РАВ, находящихся в организме (0,3 % массы человека составляют радиоактивные вещества с мощностью дозы 75 мР/год), в почве, в воздухе, от ионизирующего потока космических лучей и др. Суммарная доза, создаваемая этими источниками, равна около 100 мбэр/год. При разработке средств защиты от РАВ естественный фон принимают равным 0,01 мР/год. На основе этого естественного уровня радиоактивности и международного стандарта (уровень риска в радиационной защите не должен превышать уровней риска в других отраслях — смертность от болезней, от стихийных бедствий и т. д.) разработаны правила (ОСП—72) и нормы (НРБ—76) радиационной безопасности, установлены предельно допустимые дозы (ПДД) для внешнего и внутреннего облучения. При этом учитывается, что любая доза выше естественной является опасной для человека, так как известно, что малые дозы также способны вызывать необратимые изменения в организме.

Значения этих норм дифференцируются в зависимости от категорий облучаемых лиц и групп критических органов. Так, для персонала (производственные работники, категория А) — лица, которые постоянно или временно работают непосредственно с источниками ионизирующих излучений — ПДД равна 5 бэр/год; для ограниченной части населения (категория Б) — лиц, которые не работают непосредственно с источниками излучения, но по условиям проживания или размещения рабочих мест могут подвергаться воздействию РАВ — ПДД составляет 0,5 бэр/год; для всего остального населения (категория В) соответственно 0,05 бэр/год.

Критические органы — это органы, ткани, части тела или все тело, облучение которых в данных условиях причиняет наибольший ущерб здоровью данного лица или его потомству.

Для каждой категории облученных лиц установлены классы нормативов: основные дозовые пределы, допустимые уровни, контрольные уровни.

Если при облучении индивидуальные дозы превышают 0,3 годовых ПДД, то устанавливается индивидуальный дозиметрический контроль и специальное медицинское наблюдение. Для отдельных лиц из персонала допустима доза облучения 3 бэр в квартал (за исключением женщин до 30 лет). Поражение нескольких органов одновременно приравнивается к поражению всего тела. При каждом случае переоблучения записывается на некоторое время контакт работающего с РАВ. Возобновление работы с РАВ должно согласовываться с годовой предельно допустимой дозой.

Нормами устанавливается также для всех радиоизотопов:

— предельно допустимое содержание (ПДС) в органах и тканях, соответствие его ПДД для персонала;

— среднегодовые допустимые концентрации (СДК) в воздухе производственных помещений и зон;

— предельно допустимое содержание радиоизотопов и годовое предельно допустимое поступление их (ПДП); рассчитывают их так, чтобы годовая доза не превышала нормы.

СДК можно рассчитать делением ПДК (годовой) на стандартное потребление в течение года воздуха ($2,5 \cdot 10^6$ л/год) за время работы и воды (800 л/год).

При определении эквивалентной дозы различных видов ионизирующих излучений с неизвестным спектральным составом используют следующие значения коэффициента качества Q .

Рентгеновское и γ -излучения	1
Электроны и позитроны, β -излучение	2
Протоны с энергией меньше 10 МэВ	10
Нейтроны с энергией меньше 20 МэВ	3
Нейтроны с энергией 0,1 — 10 МэВ	10
α -излучение с энергией меньше 10 МэВ	20
Тяжелые ядра отдачи	20

При проектировании и планировании мероприятий по радиозащите и при проведении радиационного контроля строго соблюдаются дозовые пределы, допустимые и контрольные уровни, предусмотренные действующими нормами.

Все виды РАВ по радиотоксичности подразделяют на пять групп (см. § 2 настоящей главы), все виды работ и рабочие помещения по годовому потреблению РАВ — соответственно на три класса (табл. 10).

Производственные помещения, лаборатории подразделяются по годовому расходу РАВ ($K_{и}$) — на три класса: I — больше 100, II — от 10 до 100, III — до 10 и по характеру используемого источника — открытый или закрытый источник РАВ; по виду и физической природе источника — на четыре класса: I —

Группа радиоактивности	Характеристика радиотоксичности	Предельно допустимая активность, мкКи ¹	Активность на рабочем месте, мкКи		
			I класс	II класс	III класс
А	Особо высокая	0,1	10 ⁴	10—10 ⁴	0,1—10
Б	Высокая	1,0	10 ⁵	10 ² —10 ⁵	1—10 ²
В	Средняя	10	10 ⁶	10 ³ —10 ⁶	10—10 ³
Г	Малая	100	10 ⁷	10 ⁴ —10 ⁷	10 ² —10 ⁴
Д	Наименьшая	1000	10 ⁸	10 ⁵ —10 ⁸	10 ³ —10 ⁵

¹ При которой не требуется специального разрешения на производство работ.

β -излучение >10 мКи и γ -излучение >1 мг-экв Ра; II — β -радиоизотопы >1 мКи и γ -радиоизотопы >1 мг-экв Ра; III — β - и γ -радиоизотопы $<0,1$ мг-экв Ра; IV — α -излучение любой активности.

Комплекс защитных мер разрабатывают с учетом степени опасности источника РАВ, вида работы, категории помещения и направленности токсического действия ионизирующего излучения в отношении группы критических органов.

При прочих равных условиях меньшую опасность представляют РАВ: 1) в твердом, кусковом состоянии, 2) с меньшей токсичностью, 3) с большим периодом полураспада; 4) с меньшими энергией, уровнем активности и активностью отходов.

Работа с РАВ в каждом конкретном случае разрешается специальной комиссией в составе представителей заинтересованной организации, органов МВД, санитарного и пожарного надзора и технического инспектора с указанием в акте: годового потребления РАВ, назначения помещений, соответствия их комплексу требований по устройству (просторность, конструкция и материал пола, стен, потолка, толщина и защитные свойства стен, тип поверхности — пластик, масляная краска, закругление стыков между полом, стенами и потолком, мебель на высоких ножках, столы из нержавеющей стали, скрытая проводка и т. д.).

Машины, оборудование, контейнеры, транспортные средства, приборы, аппараты, помещения, в которых применяются РАВ, должны иметь знак радиационной опасности.

Все работающие проходят предварительный, а далее периодические медицинские осмотры, специальную подготовку по безопасной работе с РАВ и должны периодически аттестовываться по уровню профессиональной подготовки. Специального разрешения не требуется, если используется РАВ в виде естественного твердого вещества активностью 0,01 мКи/г, концентрацией 0,02 мКи/ч, мощностью дозы на расстоянии 1 м от источника 0,1 мбэр/ч и при использовании ускорителя с энергией 5 кэВ.

При работе с закрытыми источниками (приборы, аппараты

и т. п.) каких-либо особых требований к устройству и отделке производственных помещений, лабораторий не предъявляется. При использовании РАВ с активностью 0,1 мг-экв Ра и более во всех случаях организуется радиометрический контроль.

§ 4. Современные меры защиты от ионизирующих излучений

Системы радиометрического и дозиметрического контроля, выполнение в полном объеме действующих норм (НРБ-76, ОСП-72 и др.) полностью исключают на производстве, в лабораториях и в сопряженных с ними зонах опасные источники и уровни излучений. Предусматривается непрерывный контроль содержания РАВ, аэрозолей и эманаций в воздухе, уровня радиоактивных загрязнений на рабочей одежде, теле человека (при выходе из помещения) на рабочих поверхностях и оборудовании, мощности доз, количества используемых РАВ, радиоактивности и объемов отходов, выбрасываемых в атмосферу, водные бассейны, почву. При контроле определяют: содержание РАВ в организме человека, его отдельных критических органах (для чего дозиметры размещают на соответствующих участках тела), а также дневные, недельные, квартальные, годовые и суммарные (общие за весь период работы) поглощенные дозы и эффективность защитных мероприятий.

Фактическую величину поглощенной дозы радиоактивного излучения (РАИ) в общем случае определяют по формуле

$$D = J_{\gamma} \frac{ct}{R^2},$$

где J_{γ} — полная γ -постоянная данного РАИ, $R \cdot \text{см}^2 / (\text{мКи} \cdot \text{ч})$; c — активность источника, мКи; t — время действия, ч; R — расстояние от источника до объекта, см.

Когда активность выражена в мг-экв Ра, формула принимает вид

$$D = \frac{8,25 \Gamma t}{R^2},$$

где 8,25 — ионизационная постоянная радия; Γ — активность РАВ, мг-экв.

Значение Γ можно вычислить из выражения

$$\Gamma = \frac{c J_{\gamma}}{8,25}.$$

Для случая, когда $D = \text{ПДД}$ из приведенной выше формулы можно рассчитать либо продолжительность безопасной работы (защита временем), либо безопасное расстояние от источника (защита расстоянием). Высокий уровень квалификации и четкая организация труда позволяют эффективно реализовать на практике защиту временем; широкое использование удлиненных

щипцов, манипуляторов разного типа, средств дистанционного контроля и управления позволяют удалить работающего от источника РАВ на безопасное расстояние и тем самым создают более безопасные условия труда.

Помещения для работ с открытыми источниками должны отвечать предусмотренному нормами комплексу требований. Эти помещения ограждаются, в частности, от других помещений санитарными защитными зонами с размерами: для II класса работ — 100 м; для I класса работ — 500 м. Излучение на наружной стороне здания не должно превышать 0,3 мР/ч; на стенах ближайшего соседнего здания, не принадлежащего данному предприятию, радиация не должна превышать величины естественного фона (0,01 Р/ч).

Работы II и III классов могут выполняться только в специально оборудованных помещениях: с особым внутренним устройством, мебелью, оформлением, обособленной принудительной вентиляцией, при которой исключаются рециркуляция и аэрация, а удаляемый воздух перед выбросом в атмосферу очищается от загрязнений. При наличии озона, окислов азота, при работе с эманулирующими РАВ (радий, торий, актиний) производственные помещения должны проветриваться круглосуточно.

Простые виды работ III класса особых требований к помещениям не предъявляют. Их можно проводить на отдельных столах, оборудованных вытяжными шкафами.

Для хранения РАВ используют стационарные и нестационарные сейфы из свинца, чугуна, стали с вытяжкой. Мощность дозы излучения на границе временных хранилищ не должна превышать 0,1 мБэр/ч.

Регламентированы также требования к дезактивации. Они предусматривают в частности: ежедневную влажную (сухая запрещена) уборку помещений, смыв загрязнений с пола, стен, потолка, мебели, оборудования водой, паром, при помощи механической (щеткой), физической (испарение), химической (ионообмен), биологической (фильтрация жидкостей через активированный ил), вакуумной, ультразвуковой и других способов очистки. В качестве моющих средств широко используют воду, радиохимические дезактиваторы, мыло, синтетические моющие средства, 5 %-ные растворы азотной, уксусной кислоты или двухфтористого аммония (для дегазации технологического оборудования), коагулирующие флотационные, подавляющие вещества в строгом соответствии с действующими санитарными нормами.

Широкое распространение в качестве защитных средств от РАВ получили экраны: стационарные, переносные, настольные (при β -излучении в 0,1 мКи и γ -источнике 0,1 мг-экв Ra), изготовленные из блоков сурмянистого свинца (плотность 10,8 г/см³, толщина 50 мм), из полых стальных плит с заполнением пространства в них металлической дробью; из бетонных форм для

возведения стен с заполнением пространства в них свинцовой, чугуновой дробью или металлической высечкой, рудой, гравием и т. д. Ширина экрана d во всех случаях должна быть больше длины пробега l элементарных частиц. Для β -излучения ее можно вычислить из выражения.

$$l_{\beta} = E_{\beta} / \rho,$$

где l_{β} — длина пробега, м; E_{β} — энергия потока, МэВ; ρ — плотность вещества экрана, г/см³.

Ослабление γ -излучения в толще экрана видно из следующего выражения:

$$J_{\lambda} = J_0 e^{-\mu x},$$

где J_{λ} — плотность потока, ослабленного слоем вещества толщиной x ; J_0 — начальная интенсивность потока; μ — линейный коэффициент ослабления, см⁻¹.

Аналогичная закономерность характерна для нейтронов, теряющих свою энергию при столкновении с ядрами водорода.

Ни один экран полностью излучений не поглощает. Толщину экрана d_k рассчитывают поэтому по величине заданной кратности K ослабления рентгеновских лучей:

$$d_k = \ln K / \mu.$$

Кратность ослабления определяется по формуле

$$K = \frac{D_{\phi n}}{\text{ПДД}},$$

где D_{ϕ} — доза при отсутствии защиты;
 n — коэффициент запаса (не менее 2).

Для комбинированной защиты от нейтронов и γ -излучения используют воду и свинец, свинец и полиэтилен, железо и графит.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) применяют для предохранения глаз, кожи, внутренних органов, тела, рук, ног человека от радиоактивных загрязнений, α -, β - и других излучений.

Для защиты глаз от мягкого β -излучения используются очки из обычных стекол; от высокого (жесткого) β -излучения — силикатный плексиглас толщиной 2,2—2,5 мм; от γ -излучений — свинцовые стекла и стекла с фосфатом вольфрама; от нейтронов — стекла с боросиликатом кадмия или с фтористыми соединениями. Органы дыхания от радиоактивной пыли, аэрозолей и эманаций защищают с помощью специальных респираторов и противогазов.

В качестве спецодежды при работе с низкоактивными РАВ (активность в пределах мкКи) достаточно использовать халаты, тапочки, комбинезоны из неокрашенной хлопчатобумаж-

ной ткани (сатин, молескин и т. п.). Более надежно тело человека от РАВ, пыли и щелочей защищается одеждой (нарукavianки, фартуки, халаты, костюмы), изготовленной из пленочного полихлорвинила, полиэтилена и некоторых сортов резины.

Для защиты рук широко применяют резиновые медицинские перчатки; при работе со среднеактивными РАВ (активность мКи) — перчатки из просвинцованной резины с гибкими нарукavianками.

Ремонтные и другие работы в условиях высокой радиоактивности выполняют в защитных пневматических костюмах (ЛГ-4, ЛГ-5) из пластических материалов с автономным обеспечением работающего свежим воздухом, подаваемым под костюм или под шлем (ЛИЗ-4, ЛИЗ-5).

В качестве спецобуви применяют ботинки из искусственной кожи или лавсановой ткани, формованные сапоги и обувь из специальной резины. Для защиты специальной и личной обуви от РАВ используют пластиковые чехлы, галоши и др.

Все индивидуальные средства защиты должны легко очищаться от РАВ и быть стойкими к воздействию кислот, щелочей, моющих растворов.

Правильная организация работ с РАВ, соблюдение всего комплекса требований по защите от ионизирующих излучений обеспечивают высокую безопасность всех людей, контактирующих с РАВ. Получаемые при этом дозы не превышают предельно допустимых (ПДД), не вызывают при равномерном накоплении в течение 50 лет обнаруживаемых современными методами неблагоприятных изменений в состоянии здоровья самого работающего и его потомства.

На нефтегазодобывающих объектах опасный контакт человека с РАВ возможен при геофизических работах, исследовании коллекторских свойств продуктивных пластов при их гидроразрыве, движения жидкости при контурном заводнении, высоты подъема цементного раствора в затрубном пространстве, а также при работе с контрольно-измерительными приборами, индикаторами, антистатиками, основанными на использовании различных ионизирующих излучений. В качестве РАВ здесь применяются в основном радиоактивные изотопы (иод-131, цинк-65, цирконий-95, железо-59 и др.) с малым периодом полураспада, обеспечивающим эффективное проведение исследований и быстрое снижение активности РАВ в последующий период.

Опасный контакт работающих с РАВ в данном случае возникает при транспортировании и хранении радиоактивных веществ, введении их в скважину, рабочую жидкость (воду, цементный раствор и др.) при разливе собственно РАВ и рабочих жидкостей, в которых они растворены, и т. д. Помимо рассмотренных выше мер безопасности, при введении РАВ из ампулы в скважину здесь широко используется метод раздавлива-

ния ампул в специальном приспособлении с последующей закачкой разбавленного раствора в скважину или метод раздавливания ампулы в открытом устье скважины, заполненной водой.

При проведении гидроразрыва пласта в скважину закачивают порцию активизированного песка или водный раствор РАВ. По кривой γ -каротажа, отображающей структурное состояние горных пород по глубине скважины, оценивают структуру и протяженность образовавшихся трещин, характер и степень воздействия гидроразрыва на пласт. Следует иметь в виду, что концентрированный радиоактивный раствор, циркулируя по трубопроводу и контактируя с материалами, воронкой для смешения РАВ с цементом (при исследовании цементного кольца скважины) и другим оборудованием, может разливаться через неплотности сальников и фланцевых соединений и образовывать опасные по ионизирующему облучению зоны. Эти зоны по всей территории предприятия должны отмечаться знаками радиационной опасности.

При промывке скважин раствор РАВ выводится на поверхность с промывочной жидкостью и может загрязнять территорию вокруг скважины. Если учесть, что на предприятиях иногда без нужды применяют нейтронные источники большой активности и нарушают правила расфасовки γ -активных растворов, значение эффективных профилактических мер, исключающих разливы, загрязнение территории, высокий уровень организации труда при применении РАВ, допуск к работе с РАВ только хорошо обученных квалифицированных специалистов становится очевидным.

Для безопасного ввода РАВ в скважину при цементировочных работах разработано техническое устройство, представляющее собой патрубок с тремя отверстиями под камеры для ампул с РАВ и болтами, разрушающими ампулы при ввинчивании. Для закачки жидких радиоактивных изотопов в институте ВостНИИТБ разработан безопасный скважинный инжектор. Через лубрикатор заряженный прибор на проволоке опускают в скважину. На заданной глубине инжектор резко останавливается, ударник, продолжая движение по инерции, разбивает ампулу с РАВ. При необходимости прибор можно заряжать двумя ампулами одновременно.

При извлечении инжектор интенсивно промывают струей закачиваемой жидкости, которая полностью вымывает из него РАВ.

При радиометрических работах на нефтегазодобывающих предприятиях следует обращать особое внимание на операции извлечения нейтронных источников из глубинного прибора. Очень важно в этих случаях максимально сокращать время выполнения этих операций. Составной частью профилактики должны быть также работы по дезактивизации трубопроводов,

оборудования и мест разлива радиоактивных растворов, могущих в отдельных случаях представлять опасность для работающих.

Глава IX

БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Более 70 % электротравм на объектах нефтяной и газовой промышленности происходит при обслуживании распределительных устройств, воздушных, кабельных линий, электропроводки, коммутационной аппаратуры, средств защиты, электро-сварочных установок.

Наиболее опасными элементами электроустановок являются пускатели, рубильники, автоматы и предохранители; опасными — провода, шины. С этими элементами обслуживающему персоналу приходится постоянно соприкасаться, а в ряде случаев выполнять работы под напряжением или вблизи токоведущих частей, находясь под напряжением. Около половины электротравм обусловлено неисправностью электропроводки; каждый пятый несчастный случай происходит в результате прямого контакта человека с токоведущими частями оборудования; каждый десятый — от возникновения электрического потенциала на нормально нетоковедущих частях. В 70 % случаях основными травматологическими последствиями этого являются ожоги, поражения электрической дугой, электроудары при контакте открытых частей тела (рук, лица) с изолированными токоведущими частями оборудования.

§ 1. Электрический ток. Действие его на организм человека

Все более широкое применение электрического тока при добыче, подготовке, транспортировании и переработке нефти и газа, при бурении и ремонте скважин и других работах, значительно увеличивает потенциальную опасность этих сложных технических процессов. Электрический ток является также частой причиной крупных пожаров. В половине случаев взрывов газо- и пылевоздушных смесей на объектах нефтяной, газовой, химической и других отраслей промышленности инициирующим фактором является электрическая энергия.

Электромагнитные, электрические и другие силовые поля локально «загрязняют» окружающую среду и вредно воздействуют на здоровье и работоспособность человека. Находящееся под напряжением электрическое оборудование затрудняет ведение работ по тушению пожаров.

Значительно большей по сравнению с другими производственными опасностями остается пока еще опасность поражения людей электрическим током. По электротравматизму нефтяная

и газовая промышленность относится к числу наиболее опасных. Огромный опыт людей по безопасному использованию электроэнергии не позволяет еще в настоящее время полностью исключить случаи поражения электрическим током.

От электрического тока в развитых странах мира ежегодно погибает более 25 тыс. человек и более 120 тыс. получает травмы. По ряду стран в течение последних 50 лет отмечается даже устойчивая тенденция к росту частоты и тяжести несчастных случаев, в той или иной степени связанных с электрической энергией.

(В нефтяной и газовой промышленности чаще других работников травмируются машинисты передвижных агрегатов, автокранов, электрослесари, механики, дизелисты буровых установок, сварщики.) Повышенная опасность поражения человека электрическим током связана с характерной внезапностью, неожиданностью, многофакторностью и масштабностью воздействия тока на организм человека (поражение электрическим током — электрический удар и др.). Действительной смерти предшествует «смерть» мнимая и т. п.

Электрический ток на человека может воздействовать непосредственно (местное нарушение целостности тканей организма) или рефлекторно (поражающий фактор проявляется через нервную систему). В первом случае травматологическим последствием является ожог, электрический знак (контактный, дуговой, смешанный), электрометаллизация (проникновение металлических частиц в тело), поражение глаз ультрафиолетовым излучением от электрической дуги; во втором — поражение внутренних органов (сердца, органов дыхания, нервной системы и др.).

По физической природе воздействие тока на человека может быть: термическим (ожоги, свертывание крови, белка); электрохимическим (электролиз крови, диссоциация на ионы, изменение ее состава, функций); электродинамическим (ионизация — «разрыхление» тканей, их деформация, раздражение); биологическим — опасная литивация (возбуждение) нервных клеток, нервной системы в целом, сокращение мышц — судороги). При электротравматизме могут поражаться как отдельные органы и части тела, так и весь организм.

Наиболее тяжелым по исходу является электрический удар — глубокое биофизическое воздействие электрического тока на организм, нервную систему и регулирующие центры сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Травматологическим последствием электрического удара могут быть: остановка или фибрилляция¹ сердца, электрический шок, паралич дыхания, мнимая, переходящая в действительную, смерть.

¹ При фибрилляции сердце не работает как единое целое, а охвачено хаотическим некоординированным подергиванием отдельных волокон мышцы и не способно выполнять свою основную функцию.

В производственных условиях объектов нефтяной и газовой промышленности поражение человека может произойти от соприкосновения с токоведущей (открытой или с поврежденной изоляцией) частью оборудования, с нормально нетоковедущей, но случайно оказавшейся под напряжением частью (при отсутствии или неисправности защитных устройств), от электрической дуги, раскаленной части электрооборудования, шагового напряжения, при пробое воздушного зазора, шаровой молнии и разряде статического электричества. Комплекс профилактических мероприятий должен полностью охватить это разнообразие производственных опасностей, связанных с использованием электрической энергии.

Глубина и тяжесть поражения человека электрическим током зависят от вида, частоты и силы тока, величины напряжения, электрического сопротивления тела, пути прохождения (распространения) тока в организме, времени его действия, состояния организма и условий, при которых человек попадает под напряжение.

Переменный ток и постоянный ток в диапазоне напряжений от 450 до 500 В считаются одинаково опасными по всем возможным видам поражения человека (ожог, электрический удар и др.). Ниже этого предела более опасным является переменный ток; выше (до 1000 В) — постоянный (по ожогу).

Опасность переменного тока изменяется с его частотой. Максимальная тяжесть поражения отмечается в диапазоне от 50 до 700 Гц. При частоте 200 кГц электрический ток безопасен по биологическому воздействию (электрический удар), однако представляет большую опасность по всем видам термического поражения.

Опасность поражения зависит от силы тока. Вместе с тем при одной и той же силе электрического тока, но разной продолжительности действия опасность поражения им и травматологические последствия различны.

Характерные воздействия переменного и постоянного токов разной величины на организм человека перечислены в табл. 11.

Таблица 11

Сила тока, мА	Ощущения	
	при переменном токе	при постоянном токе
До 0,5	Не ощущается	Не ощущается
0,6—1,5	Легкое дрожание пальцев	»
5—10	Судороги в руках	Зуд, ощущение нагрева
20—25	Паралич рук, сильные боли, терпимы не более 5—10 с	Нагрев, сокращение мышц
50—80	Паралич дыхания, начало трепетания желудочков сердца	Судороги, затруднение дыхания
90—110	Паралич сердца (через 3 с)	Паралич дыхания

В качестве безопасной силы тока ориентировочно можно принять 0,01 А; пороговый ток переменный — 12—15 мА; постоянный — 48—60 мА; безусловно опасный — 0,1 А.

Известно, что сила тока пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению. Тяжесть поражения, следовательно, должна быть тем больше, чем выше напряжение. Это не означает, однако, что низковольтные сети безопасны. Объясняется это тем, что при увеличении напряжения сила тока возрастает быстрее, чем напряжение (нелинейный характер изменения сопротивления тела человека при протекании через него электрического тока). В этом сущность характерного парадокса: иногда напряжение 10 кВ не является для человека роковым, а в других случаях оказывается смертельным напряжением 36 В. Имеются сведения, что на сети напряжением до 25 В в настоящее время приходится 6,5 % общего числа электротравм со смертельным исходом.

Активное и емкостное сопротивления человеческого тела в значительной степени определяется сопротивлением рогового слоя кожи (эпидермиса) толщиной 0,05—0,2 мм. Это сопротивление непостоянно и изменяется в зависимости от состояния кожи, размеров поверхности и плотности контакта, величины напряжения и времени прохождения тока. Сопротивление тела человека зависит также от пути прохождения тока через организм и других условий.

Сопротивление сухой неповрежденной кожи равно 80000 Ом; влажной — 3000 Ом; внутренних органов — 800—1000 Ом. Для мышц величина сопротивления равна 300 Ом, для крови 100 Ом, для спинномозговой жидкости 50 Ом. Сопротивление кожи резко меняется при электрическом пробое и зависит от состояния здоровья, работоспособности (утомления) и биологической активности организма. В расчетах сопротивление тела человека принимается равным 1000 Ом.

Тяжесть поражения, вообще, тем сильнее, чем длиннее путь тока в организме и чем ближе он проходит к жизненно важным центрам (сердце, легкие, нервные сплетения и зоны повышенной чувствительности к воздействию электрического тока; шея, висок, спина, запястья рук, плечи, корни легких и все центры нервных сплетений — места, которые обычно используются при иглотерапии).

Такое различие в сопротивлении отдельных частей и органов человека прохождению тока создает условия для мгновенного объемного и линейного распространения его в организме. Путь тока по этой причине нельзя измерять расстоянием между двумя точками и характеризовать проводимостью биологической среды между этими точками. Опасность поражения определяется не сопротивлением прохождению тока, а сопротивлением его растеканию. Даже при самом коротком пути тока в организме он может оказаться смертельно опас-

ным. Повышенная опасность поражения при движении тока по схемам: «правая рука — левая рука», «левая рука — правая нога» и характеризует не опасный путь, а более высокую чувствительность соответствующих частей тела.

Фактор времени для тяжести исхода поражения человека электрическим током является определяющим. Опыт и большое число научных фактов, полученных при изучении процессов реанимации (оживления) мною умерших от электрического удара, полностью подтверждают этот вывод. Установлено, в частности, что при действии опасной по фибрилляции силы тока в течение 30 с вероятность оживления равна 0,5; при 2 мин — 0,3; при 3 мин — 0. Безопасная сила тока по фибрилляционному поражению в зависимости от времени действия тока t (в секундах) может быть вычислена по эмпирической формуле

$$J_0 = 0,165 / \sqrt{t}.$$

Для других видов поражения безопасная сила тока пока еще не определена, что, безусловно, является большим пробелом в современной охране труда.

Имеются данные о допустимой для человека силе тока в зависимости от времени его действия:

Время действия, с	0,005	0,5	1	5
Сила тока, мА	2000	100	65	40—50

Способность человека сопротивляться воздействию электрического тока не постоянна. По величине электрического сопротивления один и тот же человек в разных состояниях может отличаться от самого себя в большем диапазоне значений, чем два разных человека или даже два разных биологических вида. Заболевания сердца, легких, нервной системы повышают степень поражения; утомление, алкогольное отравление отягощают исход электротравмы. При высокой концентрации внимания, сосредоточенном ожидании опасного события степень поражения ослабляется. Феноменальную, тысячекратную сверхвозможность противодействия току человек и его организм показывают в экстремальных условиях и т. д.

Частота и тяжесть электротравм зависят от состава, структуры и свойств производственной среды. Снижение парциального давления кислорода и повышенное содержание углекислого газа в воздухе повышают чувствительность организма к электрическому току. Высокая температура нарушает естественное протекание сенсорных (чувственных), психических процессов, расслабляет внимание, делает человека более ранимым при контакте с электрическим током. Особенно резко сопротивляемость организма электрическому току падает, а опасность поражения возрастает при одновременном воздействии на него ионизирующего излучения. Все это важно учитывать

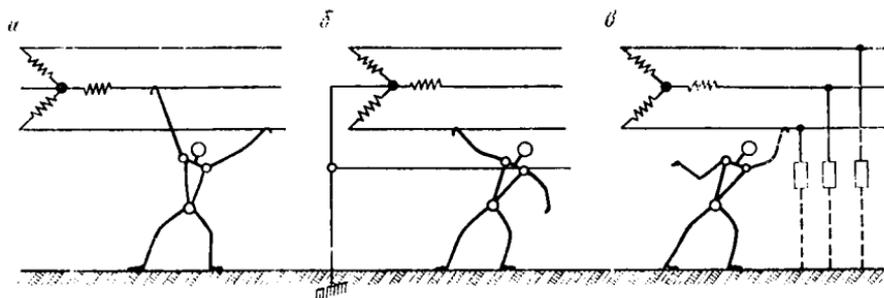


Рис. 14. Схемы соприкосновения человека с электрическими сетями:
а — двухфазное соприкосновение с сетью трехфазного тока с изолированной нейтралью;
б — однофазное соприкосновение с трехфазной четырехпроводной сетью с глухо заземленной нейтралью; *в* — однофазное соприкосновение с трехфазной сетью с изолированной нейтралью

при оценке условий труда и их соответствия комплексу требований электробезопасности.

В производственных условиях возможны случаи, когда человек оказывается «включенным» в электрическую сеть, становится частью электрической цепи. Опасность такого включения человека в различные электрические сети в конечном счете определяется силой тока и напряжением. Эти показатели, в свою очередь, зависят от условий включения, схемы сети, режима нейтрали и состояния изоляции. Чем меньше сопротивление изоляции и больше емкость сети по отношению к земле, тем более опасно прикосновение.

Наиболее опасные условия реализуются при двухфазном включении человека в электрическую сеть трехфазного электрического тока с изолированной нейтралью (рис. 14, *а*). Силу электрического тока, проходящего через человека по схеме «рука—рука», в данном случае определяют по формуле

$$J_{ч} = \frac{U_{л}}{R_{ч}} = \sqrt{3} \frac{U_{\phi}}{R_{ч}},$$

где $U_{л}$, U_{ϕ} — соответственно линейное и фазовое напряжения, В; $R_{ч}$ — сопротивление тела человека, Ом.

Из рисунка и формулы видно, что это наиболее опасный случай включения человека в сеть, при котором он оказывается под линейным напряжением. Менее опасно прикосновение человека к одной фазе в четырехпроводной сети с многократно заземленным нулевым проводом (см. рис. 14, *б*). Силу тока при таком включении человека в сеть можно определить по формуле

$$J_{ч} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3} R_{ч}} = \frac{U_{\phi}}{R_{ч}}.$$

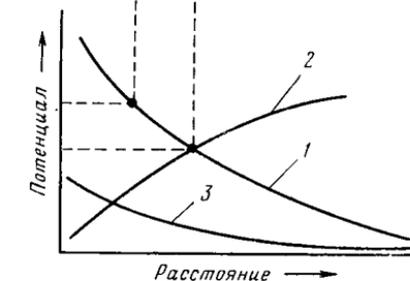
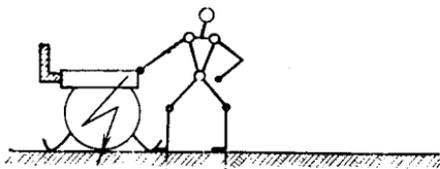


Рис. 15. Изменение потенциала точек земной поверхности (1), напряжения прикосновения (2) и шагового напряжения (3)

земли, сопротивления человека и проводимости нейтрали относительно земли. Если нейтраль не заземлена или вообще отсутствует, проходящей через человека ток будет тем меньше, чем больше сопротивление между фазовыми проводами и землей. В сетях с напряжением более 1000 В с изолированной нейтралью решающее значение имеет емкостная проводимость по отношению к земле.

Шаговое напряжение возникает в поле растекания тока в земле (рис. 15). При прочих равных условиях чем длиннее шаг человека, тем под большим напряжением он оказывается.

Большую опасность представляют так называемые разрядные токи. При приближении к установкам высокого напряжения (более 1000 В) на расстояние, равное разрядному, возникает электрическая дуга, замыкающая электрическую цепь через человека на землю. Поражение человеку в данном случае наносят образующаяся при разряде электрическая дуга и проходящий через человека ток.

§ 2. Организация работ и электробезопасность

Безопасность труда при обращении с электрическим током предполагает высокое качество работ по устройству электроустановок, периодический контроль их состояния, а также высокий уровень производственной дисциплины, квалификации обслуживающего персонала, строгое соблюдение действующих Правил устройства электроустановок (ПУЭ), Правил технической эксплуатации электроустановок (ПТЭЭ) и Правил тех-

Еще меньше сила проходящего тока в случае прикосновения человека к одной фазе электрической сети с изолированной нейтралью (см. рис. 14, в):

$$J_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}} + \frac{R_{\text{из}}}{\sqrt{3}}},$$

где $R_{\text{из}}$ — сопротивление изоляции одной фазы сети относительно земли.

Из сказанного следует, что при однофазном включении человека в трехфазную электрическую сеть сила проходящего через его тело тока будет зависеть от сопротивления изоляции, емкости фаз относительно

ники безопасности при обслуживании электроустановок потребителей (ПТБ).

При нормировании условий труда все производственные помещения по степени опасности поражения человека электрическим током подразделяются на четыре класса:

— помещения без повышенной опасности — с нормальными микроклиматическими условиями, беспыльные, с чистым воздухом и токонепроводящими полами (конторские помещения, лаборатории и др.);

— помещения с повышенной опасностью — хотя бы с одним из следующих признаков: сырое, с относительной влажностью воздуха 75 % и более; жаркое, с температурой более 30 °С; пыльное, с токопроводящей пылью, образующейся при технологическом процессе в количестве, при котором она оседает на проводах, оборудовании, проникая внутрь аппаратов; с токопроводящими полами (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные);

— помещения, где возможно одновременное соприкосновение человека с заземленными металлоконструкциями и металлическими частями электрооборудования (складские неотапливаемые помещения, лестничные клетки производственных зданий и т. д.).

— помещения особо опасные с одним из следующих условий: сырые, с относительной влажностью 100 %, стены, полы, покрыты влагой; с химически активной средой (содержится пар, образуются отложения, разрушающие изоляцию и токоведущие части) или при одновременном наличии двух или более условий, характерных для класса помещений с повышенной опасностью. К помещениям этого класса относятся цехи по ремонту технологического оборудования, механические мастерские, все электрические установки, находящиеся под открытым небом.

Все электроустановки по доступу к ним обслуживающего персонала подразделяют на четыре класса: I — для высококвалифицированного персонала при кратковременном обслуживании; II — только для квалифицированного персонала при длительном обслуживании; III — для квалифицированного персонала и рабочих; IV — бытовые установки, доступные для всех. По величине напряжения электроустановки делят на два класса: I — до 1000 В и II — более 1000 В.

Для производственных помещений разных классов выбирают соответствующее электрооборудование, способ его установки, качество изоляции, предусматривают комплекс мер безопасности. Выполнение типичных видов работ по эксплуатации электроустановок (оперативное обслуживание, осмотры, ремонт, монтаж, испытание, профилактическая наладка и др.) регламентируется в зависимости от величины рабочего напряжения (при напряжении до 1000 В; при полном снятии напря-

жения; без снятия напряжения от токоведущих частей и т. д.). На все виды работ оформляется специальный наряд. К опасным работам допускается только специально обученный персонал, имеющий соответствующую квалификационную группу (всего пять групп).

Во всех случаях предполагается высокий уровень трудовой и производственной дисциплины, выполнение в полном объеме требований, регламентации, норм и стандартов по электробезопасности.

§ 3. Способы и средства защиты от поражения электрическим током

Как уже рассматривалось ранее, повышенная опасность поражения человека электрическим током возникает при чрезмерной перегрузке токоприемников, прикосновении к токоведущим частям электрооборудования, контакте с нормально не токоведущими металлическими частями, случайно оказавшимися под напряжением, при резком снижении сопротивления изоляции. Только хорошо зная условия возникновения этих опасных явлений и используя эффективные способы и средства защиты, можно исключить электротравматизм.

Опасные перегрузки электрической сети возникают при включении в нее дополнительных (не предусмотренных проектом), токоприемников-потребителей, чрезмерной загрузке электродвигателей, неисправности линий электропередач и т. д. Это может привести к перегреву кабельных и других проводов, разрушению и пробое изоляции, к короткому замыканию.

Токи короткого замыкания, как известно, могут достигать десятков и сотен тысяч ампер. Они способны разрушать недостаточно прочное электрооборудование, перегревать и расплавлять токоведущие части, создавать искровые разряды, воспламенять изоляцию и взрывоопасные горючие смеси.

Электрическая сеть при коротком замыкании отключается при помощи быстродействующих реле-выключателей, установочных и плавких предохранителей. Все эти устройства предельно сокращают время возможного действия тока на человека и вероятность его контакта с оказавшимися случайно под напряжением металлическими частями оборудования. Реле-выключатели и установочные автоматы настраивают на соответствующий режим работы, а плавкие предохранители выбирают с учетом мощности защищаемых электротехнических устройств или сечения проводов.

Для предотвращения прикосновения человека к токоведущим частям применяют: изоляцию (хлопчатобумажную, резиновую, пластмассовую и др.), ограждения (кожухи, камеры и др.), расположение открытых частей на высоте или в недоступных местах, использование блокировки (до снятия напряжения

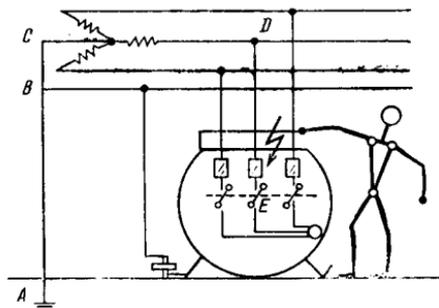
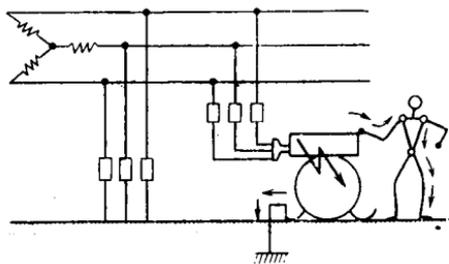


Рис. 16. Схема защитного заземления

Рис. 17. Схема защитного зануления

крышка пускателя не открывается), дистанционное управление (магнитные пускатели), предупредительную сигнализацию, предостерегающие, запрещающие, разрешающие и другие знаки (плакаты).

Широкое применение на объектах нефтяной и газовой промышленности находит защитное заземление — преднамеренное соединение с землей металлических частей оборудования, обычно не находящихся под напряжением. В случае попадания этих частей под напряжение и одновременного прикосновения к ним человека (рис. 16) электрический ток пойдет по линии наименьшего сопротивления (заземлению), а не через человека. Сопротивление тела человека, как известно, принимается в среднем равным 1000 Ом, сопротивление защитного заземления должно быть не более соответственно 4 Ом на установках напряжением до 1000 В, до 0,5 Ом — на установках напряжением свыше 1000 В при больших токах замыкания на землю и до 10 Ом — при малых токах замыкания на землю. Во всех этих случаях сопротивление заземлений в 100—2000 раз меньше сопротивления тела человека.

Электроустановки с напряжением более 1000 В, работающие при заземленной нейтрали, относятся к категории установок с большими токами замыкания на землю; установки с напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью — к установкам с малыми токами замыкания на землю.

По закону Ома легко подсчитать, что если через человека пойдет ток в 0,1 А, то через заземление величина его должна быть 25 А.

В сетях с напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью (малыми токами замыкания на землю) и в сетях с напряжением свыше 1000 В с глухо заземленной нейтралью защитное заземление можно применять при условии, если величина тока при замыкании на землю не превышает 25 А.

В соответствии с ПУЭ защитное заземление устраивают в сетях при напряжении 550 В и выше для переменного и

постоянного тока; при 36 В для переменного тока и при 100 В для постоянного тока — в особо опасных помещениях и на установках, работающих под открытым небом. Заземляются корпуса оборудования, вторичные обмотки трансформаторов, фидерные автоматы, щиты управления, станины станков и др.

В трехфазных четырехпроводных сетях с напряжением ниже 1000 В с глухо заземленной нейтралью широкое применение находят системы зануления — присоединения металлических частей электрооборудования к неоднократно заземленному нулевому проводу питающей сети. При этом замыкание токоведущих частей электрооборудования на заземление приводит к короткому замыканию, аварийный участок быстро отключается при помощи плавких вставок или установочного автомата.

Создание сети с малым сопротивлением для тока короткого замыкания (рис. 17, сеть *ABCDE*) позволяет в силовой сети с изолированной нейтралью использовать зануление так же надежно, как и в сети с заземленной нейтралью.

Зануление рассчитывают на отключающую способность (проверка выбранного сечения нулевого провода) и безопасность прикосновения человека: при замыкании фазы на землю (расчет заземления нейтрали) и при замыкании фазы на корпус (расчет повторного заземления нулевого провода). Проводимость нулевого провода должна составлять не менее 50 % проводимости фазового.

Сопротивление заземления нейтрали R_n определяют по формуле

$$R_n \leq \frac{10U_{\text{пд}}}{U_{\text{ф}} - 2U_{\text{пд}}},$$

где $U_{\text{пд}}$ — допустимое напряжение прикосновения; $U_{\text{ф}}$ — фазовое напряжение.

Сопротивление повторного заземления нулевого провода рассчитывается по формуле

$$R_n \leq nR_n \frac{U_{\text{пд}}}{2/3U_{\text{ф}} - U_{\text{пд}}},$$

где n — число повторных заземлений.

Наиболее современный и эффективный способ защиты — защитное отключение. С помощью универсального устройства, состоящего из прибора-индикатора и автоматического выключателя, аварийный участок силовой сети может быть полностью обесточен или введен в действие в течение десятых долей секунды. На уровне заданной чувствительности прибор контролирует появление напряжения на нетоковедущих частях оборудования, токи замыкания на землю, напряжение фазы относительно земли, величину утечек, сопротивление изоляции и другие показатели. Защитное отключение находит все более

широкое применение (чаще в сетях напряжением до 1000 В) в качестве самостоятельной или дополнительной защиты.

В тех случаях, когда применение защитного заземления и устройств защитного отключения невозможно, допускается эксплуатация оборудования с изолированной или выравненной по электрическому потенциалу площадки (рис. 18). Прикосновение к оборудованию в этом случае исключает переход потенциала на землю и появление разности потенциалов между токоведущей частью и полом площадки.

Безопасность труда при обслуживании переносного электрооборудования (сварочные аппараты, дрели, вибраторы и др.) обеспечивается ограничением величины напряжения (не более 380 В); питанием через разделяющие трансформаторы; диэлектрическим покрытием корпусов, инструментов, рукояток. В особо опасных условиях защитное заземление устраивается с помощью специальной жилы в кабеле электроустановок, работающих под напряжением 36 В и более. Для ручных инструментов, работающих под напряжением 36 или 12 В, запрещается использовать в целях заземления нулевой провод. Нулевой и заземляющий провода должны присоединяться к заземляющей сети во всех случаях отдельно (обособленно). При напряжении 220 В и выше предусматривается обязательное применение средств индивидуальной защиты (СИЗ). При этом регламентируют их комплектность, основные требования к ним, порядок пользования, нормы и сроки эксплуатации, методику электрических и механических испытаний, контроль состояния и учет.

По назначению СИЗ подразделяются на электротехнические (изоляция работающих от тока, ограждение опасных зон и др.), неэлектрические (защита от ожогов, от падения с высоты), монтерский инструмент (изолирующие и измерительные штанги, токоизолированные клещи), части одежды (резиновые перчатки, боты и др.), указатели напряжения и др. Резиновые перчатки защищают при напряжении 3,5 и 9 кВ; диэлектрические боты — при 20 кВ; галоши — при 5 кВ.

В случае поражения человека электрическим током необходимо до прихода врача оказать ему первую помощь. Пострадавшего как можно быстрее освобождают из-под напряжения, предупредив его возможное падение, затем, не допуская охлаждения тела, начинают делать искусственное дыхание по методу «рот в рот» (12 раз в мин) и внешний массаж сердца (4—6 надавливаний на грудную клетку в 1 мин.) Желательно

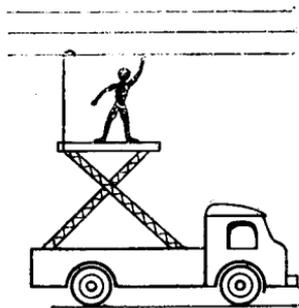


Рис. 18. Работа с площадки с выравненным электрическим потенциалом

использовать, если можно, оживляющие аппараты и электро- стимуляторы. Работу по оживлению нельзя прекращать даже при отсутствии признаков жизни (дыхания, пульса, реакции зрачков глаз). Смерть может засвидетельствовать только врач. При ожогах важно освободить пораженные части тела от одежды, обеспечить их стерильность до прихода врача.

§ 4. Электромагнитные излучения. Опасность, способы защиты

На объектах нефтяной и газовой промышленности электро- магнитное излучение начинает широко использоваться для обезжелезивания и обессоливания нефти и нефтепродуктов, очистки сточных вод, обработки воды в магнитном поле и т. д. Электромагнитные поля высокой напряженности, образующиеся в зонах обслуживания электроустановок, генераторов индукции (до 100 В/м), высокочастотных (ВЧ), сверхвысокочастотных (СВЧ) генераторов, трансформаторов, фидерных линий (до 1000 В/м), электродвигателей, осветительных установок и т. д. могут при определенных условиях представлять опасность для технического персонала. Особенно опасны электромагнитные поля, возникающие при разрядах атмосферного и статического электричества. Индуцируемый ими в технологическом оборудовании, трубопроводах электрический ток при пробое изоляции, воздушных зазоров образует мощные искровые разряды, являющиеся распространенной причиной пожаров, взрывов, источником загорания нефтяных и газовых фонтанов.

Из физики известно, что электрический ток, проходя по проводнику, создает вокруг него электромагнитное поле. Электрические и другие параметры этого поля, а также степень и характер его воздействия на человека в значительной степени зависят от свойств среды, в которой оно зарождается, проявляется и распространяется.

Интенсивность электромагнитного излучения в производственных условиях определяется мощностью источника, расстоянием от него рабочего места (зоны обслуживания) и передаваемой дозы энергии. Энергия антенных полей может изменяться от 1 до 5 Вт/см². Устойчивые электромагнитные поля формируются за пределами зоны индукции. При длине волны 100 м радиус зоны индукции равен 16,6 м; при длине волны 10 м — 1,6 см. Тяжесть воздействия электромагнитного поля на организм человека возрастает с уменьшением длины волны. Глубина проникновения электромагнитных волн может быть принята ориентировочно 0,1 от длины волны.

Поглощение электромагнитного излучения оказывает термическое воздействие на организм человека. Ткани, участки тела, отдельные органы с большим содержанием влаги, малым жировым покровом легче и глубже изменяют при этом свой состав и структуру и поэтому более уязвимы. Постоянное элек-

тромагнитное излучение более опасно, чем импульсное, и т. д. При воздействии энергии СВЧ количество выделяемой теплоты в 7 раз больше, чем при инфракрасном излучении. Электромагнитное излучение способно вызвать помутнение хрусталика глаза, развитие катаракты. Биологическая среда под влиянием этого излучения изменяет молекулярную структуру, например, происходит переориентация в молекулах крови в соответствии с направлением силовых линий поля. При этом у человека отмечается головная боль, повышенное потоотделение, изменения в кровеносных сосудах. Электромагнитные поля напряженностью ниже теплового порога воздействуют на нервную систему, изменяют биохимическую структуру и активность белковых молекул крови, обмен веществ, работу сердца. Глубина и характер изменения зависят от мощности излучения, поглощенной дозы, времени действия и индивидуальных особенностей работающего.

Безопасные условия труда регламентированы действующим ГОСТом (Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности). Действие электромагнитного поля в диапазоне частот от 60 до 300 МГц оценивается по значению напряженности; от 300 до 30 ГГц — соответственно по плотности потока энергии. Предельно допустимая напряженность электромагнитного поля на рабочих местах и местах возможного нахождения персонала, связанного с воздействием электромагнитного поля, не должна превышать следующих величин:

По электрической составляющей

50 В/м при 60кГц — 3 МГц;
 20 В/м при 3 — 30 МГц;
 10 В/м при 30 — 50 МГц;
 5 В/м при 50 — 300 МГц.

По магнитной составляющей;

5 А/м при 60 кГц — 1,5 МГц
 0,3 А/м при 30 — 50 МГц.

Предельно допустимая плотность потока энергии (ППЭ) приведена в табл. 12.

При рентгеновском излучении предельно допустимая плотность потока энергии при высокой температуре воздуха в производственном помещении должна составлять 10 мкВт/см² в течение рабочей смены; 100 мкВт/см² в течение 2-часового пребывания.

Электрическая составляющая электромагнитного поля промышленной частоты вредно воздействует на мозг и центральную нервную систему, наводит в теле человека ощутимые токи величиной 1 мА и более (биологическое действие на нервную систему оказывают токи менее 1 мА). На теле человека и на изолированных от земли металлических предметах при этом наводится потенциал 10—15 кВ, способный вызывать искровой

ППЭ		Время пребывания	Примечание
Вт м ²	мкВт/см ²		

а) во всех случаях,
кроме приведенного ниже (в пункте б)

До 0,1 От 0,1 до 1,0	До 10	Не более 2 ч Не более 20 мин	В течение рабочего дня В остальное время рабочего дня 10 мкВт/см ² При условии пользования защитными очками
	10—100 100—1000		

б) при облучении от вращающихся
и эсканирующих антенн

До 1,0	До 100	В течение рабочего дня	—
Выше 1,0	100—1000	Не более 2 ч	В остальное рабочее время не более 100 мкВт/см ²

разряд, судороги мышц и возбуждение периферических нервных узлов.

Предельно допустимая величина градиента потенциала, не вызывающая необратимых изменений в организме, равна 5 кВ/м. Магнитная составляющая в данном случае не превышает 20—25 А/м. Так как вредное действие ее на человека происходит при напряженности 100—150 А/м, то ее влиянием можно пренебречь.

Время пребывания в опасной зоне в зависимости от напряженности поля для ЛЭП приведено ниже.

Напряженность поля, кВ/м . . .	5	10	15	20	25
Допустимое время пребывания	Рабочий день 3 ч	1,5 ч	10 мин	5 мин	

Опасные электромагнитные поля образуются также при работе мощных современных локаторов. Знание физической природы и опасности этих полей для человека, а также эффективных мер защиты от них необходимо для горных инженеров и нефтяников всех специальностей.

§ 5. Лазерные излучения

Лазерные оптические квантовые генераторы (ОКГ) находят широкое применение в нефтяной и газовой промышленности. На основе их разработаны и внедряются экспресс-методы по определению плотности, вязкости нефти, нефтепродуктов и газа, анализаторы состава воздуха, позволяющие определять содержание в нем токсичных, взрывоопасных и других загрязнителей, детекторы пожаров, дефектоскопы, современные спектрографы, многочисленные контрольно-измерительные приборы (уровнемеры, пылемеры, датчики деформации и другие).

ОКГ — генератор индуцированного возбужденного излучения оптического диапазона, представляющего узкий (угол расхождения не более $1'$) когерентный, мощный световой поток, сосредоточенный в малом диапазоне длин волн (в видимой, инфракрасной и ультрафиолетовой областях спектра), характеризующийся чрезвычайно высокой плотностью. Источником возбужденного излучения является электромагнитное поле, способное излучать квантовые частицы вещества (атомы и молекулы) под воздействием внешнего электромагнитного поля.

Лучи лазера когерентны (от одного источника, обладают постоянной разностью фаз), способны интерферировать между собой (сложение в пространстве двух или нескольких волн с одинаковым периодом и образованием чередующихся усиленных и ослабленных результирующих волн), изменять во времени по заданному закону параметры, характеризующие какой-либо процесс (модуляции — сокращение длительности импульса, например, до 100 и менее наносекунд).

Оптическую плотность (ОП) лазерного излучения, характеризующую поглощение света в оптических и других поглотителях, можно определить по следующей формуле:

$$\text{ОП} = \lg 1/\tau,$$

где τ — коэффициент пропускания.

Воздействуя на организм человека, лазер может нарушать функции сердца, нервной системы, эндокринных желез, вызывать свертывание, распад крови, головную боль, расстройство сна, ионизацию клеток, повреждать глаза (жидкость глазного яблока вскипает и вытекает), кожу, обуславливает генетические и ферментные изменения.

Воздействие лазерного излучения на организм человека весьма разнообразно и зависит от длины волны, мощности излучения, характера импульсов, спектральной характеристики кожи и др. Это разнообразие связано с тем, что жировые ткани не поглощают энергию лазера, в то время как другие ткани поглощают ее весьма интенсивно. Теплоотдача внутри тела чрезвычайно мала. Жидкая фаза организма при этом мгновенно вскипает, давление повышается, возникает ударная волна и, как следствие, ожог и разрыв тканей. Собственно луч лазера оказывает огромное по величине (десятки мегапаскалей) давление на кожу. Поражение от воздействия лазерного излучения внутренних органов, головного мозга, организма человека в целом, как правило, глубокое и необратимое.

Принципиальная схема рубинового лазера приведена на рис. 19.

Принцип действия лазерной установки — использование стимулированного электромагнитного излучения, получаемого от некоторого вещества, которое позволяет создать в нем при помощи внешнего источника энергии (энергии «накачки») избы-

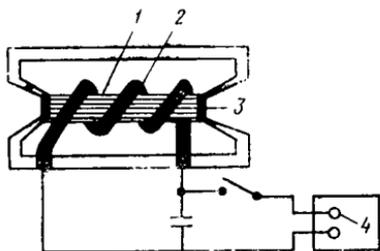


Рис. 19. Принципиальная схема рубинового ОКГ:

1 — кристалл рубина; 2 — лампа накачки; 3 — резонатор; 4 — высоковольтный выпрямитель

точную «населенность» верхних энергетических уровней. Излучение атомов и молекул с этих «перенаселенных» уровней представляет собой лазерное излучение, опасное воздействие которого на человека зависит от длины волны, мощности, энергии и длительности импульса и частоты следования импульсов, а также от условий отражения и рассеивания света. Монохроматическое излучение, выходящее из его резонатора, направляется на отражающие и рассеивающие оптические элементы (линзы, фильтры и т. п.) и через них на мишень.

Для человека вредно не только прямое излучение, но и рассеянное излучение с энергией от единиц до сотен джоулей в импульсе. На расстоянии 1 м от мишени плотность энергии излучения уменьшается с 10 Дж/см^2 до 10^{-4} Дж/см^2 и все же оно остается опасным для человека. Особую опасность для глаз представляют зеркально отраженные лучи с плотностью $0,1 \text{ Дж/см}^2$ и более, способные к многократному отражению.

Плотность диффузно отраженных лучей от лазера с энергией на выходе 100 Дж на расстоянии 1 м составляет 10^{-2} Дж/см^2 . Опасны световая энергия импульсных ламп накачки (20 кДж , 100 кДж) яркость вспышки ксенонových ламп ($4 \cdot 10^8 \text{ кДж/м}^2$, длительность импульса $1-90 \text{ мс}$), энергия рубинового лазера $5 \cdot 10^{-2} \text{ Дж/см}^2$, повреждающая сетчатку глаза. Особую опасность представляет самопроизвольный разряд экранированных (незащищенных) ламп со световой энергией на расстоянии 3 м от ламп $0,7 \cdot 10^3 - 0,2 \cdot 10^3 \text{ Дж/см}^2$.

При взаимодействии лучей с обрабатываемым веществом возможны паро-, газообразование, генерация рентгеновского излучения, возбуждение ядерных реакций.

Максимально допустимые уровни и нормы излучения ОКГ приведены в табл. 13. Предельно допустимые нормы излучения по мощности потока от различных ОКГ в Дж/см^2 приведены ниже.

Рубиновый

Импульсный режим свободной генерации	$2 \cdot 10^{-8}$
Импульсный режим с модулированной добротностью	$1 \cdot 10^{-8}$

Неодимовый

Импульсный режим свободной генерации	$2 \cdot 10^{-7}$
Импульсный режим с модулированной добротностью	$1 \cdot 10^{-7}$

Гелиевый-неоновый

Непрерывный режим	$1 \cdot 10^{-6}$
-----------------------------	-------------------

Предельно допустимые уровни лазерного излучения

Показатели	Для глаз			Для кожи видимый свет и инфра- красное излучение
	видимый свет	инфракрасное излучение		
		$\lambda = 1,06 \text{ мкм}^1$	$\lambda = 10,6 \text{ мкм}$	
Непрерывное излучение, мкВт/см ²	0,3	3,0	10 ³	10 ⁵ —10 ⁶
Импульсное излучение, мкДж/см ² :				
при свободной генерации	0,03	0,3	10 ²	10 ⁵
при модуляции добротности	0,002	0,02	8	10 ⁵
Максимальная плотность: энергии, Дж/см ²	—	—	—	10 ⁻¹
мощности, мВт/см	—	—	—	10 ⁻²

¹ λ — длина волны.

Для других ОКГ и режимов их работы воздействие излучения на человека должно быть полностью исключено при помощи эффективных защитных средств.

Глава X

ЗАЩИТА ОТ ОПАСНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Все возрастающие объемы добычи, транспортирования и переработки нефти и газа, увеличение протяженности трубопроводов, обладающих низкой электропроводностью по длине, широкое использование в технологии слива, перекачки, смещения, разделения светлых нефтепродуктов (бензина, керосина, лигроина) синтетических материалов и веществ с диэлектрическими свойствами (удельное электрическое сопротивление 10⁹—10¹² Ом·м) значительно повысили опасность образования, накопления и разряда статического электричества при потенциале, достаточном для инициирования взрыва, пожара (заряд 0,4 А/мин). Статическое электричество вызывает также помехи в работе средств контроля и управления и вредно воздействует на организм и работоспособность человека. Проблемы защиты от статического электричества людей и производственных объектов нефтяной и газовой промышленности продолжают оставаться актуальными.

§ 1. Электризация веществ

При контакте разных веществ происходит интенсивный обмен электронами (элементарные донорно-акцепторные акты) и образуются двойные электрические слои с ионной, адсорбционной и ориентационной структурой зарядов (рис. 20). Знаки накапливаемых электрических зарядов определяются при этом степенью химического сродства материала поверхности и иона. Генерирование и накопление зарядов происходят только в том случае, если одна из контактирующих поверхностей состоит из диэлектрического материала. При этом заряд статического электричества накапливается тем быстрее, чем выше скорость истечения (потока) нефти, продуктов ее переработки, газа, конденсата и интенсивнее процесс отрыва взаимодействующих поверхностей.

По современным представлениям, электризация веществ является типичным электрокинетическим явлением и возможна при взаимодействии: незаряженных частиц разного состава и химического сродства, заряженных частиц с незаряженными, незаряженных частиц с внешним электрическим полем (индукция в поле, поляризация в короне).

Установлено, что формирование заряда статического электричества на разделяемых поверхностях нефти, нефтепродуктов, газа полностью исключить невозможно. На предприятиях нефтяной и газовой промышленности они чаще возникают при фонтанировании нефти или газа через устьевую арматуру, разрывы и неплотности технологического оборудования, трубопроводов, при движении жидких и газообразных углеводородов по трубопроводам и др.

Типичные системы (среда, установка, процесс), в которых генерируются опасные по величине заряды статического электричества, следующие: 1) газ — твердое вещество (фильтры, циклоны, пылеуловители, смесители порошковых материалов, пневмотранспорт и др.); 2) жидкость — капли жидкости (слив, фильтрация, экстрагирование, эмульгирование и др.); 3) жидкость — твердые частицы (скольжение, пневмосжиженный слой, осаждение, смешение, налив).

Значение генерируемого заряда, при прочих равных условиях, неодинаково на границах разделения веществ: металл — газ,

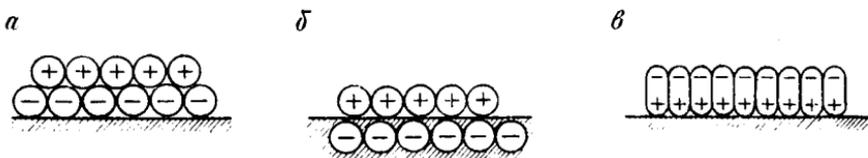


Рис. 20. Физические условия генерирования и накопления зарядов статического электричества:

а — адсорбционный слой; б — двойной электрический слой; в — поляризованный слой

жидкость — твердое тело, жидкость — газ, жидкость — жидкость, металл — металл, металл — полупроводник. Все эти системы характерны для нефтегазодобывающей промышленности.

Научными исследованиями подтверждено, что электризация наибольшая у светлых нефтепродуктов, имеющих удельное электрическое сопротивление 10^9 — 10^{12} Ом·м. Степень электризации веществ можно уменьшить до любой наперед заданной величины, если снизить удельное сопротивление диэлектрика до 10^5 Ом·м. Возникновения заряда статического электричества при этом не наблюдается. В движущейся нефти заряды не образуются при скорости потока меньше 7 м/с; в светлых нефтепродуктах — при скорости меньше 1 м/с.

Опасное воздействие зарядов статического электричества на человека, инициирование ими пожара, взрыва можно исключить снижением удельного электрического сопротивления движущихся веществ, уменьшением скорости их истечения и количества образующихся зарядов статического электричества (не более 0,4 А/мин).

Из-за многообразия условий образования зарядов статического электричества и опасного проявления проблема эффективной защиты чрезвычайно сложна и в научном, и в практическом отношении.

§ 2. Условия электризации веществ в технологических процессах

Наиболее опасные зоны генерирования, накопления и опасного разделения (растекания) зарядов статического электричества формируются при реализации производственных процессов, функций машин и механизмов. Высокие потенциалы, опасные для человека, и искровые разряды с энергией зажигания, достаточной для взрыва горючей смеси, образуются при большой величине заряда и соответствующей разности между числом генерируемых и растекающихся зарядов статического электричества.

Электризация потока жидкости, движущейся по трубе, является типичной в современной технологии добычи нефти и газа.

Частицы турбулизованного вещества, смешаясь из ядра потока к стенке трубы, ударяются о стенку, приобретают электрический заряд и при дальнейшем движении переносят его вновь в центр ядра. Энергия, теряемая частицей при ударе, воспринимается потоком. В движущемся потоке в связи с этим происходит непрерывный перенос энергии на стенку трубы.

Одной из составляющих в этом переносе энергии является электрическая энергия, которая образует в цепи «стенка трубы — земля» электрический ток. Электрическое равновесие, при котором перенос энергии из ядра к стенке прекращается, наступает в тот момент, когда в ядре сформируется предельный по емкости заряд, ограниченный электрической прочностью среды,

размерами и свойствами частиц и стенки. Величина этого заряда будет зависеть также от режима движения и скорости частиц. Концентрация ионов в пристенном слое при этом максимальная, гидродинамические параметры потока изменяются. Для самого потока характерно контактное взаимодействие двух видов: 1) соударение частиц, приводящее к биполярному зарядению их с суммарным зарядом потока, равным нулю; 2) взаимодействие частиц со стенкой, приводящее к униполярному зарядению. Всякое возмущение, вносимое в поток и нарушающее его равновесие, будет вызывать обратную электростатическую реакцию, в результате которой поток стремится вернуться в электростатически равновесное состояние, приобретая или теряя при этом соответствующий электрический заряд. Суммарную величину заряда J_n в потоке можно рассчитать по формуле

$$J_n = nuQ_n S_n,$$

где n — концентрация частиц в потоке; u — скорость частицы (средняя по сечению потока); Q_n — величина заряда, уносимого частицей после ее отрыва от стенки; S_n — площадь поперечного сечения потока.

Исследования показывают, что при ламинарном режиме движения однофазного потока величина заряда статического электричества пропорциональна средней скорости и не зависит от диаметра трубы; при переходном режиме — пропорциональна скорости во второй степени и диаметру трубы; при турбулентном режиме — соответственно пропорциональна скорости в степени 1,75 и диаметру трубы в степени 0,75.

Аналогичная электростатическая реакция характерна и для двухфазного потока. Если возмущение увеличивает объемный заряд (вследствие повышения концентрации частиц), поток будет терять заряд за счет электризации (приобретение заряда материальными частицами); при уменьшении — соответственно приобретать заряд за счет трибоэлектрического эффекта. Напряжение электрического поля в зазоре разделяющихся поверхностей при пробое $E_{пр}$ определяют по формуле

$$E_{пр} = E + E_t,$$

где E — напряжение внешнего, обусловленного объемным зарядом, потока; E_t — напряжение, возникающее в результате трибоэлектрического эффекта.

Ток электризации (приобретение заряда материальными частицами), зависящий от размеров и концентрации частиц и диаметра трубопровода, будет возникать при режиме движения, в котором выполняется неравенство

$$E - E_t < E_{пр}.$$

Ток электризации при отдаче заряда частицами возникает соответственно при

$$E + E_{\tau} > E_{\text{пр.}}$$

Электризация, вызывающая воспламенение горючих смесей, может возникнуть в процессе фильтрации диэлектрической жидкости. При этом чем больше вязкость жидкости (тяжелые фракции светлых нефтепродуктов), тем интенсивнее генерируются заряды статического электричества; с понижением вязкости образование и накопление зарядов уменьшается (эффект заряжения ослабляется).

Разряды статического электричества — наиболее распространенная причина взрывов и пожаров на объектах нефтяной и газовой промышленности. Под воздействием их чаще всего воспламеняются горючие смеси (природные и попутные нефтяные газы с воздухом), аэрозоли (распыленные частицы нефти и нефтепродуктов в воздухе), пары легковоспламеняющихся жидкостей и других веществ. Непосредственным источником воспламенения служит электрический разряд, инициируемый либо электрическим полем заряженного диэлектрика (разряд статического электричества на стенку), либо полем заряженного проводника (искровой разряд при электрическом пробое зазора на фланце трубопровода). Первый источник является типичным, но менее опасным; второй проявляется реже, но обладает большей воспламеняющей способностью.

Опасность воспламенения горючих смесей при разряде статического электричества определяется величиной напряженности электрического поля. Если напряженность недостаточна для возникновения искрового разряда, технологический процесс (установка, аппарат) считается безопасным и воспламенение горючей смеси исключается. Если напряженность достаточна для образования искрового разряда, воспламенению предшествует интенсивное местное нагревание, при котором температура в канале искры равна около 10000 °С. Этот локальный прогрев не всегда способен вызвать устойчивое горение смеси. Последнее возникает, как правило, при таком прогреве, энергия которого достаточна для устойчивого воспламенения смеси, распространения горения на весь ее объем. Все эти характерные особенности в образовании, растекании и разряде статического электричества должны учитываться при проектировании и реализации всех пожаро-взрывоопасных технологических процессов нефтегазодобывающего производства.

§ 3. Защита от статического электричества

Современный комплекс мер защиты от статического электричества, при котором исключалось бы его разносторонняя опасность для человека и производства, сводится к следующему:

1) исключить источники зарядов статического электричества; 2) не допустить накопления зарядов, потенциал которых был бы достаточным для возникновения искрового разряда с энергией зажигания; 3) предотвратить возникновение электрических разрядов, способных воспламенить горючие смеси; 4) сделать невозможным одновременное появление искрового разряда статического электричества и взрывоопасной концентрации горючих веществ в рабочей зоне.

Необходимо также применять меры к тому, чтобы во всех случаях разряды статического электричества проходили при энергии, значительно меньшей энергии зажигания типичных горючих смесей. Для заряженных проводящих материалов это достигается уменьшением электрического потенциала или увеличением емкости незаземленной (или труднозаземляемой) системы «технологическая установка (аппарат) — земля». Для заряженных диэлектриков энергия разряда может быть снижена путем уменьшения потенциала статического электричества.

Весьма эффективна замена горючих сред негорючими или менее горючими там, где это возможно без ущерба для технологических процессов и качества выпускаемой продукции. Можно использовать, например, для отмывки внутренних поверхностей оборудования от нефтепродуктов вместо бензина или дизельного топлива ряд специальных нетоксичных и негорючих моющих средств (эмульгатор ОП-7, метасиликат натрия, трипнатрийфосфат в смеси с порошком «Кристалл», «Лотос», «Прогресс» и др.).

Эффективно также направленное изменение способности горючих веществ к электризации. Добавка антистатических присадок, например, олеата хрома в количестве 0,01—0,001 %, резко повышает проводимость, исключает генерирование зарядов статического электричества.

Во многих случаях в ряде опасных узлов технологического оборудования целесообразно частично замещать кислород в их рабочем объеме азотом, углекислым газом и другими флегматизаторами так, чтобы в течение всего рабочего времени содержание кислорода в них было недостаточным для воспламенения и горения. Применяется также хранение светлых нефтепродуктов под «подушкой» инертных газов, устранение утечек взрыво- и пожароопасных веществ в сальниках насосов подачей в места утечек инертных газов под давлением и т. д.

Увеличение концентрации флегматизатора снижает также верхний предел взрываемости и повышает нижний предел взрываемости, т. е. значительно сужает область воспламенения, что уменьшает вероятность пожара и взрыва.

В газовых емкостях отдельные виды опасных работ целесообразно выполнять со смесями, предел воспламенения которых ниже нижней или выше верхней величины. Легковоспламеняющиеся жидкости можно применять в той области температур,

в которой смеси их насыщенных паров с воздухом не способны воспламеняться от внешних источников зажигания, а пламя — распространяться на весь объем, т. е. необходимо учитывать одновременно как температурные, так и концентрационные пределы воспламеняемости. Для поддержания безопасной воздушной среды и соответствующей температуры воздуха используют производственную вентиляцию и кондиционирование.

Широко применяют также вынос объектов, опасных по генерированию статического электричества, за пределы производственных помещений, в которых могут образовываться пожаро- и взрывоопасные смеси паров и газов. При этом следует иметь в виду, что вынос опасного оборудования из взрыво-пожароопасных зон, где это возможно, всегда является более эффективной профилактической мерой, чем предотвращение электризации.

Во многих случаях в аппаратах, где для интенсификации технологического процесса используют электрическое поле (электродегидраторы, электрические циклоны и др.), применяют специальные электрические разрядники. Разрядник включают параллельно электрической цепи заземления. Основная цель применения его — предотвратить искровой разряд в местах незаметных зазоров и ослабленных контактов. Во всех случаях межэлектродное расстояние в разряднике меньше расстояния между статически заряженной поверхностью и стенкой аппарата. Поэтому искровой пробой может произойти только в разряднике, который или расположен за пределами взрыво-пожароопасной зоны, или смонтирован во взрывонепроницаемом корпусе. При этом максимальное значение электрического потенциала разряда U_p не превышает 80 % от величины минимальной энергии зажигания:

$$U_p = 0,8W_{\min}C,$$

где W_{\min} — минимальная энергия зажигания, Дж; C — электрическая емкость изолированного участка, Ф.

Во всех случаях меры по предотвращению образования зарядов статического электричества предпочтительнее мер, исключающих опасные разряды. Весьма эффективно с учетом этого использовать защитное заземление оборудования и технологических установок, а также изолированные проводники, в которых не могут возникнуть заряды путем индукции, так как индуцированные заряды более опасны, чем заряды, от которых они образовались.

В металлическом оборудовании, непосредственно участвующем в разделении заряда, может создаваться потенциал в несколько тысяч вольт. При отсутствии электрической связи потенциал может выравниваться только за счет искрового пробоя между изолированной и заземленной частями установки. При

наличии электрической связи генерируемые заряды свободно стекают в землю.

Весьма эффективно использовать нейтрализаторы статического электричества. Воздух при ионизации его с помощью высокого электрического потенциала или радиоактивного излучения делается токопроводящим, при этом исключается опасное накопление зарядов статического электричества.

В соответствии с Правилами защиты от статического электричества оборудование считается заземленным, если сопротивление между электродом и землей в любой точке при самых неблагоприятных условиях не превышает 10^6 Ом·см. Недопустимо последовательное подключение к заземляющему контуру нескольких аппаратов. Сопротивление заземляющего устройства (контура), предназначенного для защиты от статического электричества, не должно превышать 100 Ом. Соединения заземлителей с заземляющим контуром должны выполняться при помощи сварки, болтовых соединений. В качестве заземлителя автоцистерн используют гибкие проводники. Для возможного соединения с заземляющей сетью оборудования, изготовленного из диэлектриков, на его поверхность методом распыления или испарения металла в вакууме наносят токопроводящие покрытия с сопротивлением в несколько ом. Используются также специальные эмали, лаки с удельным сопротивлением 10^7 Ом·см.

При накоплении зарядов статического электричества в трубопроводе на внешней и внутренней поверхностях труб образуются два слоя зарядов противоположного знака.

Максимальная плотность зарядов определяется электрической прочностью материала трубопровода. При формировании и разрушении этих слоев могут происходить искровые разряды: 1) с внешней стенки трубы на заземленные предметы; 2) при пробое диэлектрической стенки и поверхностном скольжении статических зарядов. Для защиты от первых на внешнюю поверхность наносят электропроводящее покрытие в виде спиральной полосы с определенным шагом. Аналогичное покрытие необходимо наносить и на внутреннюю стенку. Для защиты от вторых нарушается электрическая прочность стенок труб с помощью проколов (просверливания отверстия сколь угодно малого диаметра), и заряды на внешней и внутренней стенках по мере возникновения нейтрализуются, так как воздух внутри отверстий постоянно ионизируется микроразрядами зарядов статического электричества.

Для отвода зарядов статического электричества с гидрофильных (смачиваемых водой) материалов следует увеличить до 70 % относительную влажность окружающего воздуха. Этот способ непригоден для гидрофобных материалов, не адсорбирующих водяных паров и не образующих токопроводящих пленок даже при 100 % -ной влажности.

С одежды и поверхности тела человека заряды отводят путем использования особых материалов для обуви и пола с уменьшенным электрическим сопротивлением.

Накопление зарядов статического электричества можно эффективно предотвращать также путем изменения режима технологических процессов (снижение скорости перекачки до величины не более 5—10 м/с, уменьшение диаметра трубопровода и высоты слива нефтепродуктов, изменение состава рабочей среды, исключение разнообразных потоков, сильного перемешивания и подсоса воздуха, турбулизации и т. д.) и устройства релаксационных емкостей на трубопроводах. Эти емкости представляют собой расширенные участки трубопровода, в которых нефтепродукт отдает земле значительную часть образовавшегося при перекачке статического электричества перед поступлением в резервуар. Диаметр релаксационной емкости D_p вычисляют по формуле

$$D_p = D_T \sqrt{2v},$$

где D_T — диаметр трубопровода; v — скорость движения жидкости в трубопроводе.

Длина этой емкости L равна

$$L = 2,2 \cdot 10^{-11} \epsilon_r \rho v,$$

где ϵ — диэлектрическая проницаемость жидкости в трубопроводе; ρ — удельное электрическое сопротивление жидкости.

Релаксационные емкости целесообразно применять при перекачке жидких диэлектриков, для которых $\rho = 10^9$ — 10^{12} Ом·м (при большем значении ρ необходимые размеры релаксационных емкостей становятся слишком большими).

Рациональное использование в каждом конкретном случае эффективного комплекса профилактических средств позволит полностью исключить опасные проявления статического электричества на производственных объектах нефтяной и газовой промышленности.

Раздел третий

БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ

Глава XI

БЕЗОПАСНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Наибольшего эффекта в повышении безопасности труда можно достичь обеспечением высокой безопасности технологических процессов и производственного оборудования. Требования оздоровления и безопасности труда должны быть составной частью процесса создания техники. Внедрение новых видов оборудования порождает новые рабочие приемы, виды деятельности, требует совершенно новой компоновки рабочего места, организации труда. Несмотря на прилагаемые усилия проблема безопасности техники становится все более актуальной.

§ 1. Свойства техники, технологические параметры и их роль в безопасности труда

Деятельность человека в физической, психофизиологической и психической сферах предопределена конструкцией рабочего места и рабочего пространства, функцией системы, свойствами ее компонентов и производственной средой. Так, рабочая поза и физические нагрузки, приходящиеся на двигательные органы человека, зависят от структуры моторного поля (конструкций сидения, размещения органов управления и их формы, усилий, которые необходимы для манипулирования ими, и т. д.); объем воспринимаемой информации, число и сложность решаемых задач и др. — от вида информационной модели системы (машины); продолжительность и тяжесть работы органов зрения, слуха, функции внимания и т. п. — от структуры сенсорного поля (расположения контрольно-измерительных приборов, их формы, размеров, частоты использования и т. д.).

Новые машины, их формы и свойства выдвигают специфические задачи в физиологии, гигиене и охране труда.

Инженерно-психологический аспект современной техники, как видно из сказанного выше, не менее важен, чем технический, так как в настоящее время он определяет при прочих равных условиях, надежность, быстродействие, помехоустойчивость человека и в конечном счете безопасность его труда. Из-за рассогласования машин, технологических процессов с инженерно-психологическими и другими возможностями человека в нефтяной и

газовой промышленности происходит более 50 % всех несчастных случаев и аварий.

Эффективная и безопасная деятельность человека возможна, если обслуживаемая им машина (система):

- не требует однообразной, монотонной работы, неудобной рабочей позы;

- не перегружает отдельные (единичные) двигательные, чувственные органы, психические функции;

- не загрязняет производственной, окружающей среды токсичными газами, шумом, радиоактивным, электромагнитным излучением, пылью и другими вредными выбросами;

- не принуждает человека работать в высоком темпе, воспринимать чрезмерные объемы информации, решать множество различных задач в единицу времени и т. д.;

- не лишает человека права выбора рабочей позы (работа стоя или сидя), наиболее рационального решения и приема работы из возможных альтернативных;

- не накладывает ограничений во времени в пространстве на деятельность человека, рабочие позы, перемещение рук, ног, число движений и другие функции организма;

- отвечает эстетическим требованиям, определяющим, в частности, бережное отношение к ней работающего.

В нефтегазодобывающем производстве расположение индикаторов и органов управления на всех рабочих местах должно обеспечивать условия для качественного восприятия считываемой информации, эффективной двигательной деятельности, при этом должны учитываться: частота их использования, расстояние от прибора (рычага) до оператора (досыгаемость), соответствие этому расстоянию размеров и формы шкал, последовательность визуальных наблюдений, объем воспринимаемой информации, скорость ее предъявления, продолжительность переработки, сложность задач, способы их решения и т. д.

Перемещение труда в сферу сложной интеллектуальной деятельности значительно повысило требования к надежности (безошибочная работа в течение заданного времени), быстрдействию (согласованность действий в условиях технических и временных ограничений) и точности (работа в заданных пределах определенного числа параметров) человека-оператора. Все виды техники должны согласовываться с человеком по этим показателям. При этом важно учитывать, что работоспособность, надежность, быстрдействие, точность, помехоустойчивость человека выше в середине смены, рабочей недели и ниже — в начале и в конце и зависят от режима труда и отдыха, структуры выполняемой работы, комплекса санитарно-гигиенических факторов, биологических ритмов и геллиофизических явлений (радиация солнца, лунное тяготение и др.) и т. д.

Трудовые действия, выполняемые человеком, должны содержать не менее 5—6 элементов при длительности выполнения

каждого из них не менее 20—30 с. Чрезмерное дробление операций, вынужденный высокий темп и монотонность снижают интерес человека к работе, вызывают тяжелые заболевания нервной и мышечной систем организма. Деятельность по управлению безопасной техникой предполагает сменяемость операций, изменение темпа работы, согласующегося с кривой работоспособности, возможность перерывов и т. д.

Особое значение имеют стрессовые ситуации, возникающие при угрозе жизни и здоровью работающего, сохранности материальных ценностей. Они дезорганизуют поведение человека, парализуют важные профессиональные качества. Непосредственной причиной их являются различные технические ограничения, дефицит времени, информации, чрезмерная сложность задач и ответственность за принимаемые решения и т. д. В этом особенно наглядно проявляется значимость инженерно-психологического аспекта современной техники в безопасности труда человека, обслуживаемых им машин и систем

§ 2. Антропометрические свойства безопасной техники

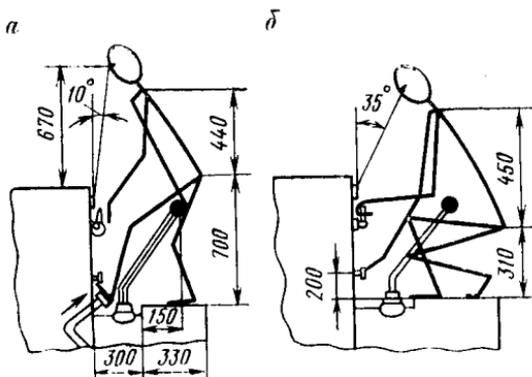
Зависимость эффективности использования машин, оборудования от возможностей человека (эргономичность) в значительной степени определяется динамической структурой рабочего пространства, согласованностью его с антропометрическими и другими характеристиками работающего. Вид и расположение средств контроля и управления, размеры зон деятельности и обзора, конструкции сидений, формы рычагов и др. определяют рабочую позу оператора, энергозатраты отдельных групп мышц и организма в целом и, как следствие, качество и скорость выполнения работы, характер утомляемости. Известно, что при изменении прямой позы «сидя» на прямую позу «стоя» мышечная нагрузка возрастает в 1,6 раза, на наклонную позу «сидя» — в 4 раза, на наклонную позу «стоя» — почти в 10 раз. Равновесие рабочей позы является необходимым условием ее безопасности и биомеханической рациональности.

При уменьшении подвижности происходит перераспределение статических и динамических нагрузок, что может стать причиной необратимых патологических изменений в организме (заболевания суставов, сухожилий, искривление позвоночника и др.).

Нормирования, оптимизации производственной среды, рабочего места только на основе данных статической антропометрии в данном случае недостаточно. Это обусловлено тем, что статические данные о размерах тела не содержат информации о взаимосвязи различных антропометрических характеристик со структурой и динамикой движений, специфичной для каждого вида выполняемой работы, машины, производственной среды, человеко-машинной системы.

Рис. 21. Рабочая поза машиниста агрегата ЗПА:

а — при переключении скорости; б — при пуске и регулировке двигателя



Проектирование техники, ее структуры, функций и предметно-пространственной среды, в которой человек-оператор работает, должно осуществляться на основе данных динамической антропометрии, устанавливаемых: 1) методом моделирования конструкции рабочего места в натуральную величину и опробования его на различных группах людей; 2) методом манекенов, предполагающим использование плоских моделей, снабженных шарнирами, в масштабе 1 : 5, 1 : 10; 3) методом наложения на чертежи проектируемых схем так называемых нормальных рабочих зон.

При исследовании структуры рабочего пространства на передвижных агрегатах разных типов, используемых при подземном ремонте скважин, автором были применены два последних метода. Размеры манекена, изготовленного в масштабе 1 : 10, соответствовали антропометрическим характеристикам среднего человека. В результате исследования было установлено, что конструкция и планировка рабочих мест, расположение, размеры и форма сидений, средств индикации и управления и т. д. не на всех передвижных агрегатах, применяемых на предприятиях нефтяной и газовой промышленности, соответствуют антропометрическим и биомеханическим нормативам. Рычаги переключения скорости, акселератор, кнопка стратера, рукоятка открытия воздушной заслонки на рабочем месте машиниста выпускавшегося ранее агрегата ЗПА были расположены очень низко, над уровнем площадки для ног (рис. 21).

Известно, что расстояние от конца пальцев опущенной руки нормально сидящего оператора до пола равно 600 мм. Высота рычага с учетом этого должна быть более 750 мм.

Расположение органов управления и типичная рабочая поза машиниста агрегата ЦА-320М показаны на рис. 22. Из рисунка видно, что многократно повторяющуюся операцию по переключению скорости машинист может эффективно выполнять только сидя. Обусловлено это тем, что он работает одновременно двумя рычагами: рычаг переключения скорости на расстоянии 740 мм

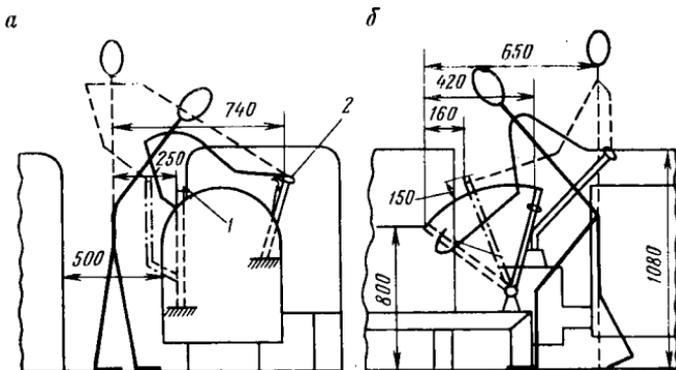


Рис. 22. Рабочая поза машиниста агрегата ЦА-320М:

а — при работе с подъемником; *б* — при переключении скорости (пунктирная линия — предпочтительная поза; штрих-пунктирная линия — новое положение рычага); 1 — рычаг муфты сцепления; 2 — рычаг скорости

от позвоночника (оси) человека и рычаг муфты сцепления на высоте 800 мм с рабочим ходом 429 мм. При манипулировании рычагом переключения скорости, чтобы дотянуться до рычага муфты сцепления, он вынужден наклоняться вперед и вправо. Его рабочая поза в этом случае характеризуется большими статическими нагрузками на шейные, спинные и поясничные группы мышц. Исключение права оператора работать сидя в данном случае недопустимо.

Органы управления и рабочее место в соответствии с эргономическими нормативами должны находиться на расстоянии 530 мм от кабины водителя до кожуха насоса 1, на расстоянии 740 мм от оси человека до рычага переключения скорости. Расстояние до выключателя прожектора на замерной емкости должно быть в пределах досягаемости вытянутой руки среднего человека и равняться 860 мм.

Нормальные условия труда машиниста установки ППУ-3М предполагают возможность выполнения работ по пуску и регулированию параметров парогенераторов в рациональной рабочей позе (рис. 23) и исключение операции по одновременному открыванию задвижки подачи топлива и шиберов воздуховода. Высота рычага шиберов над полом не должна превышать 1250 мм и требовать от человека при управлении им неудобной рабочей позы. Расстояние от задвижки подачи топлива до человека в нормальной позе «стоя» должно быть 675 мм, расстояние от шиберной задвижки — 700 мм. Свободный доступ к ней не должен преграждаться ручным насосом для закачки воды, так как это вынуждает оператора наклоняться вперед и подниматься на носки, чтобы одновременно управлять двумя задвижками (см. рис. 23).

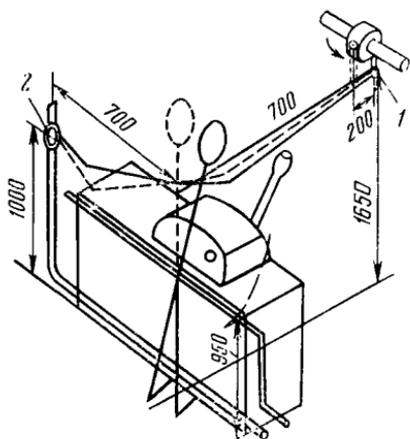


Рис. 23. Рабочая поза машиниста агрегата ППУ-3М при пуске и регулировании параметров котла:

сплошная линия — при существующем положении рычага; штриховая линия — после перестановки рычага; 1 — рычаг шибберной задвижки воздуховода; 2 — задвижка топлива

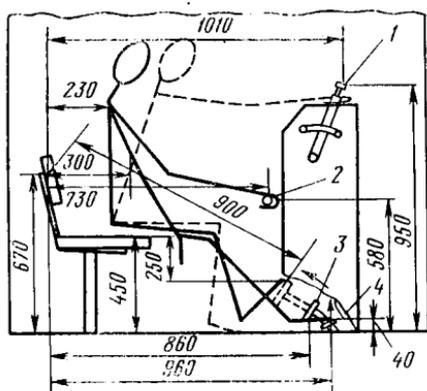


Рис. 24. Схема рабочего места водителя-моториста агрегата 3ЦА-400А:

штриховая линия — положение машиниста при управлении агрегатом ручного акселератора; 1 — рычаг ручного акселератора; 2 — рычаг переключения скоростей; 3 — педаль муфты сцепления; 4 — педаль акселератора

На всех агрегатах и машинах должно выполняться антропометрическое требование о регулируемости сидения по высоте. На агрегате 3ЦА-400А оно должно закрепляться на высоте 400—430 мм в зависимости от роста оператора. В соответствии с антропометрическими нормативами расстояния от педали муфты сцепления до сидения должны быть 100—200 мм; от спинки сидения до педали — 800 мм; от центра спинки сидения до пола — 700 мм; расстояние от спинки сидения до рычага акселератора — 860 мм (рис. 24).

Высоту сидения на рабочем месте машиниста-тракториста тракторного подъемника «Бакинец-3М» можно регулировать при помощи трех отверстий и штифта. В нижнем положении затруднен обзор из кабины, поэтому машинисты предпочитают работать при закреплении сидения в крайнем верхнем положении (высота 450 мм при норме 400—430 мм).

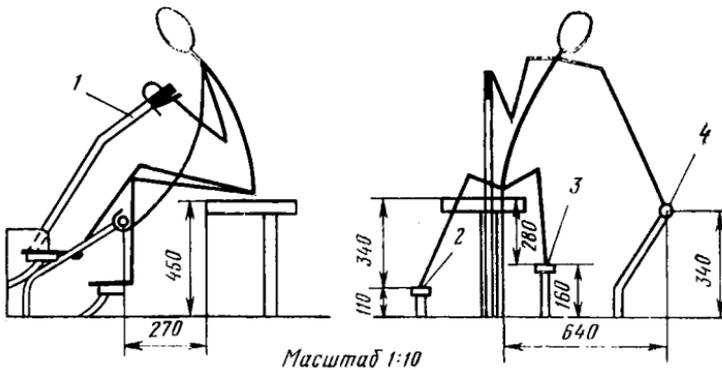
Сидение должно иметь спинку. Расстояние от сидения до педали храпового устройства должно быть 100—200 мм. Конструкция сидения, расположение педалей должны в целом соответствовать антропометрическим требованиям.

Рычаги переключения скорости следует располагать на расстоянии, соответствующем эргономическим нормативам во всех вариантах включения (рис. 25).

По сравнению с подъемником «Бакинец-3М», тракторный подъемник Азинмаш-43П более совершенный. Управляют им из кабины и используют различные способы — механические

а

б



Масштаб 1:10

Рис. 25. Рабочая поза машиниста-тракториста подъемника «Бакинец-3М» при переключении скорости:

а — вид слева; б — вид спереди; 1 — рычаг фрикционной муфты; 2 — педаль акселератора; 3 — педаль храпового устройства; 4 — рычаг переключения скорости

(ручное управление тормозами лебедки, прямым и обратным ходом коробки передач, храповым устройством, подачей топлива), пневматические (управление фрикционной муфтой лебедки, переключением скоростей) и электрические (кнопки, выключатели освещения, сигнализация).

Высоту сидения необходимо регулировать. Педаль тормоза должна располагаться на расстоянии 100—200 мм от сидения. Педали управления от центра спинки сидения должны отстоять не более чем на 810 мм; рычаг ручного тормоза и переключатель скорости на расстоянии 860 мм (размер вытянутой руки). Расстояние между осями рычагов, разность в высоте рукояток управления (переключения скоростей, подачи топлива) равны соответственно 20 и 150 мм. Расстояние между осями педалей ножного тормоза и управления подачей топлива должны устанавливаться с учетом эргономических требований. Невыполнение этих требований помимо неудобств антропометрического характера затрудняет работу зрительного анализатора, усложняет психофизиологическую деятельность человека.

§ 3. Биомеханические факторы безопасной техники

Безопасность техники характеризуется безопасностью деятельности человека в биомеханической и психофизиологической деятельности. Исследование связи биомеханических факторов с травмоопасными свойствами оборудования весьма актуально.

При разработке новых видов технологического оборудования конструктор должен обеспечить максимальную экономию трудовых движений, исключить длительную работу оператора за пределами оптимальной зоны. При этом он должен знать: по-

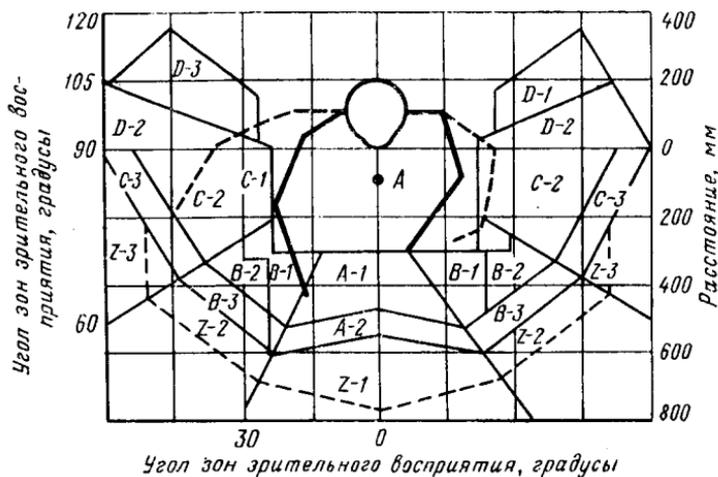


Рис. 26. Операционные зоны с разным комфортом:
 А, В, С, D, Z — зоны разного биомеханического комфорта

ложение «сидя» предпочтительнее во всех случаях, если отсутствует производственная необходимость в частой смене рабочей позы, в размашистых движениях, при величине усилий, не превышающей 49 Н на обе руки. Человек, выполняющий работу с меньшими затратами энергии, совершает более точные и короткие движения, без резких изменений их скорости, в направлении справа налево, сверху вниз и к себе.

Поднятие и перемещение груза массой до 6 кг считается легкой физической нагрузкой; от 6 до 15 кг — умеренной; от 15 до 30 кг — средней тяжести; от 30 до 50 кг — тяжелой физической работой. Предпочтительны трудовые приемы, при которых обе руки начинают и завершают движения одновременно; экономия движений возможна за счет их объединения в более сложные, при исключении обратных (холостых) возвратов. Желательно, чтобы последнее движение одного действия переходило в начало следующего действия; при охвате рукоятки диаметром 25—30 мм человек способен развить усилие 294—392 Н; при нажатии пальцем на кнопку — 147 Н; при нажатии ногой на педаль (угол 20°) — до 1960 Н (с опорой на спинку). Чем чаще используется орган управления, тем меньше должно быть требуемое усилие; человек отличает на ощупь один рычаг от другого при разности их размеров не менее 20 % и т. д.

В структуре рабочего пространства (органов управления машины) можно выделить, с учетом сказанного выше, операционные зоны неодинакового комфорта для биомеханической и психофизиологической деятельности (рис. 26, 27). Органы управления, контрольно-измерительные приборы на всех видах

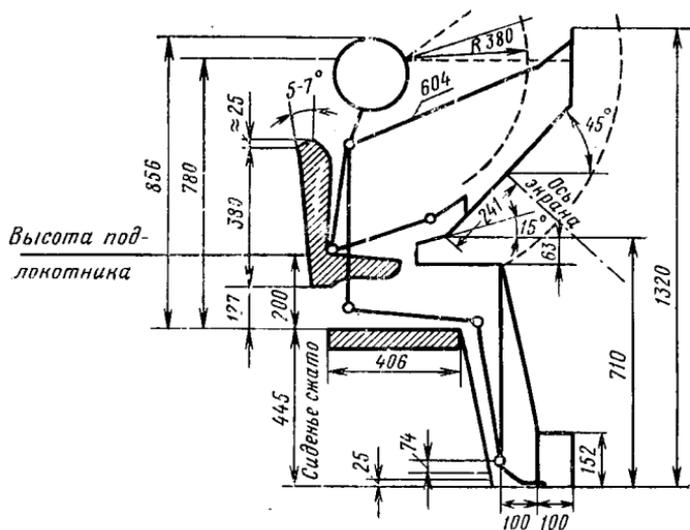


Рис. 27. Параметры наиболее удобной рабочей позы при работе сидя

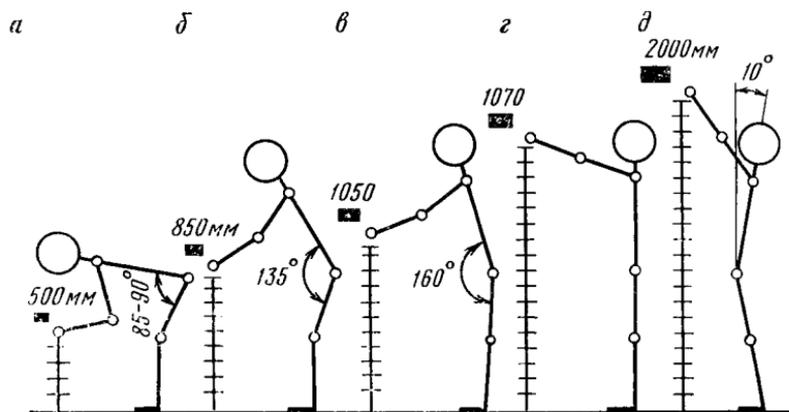


Рис. 28. Зоны с разной степенью удобства при работе стоя:
 а — нижняя неудобная поза; б — нижняя менее удобная поза; в — удобная поза; г — верхняя менее удобная поза; д — верхняя неудобная поза

современной техники должны конструироваться и располагаться в расчете на полное обеспечение комфорта в деятельности человека.

Аналогичная зональность характерна для структуры рабочего пространства оператора, работающего в положении «стоя» (рис. 28). Назначение зон и подзон, связь их со средствами индикации и управления показаны в табл. 14, 15, 16.

Эргономичность конструкции рабочих мест и рабочего пространства водителей-мотористов агрегатов ЗЦА-400А, 2АН-500,

Азинмаш-43П, «Бакинец-3М» и других операторов можно изучать методом наложения схем. Сущность метода состоит в том, что выполненная в масштабе схема исследуемого рабочего места с расположением всех средств индикации и контроля проецируется путем наложения на стандартную схему (см. рис. 26), вычерченную в одинаковом с рабочей схемой масштабе, с четким обозначением границ операционных зон и отдельных участков. Это позволяет определить расположение всех органов контроля и управления и соответствие его установленным нормативам.

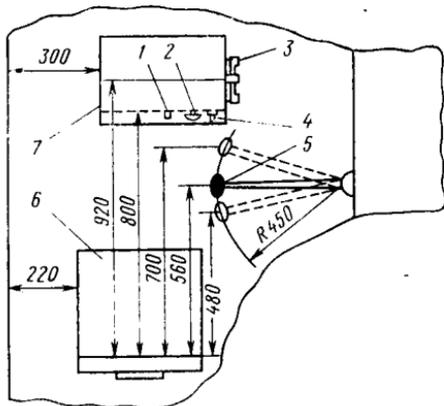


Рис. 29. Схема пульта управления водителя-моториста агрегата ЗЦА-400А:

1 — кнопка вольт-амперметра; 2 — кнопка стартера; 3 — рычаг ручного управления подачей топлива; 4 — тумблер зажигания; 5 — рычаг переключения скорости; 6 — сидение водителя-моториста; 7 — пульт управления

Схема пульта управления машиниста-водителя агрегата ЗЦА-400А приведена на рис. 29. Методом наложения схем установлено, что рукоятка рычага ручного управления подачей топлива должна располагаться только в зонах А или В (см. рис. 26 и табл. 14), зоны Z-1, Z-2 и Z-3 расположены вообще за пределами досягаемости и предназначены для средств индикации, а не для органов управления. Оператор при работе должен лишь видеть эти средства (панель), а не управлять ими.

Схема рабочего места машиниста-водителя агрегата 2АН-500 приведена на рис. 30.

Метод наложения схем позволяет расположить все органы управления в пределах зоны досягаемости; все приборы-индикаторы — соответственно в оптимальных зонах, с учетом частоты их использования, необходимого уровня точности отчета и т. д.

Исследование рабочего места машиниста-тракториста трактора-подъемника Азинмаш-43П (рис. 31) методом наложения показало, что рукоятки рычагов реверса, включение фрикциона, ручного тормоза, переключателя скорости должны располагаться в пределах зон досягаемости. Кнопки (тумблеры) включения скоростей, звукового сигнала, осветительных устройств должны быть размещены в зоне А-1.

Структура рабочего пространства машиниста подъемника «Бакинец-3М» показана на рис. 32. Рычаг переключения скоростей в крайнем левом положении в данном случае находится вне зоны досягаемости. Рукоятки рычага включения фрикциона и рычага ручного тормоза лебедки при включенном положении располагаются в зоне Z-1.

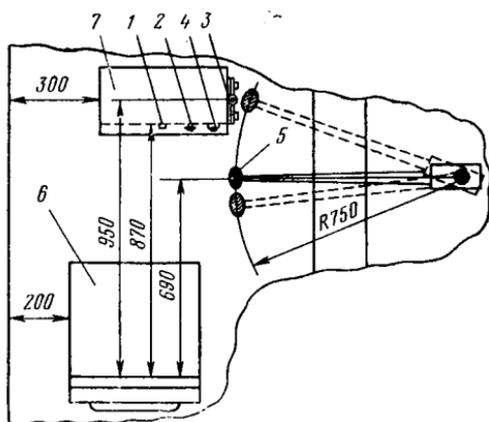


Рис. 30. Схема рабочего места водителя-моториста агрегата 2АН-500:

1 — кнопка амперметра; 2 — кнопка стартера; 3 — рычаг ручного управления подачей топлива; 4 — тумблер зажигания; 5 — рычаг переключения скоростей; 6 — сиденье водителя-моториста; 7 — пульт управления

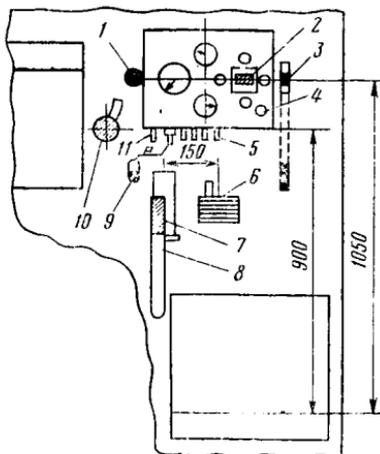


Рис. 31. Схема рабочего места машиниста-тракториста подъемника Азинмаш-43П:

1 — рукоятка включения фрикциона; 2 — переключатель скорости; 3 — рычаг ручного тормоза; 4 — кнопка включения скорости; 5 — выключатели освещения — 5 шт; 6 — педаль тормоза; 7 — педаль управления подачей топлива; 8 — рычаг включения коробки отбора мощности; 9 — рычаг храпового устройства; 10 — рычаг реверса; 11 — кнопка звукового сигнала

Мотористы агрегатов ЗПА, ЦА-320М и ПП-3М работают в положении «стоя». В процессе труда они не остаются на одном рабочем месте. Динамическая структура их рабочего пространства не может быть исследована методом наложения схем. Эргономичность рабочих поз, расположение средств сенсомоторного (чувственно-двигательного) поля в данном случае должны изучаться с учетом вертикального расположения операционных зон (рис. 33) на основе экспертной оценки и эргономических контрольных карт. При этом важно иметь в виду, что при работе в положении «стоя» быстрее нарастает утомление, наблюдается снижение эффективности, а следовательно, и безопасности деятельности в течение смены.

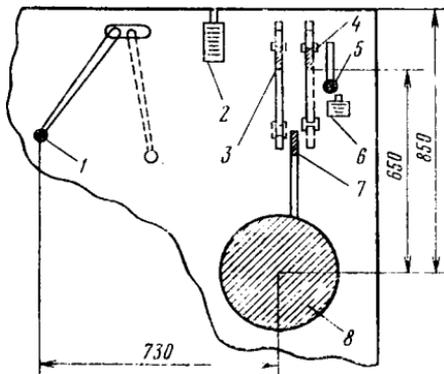


Рис. 32. Схема рабочего места машиниста-тракториста подъемника «Бакинец-3М»:

1 — рычаг переключения скорости; 2 — педаль храпового устройства; 3 — рычаг включения фрикциона; 4 — рукоятка рычага ручного тормоза; 5 — рычаг включения коробки отбора мощности; 8 — сидение

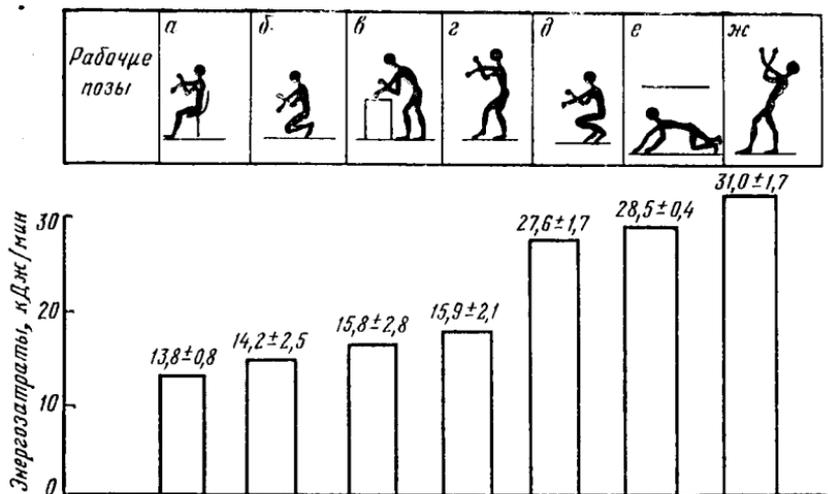


Рис. 33. Типичные рабочие позы и энергозатраты

Большой удельный вес в работе многих операторов нефтяной и газовой промышленности занимают операции по открытию, закрытию кранов и задвижек. Во многих случаях краны и задвижки расположены в верхних или нижних операционных зонах. Так, на агрегатах ЗЦА-400А, 2АН-500, ЦА-320М, Азинмаш-30А, Азинмаш-32 запирающие и регулирующие устройства находятся соответственно на высоте 450, 600, 720, 400 и 530 мм. Иногда запорная арматура установлена за пределами оптимальных операционных зон. Так, рукоятка задвижки на всасывающем трубопроводе агрегата ЦА-320М расположена на высоте 100 мм от платформы, вентиль подачи пара потребителю (ППУ-3М) — на высоте 130 мм над уровнем пола, сливной кран очистителя на агрегате ЗПА — на высоте 1750 м от уровня земли. Это отрицательно сказывается на условиях труда и снижает его безопасность.

При проектировании машин, оборудования и рабочих мест важно исключить воздействие на человека высоких статических нагрузок. Эти нагрузки приходится, как правило, на отдельные группы мышц. Воздействуя длительное время, они способны вызывать глубокие патологические изменения в организме, развиваться долго не проходящее утомление.

Сущность опасности для человека нерациональной рабочей позы, однообразного состояния (сидя, стоя, лежа), длительных локальных нагрузок состоит в том, что они отвлекают внимание человека и делают его работу менее безопасной и надежной.

Исключение воздействия на человека опасных статических нагрузок остается важнейшей задачей биомеханических исследований труда операторов, занимающихся капитальным под-

**Операционные зоны в структуре рабочего пространства при работе
в положении «сидя»**

Зоны	Обозначение и характеристика зоны
Зона основных движений правой и левой рук	А-1. Легкая доступность, хороший обзор прямо перед собой А-2. Хороший обзор, максимальная зона действия кистей рук при неподвижных локтях В-1. Голова почти не поворачивается, рука поворачивается в плече В-2. Сравнительно легкая доступность. Почти не поворачивается голова В-3. Максимальная досягаемость. Голова почти не поворачивается С-1. Требуется поворот руки в плече и поворот головы для обзора.
Зона вспомогательных движений	С-2. Легкая доступность, но требуется поворот головы С-3. Максимальная досягаемость для оператора низкого роста. Необходим поворот головы D-2, D-3. Обзор невозможен. В таких зонах следует помещать только оборудование, которым не пользуются при обычной работе в процессе управления Z-1, Z-2, Z-3. Зоны вне предела досягаемости. Предназначены для расположения приборов, которые оператор должен видеть (в зонах Z-1, Z-2, без поворота головы, в зоне Z-3 — с поворотом головы). В порядке исключения в этих зонах можно размещать редко применяемые органы управления; при этом туловище должно немного перемещаться (в среднем на 300 мм)

Таблица 15

Условия эффективности использования различных операционных зон

Условия применения органов управления	Рекомендуемые рабочие зоны
Частое Нечастое При перегрузках При работе без внешнего обзора При работе, в которой требуется высокая острота зрения	А-1, В-1, С-1, С-2 А-2, В-3, С-3, D-2, D-3 А-1, В-1, С-1 А-1, В-2, В-3 А-1, А-2, В-2, В-3

земным ремонтом скважин. При ремонтных работах оператор выполняет производственные функции в самых различных позах (см. рис. 33). Каждая из этих поз характеризуется неодинаковой затратой энергии, величиной и характером статических напряжений. Особенно велики эти нагрузки при рабочей позе «стоя» с наклоном. При изменении положения «сидя» на положение «стоя» увеличивается статическое напряжение отдельных групп мышц.

Оптимизация структуры рабочего пространства и исключение на этой основе нерациональных, неудобных рабочих поз имеет также большое значение для деятельности рабочих-ремонтников.

Основные виды работ здесь — подъем и перенос тяжестей. Наибольшие статические нагрузки при этом приходятся на мышцы спины и плечевого пояса. Чем тяжелее переносимый груз и длительнее его транспортирование, тем больше величина нагрузки, сильнее ее воздействие на организм человека.

Радикальная мера борьбы со статическими нагрузками при подъеме и переноске грузов — широкое применение средств малой механизации. Значительные физические нагрузки испытывают ремонтники при выполнении работ по соединению труб. Поддержка шарнирного ключа массой 8—10 кг на трубах в наклонной позе «стоя» сопровождается значительными статическими нагрузками на мышцы шеи и спины. Эти же группы мышц статически напряжены у водителей-мотористов агрегатов ЗПА, ЦА-320М, Азинмаш-32, Азинмаш-30, Азинмаш-35 при наблюдении за показаниями манометров.

Деятельность человека эффективнее при выполнении более разнообразного труда, в оптимальном ритме, неодинаковом для отдельных производственных операций. Физиологи установили, что утомление из-за монотонности не возникает, если повторяемость операции не превышает 180 раз в час. Повторяемость от 191 до 300 раз в час оценивается как повышенная, от 301 до 600 — как большая, свыше 600 — как особенно большая. При большой и особенно большой повторяемости операций труд становится монотонным, гнетущим, в организме работающего

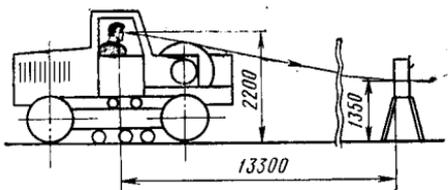


Рис. 34. Расстояние от машиниста до верньер-манометра при работе машиниста подъемника Азинмаш-43П

Таблица 16

Рациональное распределение органов управления разного типа по операционным зонам

Характер управления	Рациональная рабочая зона
Нажатие кнопки	А-2, В-3, С-3, D-3
Движение рычагом	Ряд зон на 300 мм впереди зон А
Движение пальцами	Ряд зон на 50 — 60 мм впереди зон А
Работа кистью руки	А-1, В-2, С-2, D-2
Двигательные и тонкие манипуляции	А-1, А-2, В-1, В-2
Движения, различные по характеру	D-3
Движение с применением силы более 115 Н на руку	А-1, В-2, С-2, D-2

быстро нарастает утомление. Это происходит под влиянием непрерывно повторяющихся специфических нагрузок, следы физического и психологического воздействия которых из-за относительно высокой частоты повторения не успевают исчезать (невосстанавливающаяся потеря работоспособности). Однообразие опасно ослабляет внимание и ведет к снижению психической активности мозга. Это согласуется с выводами И. П. Павлова (длительное воздействие на одну нервную клетку постоянного раздражителя приводит ее в тормозное состояние), М. И. Виноградова (монотонность является причиной быстрого нервного истощения, возникновения запредельного торможения) и др. Очевидно, что все эти тяжелые последствия монотонности труда связаны прежде всего с недостатками техники, технологических процессов.

Специальные исследования частоты повторения одних и тех же операций в работе машиниста подъемника Азинмаш-43П, результаты которых приведены ниже, показали, что за время спуска одной трубы (60 с) он выполняет семь включений органов управления:

Рычаг ручного тормоза	1
Рычаг реверса	3
Рычаг включения фрикциона	2
Рычаг переключения скоростей	Нет
Педаль управления топливным насосом	1
Педаль пневматического тормоза	Нет

Итого 7

Таким образом, в течение часа число повторений составит 420. При выполнении спуско-подъемных операций выпускавшимся ранее подъемником «Бакинец-3М» с использованием ключа АПР-2 машинисту за время подъема одной трубы приходилось выполнять восемь включений. При средней продолжительности подъема одной трубы 115 с общее число повторений в течение часа составило 252. Этот вид деятельности относится к категории с повышенной повторяемостью операций. В настоящее время эти агрегаты не выпускаются и заменены более совершенными.

§ 4. Психофизиологические факторы безопасной техники

Выше отмечалось, что одним из главных психофизиологических требований к конструкции и функциям всякой машины, технологической установки и т. д. является соответствие их условиям нормального функционирования органов чувств человека: зрения, слуха, осязания, обоняния, а также тактильного, болевого, кожногальванического воздействия и т. п. Указанные условия определяются свойствами техники, технологии, конструкцией рабочего места, реакциями производственной среды, свето-

вым, метеорологическим, акустическим комфортом, интерьером и другими факторами.

Эти факторы оказывают непосредственное глубокое воздействие на состояние человека, эффективность, надежность и безопасность его деятельности. Окраска производственных помещений, например, в специально подобранные цвета повышает производительность труда на 2—4 %; правильное размещение оборудования — на 5—10 %, при ручных операциях выработка продукции возрастает по мере увеличения освещенности до 2000 лк; недостатки в освещенности вызывают дополнительные напряжения в работе и являются причиной 20 % производственных несчастных случаев. Искусственный свет может изменять частоту пульса, интенсивность обмена веществ, силу рук¹, работоспособность, оказывать влияние на нервно-психологическое состояние человека и производственного коллектива (психологический климат) и т. д.

С помощью зрения человек воспринимает 80—90 % всей информации из окружающей среды. На остальные сенсорные (чувственные) анализаторы (слуховой, вестибулярный, двигательный, тактильный и др.) приходится только 10—20 %. Таким образом, световой комфорт на рабочем месте имеет большое значение. Достижение такого комфорта в процессах добычи нефти или при капитальном (подземном) ремонте скважин сопряжено с большими трудностями, поскольку работы ведутся на открытом воздухе, при любых погодных условиях, с применением разнообразной техники, в любое время суток.

При разработке рациональных схем освещения очень важно в полном объеме учитывать размер, форму, светотехнические свойства поверхностей и цвет оборудования, а также его компоновку, размещение на рабочей площадке, специфику разных видов деятельности, скорость и точность выполнения работ и т. д. На рабочих местах не всегда обеспечиваются необходимые равномерное освещение, направление света только на объект работы, оптимальный контраст, исключение теней, блескости² и бликов. Не во всех случаях учитывается, что ремонтные и другие работы, выполняемые в сложных световых условиях, требуют повышенных нагрузок на органы зрения и организм в целом. В динамически изменяющихся структурах ЧМС необходимо учитывать продолжительность приема сигналов (зрительного — 0,3 с, слухового — 1,6 с), задержки при прохождении их в органах чувств (0,02—0,05 с), инерцию зрения (свойство глаза «видеть» в течение 0,01 с предыдущий предмет после перевода глаза на последующий) и др.

¹ При оранжевом свете человеческая рука сжимает в 1,5 раза, а при красном — в 2 раза сильнее, чем при обычном освещении (опыты Фере, 1975 г.).

² Под блескостью понимается свойство ярко освещенной поверхности вызывать ослепление или дезориентацию наблюдателя.

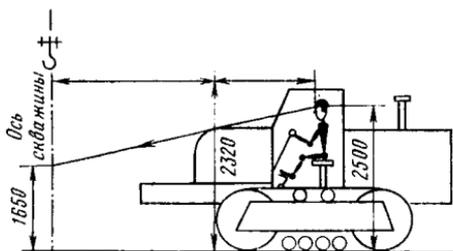


Рис. 35. Условия обзора машиниста-тракториста подъемника «Бакинец-3М»

стенке нужно предусмотреть окно, достаточное по размерам для надежного обзора.

Обзор машиниста подъемника «Бакинец-3М» затруднен лебедкой, расположенной на высоте 2320 мм над уровнем земли (рис. 35). Расстояние от земли до оси глаз машиниста в этом случае равно 2500 мм. Следовательно, через лобовое стекло кабины он может наблюдать только предметы, расположенные значительно выше уровня рабочей площадки. Между тем многие виды работ на устье ремонтируемой скважины выполняются на высоте 600—1000 мм. Машинист подъемника вынужден в связи с этим приподниматься с сидения (работать в неудобной рабочей позе), чтобы наблюдать за действиями оператора, согласовывать с ним операции по подъему, спуску, затаскиванию оборудования и т. д.

При обслуживании передвижных агрегатов, установок, спуско-подъемных систем и другого оборудования актуальными являются вопросы зрительно-световой адаптации.

Адаптация зрения к изменению уровня освещенности происходит, например, при переводе взгляда с ярко освещенных предметов на менее освещенные, при переходе из зоны (помещения) с высоким уровнем освещенности в зону со слабой освещенностью и др. Если уровень освещенности быстро изменяется, то чувствительность зрения ослабляется и возвращается к норме лишь через некоторое время. Это опасное ослабление зависит от состояния организма (снижается при усталости, утомлении органов зрения) и от уровня освещенности до и после адаптации: при переходе в плохо освещенную комнату из ярко освещенной адаптация (привыкание) длится около 60 мин, в хорошо освещенную из темной — соответственно 8—10 мин.

Деятельность многих операторов, работающих на производственных объектах нефтяной и газовой промышленности, связана с частыми переходами из ярко освещенных зон в зоны с недостаточной освещенностью и обратно. Зрение водителей-мотористов передвижных агрегатов, например, должно быстро

Исследования показали, что не всегда эти требования принимаются во внимание при конструировании передвижных агрегатов и другого технологического оборудования. Оператор установки ППУ-3М, например, должен иметь достаточный обзор рабочего пространства, для чего боковые окна помещения установки следует расположить на высоте оси глаз человека среднего роста (1590 мм). В задней

адаптироваться к темноте окружающего пространства в ночное время и одновременно сохранять способность эффективно считывать показания приборов, расположенных в кабине; оператор на устье скважины каждую очередную производственную операцию начинает в новых световых условиях и т. д. Поскольку каждый рабочий должен быстро реагировать на то, что он видит, важно, чтобы условия работы зрительного аппарата во всех случаях были оптимальными.

Для обеспечения светового комфорта при работе водителя-моториста необходимо использовать красный свет малой интенсивности и соответственно подбирать условия освещенности приборов.

Нормальные световые условия предусматривают ровное освещение приборов. Отношение яркостей воспринимаемых предметов и площадей не должно превышать 7:1, ни один из источников света не должен нарушать условия ясного видения водителя. В конструкции основного оборудования эти требования всегда должны учитываться. Приборные панели должны быть расположены в одной плоскости под углом 96° на расстоянии 1,3 и 0,7 м от оси глаз машиниста. Освещенность приборов каждой панели должна быть неодинаковой (58 лк на панели дизеля, 150 лк на панели котла и т. д.).

На световой комфорт большое влияние оказывают взаимодействие света с фактурой поверхности, цветом и другими свойствами объекта: уровень освещенности (при одной и той же мощности светильника), контраст, фон, величина отражения и др. При прочих равных условиях объекты светло-желтого цвета отражают от своей поверхности 75 % падающего света, а темно-зеленого, каштанового, огненно-красного, соответственно 14, 7,7 и 7 %. Ясно, что преобладание темно-зеленого цвета не будет способствовать созданию светового комфорта, высокой естественной культуры труда, росту его эффективности и безопасности.

Научно обоснованная разработка системы освещения, создание светового комфорта на рабочих местах и в производственной среде предполагают соответствующее цветовое оформление с окраской оборудования в следующие цвета: поверхности корпусов машин — в серый цвет; непосредственно рабочую зону техники — в темно-желтый, бурый; горячие трубы, шланговые сочленения, паровые магистрали — в красный; транспортные средства (краны, погрузчики, транспортеры) — в ярко-желтый; более крупные транспортные средства, передвижные агрегаты, транспортные подъемники — в темно-желтый с желто-черными полосами; вспомогательное оборудование — в желтый; внешние поверхности электроустановок распределительных коробок — в синий; внутренние поверхности электроаппаратов, пускателей и т. п. — в оранжевый.

При выборе цветов многоцветного фона рекомендуется предпочитать цвет, составляющий наибольший контраст со всеми цветами фона; шире использовать светящиеся краски; применять чистые цвета, а не полтона.

§ 5. Общие требования безопасности технологических процессов и оборудования

Развитие нефтегазодобывающей отрасли промышленности характеризуется ростом единичных мощностей, укрупнением и комбинированием технологических установок (при подготовке и хранении нефти и газа), применением научно обоснованного способа повышения нефтегазоотдачи пластов, комплексной автоматизацией производств. Использование герметичного оборудования и коммуникационных линий, высоконадежной арматуры на устье скважин, сокращение числа насосов, компрессоров, промежуточных емкостей, фланцевых соединений и т. д. позволило уменьшить объемы вредных выбросов, упростить и облегчить (применение блочного строительства) монтажные и ремонтные работы. Все это заметно улучшило условия труда, повысило его производительность, создало новые возможности для автоматизации производства и сократило численность обслуживающего персонала.

За последние годы разработан и внедрен ряд мер по значительному совершенствованию пожаро-взрывозащиты, предотвращению и подавлению открытого фонтанирования скважин и других крупных аварий.

Вместе с тем новая более сложная техника и технология предъявляют более высокие требования к человеку и среде. Десятикратный рост единичных мощностей установок, машин, механизмов в технологическом процессе предъявляют повышенные требования к их технологической, параметрической и другой «совместимости». Широкое применение современного оборудования, работающего при высоких температурах, давлениях и скоростях, выдвинуло задачу научно обоснованного оснащения его надежными средствами индикации и защиты, контрольно-измерительными приборами, предохранительными, сигнализационными, регулирующими, отключающими и другими устройствами с высокой чувствительностью, с заданными пределами и временем срабатывания.

Выбор схемы технологического процесса и оборудования в каждом конкретном случае требует научной проработки, глубокого инженерного обоснования. Внедрению новой технологии должна предшествовать опытно-промышленная апробация ее с комплексной оценкой надежности, безопасности всех компонентов и целостной производственной системы, соответствие ее стандартам, экологическим, техническим, экономическим и другим требованиям. Во всех случаях новая технология не должна

требовать от человека тяжелой, опасной работы, контакта с ядовитыми веществами, пребывания в неблагоприятных условиях. Все машины, механизмы, технологические процессы и операции, разработанные без учета основных требований человека, неприемлемы.

Современная техника должна исключать самую возможность зарождения и проявления производственных опасностей и профессиональных вредностей. Для этого каждая отдельная установка и целостная система оснащаются необходимыми контрольными, сигнализационными, регулируемыми, отключающими и защитными средствами. Надежность машины проверяется в структуре функционирующей человеко-машинной системы. Учет при разработке ее конструкции непостоянства свойств и работоспособности человека — необходимое условие безопасности труда.

С целью улучшения условий монтажных, ремонтных, тяжелых работ предусматриваются мощные краны, мачты, тали. Строительство технологических установок выполняется на основе индустриальных методов (колонны, крупные узлы комплектуются на заводе).

Состав атмосферы, технологические параметры, заполнение емкостей, объемы вредных выбросов и др. непрерывно контролируются. Каждый случай выхода системы за пределы оптимальных параметров отмечается специальным сигналом.

Современный технологический процесс должен быть безотходным на всех стадиях и на выходе или давать минимум отходов, по возможности в нем не должны использоваться токсичные, взрыво-пожароопасные, агрессивные вещества (или он должен обходиться их минимальным количеством), он должен быть непрерывным или иметь высокую степень непрерывности.

В периодических процессах после каждой операции необходимы остановки, выгрузка, загрузка и снова операция. На каждой стадии выделяются дым, копоть, теплота и т. д. В непрерывных процессах эти вредности исключаются. Для них характерны устойчивость, равномерность, постоянство, при которых имеется возможность герметизации оборудования, упрощается регулирование параметров, автоматизация и т. д. Непрерывные технологические процессы во всех случаях предпочтительны.

Технологические процессы, осуществление которых возможно при концентрации взрывоопасных веществ в установках ниже нижнего (НПВ) или выше верхнего (ВПВ) пределов, позволяют предотвращать взрывы и пожары и при прочих равных условиях должны быть предпочтительными.

Производственные объекты считаются взрывоопасными, если концентрация горючих газов в их технологической системе превышает 0,6 НПВ. Аварийный сигнал об опасности включается при концентрации горючих газов 20—50 % НПВ.

Поддержание безопасных концентраций взрыво-пожароопасных веществ в аппаратах, на установках, на рабочих местах обеспечивается путем подбора и регулирования соотношений объемов, скоростей подачи, давлений, температур и других показателей. Если поддержание безопасных концентраций горючих смесей затруднительно, следует замедлять или останавливать нежелательные направления реакций в установках путем флегматизации горючих смесей — разбавления их до концентрации ниже 20 % НПВ. В качестве активных флегматизаторов (инертных газов), обрывающих цепные реакции горения и взрыва, используются азот, двуокись углерода, водяной пар (при концентрации более 10 %). Флегматизаторы, не влияющие на технологический процесс, могут вводиться в технологические аппараты заблаговременно.

Инертные газы широко используются также для продувки технологических аппаратов перед пуском их в работу, заполнения емкостей вместо воздуха и т. п.

При увеличении давления диапазон взрываемости горючих смесей между НПВ и ВПВ расширяется, при понижении, напротив, сужается. В вакууме взрыв может вообще исключаться, так как выделение горючих газов, пылей, паров прекращается, процессы дистилляции, ректификации и др. протекают в данном случае при более низкой температуре. Одновременно устраняются опасность термического разложения веществ, их перегрев и взрывоопасность. Вместе с тем при работе под вакуумом необходим тщательный контроль за герметичностью. При подсосе воздуха в газопроводе, сосуде может образоваться взрывоопасная смесь.

Для удаления ядовитых, агрессивных, взрывоопасных газов из газопроводов технологических установок предусмотрены системы сброса и ликвидации сбросов (сброс через предохранительные клапаны, устройства для стравливания избыточного давления, сброс в атмосферу на высоте) и отдувки.

Весьма эффективно во многих случаях для предотвращения образования взрывоопасных смесей выносить технологические установки, оборудование на открытые продуваемые и доступные для транспортных средств площадки, а помещения оборудовать системой контроля и управления составом воздуха. Выполнение всех этих требований значительно повышает безопасность технологических процессов и оборудования.

§ 6. Безопасность сосудов, работающих под давлением

В нефтяной и газовой промышленности широкое применение находят сосуды и аппараты, работающие под давлением (котельные и компрессорные установки, нефте- и газопроводы, бойлеры, переносные баллоны разной емкости и т. д.), относящиеся

к видам производственного оборудования с повышенной опасностью.

Под сосудом, работающим под давлением (более 70 кПа), имеется в виду герметически закрытая емкость с объемом не меньше 25 л и значением произведения давления на объем не менее 200, предназначенная для проведения химических и тепловых процессов, для хранения и перевозки жидкостей и газов.

На такое оборудование утверждены и рекомендованы в качестве обязательных технические условия, нормы проектирования и правила устройства, основными из которых являются Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением, Нормы расчета элементов паровых котлов на прочность.

В паровых котлах, работающих под давлением выше 70 кПа и контролируемых Котлонадзором, имеется опасность взрыва из-за вскипания перегретой воды при внезапном снижении давления до атмосферного. Причиной снижения давления может быть нарушение целостности стенок из-за низкого качества металла, наличия дефектов в его структуре, чрезмерного давления пара, пониженного уровня воды, приводящего к перегреву стенок котла и т. д. При разрыве котла находящаяся в нем нагретая вода мгновенно испаряется, образует огромное количество пара, аднабатически расширяющегося с большой силой и скоростью.

Газовый баллон может взорваться от чрезмерного давления в нем, возникающего при ударе, перегреве и от других причин. Паровые котлы, газовые баллоны и другие сосуды в случае их разрыва при аварийном истечении газа под действием реактивной тяги преодолевают с большой скоростью относительно большие расстояния (20—50 м), разрушают здания, травмируют людей.

Для исключения этих опасных производственных ситуаций разработаны и строго выполняются в соответствии с правилами регламентированные требования к конструкции, изготовлению, монтажу аппаратов, установке арматуры, приборов, вспомогательному оборудованию, помещению и уровню подготовки обслуживающего персонала. В качестве важной профилактической меры предусматривается также регистрация и периодическое техническое освидетельствование сосудов, работающих под давлением, представителями Госгортехнадзора.

Баллоны изготовляют из бесшовных стальных труб (углеродистая сталь с нормальной мелкозернистой структурой, без внутренних напряжений). Каждый баллон имеет на горловине отверстие с конической резьбой, запорный вентиль, металлический колпак для закрывания горловины, башмак для установки в вертикальном положении. Для отбора газа служат редукторы с манометром и предохранительным клапаном.

Механическая прочность, размеры и толщина стенок баллонов, а также сроки и методика испытаний предусмотрены соответствующими правилами. На каждом баллоне ставится клеймо завода-изготовителя и специальный знак. Баллоны имеют разную маркировку (название газа) и окраску.

Безопасность эксплуатации баллонов обеспечивается предупреждением нагрева, ударов, поддержанием герметичности и предотвращением засорения отверстия и загрязнения поверхности.

Перед использованием баллона необходимо проверить его исправность, наличие клейма, отсутствие загрязненности.

Использование баллона допускается до остаточного давления $1,5 \cdot 10^5$ Па.

Все сосуды, работающие под давлением (котлы, баллоны и др.), снабжены современными средствами контроля за технологическими параметрами, состоянием рабочей среды. В процессе изготовления перед установкой и при эксплуатации предусмотрены гидравлические испытания, периодическое техническое освидетельствование сосудов со 100%-ной проверкой качества сварных швов.

§ 7. Безопасность подъемно-транспортных систем

Разнообразные подъемно-транспортные устройства (краны, лебедки, погрузчики, передвижные агрегаты, автомобили, тракторы-подъемники и др.) составляют большую часть современных средств механизации при разработке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений.

Исследования показывают, что случаи травматизма при выполнении подъемно-транспортных работ чаще всего происходят из-за допуска к управлению недостаточно обученных лиц, потери устойчивости крана и других устройств, произвольного движения подъемного устройства во время работы, разрыва каната, поломки шкива, превышения норм нагрузки, чрезмерных напряжений, развивающихся под влиянием инерционных сил.

Все подъемные устройства и вспомогательное оборудование до начала эксплуатации в обязательном порядке регистрируются в соответствующем подразделении Госгортехнадзора и периодически (один раз в год) подвергаются техническому освидетельствованию и испытанию.

Всякое подъемное устройство (стационарные и передвижные краны, автопогрузчики и т. д.) обязательно оборудуется защитным устройством от перегруза (по грузу и предельно допустимому опрокидывающему моменту), ограничителем перемещения и подъема, ограничителем скорости движения, вращения и подъема (поперечные и продольные краны), тормозными устройствами, а также средствами контроля качества изоляции, прочности несущих канатов и конструкций и т. д.

Устойчивость подъемного устройства можно характеризовать коэффициентом устойчивости $K_{уст.}$, рассчитываемым по формуле

$$K_{уст.} = \frac{M_{о.с.}}{M_{у.с.}},$$

где $M_{о.с.}$ — сумма моментов опрокидывающих сил; $M_{у.с.}$ — сумма моментов удерживающих сил.

Опрокидывающая сила W , возникающая при воздействии ветра, определяется по формуле

$$W = kFq,$$

где k — коэффициент обтекания (изменяется от 1 до 1,4); F — парусность подъемного устройства (суммарное сечение, перпендикулярное к направлению ветра); q — удельный напор ветра (максимально возможный равен $15,0 \text{ Н/м}^2$).

Несущие канаты рассчитываются на условие разрыва $P_{пр}$ (в зависимости от назначения подъемного устройства с запасом прочности от 3 до 15) по формуле

$$P_{пр} = \frac{P_p}{S},$$

где P_p — предел прочности на разрыв; S — предельная нагрузка.

Наиболее ответственные элементы в грузоподъемных кранах — грузозахватные органы, барабаны, тормоза; в автомашинах — тормоза и рулевое устройство. Разработаны специальные технические условия на изготовление, проверку и обслуживание этих устройств. Обслуживание доверяется лицам не моложе 18 лет, прошедшим специальную подготовку, имеющим удостоверение на право управления транспортными средствами.

Особое внимание уделяется безопасности транспортных средств, предназначенных для перевозки людей (лифты, автомобили). Для этих средств установлены нормы загрузки, сроки и виды испытаний, правила пользования, повышенные значения коэффициентов запаса прочности и др. Все подъемно-транспортные средства в строгом соответствии с регламентациями оборудуются средствами блокировки, защиты, сигнализации, дистанционного управления и автоматизации.

Механизмы, подъемно-транспортные и другие средства, применяемые при бурении скважин, должны соответствовать эргономическим нормативам: 1) по точности — рычаги управления механизмами должны располагаться в оптимальной моторной зоне, форма и размеры рукояток согласуются с анатомическим строением рук. Манипулирование ими не должно требовать чрезмерных усилий от работающих: при манипулировании рычагом пневмораскрепителя должны полностью исключаться случайные включения крана лебедки на подъем и т. д.; 2) по

надежности — многие рычаги управления должны иметь надежные фиксаторы. При подъеме талевого блока, «расхаживании» бурового инструмента в скважине не должен срабатывать противозатаскиватель талевого блока под крон-блок, отбрасываться трос, срезаться шпилька и т. д.; 3) по быстродействию — при установке свечи на подсвечник помощники бурильщика не должны вручную перемещать ее (на 2—4 м), затрачивать на это свое рабочее время; 4) по производительности труда — производительность труда в сопряженных технологических операциях (буровые насосы, машинные и автоматические буровые ключи АКБ-3, пневматические роторные клинья, подвижная часть талевого системы и др.) должна в полной мере согласовываться с фактическими возможностями человека и требованиями функционирующей системы.

Аналогичное соответствие должно обеспечиваться и при работе с предохранительными клапанами на резервуарах, задвижками на булитах, трубопроводами для закачки воды в пласт и др.

Разностороннее согласование техники со свойствами человека необходимо и при работе с механизированными буровыми ключами АКБ-3, управлении буровой лебедкой, буровым насосом, тележкой для загрузки глиномешалки, обслуживании станка-качалки, сепараторов и др.

§ 8. Оценка безопасности нефтегазодобывающего производства

В нефтяной и газовой промышленности случаи травматизма по основным производственным процессам распределяются следующим образом: ремонт и обслуживание промыслового оборудования, в том числе текущий и капитальный ремонт скважин, — более 40—50 %: транспортирование, хранение и первичная подготовка нефти и газа — 3,5—7,0 %, работы с электроустановками¹ и ЛЭП — 3,5—7,0 %, работы с транспортными средствами — 13—15 %, подсобные работы — 30—32 %. Основное число несчастных случаев происходит при авариях на транспорте, перемещении тяжестей, падении людей и предметов с высоты, при обращении с электрическим током, при взрывах и пожарах. Наиболее опасными производственными операциями при разработке нефтяных и газовых месторождений являются: спуско-подъемные (укладка труб и насосов, свинчивание, развинчивание и подъем труб и штанг с мостков), подготовительные работы (монтаж, демонтаж), канатная подвеска противofонтанной арматуры, погрузочно-разгрузочные работы, установка на устье спецагрегатов и спецоборудования.

¹ 90 % электроустановок используют в бурении, добыче нефти и газа.

При ремонтных работах случаев травматизма обычно обусловлены конструктивными недостатками оборудования, отсутствием средств малой механизации и использованием неисправных инструментов, недостаточной подготовкой персонала.

• Опасными видами работ, при выполнении которых происходит наибольшее число травм, являются следующие.

При фонтанном способе добычи нефти: обвязка затрубного пространства скважины с выкидной линией; смена штуцера для регулировки добычи нефти из-за жесткого соединения арматуры с манифольдом (при этом возможен прорыв нефти и газа через неплотности в соединениях устьевого обвязки); сварочные работы на устье, установка тяжелой, неустойчивой устьевого арматуры при высоких давлениях и открытом фонтанировании и др.

При газлифтном способе добычи нефти: эксплуатация скважин (30—40 % всех несчастных случаев); обслуживание компрессорных станций, газо- и воздухораспределительных будок и газоподводящих линий и др.

При этом способе добычи нефти и газа несчастные случаи связаны обычно с неправильной эксплуатацией или неисправностью технологического оборудования, с несоблюдением порядка выполнения работ (разрывы устьевого оборудования, обрывы колонн, взрывы газозооных смесей и др.).

При насосном способе добычи нефти травмоопасными видами работ остаются: осмотр и обслуживание станков-качалок (при смазке и ремонте, при откидывании головки балансира, при недостаточном использовании средств механизации, отсутствии ограждений подвижной штанги и других вращающихся узлов). Опасные зоны создаются на устье скважины в процессе монтажа и демонтажа канатной подвески, при ловле всасывающего клапана, насоса и т. д.

В добыче нефти с помощью электроцентробежных насосов (ЭЦН) опасность возникает при обрыве труб и кабеля, падении оттяжного ролика, монтаже ЭЦН, погрузке, разгрузке, транспортировании барабана с кабелем, электродвигателя и др.; при соединении узлов друг с другом и кабеля с электросетью; при монтаже, демонтаже, ремонте и палатке ЭЦН и системы управления; из-за продольного растяжения, отвинчивания и поломки труб, например, при воздействии вибрации и др.

В процессе сбора и подготовки нефти и газа: на комплексе сооружений, технологических установок, коммуникационных линий по транспортированию нефти, газа и промышленных сточных вод.

Несчастные случаи, взрывы и пожары нередко обусловлены чрезмерной плотностью расположения оборудования на блочных технологических участках, высокой загазованностью атмосферы в резервуарных парках, наличием газовых факелов и большим объемом выбрасываемых токсичных веществ, отсут-

ствием средств малой механизации и при работах по очистке резервуаров, замерах уровней в емкостях, отборе проб, неправильной эксплуатацией потенциально взрыво-пожароопасного оборудования (в мотокомпрессоре — газ под давлением и источник воспламенения располагаются в одном агрегате), превышением расчетных давлений в процессе заводнения продуктивных пластов.

Травмоопасные факторы имеются также в процессах бурения и капитального подземного ремонта скважин.

Подлинная безопасность труда в структуре сложного нефтедобывающего производственного комплекса возможна только при условии многоплановой оптимизации человеко-машинных систем разного уровня организации.

§ 9. Автоматизированные системы управления технологическими процессами и роботы

Широкое внедрение ЭВМ в технологические процессы резко повысило надежность работы производственных объектов, обеспечило максимальную централизацию контроля и регулирования, облегчило на всех стадиях процессов (пуск, нормальная эксплуатация, остановка и аварийный режим) деятельность операторов в структуре человеко-машинных систем. При этом более полно согласуются физические, психофизиологические и психические свойства человека с выполняемой им работой, уровнем требований, которые предъявляются ему к его профессиональным навыкам и свойствам.

В структуре современной автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУТП) выделяют две подсистемы:

а) локального авторегулирования, контроля, автоматической защиты и дистанционного управления; б) управляющего вычислительного комплекса, состоящего из двух и более дублирующих друг друга ЭВМ. Эти подсистемы выполняют автоматическое регулирование параметров технологических процессов в целом с помощью электронных регуляторов; регистрацию основных параметров на самопишущих приборах; химический анализ нефти, газа и продуктов на потоке; дистанционное управление регулирующей и запорной арматурой; подачу сигналов предупредительной и аварийной сигнализаций в случае отклонения параметров от допустимых значений; формирование информации о состоянии технологического оборудования; автоматическую защиту оборудования в период аварийных отклонений технологических параметров и другие операции.

Кроме того, ЭВМ контролируют деятельность человека при всех режимах работы машин, агрегатов, включая их остановку и пуск, при необходимости вмешиваются в работу оператора (в случае его неправильных действий), системы управления и

диагностируют все важные неполадки в элементах производственного комплекса.

Все это позволило значительно повысить безопасность технологических процессов, резко сократить численность обслуживающего персонала, заменить людей во вредных и опасных зонах автоматами, манипуляторами, роботами, эффективно управлять условиями труда.

С помощью ЭВМ можно контролировать и изучать причины и условия образования вредных веществ, загрязнения окружающей среды, материальный и тепловой балансы технологических процессов и др.

Внедрение АСУТП позволяет резко повысить производительность труда. Так, по данным, опубликованным в США, внедрение ЭВМ в нефтеперерабатывающей отрасли позволило сократить численность производственного персонала на 40 тыс. человек; в металлургии — на 50 тыс.; в Министерстве электростанций — на 395 тыс. человек. Одна ЭВМ по управлению технологическими процессами в обрабатывающей промышленности высвобождает 1000 человек; один станок с программным числовым управлением — от 3 до 8 станочников и т. д. Исследования по изучению влияния автоматизации на численность работающих в 37 отраслях промышленности США показали возможность сокращения занятости в них на 6,25 %, или на 1,5 млн. человек.

В производстве постоянно увеличивается число рабочих мест с опасными и вредными условиями труда. На помощь человеку в этих случаях приходят промышленные роботы.

Под промышленным роботом понимают обычно устройство, воспроизводящее действия, подобные человеческим. Все возрастающее производство промышленных роботов во всех развитых странах мира обусловлено в настоящее время: дефицитом рабочей силы (в среднем 15 %); высоким уровнем травматизма (1 случай на 100 человек); необходимостью выполнения опасных, тяжелых, монотонных, «непрестижных» работ (в почное время, в стесненных условиях, во вредной атмосфере и др.). Наиболее перспективно применение роботов в непрерывном производстве, в системах комплексной автоматизации, при широком внедрении АСУТП. Если учесть, что в настоящее время во всех странах мира в среднем 50 % работающих заняты ручным трудом и что один робот в зависимости от сменности заменяет от одного до восьми человек, будущее роботов и огромная потребность в них становятся очевидными.

Создание роботов в промышленности предполагает одновременное создание роботизированных производственных объектов, процессов, производств (перестройка технологии, оборудования, организации и управления и др.). В нефтегазодобывающей промышленности, где относительно велик удельный вес тяжелых, опасных, монотонных работ (бурение скважин, добыча, подго-

товка и транспортирование нефти и газа, текущий и капитальный ремонт скважин и т. д.), роботы, способные воспринимать информацию, и роботы-манипуляторы могут найти широкое применение.

В огромном семействе роботов выделяют:

— механические устройства с ограниченными возможностями по восприятию производственной среды (детерминированного окружения) — роботы первого поколения;

— устройства с более гибкой системой для восприятия информации и организации обратной связи, оснащенные техническими органами чувств от осязания до телевизионного зрения — и с развитой алгоритмической системой, обеспечивающей выполнение действий — недетерминированное окружение (второе поколение роботов).

Одновременное использование роботов первого и второго поколений позволяет автоматизировать все виды ручных работ в промышленности.

Системы интегральных роботов (искусственный интеллект) способны обрабатывать информацию и принимать в определенной степени «разумные» решения, выполнять эти решения, производя необходимые преобразования среды и соответствующие перемещения в ней — возможность автономного целенаправленного поведения в меняющейся обстановке (роботы третьего поколения). В настоящее время «интеллектуальные» роботы реализованы пока что в виде математических и лабораторных моделей, обладающих элементами искусственного интеллекта.

Широкое применение роботов на основных производственных объектах нефтяной и газовой промышленности позволит комплексно автоматизировать многие опасные технологические процессы, тяжелые виды работ, модернизировать устаревшее производство — отказаться от ручных работ, высвободить и более рационально использовать трудовые ресурсы, улучшить условия труда. Все это уменьшит число профессиональных заболеваний и производственных несчастных случаев, сократит расходы на охрану труда и социальное обеспечение, текучесть кадров по причине неблагоприятных условий труда. Известно, что использование одного робота в течение года позволяет сэкономить 4—9 тыс. руб. государственных средств, на 25—30 % снижает затраты на подготовительные работы, в 3—4 раза повышает производительность труда при их групповом применении.

Необходимо усилить в нефтяной и газовой промышленности разработку роботизированных технологических единиц (где робот обслуживает одну или несколько единиц основного оборудования или выполняет основную технологическую операцию) для создания на их основе типовых технологических участков с применением отдельных модулей роботов в составе основного технологического оборудования.

§ 1. Влияние деятельности человека на окружающую среду

Все возрастающие масштабы производственной деятельности человека, характерные для периода научно-технической революции (НТР), и воздействие этого фактора (названного антропогенным) на окружающую среду нарушили естественный круговорот веществ и энергии в природе.

Под воздействием огромного по масштабам современного производства (техносферы) изменяются климат нашей планеты, химический состав воздуха, воды и почвы, структура недр, защитные функции океана и др. Глубокие изменения произошли во взаимоотношениях между человеческим обществом и природой, в обменных процессах, которые лежат в основе этих взаимоотношений. Посредством труда человек контролирует и регулирует эти обменные процессы. Роль производственной деятельности людей в этом обмене все более возрастает.

Человечество, взятое в целом, превратилось, по словам академика В. И. Вернадского, в «мощную геологическую силу». Под натиском этой силы истощаются невозобновляемые запасы полезных ископаемых (нефти, газа), разрушаются и превращаются в пустыни огромные площади плодородной земли (эрозия почв), исчезают многие виды животных и птиц. Проблема охраны окружающей среды стала наиболее актуальной и сложной общечеловеческой проблемой. К разработке ее подключились ученые самых разных профессий большинства стран мира.

Наука, занимающаяся исследованием взаимосвязи и взаимодействия человека и других организмов с окружающей средой, рационального использования и расширенного воспроизводства биологических ресурсов, называется экологией.

Народ, группа людей, группа особей любого вида организмов растительного и животного мира в экологии называется популяцией. Взаимодействие человека, других видов со средой (энергией, веществом) на каждом уровне (ген, клетка, орган, организм, популяция, сообщество) создает экосистему — основной объект изучения современной экологии. Оптимизация этих систем и экосистемы всей Земли на всех уровнях составляет основную задачу этой науки.

§ 2. Экология крупных промышленных комплексов

Крупные промышленные комплексы преобразуют почти все компоненты природы (воздух, воду, почву, растительный, животный мир и т. д.). В атмосферу, водоемы и почву ежегодно выбрасывается ~700 млн. т пыли, окислов азота, сернистого ангидрида и других ядовитых веществ (всего 250 наименований).

В числе их есть мутагены (вещества, влияющие на наследственность), канцерогены (способствующие зарождению и развитию злокачественных новообразований), аллергены и др. Концентрация их в воздухе (например, в Нью-Йорке, Анкаре) в 3—10 раз превышает ПДК. Загрязненный дымом, пылью, сернистым и другими газами воздух обеднен кислородом и пропускает на 30—50 % меньше ультрафиолетовых солнечных лучей по сравнению с чистым воздухом. Недостаток солнечного света (жители ряда столиц мира неделями не видят солнца) создает благоприятные условия для размножения бактерий, вызывающих заболевания человека, животных, растений, разрушение технических сооружений и жилых домов.

По данным английских ученых, за последние 20 лет число заболеваний раком легких в их стране увеличилось на 400 %. Частота раковых заболеваний, а также хронических бронхитов, эмфиземы легких и др. пропорциональна числу труб в городе и на промышленных объектах, загрязняющих воздух. В Токио ученые насчитали 100 тыс. труб, из которых за один год выбрасывается 1,7 млн. т газообразных отходов. Взвешенная в воздухе пыль абсорбирует ядовитые газы, образует плотный, токсичный туман (смог), который на 20—30 мм в год увеличивает, по сравнению с сельской местностью, количество осадков. Насыщенные сернистыми, азотистыми и другими соединениями осадки промышленных центров образуют кислоты и становятся агрессивными. В виде дождя и снега они не проникают через водонепроницаемые дорожные, строительные и другие покрытия из асфальта, бетона в почву, в связи с этим уменьшаются подземные стоки воды, изменяется водный баланс недр под промышленными центрами. По этой причине отмечается неравномерное оседание поверхности Земли (за последние 35 лет столица Мексики, например, осела на 7 м, а 35 км² территории Токио опустились ниже уровня моря).

Асфальтированные промышленные площадки и мостовые, здания, сооружения и др. в летнее время сильно нагреваются (дорожный асфальт в Анкаре, например, нагревается до +70 °С). В ночное время накопленная ими теплота в большом количестве (города Англии занимают 8 %, а леса только 7 % ее территории) передается атмосфере. Температура воздуха в центре промышленных комплексов на 1—2 °С в полдень и на 5—8 °С вечером выше, чем в окрестной сельской местности.

По данным ученых США, 102 млн. американцев, в том числе жители Вашингтона, живут и работают в отравленном воздухе. Особенно тяжелое состояние характерно для густонаселенных кварталов, вблизи крупных промышленных предприятий. Характерно, что в этих кварталах резко сокращается срок жизни деревьев и другой растительности.

При испытаниях атомного оружия на Землю выбрасываются огромные количества радиоактивных излучений. Среди жителей

Земли сегодня нет человека, в организме которого не было бы избыточного количества радиоактивных веществ.

Во многих странах и промышленных центрах мира все острее ощущается дефицит чистой питьевой воды. Источники воды все чаще выполняют одновременно функции систем водозабора и канализации. Сточные воды, содержащие минеральные и органические вещества, нередко и ядовитые соединения ртути, калия, свинца во многих случаях не очищаются полностью. Попадая в реки, прибрежные воды морей, они отравляют рыбу, животных, иногда и население. Качество питьевой воды не всегда согласуется с санитарными требованиями. Все это отрицательно влияет на здоровье и работоспособность человека.

Особую опасность представляет для человека шум. В Великобритании, например, один из четырех мужчин и одна из трех женщин из-за высокого уровня шума больны неврозами. Ученые Австрии установили, что шум сокращает жизнь городских жителей на 8—12 лет. Это происходит и в том случае, когда человек не реагирует на шум, не замечает его.

Ежегодно в атмосферу от сжигания топлива поступает $7,9 \cdot 10^5$ кДж теплоты и 0,8—1,0 млрд. т продуктов неполного сгорания. В сочетании с огромным количеством углекислого газа эти выбросы нарушают термостатическое состояние биосферы, метеорологические и другие условия обитания всех живых существ.

По прогнозу, в 2000 г. человечество будет потреблять половину объема всей восстанавливающейся на суше воды. Огромное количество ее используется в промышленности. Так, на производство 1 т серной кислоты затрачивается 60—130 т воды, 1 т бумаги — 250 т, переработку 1 т нефти — от 3 до 40 т, 1 т никеля — 850 т. При очистке 1 т капролактана образуется около 5 тыс. т сточных вод. Один человек в течение года на комплексное удовлетворение своих нужд расходует 2700 т воды.

Если учесть, что в 2000 г. на Земле будут жить 7 млрд. человек, актуальность проблемы обеспечения водой становится очевидной. Она значительно усиливается еще и тем, что 100 г нефти, попадая в воду, делает 8 тыс. л чистой воды непригодной для употребления.

В общем объеме вредных веществ, загрязняющих окружающую среду на нашей планете, 40 % составляют вредные выбросы в США. Около 60 % вредных веществ в атмосферный воздух поступает здесь от автотранспорта, 16 % — от промышленности, 14 % — от электростанций, 6 % — из труб отопительных систем и 4 % — от переработки отходов. В течение года в США разрабатывается более 500 новых химических веществ и без необходимой экологической оценки организуется их серийное производство. Масштабы накопления веществ, не участвующих в природных обменных процессах, огромны. Опасность их для человека трудно переоценить.

§ 3. Рациональное использование запасов нефти и газа

Эффективная охрана природы возможна только при рациональном использовании природных ресурсов. Это стало особенно актуально на современном этапе научно-технической революции, когда за одни сутки человечество потребляет такое количество топлива, которое природа способна синтезировать за тысячу лет. При увеличении населения с 1860 по 1960 гг. в 2,5 раза потребление энергии возросло более чем в 4 раза. В 1971 г. на каждого жителя Земли требовалось 1,8 т условного топлива¹, к концу XX века этот показатель возрастет в 3 раза.

В зависимости от размера запасов и возможности их восстановления в обозримом будущем природные ресурсы делятся на исчерпаемые и неисчерпаемые. Исчерпаемые, в свою очередь, подразделяются на возобновимые (почва, растительный и животный мир, некоторые минеральные соли в озерах и морских лагунах) и невозобновимые, к числу которых относятся нефть и газ. Они должны использоваться особенно рационально. В общих запасах природного топлива уголь составляет 70 %, а нефть — всего 10 %. Потребности же людей в топливе в настоящее время на 70 % удовлетворяются за счет нефти и только на 10 % — за счет угля.

В ряде крупных капиталистических стран мира национальные запасы нефти находятся на стадии истощения. Япония, например, при ежегодном потреблении нефти 260 млн. т на своей территории добывает всего 1 млн. т, Франция при таком же объеме добычи собственной нефти потребляет 120 млн. т., ФРГ при добыче 6 млн. т потребляет 100 млн. т, США при добыче 400 млн. т потребляют 780 млн. т. Уже в настоящее время актуальной задачей является скорейшее освоение альтернативных видов энергии, ускорение открытия новых запасов нефти.

Нефть и нефтепродукты в настоящее время являются основными компонентами сточных вод. Ежегодно в океан сбрасывается более 2 млн. т нефти, около 9 млн. т углеводородов выпадает с осадками из атмосферы. Одна пятая часть поверхности Мирового океана постоянно покрыта нефтяной пленкой наряду с огромными количествами загрязнений, которые выносятся в моря и океаны водами рек (за год реки Великобритании сбрасывают в море $6 \cdot 10^5$ т отходов, «свалкой международного значения» стала река Рейн).

Человек может правильно использовать природные богатства только тогда, когда он познает законы природы, овладевает теоретическими основами современной экологии. Нарушение одного звена в сложном процессе обмена веществ между

¹ 1 т каменного угля принята в качестве 1 т условного топлива. По отношению к этому эквиваленту 1 т нефти равна 1,4 т условного топлива, 1000 м³ газа — 1,3 т; 1 т бурового угля — 0,4 т.

разными уровнями организации жизни может дать отрицательные последствия в двенадцатом или еще более отдаленном непредвиденном звене.

Охрана природы как научная область раскрывает сущность экологических процессов, дает возможность предвидеть возможные последствия нарушения экологического равновесия и принимать правильные решения и эффективные меры по его восстановлению.

§ 4. Охрана природы при разработке нефтяных и газовых месторождений

Нефтяная и газовая промышленность остается одной из наиболее опасных отраслей производства по загрязнению окружающей среды. По глубине и тяжести воздействия на основные компоненты природы (воздух, воду, почву, растительный и животный мир и человека) эта отрасль, например, по данным, полученным в США, занимает третье — четвертое место в числе 130 обследованных отраслей промышленности.

Наиболее актуальными для современного нефтегазодобывающего производства продолжают оставаться три группы взаимосвязанных экологических проблем:

1) истощение запасов нефти и газа и пополнение их за счет открытия новых месторождений;

2) предотвращение загрязнения окружающей среды;

3) обеспечение естественного экологического равновесия, сохранения ландшафтов.

Применительно к разработке нефтяных и газовых месторождений в рамках этих проблем можно выделить следующие природоохранительные задачи:

1) значительное повышение нефте- и газоотдачи пластов за счет внедрения новых и наиболее эффективных современных методов интенсификации добычи;

2) предотвращение образования открытых нефтяных и газовых фонтанов, а также потерь нефти и газа в процессе добычи, подготовки, транспортирования и переработки;

3) исключение возможности неконтролируемого обводнения и других вредных влияний на месторождения;

4) сохранение чистоты атмосферы, почвы, водоемов, водоносных горизонтов, подрусловых потоков;

5) очистка и утилизация сточных вод, использование, захоронение, уничтожение отходов;

6) комплексное рациональное использование природных жидких и газообразных углеводородов, попутного нефтяного газа и других веществ, предотвращение потерь, утечек нефти и газа.

При современных способах разработки около 50—60 % разведанных запасов нефти и 30—40 % природного газа остаются

неизвлеченными из недр. Около 10—14 % нефти и газа теряются в процессах добычи, подготовки, переработки и транспортирования.

Огромный вред всем компонентам окружающей среды наносится утечками (выбросами) нефти. Объекты, на которых происходят утечки, и их удельный вклад в загрязнения водоемов характеризуются (на примере США) следующими данными: суда (танкеры) — 41 %, наземный транспорт — 1,2 %, нефтеперерабатывающие заводы — 2,5 %, нефтебазы — 5,1 %, морские сооружения — 7,5 %, другие источники — 17,4 %, неизвестные источники — 2,8 %. Концентрация нефти в сточных пластовых водах колеблется в пределах 15—1000 мг/л. При одном порыве нефтепровода выбрасывается в среднем 2 т нефти и приводится в негодность 0,1 га земли и т. д.

Основными источниками вредных выбросов в окружающую среду являются: открытое фонтанирование, аварии на транспорте, разливы и утечки из аппаратов и емкостей, порывы водоводов и нефте-, газо-, конденсато- продуктопроводов, сжигание газа и конденсата на факелах, разгерметизация технологического оборудования и т. д. Вредные выбросы в атмосферу происходят также в процессе очистки нефти от серы и сернистых соединений, обессоливания и обезвоживания нефти, сепарации газа, стабилизации конденсата и других технологических процессах. При комплексной подготовке сероводородсодержащего газа основной объем вредных веществ выделяется через неплотности в технологическом оборудовании.

Исключительно важное природоохранительное значение имеет проблема оптимизации технологических процессов и операций по добыче, подготовке, переработке, транспортированию и хранению нефти и газа.

Использование в качестве топлива, а также переработка природных углеводородов должны реализоваться при высоких к. п. д. с обязательным выделением легких фракций, ценных неуглеводородных компонентов (гелия, сернистых соединений и т. п.). Эффективная технология с использованием совершенного оборудования является одним из главных путей снижения экологической опасности производственных объектов нефтяной и газовой промышленности. Достижение максимального отбора нефти и газа, их извлечение и утилизация при минимальных затратах — важнейшие задачи, которые должны решаться при разработке месторождений природных углеводородов. Рациональное использование нефти и газа, устранение потерь и утечек диктуется как экономическими, так и экологическими соображениями и включают три направления:

- максимальное извлечение нефти и других веществ;
- рациональное размещение производственных объектов при минимальном использовании водных, земельных и лесных ресурсов;

— предотвращение вредного воздействия этих процессов на окружающую среду.

Научно-технический прогресс, резко улучшающий экономические показатели работы, зачастую не согласуется с экологическими требованиями. Высокая плотность технологических установок, коммуникаций резко повышает вероятность и тяжесть аварий, поломок, крупных выбросов вредных веществ и несчастных случаев. Из-за недостаточной надежности отдельных узлов даже локальные разрушения крупномасштабных установок, газопроводов, резервуаров могут стать причиной утечек большого количества токсичных веществ, вредно воздействующих на все компоненты природной среды, влекущие за собой гибель растительного и животного мира, ускоренный износ оборудования и т. д. Комплексная оптимизация технологических процессов, совершенствование оборудования, используемого при бурении, добыче, подготовке, переработке, транспортировании и хранении нефти, нефтепродуктов, природного газа явится эффективной мерой по охране окружающей среды на всех стадиях разработки нефтяных и газовых месторождений. Перспективно также использование чистых видов топлива (без дыма, серы, тетраэтилсвинца и т. п.), новых методов газификации твердого и жидкого топлив, геотермальной, приливной и ветровой энергии и др.

Особое значение в комплексе мероприятий по охране природы в нефтяной и газовой промышленности имеет предотвращение загрязнения воды и почвы. Разлившаяся нефть и другие углеводороды, опасно изменяя состав и свойства воды, превращают ее в токсичное вещество, которое опасно воздействует на рыб и других обитателей водоемов. Нефтяная пленка на поверхности водоема (одна капля нефти, разливаясь, образует пленочный круг диаметром 1,5 м) изменяет световой, тепловой, кислородный и материальный баланс среды, нарушает экологическое равновесие, условия обитания жителей подводного мира. Разная степень загрязнения в данном случае означает лишь неодинаковое по продолжительности время гибели рыб, морских животных, планктона и др.

Пагубное воздействие разлившаяся нефть, нефтяной и буровой шлам могут оказать и на почву в процессе бурения, добычи, подготовки и транспортирования нефти. Проникая в плодородную землю, все эти загрязнители изменяют ее физико-химические свойства, разрушают почвенную структуру, диспергируют частицы, изменяют соотношение между углеродом и азотом, режим почв и корневое питание растений. Загрязнение почвы опасно и для человека, поскольку влияние нефти может проявляться через пищевые цепи (сельскохозяйственные продукты), в том числе и с канцерогенным эффектом. Один порыв водовода со сточными водами, загрязненными нефтью, при объеме выброса 2 т нефти уничтожает растительный покров на

площади 0,5 га плодородной земли. Стоимость рекультивации 1 га сельскохозяйственной земли, загрязненной нефтью, в 7—13 раз больше ее номинальной стоимости.

Растущая лавина отходов, мусора является мощным источником загрязнения окружающей среды. Традиционный способ упорядоченного сбора, хранения в специальных отвалах и сжигания отходов оказывается в настоящее время неприемлемым. Только путем их утилизации можно ликвидировать свалки, под которые отведены огромные территории, и одновременно получить необходимое для промышленности сырье и топливо. Во многих развитых странах мира в больших объемах и ассортименте получают из отходов дешевый металл, сахарный сироп (из отбросов, содержащих целлюлозу), строительные блоки (Япония), электроэнергию, фильтры для сточных вод и т. д. Построены заводы по производству глюкозы из газет (США), пищи для овец из бумажного мусора, стеклянных волокон из разбитой посуды (Англия).

Радикальное решение проблемы отходов следует искать в безотходной технологии, когда отходы одного производства будут служить сырьем для другого.

Раздел четвертый

ПОЖАРО-ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Глава XIII

ПРОЦЕСС ГОРЕНИЯ. ПОЖАРООПАСНЫЕ СВОЙСТВА ПРИРОДНЫХ НЕФТЕЙ И ГАЗОВ

Высокие температуры, давления и скорости в технологических процессах, рост единичных мощностей широкое использование электрической энергии, огнеопасных работ, новых веществ и материалов значительно повысили пожаро-взрывоопасность современного производства. Это особенно характерно для нефтяной и газовой промышленности, где почти все технологические процессы, а также добываемая и перерабатываемая продукция пожароопасны. Возможность возникновения пожаров и взрывов теоретически не исключается здесь даже при выполнении в полном объеме всех профилактических мероприятий. Объясняется это тем, что современный комплекс средств пожаротушения в ряде случаев не позволяет при включении его в работу через 3—5 мин после возникновения пожара подавить очаг горения легковоспламеняющейся жидкости, который получает за это время полное развитие и становится неуправляемым.

Ниже кратко рассматриваются современные научные представления о природе и видах горения, являющиеся теоретической основой сложного профилактического комплекса разработки и применения эффективных методов и средств по пожаро-взрывозащите.

§ 1. Виды процессов горения

По современным представлениям горение есть комплекс сложных быстро протекающих физических явлений (изменение агрегатного состояния реагирующих веществ и др.) и химических реакций окисления, сопровождающихся, как правило, выделением теплоты, света и дыма. Всякий процесс горения предполагает наличие горючего вещества и окислителя. Окислителем обычно является кислород. Однако известно, что водород и железо могут гореть в хлоре; порох, взрывчатые вещества, в составе которых одновременно содержатся горючие и окислитель, — в вакууме.

Абсолютное большинство горючих веществ (нефть, природный газ, уголь, продукты их переработки и т. д.) состоит из углерода, водорода и кислорода и при повышенной темпера-

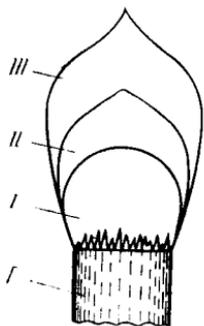


Рис. 36. Структура пламени твердого вещества или жидкости

I — горючее вещество;
I — зона образования горючих паров и газов;
II — зона окисления паров и газов при неполном сгорании;
III — зона полного сгорания продуктов, поступающих из зоны *II*

больше количества теплоты, отводимой в окружающую среду.

Максимальная скорость горения наблюдается в чистом кислороде, минимальная — при содержании кислорода в воздухе 14—18 %. При концентрации кислорода 14 % большинство веществ в воздухе не горит. Исключение составляют сероуглерод (горит при 10,5 % кислорода) и ацетилен (горит при 3,7 %).

В настоящее время широко признано, что почти все горючие вещества горят в газовой фазе. Это означает, что началу процесса горения твердых и жидких горючих веществ во всех случаях предшествуют их термическое разложение, переход в парообразное или газообразное состояние и образование с воздухом горючей смеси. Энергия зажигания для этих веществ значительно больше, чем для газообразных, так как часть теплоты расходуется на превращение их в пар или газ.

Опасные горючие смеси образуются также при распылении в воздухе жидких горючих веществ (бензин, керосин и др.). При наличии источника зажигания и соответствующей концентрации горючие смеси способны не только гореть, но и взрываться.

В структуре всякой реакции горения, можно выделить три характерных зоны (рис. 36): *I* — зона образования горючих газов и паров (область концентраций выше верхнего предела воспламенения); *II* — зона горения (стехиометрического взаимодействия горючего газа с окислителем) с концентрацией горючего в пределах воспламенения; *III* — зона смешения продуктов сгорания с воздухом (область концентрации ниже нижнего предела воспламенения).

туре способны разлагаться (плавиться, испаряться) и гореть в атмосферном воздухе.

Пожаром принято называть неуправляемое, нерегулируемое горение, происходящее вне специального очага и создающее большую опасность для человека и материальных ценностей. По физической сущности это в основном крупномасштабная реакция соединения горючего вещества с кислородом воздуха. Пожар может возникнуть при наличии следующих условий: а) горючего вещества в достаточном количестве и при соответствующей плотности; б) окислителя (кислорода); в) источника высокой температуры; г) определенного соотношения между объемом горючего вещества и кислорода; д) теплофизического состояния системы, при котором количество теплоты, выделяющейся в очаге горения в каждый момент времени, равно или

Установлено, что основное количество теплоты образуется во второй зоне. Температура пламени в этой зоне для ацетилена равна 2100°C , для сероуглерода — 2200°C , для бензина — 1400°C . На этом основан широко используемый на практике способ тушения горящих веществ путем отделения пламени от горючего. Процесс горения при этом резко замедляется или прекращается.

Горение может быть: гомогенным (горючие и окислитель находятся в одинаковом — газообразном — агрегатном состоянии) и гетерогенным (в реакции участвуют одновременно твердые и жидкие вещества); полным (при достаточном или избыточном содержании кислорода в воздухе) и неполным (при недостатке кислорода); стационарным (горючая смесь образуется и сгорает непрерывно) и нестационарным (прерывным); диффузионным (кислород проникает в зону горения в результате диффузии, при которой скорость горения меньше скорости реакции окисления) и кинетическим (горючее и окислитель поступают в зону горения одновременно (скорость горения равна скорости реакции окисления); дефлаграционным (скорость распространения пламени несколько метров в секунду) и детонационным (пламя распространяется со скоростью несколько тысяч метров в секунду).

Реакция горения вообще возможна при возбужденном, активированном состоянии молекул горючего и окислителя и протекает в газообразном состоянии веществ при сообщении элементарным частицам более высокой, чем в обычном состоянии, энергии. Такая активация молекул возможна за счет: 1) медленного накопления теплоты в процессе окисления горючего (тепловая теория); 2) образования активных радикалов (лавинообразное накопление теплоты) при взаимодействии горючего с источником зажигания (цепная реакция). Эти представления положены в основу разработки и применения всего известного в настоящее время комплекса эффективных способов и средств пожаротушения.

Устойчивому горению всех органических веществ предшествуют фазы окисления и самовоспламенения (рис. 37). Горение возникает при резком переходе от медленной к быстрой реакции окисления, визуально воспринимаемой как вспышка, возгорание, воспламенение и взрыв. Все эти виды горения обусловлены высокой энергией возбужденных молекул, образующих перекиси и свободные радикалы. Если под действием

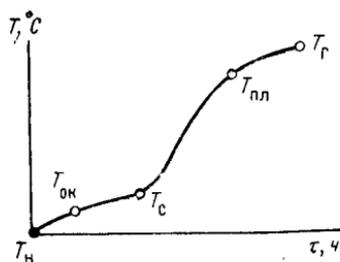


Рис. 37. Типичные стадии реакции окисления и горения твердых веществ:

$T_{н}$ — начало реакции медленного окисления; $T_{ок}$ — интенсивное окисление горючего; $T_{с}$ — самовоспламенение горючего; $T_{пл}$ — появление неустойчивого пламени; $T_{г}$ — устойчивое горение

выделяющейся при этом теплоты система разогревается медленно, а развитие реакции обусловлено тепловым возбуждением молекул, самовоспламенение можно рассматривать с позиции теплового механизма горения. Основным условием перехода от окисления к самовоспламенению в данном случае будет равенство скоростей тепловыделения q_1 и теплоотдачи q_2 :

$$\frac{\partial q_1}{\partial T} = \frac{\partial q_2}{\partial T},$$

здесь

$$q_1 = e^{-\frac{E}{RT}}; \quad q_2 \approx \alpha(T - T_{\text{окр}});$$

где E — энергия активации молекул; R — газовая постоянная; T — абсолютная температура горючей смеси; α — коэффициент теплопередачи; $T_{\text{окр}}$ — температура окружающей среды.

Очень часто переход от окисления к самовоспламенению и горению заканчивается неизмеримо быстрее, чем это следует ожидать по тепловой теории. Такой переход хорошо объясняется теорией цепных реакций: активированные молекулы вступают в химическую реакцию, образуют химически более активные радикалы, а последние образуют новые сложные молекулы с еще большей энергией активации. Широко признано, что при давлении в очаге горения, меньшем атмосферного, самовоспламенение развивается по цепному механизму; при давлении, большем атмосферного, — по тепловому. Ближе к истине, по-видимому, предположение о том, что оба эти механизма проявляются в реакции горения одновременно. При горении газовых смесей, например, разветвление цепи происходит за счет промежуточного молекулярного продукта, который, распадаясь, может образовать два радикала. Для метановоздушной смеси таким продуктом является метилгидроперекись, распадающаяся на следующие радикалы: $\text{CH}_3\text{OON} \rightarrow \text{CH}_3\cdot + \cdot\text{ON}$, способные начать окисление. Распад гидроперекиси происходит при значительно меньшей энергии, чем энергия активации зарождения первичных радикалов из исходных веществ. Гидроперекись, как видно, является гораздо более эффективным поставщиком активных радикалов, чем сам метан.

Продукты горения всех горючих веществ при пожаре и взрыве имеют следующий состав: при полном сгорании — углекислый газ, пары воды, сернистый газ, фосфорный ангидрид; при неполном сгорании — окись углерода, спирты, альдегиды, кислоты, углеводороды.

§ 2. Пожароопасные свойства веществ

Процесс горения возможен при определенном энергетическом уровне активации молекул горючего и окислителя (при пороговой температуре) и соответствующей концентрации го-

рючего вещества (возбужденных молекул) в воздухе. Скорость горения при одинаковых агрегатном состоянии реагирующих веществ, расположении их в пространстве, концентрации окислителя в воздухе и тепло-массо-газообмене определяется пожароопасными свойствами горючих веществ. Знание этих свойств, а также их роли в процессе горения и развития пожара необходимо для понимания физической природы загорания, разработки и выбора эффективных средств пожаротушения, правильного решения тактических и других задач по тушению пожаров.

Степень пожарной опасности нефти, нефтепродуктов, горючих газов и других веществ принято характеризовать по значению температуры вспышки ($T_{всп}$). Этот показатель характеризует наименьшую температуру горючего вещества, при которой объем выделяющихся с его поверхности паров (газов) образует с воздухом горючую смесь, способную воспламениться от открытого источника огня, без последующего устойчивого горения. Температура вспышки характеризует подготовленность жидкости или другого горючего вещества к воспламенению. По этому показателю все горючие вещества подразделяют на легковоспламеняющиеся ($T_{всп} < 61-66^\circ\text{C}$ при испытании соответственно в закрытом и открытом тигле) и горючие ($T_{всп} > 66^\circ\text{C}$). В свою очередь все легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ) делят на три вида: I — особо опасные ($T_{всп} \leq 18^\circ\text{C}$ в закрытом тигле и -13°C в открытом тигле); II — постоянно опасные ($T_{всп} = -18-23^\circ\text{C}$ в закрытом тигле и $-13+27^\circ\text{C}$ — в открытом тигле); III — опасные при повышенной температуре ($T_{всп} = 23-61^\circ\text{C}$ — в закрытом тигле и $27-66^\circ\text{C}$ — в открытом). Типичной ЛВЖ I вида является бензин А-76 с $T_{всп} = -36^\circ\text{C}$; II вида — этиловый спирт с $T_{всп} = +10^\circ\text{C}$; III вида — керосин с $T_{всп} = +57^\circ\text{C}$.

Значения $T_{всп}$ неодинаковы для нефтей (и продуктов их переработки) разных месторождений. В среднем можно принять $T_{всп}$ для нефти -21°C , для ацетона -20°C , для сероуглерода -45°C , для дихлорэтана $+8^\circ\text{C}$, для трансформаторного масла $+120^\circ\text{C}$ и т. д.

Значение температуры вспышки резко изменяется при смешении веществ разных видов. Для смеси бензина А-74 с керосином $T_{всп} = (-36+57)/2 \approx 10^\circ\text{C}$. Добавление бензина к керосину, как видно, резко снижает температуру вспышки последнего и повышает его пожароопасность. Для большинства горючих жидкостей давление паров над их поверхностью, соответствующее температуре вспышки, равно 900—1500 Па.

По значению $T_{всп}$ определяют уровень опасности ЛВЖ и других горючих веществ.

Наименьшая температура горючего, при которой от внешнего источника зажигания оно начинает устойчиво гореть, называется температурой воспламенения. Концентра-

ционные пределы, в которых горючее воспламеняется от внешнего источника зажигания, а процесс горения в последующем распространяется по всему объему, характеризуют область воспламенения данного горючего вещества. Нижнему пределу воспламенения или взрыва (НПВ) соответствует в данном случае минимальная концентрация вещества, при которой оно еще способно воспламеняться; верхнему пределу (ВПВ) — максимальная концентрация, выше которой оно уже теряет эту способность. Значения этих важных пороговых характеристик можно определить аналитически:

$$\text{НПВ} = \frac{100}{1 - (N - 1) 4,76} \text{ (в \%)}, \text{ или } \text{НПВ} = \frac{M}{(N - 1) 4,76} \text{ (в г/л)}$$

$$\text{ВПВ} = \frac{4 \cdot 100}{4 + 4,76} \text{ (в \%)}, \text{ или } \text{ВПВ} = \frac{4M}{(4 + 4,76) V_t} \text{ (в г/л)},$$

где N — число грамм-атомов кислорода, участвующего в сгорании одного моля горючего; M — масса одного моля горючей смеси, г; V_t — объем одного моля горючей смеси при температуре t , г.

Значение концентрационного предела взрываемости для сложной газовой смеси (в %) определяется по формуле

$$P = \frac{100}{\frac{K_1}{P_1} + \frac{K_2}{P_2} + \dots + \frac{K_n}{P_n}},$$

где P — предел взрываемости (нижний или верхний); K_1, K_2, \dots, K_n — концентрации горючих компонентов в горючей части смеси; $(K_1 + K_2 + \dots + K_n) = 100\%$; P_1, P_2, \dots, P_n — соответственно пределы взрываемости чистых компонентов в смеси, %.

Для углеводородов и других горючих веществ эти пределы изменяются в большом диапазоне величин (табл. 17). Значения их не остаются постоянными. Для одного и того же горючего вещества они изменяются в зависимости от температуры смеси до взрыва, мощности источника зажигания, направления распространения взрыва и т. д.

Таблица 17

Горючие вещества	Концентрационные пределы воспламенения, об. %		Температурные пределы воспламенения, °С	
	нижний	верхний	нижний	верхний
Бензин А-74	1,1	5,4	-36	-7
Керосин тракторный	1,1	7	+4	+35
Метан	4,5	15,5	—	—
Аммиак	15,0	27,0	—	—
Водород	4,0	75	—	—
Сероводород	4,3	44,5	—	—
Ацетон	1,31	4,2	-20	+6
Керосин осветительный	—	—	57,5	87

Образование над поверхностью горючего взрывоопасных концентраций газов (паров), соответствующих нижнему или верхнему пределам, происходит при определенной температуре. Это означает, что область воспламенения горючих жидкостей можно характеризовать также температурными пределами — температуры, при которых концентрации насыщенных паров над поверхностью горючего равны соответственно нижнему и верхнему концентрационным пределам взрываемости (воспламенения).

Опасные по взрывам среды могут создавать взвешенные в воздухе частицы твердых веществ (серы, угля, шлаков, какифоли и др.). Образующиеся при этом аэрозольные системы также имеют нижние и верхние пределы взрываемости. В данном случае — это минимальные концентрации, при которых дисперсная фаза аэрозоля способна загораться и взрывообразно гореть. Для пылевых частиц разных горючих веществ НПВ колеблется от 2,5 до 65 г/м³. Значение его зависит от состава, структуры и свойств пылевых частиц, их влажности, крупности, мощности источника зажигания и т. д. Указанные выше значения НПВ находятся в пределах концентраций пыли, характерных для наиболее интенсивных источников ее на объектах нефтяной и газовой промышленности — диспергирование (измельчение) твердой серы, катализаторов при загрузке и др. Значение ВПВ пыли значительно больше нижнего и изменяется от 2 до 13 кг/м³.

Температурой самовоспламенения (T_c) принято называть наименьшую температуру, при которой может резко увеличиваться скорость экзотермической реакции окисления горючего вещества, возрастает количество выделяющейся теплоты и становится возможным самопроизвольное возгорание горючего вещества (либо смеси) без воздействия внешнего источника зажигания.

Для практики имеет большое значение тот факт, что при температуре самовоспламенения горючая (взрывчатая) смесь воспламеняется (взрывается) не сразу, а через некоторое время, называемое индукционным периодом. Наличие индукционного периода позволяет вести взрывные работы во взрывоопасных средах современных угольных шахт (продукты взрыва остывают до безопасной температуры, теряют способность воспламенять горючую смесь за более короткое время, чем индукционный период), исключить опасность загорания, взрыва горючей смеси от искрового разряда, если время разряда меньше индукционного периода, делает возможным устойчивое горение при температурах, значительно больших, чем температура самовоспламенения (для бензина $T_c = 260^\circ\text{C}$; температура устойчивого пламени 1200—1300 °C).

Продолжительность индукционного периода для разных горючих веществ различна. Для метана и бензина она состав-

ляет более 1 с; для водорода — 0,01 с. В общем случае длительность индукционного периода зависит от давления, свойств горючего вещества, концентрации его в воздухе и температуры воспламенения.

Температуру воспламенения горючего можно значительно повысить, если ввести в его состав антикатализатор (антидетонатор), например тетраэтилсвинец, или понизить, если использовать горючие смеси для которых T_c значительно ниже среднеарифметической T_c отдельных компонентов.

Значение T_c для газов и жидкостей колеблется от 300 до 700 °С; для твердых веществ — от 250 до 350 °С. Для бензина А-74 T_c равно 300 °С; для водорода 530 °С; для природного газа 550—750 °С; для сосновой древесины 399 °С; для сероводорода 290 °С.

Температура воспламенения (в отличие от температуры самовоспламенения) характеризует внешний источник зажигания, от которого может воспламениться газовая или парогазовая смесь в зоне контакта источника зажигания со смесью (локально). Самовоспламенение происходит во всем объеме, воспламенение — в части объема горючего вещества.

Рассмотренные показатели ($T_{всп}$, T_c , НПВ, ВПВ, индукционный период) позволяют охарактеризовать пожароопасные свойства веществ. Из анализа их видно, что чем ниже НПВ, больше промежуток между НПВ и ВПВ, меньше индукционный период и ниже температура самовоспламенения, тем выше пожаро-взрывоопасность вещества. Помимо рассмотренных показателей для характеристики пожароопасных свойств веществ используются и некоторые другие, в том числе:

— предел возгораемости ПВ (отношение количества теплоты, выделяющейся при горении органического вещества, к количеству теплоты, необходимой для его зажигания); по ПВ вещества разделяются на несгораемые ($PВ < 0,1$); трудносгораемые ($PВ = 0,1—0,5$) и сгораемые — горючие — ($PВ > 0,5$);

— минимальная энергия зажигания — это наименьшая величина энергии например, искрового разряда, способная воспламенить горючее вещество (газ, аэрозоль, жидкость);

— скорость выгорания — количество вещества, ($см^3$), сгорающего в единицу времени ($ч$) с единицы поверхности ($см^2$) (для нефти — 30 $см^3/ч$);

— нормальная скорость распространения пламени в горючей среде (для метана равна 0,34 м/с; для ЛВЖ — 0,5—2,4 м/с).

Важное практическое значение имеет показатель скорости прогрева жидкости со свободной поверхности горения, характеризующий повышение ее температуры на разной глубине от свободной поверхности.

В нижней части резервуаров для хранения нефти часто имеется слой воды (рис. 38). Теплота, выделяющаяся при выгорании нефти на свободной поверхности, в определенный момент времени может нагреть весь слой жидкости до температуры 100 °С. При этом вода может вскипеть и выбросить горящую нефть из резервуара. Время t , по истечении которого может произойти выброс, ориентировочно можно определить по формуле

$$t = \frac{H - h}{W + v},$$

где H — высота от дна резервуара до свободной поверхности горящей нефти; h — высота слоя воды; W — скорость выгорания; v — скорость прогрева.

Для решения целого ряда профилактических и оперативных задач широко используются такие величины, как критический диаметр трубки (ширины щели), при котором по трубке не распространяется пламя горючей смеси; электризуемость углеводородов при трении, дроблении, перемешивании; огнегасительные концентрации средств пожаротушения; давление газов (продуктов взрывообразного горения) в месте взрыва после взрыва и др.

Глава XIV

ПОЖАРНАЯ ПРОФИЛАКТИКА

§ 1. Общие задачи пожарной профилактики

Задача пожарной профилактики состоит в том, чтобы на основе комплекса мер, реализуемых на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации производственных объектов, установок, технологических процессов и оборудования нефтяной и газовой промышленности исключить случаи загорания веществ и материалов вне специального очага и в масштабах, не контролируемых человеком. Если все же такое загорание произошло, задача заключается в том, чтобы предотвратить возникновение опасности для здоровья и жизни людей, предельно ограничить размеры материального ущерба, локализовать и быстро ликвидировать опасный очаг горения.

Выполнение этих задач сводится к следующему:

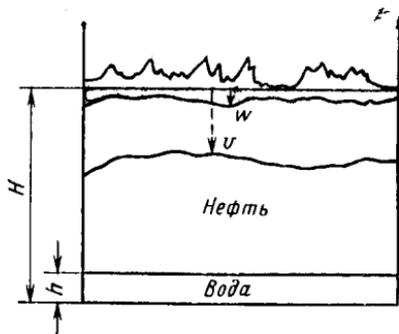


Рис. 38. Графики скорости горения W и скорости прогревания (v) нефти и воды в резервуаре

1) исключить накопление горючих веществ в воздухе рабочей зоны в объеме и при концентрации выше нижнего предела воспламенения (взрыва);

2) не допустить появления источника зажигания в очаге возможного возникновения пожара (месте скопления горючих веществ) или взрыва;

3) предусмотреть, если пожар (взрыв) все же произошел, эффективные средства по локализации, подавлению и прекращению горения за минимально короткое время, выводу людей из опасной зоны или обеспечить надежную защиту их, а также материальных ценностей от механического, теплового и токсического воздействия, детонационной взрывной волны, пламени (высокой температуры) и ядовитых продуктов горения.

Для устранения причин пожаров и взрывов на производственных объектах нефтяной и газовой промышленности разрабатывается и реализуется большой комплекс технических (конкретные инженерные решения), эксплуатационных (безопасная эксплуатация оборудования технологических установок и др.), организационных (подбор и обучение кадров) и режимных (строгая регламентация порядка и видов работ, высокая технологическая дисциплина и др.) мер. Эти меры охватывают все важнейшие направления профилактической работы. К ним относятся:

1) выбор строительных материалов и конструкций в соответствии с конкретными требованиями к их огнестойкости, несущей способности и др. и состоянию при высоких температурах; планирование расстояния между зданиями противопожарные разрывы, регламентируемые СНиП); строгое выполнение всех противопожарных норм при проектировании и строительстве зданий и сооружений; высокая герметичность оборудования, защита его от механического разрушения, коррозии; тщательное проветривание производственных помещений, в которых возможно выделение и накопление горючих веществ в опасных концентрациях и т. д.;

2) правильные выбор и эксплуатация электрического оборудования с соответствующим уровнем защиты; предотвращение накопления и разрядов статического и атмосферного электричества; исключение самовозгорания веществ, появления открытого огня, неисправностей или перегрева оборудования, отопительных приборов, технологических установок; ограничение объемов огнеопасных работ, выполнение их в строгом соответствии с правилами безопасности; запрещение курения и др.;

3) наличие всего арсенала эффективных средств пожаротушения в нужном количестве и правильное расположение их; наличие ограждающих конструкций, противопожарных преград, предотвращающих переход огня от одного здания (помещения) к другому, а также эффективных средств и способов по локализации взрыва, предотвращению разрушения зда-

ний и др.; устройство дымовых люков, специальных лестниц, запасных выходов и др. Сюда относятся также обучение производственного персонала, создание добровольных пожарных дружин и др.

Соответствующие нормативные регламентации и требования, необходимые для решения этих важных задач, отражены в системе стандартов безопасности труда (ССБТ), строительных нормах и правилах, применяемых при проектировании строительства и эксплуатации объектов производственного назначения.

§ 2. Причины возникновения пожаров

В нефтяной и газовой промышленности причинами большей части пожаров служат:

1) загорание природных углеводородов и продуктов их переработки от искрения в электрических аппаратах и машинах, а реже от атмосферного электричества;

2) неисправность электрического и другого технологического оборудования (появление электрической дуги, чрезмерный нагрев металла);

3) неосторожное обращение с открытым огнем (при электросварке, газовой сварке, использовании паяльных ламп, курении);

4) взрывы газовоздушных и паровоздушных смесей и пыли;

5) самовозгорание горючих веществ (промасленной ветоши, пирофорных отложений);

6) поломка оборудования (разрыв, внезапная разгерметизация);

7) фонтанирование скважин, нарушение технологического процесса с разливом горючих веществ и т. д.

Энергия, передаваемая этими источниками, достаточна для начала реакции окисления и ее продолжения при удалении источника зажигания. Ее значение во всех случаях выше или равно энергии самовоспламенения горючего вещества. Для большинства горючих смесей на производственных объектах нефтяной и газовой промышленности значения температур самовоспламенения находятся в пределах 120—700 °С. Это намного ниже температуры искрового электрического разряда (10000 °С), открытого пламени (свыше 1000 °С), нагретых поверхностей оборудования или искры, возникающей при трении, ударе (1640—1670 °С). Разряды статического электричества при силе тока 0,001 А, невысокой разности потенциалов и энергии $(7,2—18) \cdot 10^2$ Дж легко воспламеняют почти все горючие газы и пылевоздушные смеси. Для воспламенения горючей газовой смеси достаточно нагреть до температуры самовоспламенения всего 0,5—1,0 мм³ ее. Все рассмотренные выше источники зажигания обладают значительно большим количеством

теплоты, чем требуется для нагрева 1 мм³ до температуры самовоспламенения. Это означает, что все они могут инициировать взрыв газоздушных смесей.

Особую опасность представляет теплота, образующаяся при химических реакциях, механическом трении и в электрических установках. Эти источники зажигания должны быть удалены из производственных помещений, где могут образовываться пожаро-взрывоопасные смеси. В этих помещениях нельзя применять инструменты из металлов и других материалов, которые могут давать искру при соударении, а также при ударах о бетон, камень и т. п.; трущиеся части здесь должны выполняться из разнородных металлов (сталь — медь), полы в этих помещениях следует настилать из материалов, исключая электризацию и искрение при падении на них стальных предметов (асфальт, неглазурованная плитка).

Во взрывоопасных помещениях можно применять электрооборудование только в специальном исполнении, согласующемся с классом опасности помещения.

§ 3. Пожаро-взрывоопасность производств и помещений

Опасность пожаров и взрывов на производственных объектах нефтяной и газовой промышленности характерна для всех технологических процессов добычи, подготовки, транспортирования, переработки и хранения нефти, природного газа и конденсата, а также большого разнообразия получаемых из них промежуточных и конечных продуктов с повышенной пожаро-взрывоопасностью. Вместе с тем вероятность возникновения этих грозных явлений, возможные масштабы и последствия их воздействия на здоровье и жизнь работающих, материальные ценности зависят от объемов и свойств горючих веществ и материалов, условий поступления, распространения и накопления их в воздухе и т. д. Профилактическая работа должна определяться в каждом конкретном случае с учетом пожаро-взрывоопасности производства, противопожарных норм проектирования зданий и сооружений, минимизации ее объема при одновременной достаточности ее для исключения пожаров и взрывов.

При проектировании зданий и сооружений (определения этажности, размеров перекрытий и т. д.), выборе материалов и конструкций для их возведения (огнестойкость), определении эффективной и достаточной по объему пожаро-взрывозащиты в нефтяной и газовой промышленности в качестве исходного критерия принимают фактическую пожаро-взрывоопасность конкретного производственного объекта, технологической установки и помещения по пожаро-взрывоопасности подразделяют на категории А, Б, В, Г, Д, Е. К категории А, Б отнесены взры-

во-пожароопасные производства; к категории В, Г, Д — пожароопасные; к категории Е — взрывоопасные.

К взрыво-пожароопасным категории А относятся производства, на которых применяются: 1) вещества, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом; 2) горючие газы, нижний предел воспламенения которых равен 10 % и менее по отношению к объему воздуха; 3) жидкости с температурой вспышки паров до 28 °С включительно, при условии, что указанные газы и жидкости могут образовывать взрывоопасные смеси в объеме, превышающем 5 % объема помещения. В нефтяной и газовой промышленности к этой категории относятся производства по добыче, подготовке и переработке нефти и газа.

К взрыво-пожароопасным категории Б относятся производства, связанные с применением: 1) горючих газов, нижний предел воспламенения которых более 10 % по отношению к объему воздуха; 2) жидкостей с температурой вспышки от 28 до 61 °С; 3) жидкостей, нагретых до температуры вспышки и выше; 4) горючих пылей или волокон, НПВ которых равен 75 г/м³ и менее, при условии, что эти газы, жидкости и пыли могут образовывать взрывоопасные смеси в объеме, превышающем 5 % объема помещения. К этой категории в нефтяной и газовой промышленности относятся установки по обезвоживанию и обессоливанию нефти, насосные по перекачке конденсата и др.

К пожароопасным категории В относятся производства, в которых применяют: 1) жидкости с температурой вспышки паров выше 61 °С; 2) горючие пыли и волокна, НПВ которых более 65 г/м³; 3) вещества, способные гореть только при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом; 4) твердые сгораемые вещества и материалы. К числу таких производств можно отнести технологические установки нефтеперерабатывающих и газоперерабатывающих заводов и др.

К пожароопасным категории Г относятся производства, связанные с применением: 1) несгораемых веществ и материалов в горячем или расплавленном состоянии, процессы обработки (переработки) которых сопровождаются выделением лучистой теплоты, искр или пламени; 2) твердых, жидких или газообразных веществ, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива. К этой категории относятся котельные установки разного назначения.

К пожароопасным категории Д относятся производства, связанные с применением несгораемых веществ и материалов в холодном состоянии (цехи по производству щебня, других строительных материалов).

К взрывоопасным категории Е относятся производства, связанные с применением: 1) горючих газов без жидкой фазы и взрывоопасной пыли в количестве, при котором могут обра-

Зовываться взрывоопасные смеси в объеме, превышающем 5 % объема помещения, где по условиям технологического процесса возможен только взрыв (без последующего горения); 2) веществ, способных взрываться (без последующего горения) при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или одного с другим (объекты со сжатым горючим газом).

Аналогичные категории установлены также для складов и технологических установок.

На практике категория взрыво-пожароопасности производств или складов устанавливается нормами технологического проектирования или специальным перечнем производств, утвержденным министерством.

Помещения (зоны) или наружные установки в которых применяют или хранят горючие вещества, называются пожароопасными. В соответствии с правилами устройства электроустановок пожароопасные производственные помещения, не опасные по взрывам, подразделяют на классы:

П-I — помещения, в которых хранят или применяют горючие жидкости с температурой вспышки паров выше 45 °С;

П-II — помещения, где выделяются горючие пыль или волокна, способные переходить во взвешенное состояние и создавать опасность загорания, но не взрыва; взрыв исключается в данном случае из-за физических свойств пыли или волокон (повышенной влажности, высокой дисперсности и т. п., или из-за относительно малой, не взрывоопасной, концентрации их (до 10 г/м³);

П-IIа — производственные или складские помещения (зоны), содержащие твердые или волокнистые горючие вещества (дерево, ткани и др. при отсутствии пыли или волокон во взвешенном состоянии);

П-III — наружные установки, в которых применяют или хранят горючие жидкости с температурой вспышки паров выше 45 °С, а также твердые горючие вещества.

Класс пожароопасных помещений и наружных установок устанавливается технологами совместно с электриками проектирующей и эксплуатирующей организаций.

Приведенную классификацию пожароопасных помещений используют при выборе электрооборудования, соответствующего по исполнению классу пожароопасности производственного помещения или наружной установки.

§ 4. Возгораемость и огнестойкость строительных материалов и конструкций

Возникновение пожаров, характер и масштабы распространения огня в значительной степени зависят от огнестойкости материалов и конструкций, из которых выстроены здания и сооружения.

По возгораемости строительные материалы и конструкции согласно СНиП разделяются на три группы:

1 — несгораемые, которые под действием огня или высокой температуры не воспламеняются, не тлеют и не обугливаются (неорганические материалы, металлы);

2 — трудносгораемые, — при контакте с огнем с трудом воспламеняются, тлеют и обугливаются, а после удаления источника зажигания горение или тление прекращается (бетон, цементный фибролит, а также древесина, пропитанная антипиренами);

3 — сгораемые материалы, при контакте с огнем и при высокой температуре воспламеняются и продолжают гореть или тлеть после удаления источника зажигания (все органические материалы, не защищенные от огня или высокой температуры).

Всякая ограждающая конструкция (стенка, перегородка и т. п.), выполненная даже из сгораемого материала, обладает определенной стойкостью по отношению к действию огня и в некоторой степени препятствует распространению пожара. Эту стойкость строительных конструкций при пожаре принято оценивать пределом огнестойкости, который зависит от материала и размера конструкции. Предел огнестойкости характеризуется периодом времени (в часах) от начала испытания конструкции огнем до появления одного из следующих признаков: образования в конструкции сквозных трещин или отверстий, через которые проникают пламя, дым; повышение температуры на необогреваемой поверхности в среднем более чем на 140°C или в любой точке этой поверхности более чем на 180°C по сравнению с температурой конструкции до испытания или более чем на 220°C независимо от температуры конструкции до испытания; потеря конструкцией несущей способности (обрушение). Предел огнестойкости принимают независимо от наличия в строительной конструкции проемов разного целевого назначения.

Сопротивление воздействию огня здания или сооружения в целом характеризуется степенью огнестойкости всего здания или сооружения, которая оценивается по группе возгораемости применяемых материалов и конструкций и пределам их огнестойкости. Минимальные значения этих пределов и группы возгораемости основных строительных конструкций (Н — несгораемые, Т — трудносгораемые, С — сгораемые) в соответствии с действующими СНиП и в зависимости от степени огнестойкости зданий приведены в табл. 18.

Степень огнестойкости производственных зданий на предприятиях нефтяной и газовой промышленности устанавливают с учетом категории пожароопасности производства, площади и этажности в соответствии с действующими СНиП (табл. 19).

Степень огнестойкости значительно повышается для метал-

Минимальные пределы огнестойкости (в часах)

Степень огнестойкости зданий	Основные строительные конструкции					
	несущие стены, лестничных клеток, колонны	наружные стены из навесных панелей и наружные факеловые стены	плиты, настилы и другие несущие конструкции перекрытия	плиты, настилы и другие несущие конструкции покрытия	перегородки	противопожарные стены
I	2,5Н	0,5Н	1Н	0,5Н	0,5Н	2,5Т
II	2Н	0,25Н, 0,5Т	0,75Н	0,25Н	0,25Т	2,5Н
III	2Н	0,25Н, 0,5Т	0,75Т	С	0,25Т	2,5Н
IV	0,5Т	0,26Т	0,25Т	С	0,25Т	2,5Н
V	С	С	С	С	С	2,5Н

Таблица 19

Требуемая степень огнестойкости производственных зданий

Категория производства	Допускаемое число этажей	Степень огнестойкости	Площадь этажа между противопожарными стенами, м ²		
			одноэтажных	многоэтажных	
				в двухэтажных	в трехэтажных
А и Б	6	I	Не ограничивается		
А и Б	6	II	»		
А	6	II	Не ограничивается	5200	3500
Б	6	II	То же	10400	7800
В	Не ограничивается	I и II	Не ограничивается		
В	3	III	5200	3500	2600
	2	IV	2600	2000	—
	1	V	1200	—	—
Г	Не ограничивается	I и II	Не ограничивается		
	3	III	6500	5200	3500
	2	IV	3500	2600	—
Д	1	V	1500	—	—
	Не ограничивается	I и II	Не ограничивается		
	3	III	7800	6500	3500
Д	2	IV	3500	2600	—
	1	V	2600	1500	—
	Е	6	Не ограничивается		

лических конструкций при помощи кирпичной обкладки, для деревянных конструкций — облицовкой, штукатуркой, пропиткой древесины антипиренами или окраской ее вспучивающими покрытиями.

Эффективно использовать также противопожарные стены, возведенные на всю высоту здания, разделяющие покрытия и

перекрытия (огнестойкость 2,5 ч). Эти преграды (брандмауэры) должны исключать распространение пожара по наружным стенам и сгораемым кровлям. В стенах допускается устройство дверных проемов, оборудованных противопожарными дверями с пределом огнестойкости не менее 1,2 ч.

Производственные здания защищают от взрыва с помощью легких стенок (клапанов). При взрыве стенка легко «выдавливается», объем помещения, в котором расширяется горящая смесь, резко увеличивается, давление внутри здания понижается до величины безопасной по условиям механического разрушения,— 112 кПа.

В производственных помещениях категории А площадь клапана должна быть 5 м² при объеме 100 м³, категории Е — соответственно 3 м². Роль производственных клапанов могут выполнять оконные проемы. При размере 365×408×3,2 мм застекленные окна могут выдерживать давление, превышающее 20 МПа. Это означает, что окна взрывоопасных помещений должны иметь одинарное остекление.

На объектах нефтяной и газовой промышленности широко применяют также гидравлические затворы и огнепреградители (нефтеперерабатывающие и газоперерабатывающие заводы) для предотвращения распространения огня по газовой смеси, обваловывание (исключающее растекание горячей жидкости в окрестности скважины), водяные завесы (останавливающие распространение детонационного горения на нефтешахтах). Для эвакуации людей из зоны горения предусматривают специальные выходы шириной 0,6 м на каждые 100 человек. На пути эвакуации категорически запрещается использовать в качестве строительных материалов или хранить горючие вещества.

Глава XV

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ПОЖАРОТУШЕНИЯ

§ 1. Выбор способов и средств пожаротушения

Горение прекращается, если: а) горючее вещество изолируется от окислителя; б) реагирующая смесь теряет способность гореть (вследствие изменения ее состава) или охлаждается до температуры, при которой реакция окисления предельно замедляется или прекращается; в) процесс окисления замедляется с помощью химических веществ (ингибиторов окисления); г) среда в зоне очага горения не содержит в необходимом количестве кислорода или другого окислителя); д) пламя механически отделяется от горючего; е) горючие вещества удаляются от очага пожара.

В зависимости от состава, структуры и свойств горючего, характера окисления и условий, в которых происходит горение, прекращения огня можно достичь выполнением одного, двух или всей совокупности описанных выше условий. В каждом случае применяют соответствующие средства пожаротушения.

В настоящее время широко используют активные и пассивные способы пожаротушения. При активном способе процесс горения подавляют при помощи огнегасительных средств, воздействующих на горючее вещество (охлаждение очага пожара, разбавление реагирующих веществ, химическое торможение введением в зону горения антикатализаторов — (ингибиторов) и т. д.). При пассивном способе тушения горение прекращается путем изоляции горючего от окислителя или инертнизации среды, в которой находится очаг горения.

При выборе эффективного способа тушения пожара и соответствующих огнегасительных средств учитывают пожароопасные свойства горючих веществ, характер взаимодействия их со средствами пожаротушения, а также размеры и конфигурацию очага пожара, масштабы горения, доступность различных зон для оперативного воздействия на процесс и т. д.

§ 2. Средства пожаротушения

Для тушения пожаров в настоящее время применяют жидкие пениобразные, аэрозольные, газообразные и твердые вещества. Эффективность применения зависит от их теплоемкости, термостойкости, химической активности, гидродинамической подвижности, способности переходить в паро- и газообразное состояние, увеличиваться в объеме и т. д. Существенное значение имеют также токсичность, агрессивность и электропроводность огнегасительных средств.

Для нефтяной и газовой промышленности характерно большое разнообразие горючих веществ, их пожароопасных свойств и объемов их использования, поэтому эффективное подавление очага пожара требует во многих случаях одновременного использования целого ряда огнегасительных средств и способов.

На производственных объектах в этих отраслях промышленности широко применяются огнегасительные вещества разного состава, структуры и свойств и во всех трех агрегатных состояниях. В число их входят: вода, химическая и воздушно-механическая пена, водяной пар, гидроаэрозоли, галондированные углеводороды, инертные газы и порошковые составы.

§ 3. Вода как средство пожаротушения

Вода в настоящее время пока остается наиболее распространенным и доступным средством пожаротушения. Контактная с горючей поверхностью, она смачивает ее, препятствует нагреву ее и одновременно интенсивно испаряется. На испаре-

ние 1 л воды затрачивается 2,24 МДж теплоты. Объем образующегося при этом пара в 1700 раз больше объема воды, из которой он образовался. В зоне горения пар снижает концентрацию кислорода, затрудняет диффузию окислителя в зону реакции, замедляет многостадийный процесс окисления.

Направленная в очаг горения в виде струи вода отделяет пламя от горючего или сбивает, «разрыхляет» и подавляет его. В виде компактных струй воду успешно применяют для тушения большинства горючих веществ и материалов.

Вместе с тем воду нельзя применять для тушения горящих нефтепродуктов — бензина, керосина, масел, а также ацетона и других продуктов переработки природных углеводородов плотностью меньше единицы. Будучи легче воды, они всплывают на ее поверхность, продолжают гореть и растекаться, увеличивая зону горения. Компактная струя большой энергии разбрызгивает горящую жидкость при ударе и также может способствовать увеличению очага пожара.

В последнее время все более широкое применение находит вода, распыленная до капель размером менее 100 мкм. Эти капли образуют с воздухом воздушно-водяную смесь (гидроаэрозоль), которую можно эффективно использовать для тушения огня. Высокая эффективность гидроаэрозоля обусловлена огромной внутренней поверхностью тонкораспыленной воды, которая, взаимодействуя с горящей поверхностью горючего, быстро превращается в пар, охлаждает поверхность, препятствует доступу кислорода к месту реакции. Применение гидроаэрозоля значительно сокращает расход воды, уменьшает опасность при тушении водой пожаров на электроустановках, находящихся под напряжением (тонкораспыленная вода имеет меньшую электропроводность по сравнению с компактной струей воды).

Так как многие гидрофобные материалы (древесина, сажа, глеющие материалы) плохо смачиваются водой, для улучшения их смачивания используют поверхностно-активные вещества (смачиватели) ДБ, НБ, сульфонолы и другие присадки к воде, значительно повышающие ее проникновение в поверхностные слои горящего материала.

Эффективными средствами борьбы с пожарами являются водные растворы двууглекислого натрия, углекислого натрия, поваренной соли, хлористого кальция и др. Обладая большей теплоемкостью, чем вода, они сильнее охлаждают горящие поверхности и лучше изолируют их от кислорода воздуха плотными пленками выпадающих при нагревании солей.

Некоторые вещества (металлические калий и натрий, карбид кальция и др.) при взаимодействии с водой и другими средствами пожаротушения, приготовленными на ее основе, способны выделять большое количество горючих газов и воспламеняться. Для их тушения категорически запрещается использовать воду и растворы на ее основе.

§ 4. Примененис пены для тушения пожаров

Пена (химическая и воздушно-механическая) — весьма эффективное современное, наиболее распространенное в нефтяной и газовой промышленности огнегасительное средство. Почти мгновенно заполняет пространство, в котором расположен очаг горения, она быстро и надежно изолирует горячее вещество от кислорода воздуха, прекращает проникновение горючих газов и паров в зону реакции, связывает огромное количество теплоты, исключает теплофизические условия, при которых возможно поддержание реакции горения. Пена является во многих случаях основным огнегасительным средством для тушения легковоспламеняющихся и горючих жидкостей.

Эффективность применения пены существенно зависит от кратности (отношения объема получаемой пены к объему исходного продукта) и стойкости (продолжительность естественного разрушения столба пены).

Пена представляет собой сложную систему, состоящую из мелких пузырьков газа с оболочками из пленки жидкости. Стойкость пены тем выше, чем меньше размеры пузырьков газа, плотность и поверхностное натяжение пленки жидкости.

Химическую пену получают следующим образом. При взаимодействии серной кислоты с растворами солей угольной кислоты образуется большое количество углекислого газа, который в процессе барботирования, дробления образует устойчивую химическую пену, способную удерживаться даже на вертикальных поверхностях и относительно мало разрушающуюся от действия пламени.

Для тушения крупных пожаров требуется большое количество пены. Для получения химической пены используют пеногенераторные порошки ПГПС и ПГП. Порошок ПГП состоит из щелочной (двууглекислая сода), кислотной (серноокислый аммоний) частей и пенообразователя. Принципиальная схема пеногенератора приведена на рис. 39.

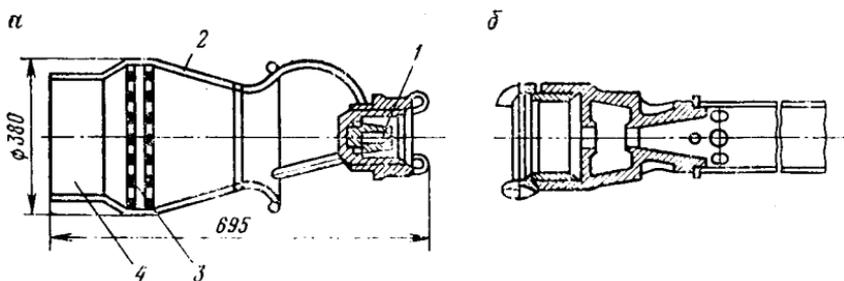


Рис. 39. Генератор высокочратной пены ГВП-600 (а) и воздушно-пенный ствол типа СВП без эжектора (б):

1 — распылитель; 2 — корпус; 3 — смеситель (пакет сеток); 4 — насадка

Вода в виде компактной струи под давлением проходит через насадку и сопло, создает поршневой (эжекционный) эффект в диффузоре, втягивает воздух и пеногенераторный порошок в смесительную камеру. Здесь они смешиваются и растворяются в воде, образуя стойкую и достаточно плотную ($0,1—0,2 \text{ г/см}^3$) пену, которая доставляется по трубам к очагу пожара. С помощью специального пакета из двух сеток (турбулизатора) можно в некоторых пределах изменять кратность образующейся пены.

Воздушно-механическая пена представляет собой смесь воздуха, воды и пенообразователя (ПО-1, ПО-6, ПО-11 и др.). Ее получают в эжекторных аппаратах (воздушно-пенных стволах) непрерывного действия (принципиальная схема аналогична приведенной на рис. 39). Интенсивным перемешиванием (турбулизацией указанных трех компонентов в стволе эжекторного аппарата под давлением $0,3—0,6 \text{ МПа}$) получают относительно стойкую пену требуемой плотности.

Имеются и другие устройства для получения воздушно-механической пены. Производственные помещения, где технологические процессы связаны с использованием в больших объемах легковоспламеняющихся жидкостей, оснащаются стационарными воздушно-пенными огнетушителями (рис. 40). К емкости такого огнетушителя (на 200, 500 или 700 л) подведены вода и воздух. Оптимальный уровень воды с $4—5 \%$ -ным содержанием пенообразователя в емкости контролируют при помощи уровнемерной трубки. При тушении пожара в емкость нагнетается сжатый воздух, раствор интенсивно перемешивается, образующаяся пена по пенопроводу подается к очагу горения. Действие воздушно-пенного огнетушителя прекращают выключением подачи сжатого воздуха.

✓ Воздушно-механическая пена обладает рядом достоинств: отсутствие в ее составе кислоты и щелочи исключает коррозионное воздействие на оборудование; малая электропроводность позволяет применять эту пену для тушения горящего необесточенного электрооборудования; экономичность и простота получения дают возможность широко применять ее на производственных объектах нефтяной и газовой промышленности. Важной особенностью пены является ее способность легко и быстро преодолевать повороты, подъемы, проходить через щели, неплотности, эффективно заполнять производственные помещения,

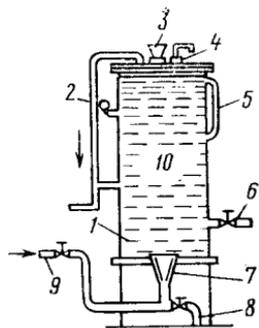


Рис. 40. Схема стационарного воздушно-пенного огнетушителя:

1 — резервуар пенистой установки; 2 — пенопровод; 3 — воронка для заливки пенообразователя; 4 — предохранительный клапан; 5 — уровнемерная трубка; 6 — водная магистраль; 7 — конический насадок; 8 — сливная трубка; 9 — трубка для подачи сжатого воздуха; 10 — раствор пенообразователя

емкости установок, канализационные колодцы сложной конфигурации, а также моментально прекращать горение самых различных горючих веществ.

Следует еще раз подчеркнуть, что на производственных объектах, где в больших количествах используют легковоспламеняющиеся жидкости, горючие газы и металлы, применение установок водяного и пенного тушения нецелесообразно.

§ 5. Огнегасительные свойства газов и парообразных средств

В нефтяной и газовой промышленности наиболее широко применяют углекислый газ, водяной пар, дымовые или отработанные газы и аэрозоли. Использование их позволяет резко уменьшить в зоне горения содержание кислорода или снизить температуру горючего вещества. Сжиженный в баллонах углекислый газ используют в газообразном или снегообразном (хлопья снега) состоянии ($t = -70^{\circ}\text{C}$); в газообразном состоянии — для инертизации среды в закрытых помещениях; в снегообразном — для подавления локальных загораний (первичные средства пожаротушения). Процесс горения прекращается при концентрации CO_2 в воздухе 30%. Такое содержание CO_2 смертельно опасно для человека. Инертизация воздушной среды возможна только в изолированных закрытых помещениях.

Примерно при такой же концентрации процесс горения прекращается, если в качестве инертного газа используют азот. Огнегасительная способность азота резко повышается, если в зону горения вводить 3—5% галондированных углеводородов (тетрафтордибромэтана или иодистого метила).

В производственных помещениях объемом до 500 м^3 или на небольших открытых площадках (установка комплексной подготовки газа) для тушения жидких, твердых и газообразных веществ весьма эффективно используется водяной пар. Процесс горения во всех случаях полностью прекращается при концентрации пара в воздухе 35%.

Для подачи пара к пожароопасным объектам при строительстве их прокладывают стационарные паропроводы. В помещении, где возник и распространился пожар, пар подается через предусмотренные для этой цели проложенные по внутреннему периметру помещения перфорированные трубы.

При тушении небольших открытых очагов горения, локальных загораний сальников, клапанов, небольших задвижек, а также для предупреждения воспламенения горючих жидкостей, протекающих через неплотности технического оборудования, используют паропроводы из гибких резиновых шлангов и стояки. Запирающая и регулирующая арматура паропроводов должна быть снабжена указателями и располагаться вне помещения.

§ 6. Галоидированные углеводороды и огнегасительные порошки

Галоидированные углеводороды — это специальные составы, представляющие собой газы или легкоиспаряющиеся жидкости, которые при введении в зону горения сильно тормозят химическую реакцию горения вплоть до ее полного прекращения. Широкое распространение получили составы: 3,5 (70 % бромэтила и 30 % CO_2) и ЧНД (97 % бромэтила и 3 % CO_2). Их успешно применяют для тушения многих твердых и жидких горючих веществ и материалов (исключение составляют щелочные металлы и металлоорганические соединения), они могут быть использованы в стационарных и ручных огнетушителях. Особенно эффективно использовать галоидированные углеводороды для тушения пожаров в закрытых емкостях и помещениях. Важно помнить, что продукты распада галоидированных углеводородов токсичны.

Огнегасительные порошки применяют для тушения ограниченного числа веществ и в тех случаях, когда другие средства пожаротушения по тем или иным причинам, применять нельзя. С помощью их (ПС-1 и ПС-2), например, можно успешно тушить многие горючие жидкости, легкие щелочные и тяжелые металлы (например, уран, торий, тушение которых чрезвычайно сложно). При горении всех этих веществ развиваются чрезвычайно высокие температуры. Огнегасительные порошки равномерно покрывают их горящую поверхность, изолируют ее от потока лучистой энергии, резко понижают ее температуру вплоть до прекращения горения, связывая при разложении значительное количество теплоты. Во всех странах они имеют примерно одинаковый состав: 95—98 % бикарбоната натрия, 1—3 % — стеарата магния для улучшения гидрофобных свойств и 1—3 % добавок (химикалии для улучшения текучести и способности к хранению). Они безвредны для людей, не электропроводны, дешевы, удобны для хранения и транспортирования, при низких температурах не замерзают. С большим успехом на объектах нефтяной и газовой промышленности применяют в настоящее время огнегасительные порошки, приготовленные на основе карбонатов и бикарбонатов натрия и калия.

При тушении локальных загораний эффективно использовать также сухой песок, графит, сухие молотые флюсы. Весьма эффективны огнегасительные порошки в комплексе с химической пеной.

Известно, что при взаимодействии некоторых природных углеводородов с металлами могут образоваться металлоорганические пирофорные соединения. Эти вещества обладают способностью самовоспламеняться при контакте с воздухом и нормальной температуре. Они характеризуются чрезвычайно высокой пожарной опасностью. Реакция их взаимодействия с водой,

воздушно-механической пеной протекает очень быстро, взрывообразно. Эффективным средством тушения пирофорных веществ являются огнегасительные составы СИ и особенно СИ-2 (крупнопористый силикагель, насыщенный тетрафтордибромэтаном в концентрации 50 %).

К очагу пожара порошкообразные огнегасительные составы подают при помощи сжатого воздуха.

В недалеком будущем порошковые средства тушения пожаров займут одно из первых мест. Это обусловлено все возрастающими масштабами производств, использующих в больших объемах легковоспламеняющиеся жидкости, горючие газы, металлы и другие вещества, горение которых невозможно тушить водой, пеной, инертными газами (последние неприменимы по соображениям безопасности обслуживающего персонала). Универсальные по областям применения порошковые огнегасительные средства наиболее эффективны, не оказывают коррозионного действия на оборудование, являются хорошим тепловым экраном, глубоко инертизируют очаг горения, изолируют горючее вещество от окислителя, связывают большое количество теплоты и безопасны для людей. Эффективными порошковыми составами являются ПСБ-2, П-1, ПФ, «Монекс», ПС-1 и др.

§ 7. Автоматические системы сигнализации и пожаротушения

Для оперативного оповещения о начале пожара на предприятиях нефтяной и газовой промышленности помимо телефонной и радиосвязи широко используются автоматические системы сигнализации. В большинстве случаев эти системы оповещают с помощью аварийного звукового или светового сигнала о зарождающейся опасности и месте ее возникновения и одновременно включают в действие стационарные средства пожаротушения. Различают системы по виду огнегасительного средства — устройства для воды, пены, галоидоуглеводородов, порошков, двуокиси углерода; по принципу действия автоматических извещателей — тепловые, световые, дымовые и температурные; по способу соединения — лучевые и шлейфовые; по приведению в действие — ручные и автоматические; по сигнальной системе — с автоматическим, пневматическим, пневмотросовым и электрическим пуском. В современной автоматической огнегасительной системе по сигналу датчика о пожаре, реагирующего на появление пламени, дыма, света или повышение температуры, включается звуковой извещатель (сирена и др.) и срабатывает пусковое устройство, приводящее установку в действие. В емкости с огнегасительным веществом создается давление (при помощи заряда взрывчатого вещества, сжатого воздуха, насоса и др.), и средство пожаротушения по трубопроводу, через специальную насадку и др. подается непосредственно в очаг горения.

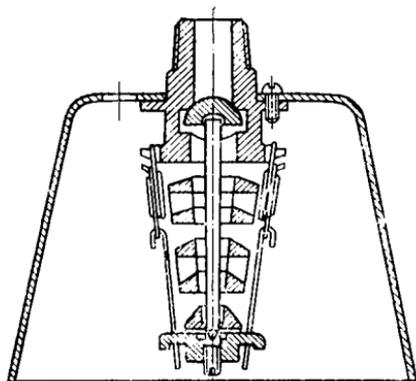


Рис. 41. Пенный спринклерный ороситель ОПС с замковым устройством

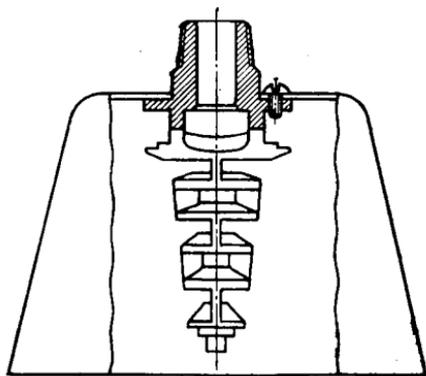


Рис. 42. Пенный дренчерный ороситель ОПД

Широкое распространение на практике получили установки водяного, воздушно-водяного, пенного, газового и порошкового тушения, предназначенные для автоматического тушения пожаров в момент их возникновения. Из-за большой инертности системы (пожар до начала тушения получает опасное развитие), громоздкости, высокой стоимости, сложности обслуживания и др. эти установки не во всех случаях обеспечивают в полной мере пожарную безопасность производственных объектов.

Эффективны спринклерные и дренчерные установки, состоящие из разветвленной трубопроводной распределительной сети с распылителями воды и пены — спринклерными (рис. 41) и дренчерными (рис. 42) головками типа 2-СП, СВ, ДР, ДЛ, ОПС и ОПД. Эти головки не только эффективно распыляют струи воды и пены в очаге горения, но и реализуют автоматическое включение установки при повышении температуры. Принцип их действия следующий: специальное замковое устройство из легкоплавкого металла при повышении температуры разрушается, стеклянный клапан, перемещаясь, открывает рабочее отверстие и включает спринклер в работу. Одновременно подается сигнал о пожаре. В настоящее время спринклеры изготавливают на разные температуры срабатывания. При питании установки от водопровода на входе системы предусматривается специальный узел управления спринклерной водовоздушной системой (рис. 43). В других случаях система начинает свою работу при автоматическом включении специальной насосной группы. В отапливаемых помещениях распределительную сеть спринклерной системы заполняют водой; в неотапливаемых — воздухом, который при срабатывании спринклеров вытесняется водой или другим огнегасительным средством.

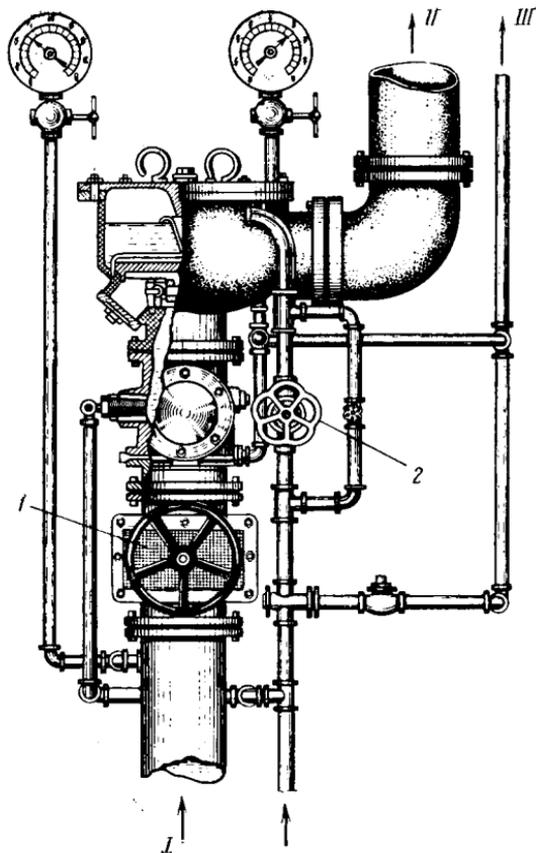


Рис. 43. Узел управления спринклерной водо-воздушной системы:

1 — задвижка; 2 — регулировочный вентиль.
 Линии: I — от водопитателя; II — в спринклерную сеть; III — к сигнальному устройству

Дренчерные установки по устройству аналогичны спринклерным, но в отличие от них они не оборудованы замковым устройством, нормально открыты для выпуска воды или пены. Дренчерные установки включаются оператором или автоматическим пожарным сигнализатором с соответствующим побудительным устройством.

В настоящее время разработано большое число систем пожаротушения, использующих последние достижения автоматики и электроники (рис. 44). На рис. 45 приведена установка для тушения пожара в резервуаре при помощи воздушно-механической пены. При возникновении пожара в резервуаре 10 датчик температуры 8 замыкает электрическую цепь и открывает электромагнитные клапаны 5, 7. Вода и пенообразователь, проходя через распылитель 9, образуют

пену и заполняют резервуар. Если в установке используется насос-усилитель 3, он включается в работу автоматически при помощи магнитного пускателя 1.

По прекращению горения (снижение температуры) датчик 8, размыкая цепь, обесточивает электрическую сеть электромагнитных клапанов, при этом прекращается поступление воды и пенообразователя и останавливается насос-усилитель.

Время срабатывания рассмотренных выше автоматических систем пожаротушения составляет 10—110 с. Горение многих веществ, характерных для нефтяной и газовой промышленности, получает за это время значительное распространение и не может быть прекращено с помощью таких установок.

Более перспективны быстродействующие автоматические системы подавления локальных загораний и взрывов (рис. 46).

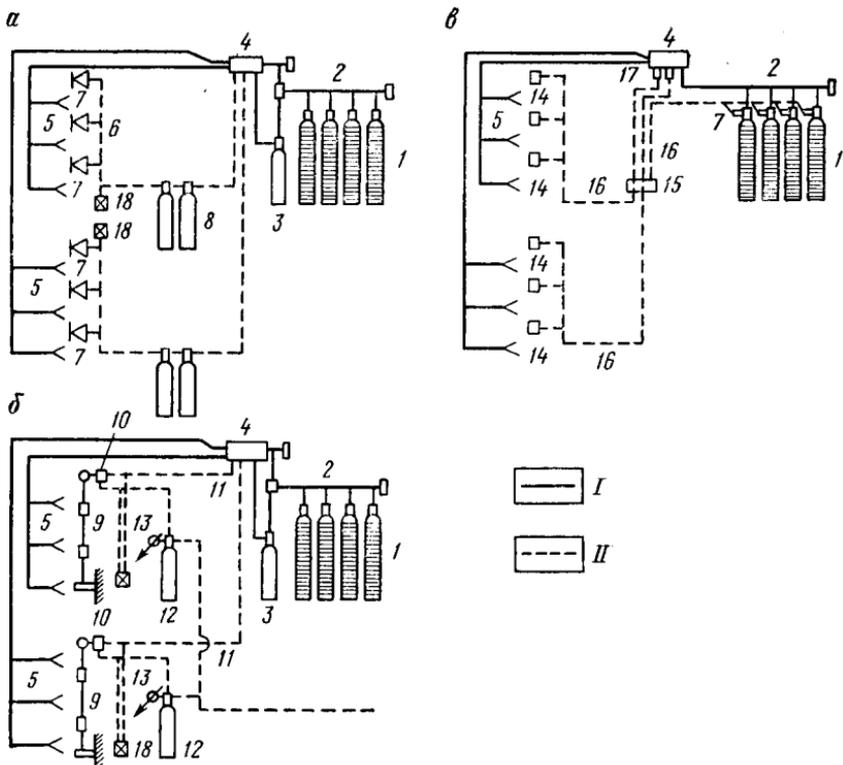


Рис. 44. Схемы автоматических установок газового тушения:

а — установка с пневматическим пуском; *б* — установка с пневмотросовым пуском; *в* — установка с электрическим пуском; 1 — баллоны с CO₂ (составом «3,5» и т. д.); 2 — коллектор; 3 — пусковой баллон со сжатым воздухом; 4 — распределительное устройство; 5 — подающие трубопроводы с насадками; 6 — сигнальные трубопроводы; 7 — спринклерные головки; 8 — побудительно-пусковые батареи со сжатым воздухом; 9 — натяжной трос с легкоплавкими замками (датчиками); 10 — тросовые клапаны; 11 — побудительные трубопроводы со сжатым воздухом; 12 — баллоны-резервы побудительной системы; 13 — электроконтактные манометры; 15 — приемное устройство; 16 — электрические цепи; 17 — электрические пиротроны; 18 — ручные пусковые краны (пусковые головки). Линии: I — трубопроводы подачи огнегасительного состава; II — побудительно-пусковые сигнальные трубопроводы (или электрические цепи)

Использование заряда взрывчатого вещества в пламеподавительных устройствах (рис. 47) позволяет в качестве огнегасительного средства применять огнегасительные порошки. Скорость истечения порошка из пламегасителя (см. рис. 47) достигает 30 м/с и более. При помощи форсуночных, разрывных и смешанных пламеподавительных устройств обеспечиваются необходимые равномерность, плотность и площадь распыления огнегасительного вещества, полностью перекрывающего горящий факел (см. рис. 46). Для подавления очага взрыва пыли применяют хлористый калий, гидрокарбонат калия и др. для прекращения горения углеводородных горючих, металлов и

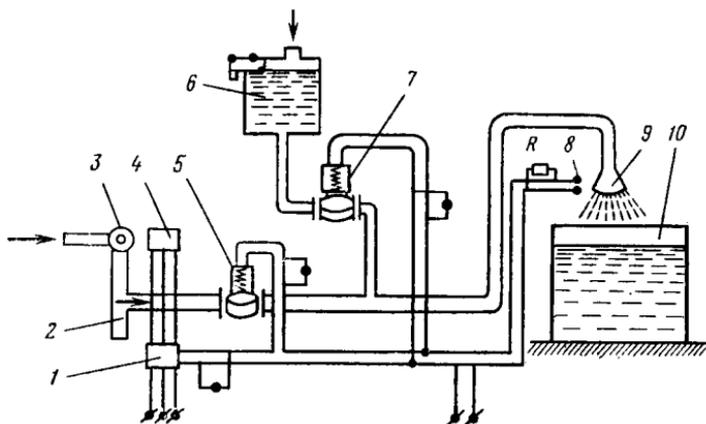


Рис. 45. Схема автоматической установки тушения пожаров воздушно-механической пеной:

1 — магнитный пускатель; 2 — линия подачи воды; 3 — насос-усилитель; 4 — пусковое устройство; 5, 7 — электромагнитные клапаны; 6 — бак с раствором пенообразователя; 8 — датчик температуры; 9 — распылитель; 10 — резервуар

Рис. 46. Схема автоматической быстродействующей системы локального пожаротушения

1 — малоинерционный датчик; 2 — усиительно-пусковое устройство; 3 — пламеподавительное устройство

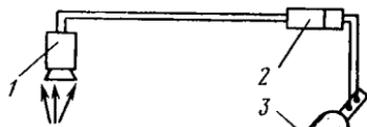
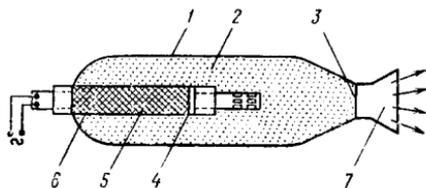
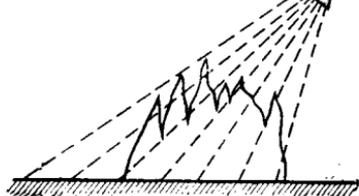


Рис. 47. Схема пламеподавителя с нестационарным потоком огнегасительного вещества:

1 — корпус с соплом; 2 — огнегасительное вещество; 3 — предохранительная диафрагма; 4 — срезной диск; 5 — газогенерирующий заряд; 6 — зарядная камера; 7 — распылительный насадок



металлорганических, соединений — порошок ПС, электрооборудования, — порошок ПСБ, приготовленный на основе гидрокарбоната натрия; для тушения высокотемпературного горения газа — порошки типа СИ — сочетание порошковой основы с ингибирующими веществами (тетрафтордибромэтан) для тушения твердых тлеющих материалов — порошок ПСБ и т. д. Во всех случаях наиболее полно реализуются меха-

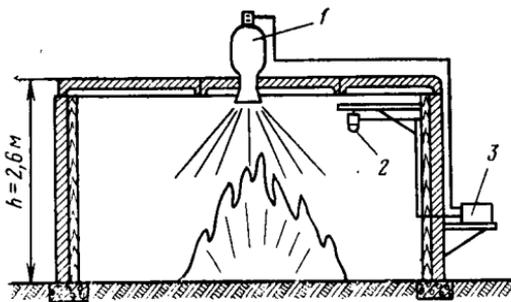
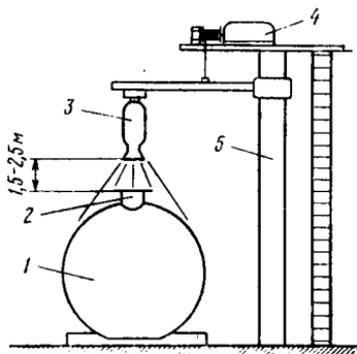


Рис. 48. Схема тушения пожара в емкости:

1 — емкость; 2 — горловина; 3 — пламеподаватель ПГП-1; 4 — подъемный механизм; 5 — вертикальная опора

Рис. 49. Тушение пожара в помещении:

1 — пламеподаватель ПГП-1; 2 — датчик ДПС-0,38; 3 — усилительная станция

ническое воздействие порошка на пламя, ингибирование реакции, поглощение тепловой энергии, огнепреграждение, инертизация среды и изоляция горючего от окислителя и достигается высокий эффект пожаровзрывозащиты. Полное время срабатывания быстродействующей системы локального пожаротушения составляет 300—400 мс. При этом в емкости или помещении горение полностью прекращается (рис. 48, 49) и не может возобновиться в последующие 30 мин в образовавшейся там инертной среде.

Для тушения больших очагов загорания помимо автоматических огнегасительных установок используют пожарный водопровод с насосами, системой наружных и внутренних гидрантов, кранов, паропроводы, пенные камеры, генераторы высокократной пены, распылители и т. д. В арсенале противопожарных средств мощные автоцистерны (типа АЦ), пожарные насосы (АН), автомобили воздушно-пенного тушения (АВ), автолестницы (АЛ) и другая современная техника.

§ 8. Первичные средства пожаротушения

Для ликвидации пожаров на стадии их возникновения широко используют в настоящее время ручные химические пенные огнетушители типа ОП-5 и ручные воздушно-пенные огнетушители высокократной пены типа ОВП-5 и ОВП-10.

Огнетушитель ОП-5 (рис. 50) представляет собой стальной сварной корпус, заполненный раствором двууглекислого натрия с солодковым экстрактом (щелочная часть) и расположенным внутри его стаканом со смесью сернокислого окисного железа с серной кислотой (кислотная часть). При повороте рукоятки

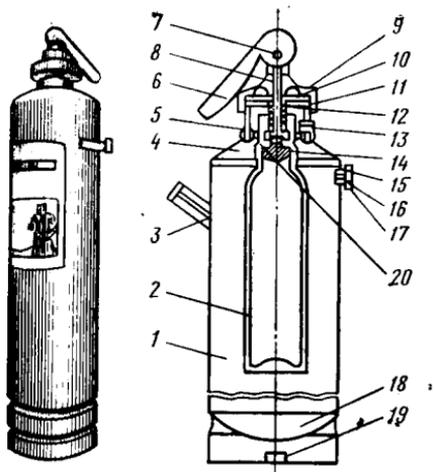


Рис. 50. Пенный огнетушитель ОП-5:

1 — корпус; 2 — кислотный стакан; 3 — боковая ручка; 4 — переходник горловины; 5 — горловина; 6 — рукоятка; 7 — штифт; 8 — шток; 9 — крышка; 10 — уплотняющая прокладка штока; 11 — резиновые прокладки (2 шт.); 12 — пружина; 13 — спрыск; 14 — клапан; 15 — накидная гайка; 16 — мембрана; 17 — штуцер предохранителя; 18 — дно; 19 — нижняя ручка; 20 — держатель стакана

выше, чем у ОП-5. При включении в действие находящаяся под давлением в огнетушителе двуокись углерода с большой силой выбрасывает раствор пенообразователя через насадки, превращая его в упругую струю высокочрезвычайно пены. Объем пены 300 л, кратность 65 и дальность вылета 4,5 м. Время истечения 25 с, давление 1,2 МПа. Масса заряженного огнетушителя 7,5 кг. Огнетушитель ОВП-10 в отличие от ОВП-5 имеет в 2 раза больший объем.

Пенные огнетушители, нельзя применять для тушения электроустановок находящихся под напряжением, и горючих веществ, воспламеняющихся при соприкосновении с водой. Эффективно в данном случае использование ручных углекислотных огнетушителей типа ОУ-2, ОУ-5 и ОУ-8 (рис. 51), которыми можно тушить все вещества, окисляющиеся кислородом воздуха. Эти огнетушители представляют собой стальные баллоны емкостью соответственно 2,5 и 8 л, в их горловину ввинчены вентили из латуни, имеющие сифонные трубки и предохранительные устройства (мембраны). Баллоны заполнены жидкой двуокисью углерода под давлением 6 МПа. При открытом вентиле жидкая двуокись углерода выдавливается из баллона, проходит по сифонной (расширяющейся) трубке, испаряется, сильно охлаждается и выбрасывается в виде хлопьев снега. Время действия этих огнетушителей колеблется от 25 до 40 с, вылет струи соот-

на 180° шток приподнимает резиновый клапан, открывая выход для кислотной части. При развороте огнетушителя вверх дном кислотная и щелочная части соединяются, что сопровождается интенсивным выделением двуокиси углерода и образованием пены, которая, с большой скоростью вылетая через распылительное отверстие, прекращает локальное горение. Масса заряженного огнетушителя 14,5 кг, вылет струи — до 8 м, продолжительность работы — до 65 с, кратность пены — 5.

Ручные воздушно-пенные огнетушители—ОВЦ, заряжаемые 4—6 %-ным водным раствором пенообразователя ПО-1, могут эффективно использоваться при температуре от 2 до 50 °С. Огнетушительная эффективность их в 2,5 раза

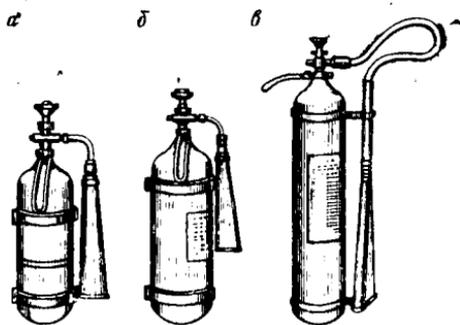
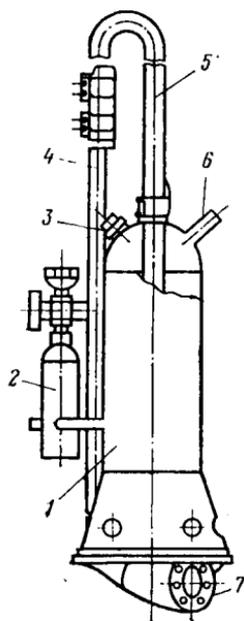


Рис. 51. Углекислотные огнетушители

а — ОУ-2; б — ОУ-5; в — ОУ-8

Рис. 52. Схема порошкового огнетушителя ОПС-10:

1 — корпус; 2 — баллончик с инертным газом; 3 — отверстие с пробкой для зарядки огнетушителя; 4, 5 — шланги; 6 — сифонная трубка; 7 — раструб



ветственно составляет от 1,5 до 3,5 м. Огнетушители типа ОУ можно применять при температуре воздуха от -25 до $+50$ °С.

При тушении электрооборудования, когда имеется повышенная опасность поражения электрическим током, применяют ручные огнетушители типа ОУБ-7, в которых огнегасительным веществом служат галоидированные углеводороды.

Углекислотно-бромэтиловый огнетушитель ОУБ-7 состоит из баллона емкостью 7 л, заполненного бромистым этилом, двуокисью углерода и сжатым воздухом для выбрасывания вещества. Масса огнетушителя 11,6 кг, вылет струи 3—4 м, время действия 35 с. Огнегасительное вещество вылетает из спрыска тонко распыленным в виде тумана и эффективно подавляет горение твердых и жидких веществ, а также электроустановок, находящихся под напряжением. Свойство бромистого этила не проводить электрический ток делает эти огнетушители весьма ценными для практического использования.

Находят применение также порошковые огнетушители ОПС-6, ОПС-10 (рис. 52), пригодные для тушения щелочных металлов и кремний-органических веществ, а также специальные огнетушители ОС-8М (работающие при температуре воздуха от -60 до $+60$ °С), ОП-1, «Спутник» и др.

Для подавления еще не развившихся очагов пожара широкое применение находят передвижные установки, смонтированные на специальных двухколесных тележках. К ним относятся порошковый огнетушитель ОПС-10, углекислотные огнетушители УП-1М и УП-2М, огнетушители СЖБ-50, ОБ-40 и др.

§ 9. Современные способы тушения пожаров открытых фонтанов нефти и газа

Пожар открытого фонтана — одна из наиболее грозных и опасных аварий на нефтяных и газовых месторождениях. Помимо нарушения нормальной эксплуатации залежи и огромных потерь ценного энергетического сырья, он связан с большими материальными затратами, ликвидация горящего фонтана требует привлечения значительного числа специалистов, высококвалифицированных рабочих и разнообразной современной техники. Объем и сложность работ по ликвидации пожара зависят от мощности фонтана, давления нефти (газа) на устье скважины, конструкции и состояния скважины, рельефа местности и других факторов.

Ликвидация мощных горящих фонтанов состоит из нескольких этапов: выбор способа и подготовка тушения пожара; подавление и ликвидация пламени; изоляция фонтана после ликвидации горения. До начала работ выясняют причины и условия возникновения пожара, состояние устья скважины и ее арматуры, положение бурильного инструмента или подземного оборудования. Оценивают дебит открытого фонтана, опасность его для расположенных в окрестности производственных объектов, состояние грунта и территории вокруг очага пожара, а также обеспеченность огнегасительными средствами.

Известно, что всякая скважина в процессе бурения заполнена буровым раствором с удельным весом d , создающим противодействие p на забой, пропорциональное глубине скважины (высоте столба жидкости):

$$p = dH.$$

Пластовое давление нефти или газа, как правило, не превышает давления столба раствора в скважине. Однако в газоносных глубоких горизонтах эта закономерность часто нарушается. На глубине 3000 м, например, пластовое давление газа иногда равно 50 МПа. Газ насыщает буровой раствор, резко снижает его удельный вес, и скважина начинает фонтанировать.

В других случаях причиной фонтанирования может быть снижение уровня жидкости в скважине вследствие несвоевременной подкачки раствора при подъеме бурильной колонны, ухода бурового раствора в поглощающий пласт, применения нефтяных ванн при освобождении прихваченного инструмента и др.

Фонтаны условно делят на нефтяные, газонефтяные и газовые. Нефтяными считают фонтаны с большим дебитом нефти (1500—2000 т/сут и менее) и меньшим количеством газа (750 тыс. м³/сут); газонефтяными — с содержанием газа более 50 % и нефти менее 50 %; газовыми — с содержанием газа 90—100 %. По дебиту фонтаны делят на слабые, (дебит до 500 тыс. м³/сут), средние — от 0,5 до 1 млн. м³/сут и

мощные — 1 млн. м³/сут и более. При горении газонефтяного фонтана вся нефть сгорает; при горении нефтяного — часть нефти разливается и продолжает гореть на поверхности земли.

Ориентировочно о виде и мощности фонтана можно судить по высоте выброса пламени (слабый — 40—50 м, средний — 50—70 м, мощный — 70—90 м), цвету пламени (газовый — ярко-желтое; газонефтяной — оранжевое; нефтяной — оранжевое с большим количеством черного дыма). Дебит фонтана можно характеризовать также по величине пластового давления, диаметру скважины и другим данным.

Все работы по ликвидации открытых газовых и нефтяных фонтанов проводят в соответствии с Инструкцией по организации и безопасному ведению работ по ликвидации открытых газовых и нефтяных фонтанов, утвержденной Миннефтепромом, Мингазпромом и Госгортехнадзором СССР по согласованию с ГУПО МВД СССР.

В зависимости от вида и периодичности (пульсации), мощности фонтана, величины давления и теплового излучения, высоты факела, состояния обвязки (контакта) устья скважины, рельефа местности, расстояния от устья скважины до фронта пламени и других факторов используют различные способы тушения фонтанов. Для подавления мощных фонтанов бурят наклонно-направленные скважины с максимальным приближением их к забою горящего фонтана. Эти скважины используют для понижения давления в устье горящего фонтана отбором газа и нефти со свободным дебитом (без установки штуцеров), для закачки воды в фонтанирующую скважину и др.

Для глушения пульсирующих фонтанов используют мешки с песком при одновременной подаче воды в очаг горения, отводят несгорающую нефть в специальные амбары, надвигают на устье скважины тяжелые железобетонные или металлические плиты, засыпают скважины большим количеством грунта, для чего на устье сбрасывают с вертолетов мощные заряды взрывчатых веществ, используют мощные бульдозеры, земснаряды, гидромониторы и т. д.

Однако эти способы редко дают желаемый результат даже при тушении фонтанов небольшой мощности.

Обычно для тушения пожара при фонтанировании скважины применяют несколько способов. Мощные фонтаны с раздробленной струей или в виде бурунов можно подавлять, используя одновременно мощные водяные струи и взрывы зарядов взрывчатых веществ вблизи устья фонтана, у негорящей части струи, образующейся при совместном воздействии на фонтан ряда компактных водяных струй. Взрывная волна на мгновение прекращает фонтанирование, отрывает пламя от струи. Иногда вместо взрывов эффективно использовать автомобили газоводяного тушения (АГВГ-100). Отрыв пламени происходит при этом за счет инертизации (разбавления) газового потока

инертными отработанными газами турбореактивного двигателя (40 %) и диспергированной капельной жидкостью (60 %).

Слабые нефтяные фонтаны глушат и гасят обваловыванием, предельно приближаясь к устью скважины со всех сторон с помощью бульдозеров, работающих под прикрытием водяных струй. При сокращении до минимума зеркала горения, объем несгорающей нефти быстро накапливается.

Вначале нефть гасят по периметру (создание пароводяной завесы). Затем мощными струями из лафетных и ручных стволов пламя сгоняют с горячей поверхности к одной из сторон амбара. Потушенную нефть отводят в специально сооруженный земляной котлован (емкостью не менее 10-суточного дебита фонтана) на расстоянии 150—200 м от устья фонтанирующей скважины. Обвалованную часть разлившейся нефти около устья скважины забрасывают кусками труб, покрывают листовой сталью и засыпают землей. Площадь зеркала горячей нефти уменьшается до величины круга радиусом 3 м с центром в устье скважины. Затем устье фонтана забрасывают мешками с песком. Языки пламени, выбрасываемые через неплотности, гасят водяными струями. Если это невозможно, то в течение 10—12 ч нагревают конус фонтана и затем подают в центр его большое количество воды из 10—12 лафетных стволов одновременно. Образующееся при этом большое количество пара вместе с водой прекращает процесс горения.

Если есть возможность, то подключают заилочные агрегаты и большим количеством глинистого раствора прекращают свободное фонтанирование, охлаждают оборудование, места расположения задвижек и превентора.

Работы по ликвидации фонтана выполняют под защитными струями. Если подавить фонтан закрытием задвижки невозможно, глинистый раствор или воду закачивают в скважину через бурильные трубы (на стадии бурения) или отводы крестовика превентора.

Истечение газовых и газонефтяных фонтанов может происходить:

- 1) через бурильные трубы (при неповрежденном устье скважины) в виде вертикальной компактной струи;
- 2) через устье скважины (струя раздроблена);
- 3) через толщу воды в кратере устья скважины;
- 4) через фонтанную арматуру (рис. 53).

Для тушения горящих фонтанов малой и средней мощности с нераздробленным факелом применяют компактные струи воды из лафетных стволов ПЛСВ-60, ПЛС-С60, ПЛС-П20. Воду подают с объемной скоростью 20—30 л/с при давлении 0,7—0,8 МПа. Стволы располагают вокруг устья скважин обычно на расстоянии 6—8 (не более 15) м. Первоначально струи воды от всех стволов направляют в нижнюю часть фонтана. В последующем их синхронно поднимают вверх, фиксируя через 1—2 м

на 30—50 с. В другом варианте часть струй направляют постоянно в нижнюю часть фонтана, другие перемещают по его высоте.

При использовании лафетных и ручных стволов одновременно лафетные стволы поднимают пламя на высоту 7 м, резко снижая тем самым интенсивность тепловыделения, затем ручными стволами с расстояния 2 м от устья отрывают пламя в месте пересечения его лафетными стволами. Число стволов и расход воды устанавливают в зависимости от дебита фонтана (количества изливающейся нефти).

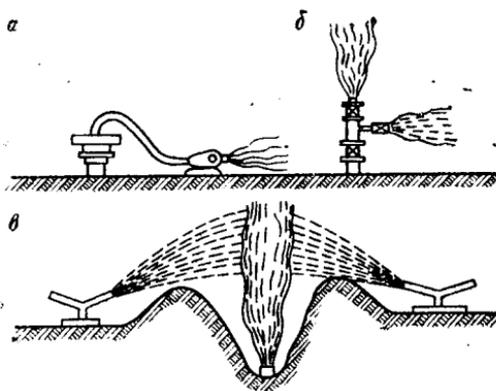


Рис. 53. Типичные виды горения фонтанирующих скважин:

a — через бурильные трубы и деформированную трубку с вертлюгом; *б* — через фонтанную арматуру эксплуатируемой скважины; *в* — через обсадную колонну на дне кратера

Применяют в данном случае также и турбореактивные установки газоводяного тушения АГВТ-10 (на шасси автомашины или гусеничном тягаче). Газоводяную струю диаметром 5—6 см под напором 0,4 МПа с расстояния 35—40 м направляют в факел фонтана и подают гидроаэрозоль до окончания тушения. Расходы воды 65 л/с при тушении и 4 л/с — при орошении.

От вида и мощности фонтана зависят число одновременно используемых ручных стволов, их тип (диаметр sprыска выпускного отверстия), число ярусов подачи воды, соотношение числа лафетных и ручных стволов, разная подвижность их на разных ярусах и т. д.

Иногда единственно возможным способом тушения горящих фонтанов являются взрывы. Заряды разной величины и конструкции доставляют к фонтану разными способами и располагают их в окрестности скважины. Взрывом заряда сбивают пламя и в ряде случаев тушат фонтан.

Во всех случаях до начала работ по тушению горящего фонтана выполняют работы по расчистке устья скважины. Эффективно можно тушить только компактные фонтанирующие потоки газа, нефти и смеси этих углеводородов. Поэтому в некоторых случаях для ликвидации деформированной устьевой арматуры (например, ротора) используют выстрелы из артиллерийских орудий. При этом важно не повредить устье скважины.

При диаметре кратера фонтана до 30 м водяные завесы над грифоном создают при помощи ручных стволов СА; при диаметре более 30 м — при помощи лафетных стволов с диаметром sprыска 25—27 мм. Число стволов определяется с учетом мощ-

ности фонтана и изменяется от 6 до 16 ручных (тип КРБ или СА) и от 3 до 8 лафетных стволов. После создания водяной завесы над грифоном взрывают заряд взрывчатого вещества, подаваемого по тросу, или с использованием автомобиля АГВГ-100.

При разработке морских месторождений нефти и газа на одном основании бурят 8—16 скважин. При шторме, сильном ветре, причаливании тяжелых кораблей и т. д. возможны случаи повреждения надводной и подводной частей скважины. Изливающаяся нефть всплывает на поверхность воды и нередко загорается. Горящая пленка в зависимости от направления и силы ветра перемещается со средней скоростью 0,25 м/с. Пламя по нефтяной пленке распространяется (при полном штиле) со скоростью 0,6 м/с. При шторме в 5 баллов пленка эмульгируется, при 3 баллах — образуются отдельные горящие очаги. Работы по ликвидации фонтана выполняют аварийно-спасательные суда и водолазная служба. Вначале пытаются нарушить горящую пленку и охладить все нагретые металлические части. Горящую нефть при этом отгоняют от места ее разлива на поверхности моря струями воды с пожарных судов, разбивают на отдельные участки (островки) и тушат. Созданные подходы позволяют высадить аварийные службы вблизи устья фонтана для его перекрытия и тушения. Остатки нефти с поверхности воды удаляют специальные суда.

Тушение и ликвидация горящих нефтяных и газовых фонтанов — это особая, чрезвычайно сложная научно-прикладная область пожарного дела. Наиболее актуальные задачи этой области в настоящее время широко разрабатываются во всех развитых странах мира, что позволит в будущем исключить этот вид тяжелых аварий на основе эффективной профилактической работы и комплексных мер по борьбе с нефтяными и газовыми фонтанами на континентальных и морских месторождениях.

Глава XVI

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЖАРО-ВЗРЫВООПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Электрические машины и аппараты, не соответствующие по виду исполнения пожаро-взрывоопасности производственного объекта (помещения) или эксплуатируемые в неисправном состоянии, могут на предприятиях нефтяной и газовой промышленности явиться причиной крупных пожаров и взрывов. В корпусе ошибочно выбранного по исполнению электроаппарата горючие смеси теоретически способны воспламениться и взрываться (детонационное горение) от искр нормального работающего контактора. Пламя при детонационном горении проходит через неплотности (зазоры) в корпусе электрического аппарата

и воспламеняет наружную взрывоопасную газоздушную смесь, если концентрация горючих газов в ней находится между нижним и верхним пределами воспламенения.

При эксплуатации неисправного оборудования переносной подстанции, фидерного автомата, пускателя и др. причиной пожара (взрыва) может быть искрение, нагрев проводов при замыкании, в местах соединения их при слабом контакте и большом переходном сопротивлении, электрический разряд при отключении нагрузки контактором, разъединителем, перегрев обмоток двигателей и трансформаторов при перегрузках и др. Правильный выбор соответствующего по исполнению электрооборудования для конкретного производственного помещения, поддержание его в исправном рабочем состоянии в течение всего периода эксплуатации является необходимым условием высокой пожарной безопасности современного нефтегазодобывающего производства.

Способность пламени «проскакивать» через щелевые отверстия (зазоры в электроаппаратах) для различных горючих газов и газовых смесей неодинакова. В газах, которые при детонационном горении выделяют сравнительно небольшое количество теплоты, а при проходе через щелевое отверстие (с заданными размером зазора и длиной щели) охлаждаются до температуры ниже температуры воспламенения, пламя не может проникать из корпуса аппарата во внешнюю среду и вызывать пожар или взрыв. И наоборот, в быстрогорящих газах (водород), а также в тяжелых газообразных (парообразных) веществах с нижним концентрационным пределом взрываемости не более 2—3 % пламя легко «проскакивает» при детонационном горении через щель и может быть источником зажигания горючих веществ и материалов вне корпуса электроаппарата.

Изменяя зазор и длину щелевых отверстий в металлических корпусах электроаппаратов при их изготовлении, можно при одной и той же газо-паровоздушной смеси повышать или понижать уровень их щелевой пожаро-взрывозащиты. Электроаппараты и двигатели в одном и том же исполнении при работе в разных горючих средах характеризуются разным уровнем щелевой защиты.

В Правилах устройства электроустановок (ПУЭ) и Правилах изготовления взрывобезопасного, рудничного электрооборудования (ПИБРЭ) предусмотрена классификация горючих смесей, производственных помещений и технологических установок по пожаро-взрывоопасности. Все взрывоопасные газо- и паровоздушные смеси, например, по значению температуры самовоспламенения подразделены на пять групп.

Группа смеси	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
Температура самовоспламенения, °С	>450	300—450	200—300	135—200	80—135

К каждой группе относятся определенные вещества: к группе T_1 — бензин, пропан; T_2 — ацетилен, спирты; T_3 — керосин, дизельное топливо; T_4 — этиленгликоль; T_5 — сероуглерод.

По способности распространять взрыв из корпуса одного электроаппарата в другой, соединенный с первым щелевым отверстием, или в окружающую среду газо- и парообразные горючие смеси подразделяют на четыре категории:

Категория взрывоопасной смеси	1	2	3	4
Величина зазора между поверхностями фланцев шириной 25 мм, при которой частота передачи взрывов составляет 50 % от общего числа взрывов при объеме оболочки 2,5 л, мм	>1	0,65—1,0	0,35—0,65	<0,35

Это значительно облегчает выбор электрических машин и аппаратов соответствующего исполнения и уровня пожаро-взрывозащиты. Так, для пожароопасных помещений класса П-I и П-II ПУЭ рекомендуют применять машины в закрытом или продувочном исполнении; в помещениях класса П-IIа — соответственно во взрывозащищенном исполнении; в наружных установках класса П-III — в закрытом или закрытом обдуваемом исполнении. В помещениях класса П-I электродвигатели можно применять только в маслonaполненном или пыленепроницаемом исполнении; в помещениях класса П-II — в пыленепроницаемом; в помещениях класса П-IIа — в закрытом и маслonaполненном; в наружных установках класса П-III — в закрытом исполнении.

В помещениях класса П-I запрещено использовать скользящие токосъемники (троллейные провода); в помещениях П-II, П-IIа и П-III эти провода широко применяют и т. д.

Аналогичные рекомендации ПУЭ даются для выбора светильников (помещения класса П-I — в закрытом исполнении; класса П-II — в пыленепроницаемом; для наружных установок класса П-III — светильники в закрытом влагозащищенном исполнении и т. д.), для электропроводки (защищенная, открытая), соединительных и распределительных муфт и т. д.

По взрывоопасности производственные помещения (рабочие зоны) ПУЭ подразделяют на шесть классов:

В-1 — помещения, где взрывоопасные концентрации горючих паров и газов в воздухе могут образоваться при нормальном недлительном режиме работы (открытые емкости с легковоспламеняющимися жидкостями (ЛВЖ) и взрывоопасными газами (ВОГ);

В-1а — образование взрывоопасных концентраций горючих паров и газов в воздухе возможно только при аварии или неисправности оборудования (утечки через неплотности, сальники в нефтенасосных станциях, машинных залах газовых турбин,

компрессоров, перекачивающих природные и попутные нефтяные газы);

В-1б — то же, что и В-1а, но отличаются тем, что:

1) горючие газы обладают высоким нижним пределом взрываемости (15 % и более) и резким запахом, ощутимым в пределах ПДК;

2) образование в аварийных случаях взрывоопасной концентрации в помещении по условиям технологического процесса исключается, хотя локальное (местное) образование опасной горючей смеси возможно;

3) легковоспламеняющиеся горючие газы и ЛВЖ имеются в помещении в небольшом количестве; работа с ними выполняется в вытяжном шкафу или под вентиляционным зонтом;

В-1г — наружные установки, в аппаратах которых содержится ВОГ, пары, горючие и ЛВЖ (газгольдер, емкость, сливно-наливная эстакада и т. п.); взрывоопасные смеси могут образоваться только при аварии или неисправности оборудования (нефтепричалы, нефтеловушки, сепарационные и замерные установки на открытых площадках и др.);

В-11 — помещения, где выделяются пыль, волокна, способные во взвешенном состоянии образовывать с воздухом взрывоопасные по концентрации горючие смеси как при нормальном длительном режиме работы, так и во время аварии;

В-11а — то же, что и В-11, но взрывоопасные смеси возникают при авариях или неисправности технологического оборудования.

Взрывозащищенное электрооборудование в зависимости от уровня взрывозащиты ПИВРЭ подразделяют на следующие категории:

1) не имеющие средств взрывозащиты (рудничное нормальное и общепромышленное);

2) повышенной надежности против взрыва в режиме нормальной эксплуатации;

3) взрывобезопасное — имеющее средства защиты от взрыва опасной газо-, паро- и пылевоздушной среды как при нормальной работе, так и при возможных неисправностях;

4) взрывобезопасное при любых повреждениях и при неограниченном числе повреждений любых элементов.

Повышенная надежность электрооборудования против взрыва обеспечивается также использованием высококачественных изоляционных материалов, эффективных искрогасителей, установлением достаточно низких предельных температур нагрева металлических частей, перегрева обмоток, прочностью корпусов, оптимальными по величине зазорами и шириной фланцев и т. д. Взрывозащищенное оборудование маркируют с указанием уровня взрывозащиты, опасности среды, для которой оно предназначено, и вида взрывозащиты.

Уровень взрывозащиты обозначается: рудничное нормальное — РН; повышенной надежности против взрыва для подземных выработок — РП; для помещений и наружных установок — Н; взрывобезопасное для подземных выработок — РВ; для помещений и наружных установок — В; взрывобезопасное при любых повреждениях — для подземных выработок — РО, для помещений и наружных установок — О. Указанные уровни взрывозащиты электрооборудования обеспечиваются: взрывонепроницаемой оболочкой (корпусом) — выдерживает давление взрыва, предотвращает наружное воспламенение взрывоопасной смеси как в нормальном режиме работы, так и при дуговом коротком замыкании — обозначение В; кварцевым заполнением — К; искробезопасностью — И; повышенной надежностью против взрыва (рудничное оборудование — П, общепромышленное — Н); автоматическим снятием напряжения с токоведущих частей — А (только для рудничного электрооборудования); продуванием под избыточным давлением — П; маслонеполнением — М; специальным исполнением — С.

Взрывонепроницаемый корпус — наиболее надежный вид исполнения взрывозащищенного электрооборудования, которое при соответствующем исполнении применимо во всех взрывоопасных средах. Изготовленное для определенной среды, оно может применяться в менее опасной среде, если для последней нет специального оборудования.

Маркируют взрывозащищенное электрооборудование на металлической оболочке корпуса, например, в виде $\frac{ВЗТ_1}{В}$, что означает: первая буква В — уровень взрывозащиты (В — предназначено для помещений и наружных установок); цифра 3 после В — электрооборудование относится к 1-й, 2-й и 3-ей категориям взрывоопасных смесей; к группе Т₁; вид взрывозащиты — взрывонепроницаемая оболочка (буква В в знаменателе). Электрооборудование, пригодное для применения во всех случаях, имеет маркировку ВУТ₅. Широкого применения такое оборудование не находит из-за высокой стоимости изготовления.

Следует помнить, что наличие горючей взрывоопасной смеси в производственном помещении — необходимое, но недостаточное условие для выбора электрооборудования во взрывоопасном исполнении. Возможность образования взрывчатых смесей с концентрацией, равной 0,6 НПВ (нижний предел взрываемости), требует применения только специального, взрывозащищенного оборудования. Во всех случаях применяемое электрооборудование по взрывозащищенности должно соответствовать общим требованиям и характеристикам взрывоопасной среды рабочего пространства.

Молния — это искровой электрический разряд между облаком и землей или между облаками. Электризация грозовых облаков обусловлена движением воздушных потоков, содержащихся в них твердых и жидких аэрозольных частиц, интенсивным трением частиц и воздуха.

Во время грозового разряда в течение примерно 100 мкс в канале молнии проходит электрический ток величиной 100—200 кА и достигается температура выше 30000 °С. Чрезвычайно быстро (почти мгновенно) нагретый воздух расширяется, формирует мощную взрывную волну, проносящуюся с огромной скоростью и большим звуковым эффектом. Возникающее при этом атмосферное электричество оказывает тепловое, механическое (прямой удар молнии) и электромагнитное (вторичное проявление атмосферного электричества) воздействие на здания, сооружения, технологическое оборудование, коммуникационные линии и другие объекты. Огромный электрический заряд молнии, проходя при соответствующих условиях через токоотвод, трубопроводы, электрические провода, выделяет большое количество тепловой энергии и может мгновенно расплавить, разрушить, испарить поражаемые объекты. Для предотвращения этих опасных разрушений ПУЭ рекомендуют использовать в опасных грозовых районах в качестве молниеотводов проводники с минимальной площадью поперечного сечения: для медных проводников — 0,16 см², для алюминиевых — 0,25 см², для стальных — 0,50 см².

Прямые удары возникают при непосредственном контакте молнии с объектом, сопровождаются разрушением деревянных, а иногда кирпичных и каменных конструкций. Современные железобетонные опоры под действием ударов молнии откалываются, разрыхляются в местах крепления.

Вторичное проявление атмосферного электричества обычно оценивают по электромагнитной и электростатической индукции.

Разряд молнии порождает изменяющееся во времени и пространстве магнитное поле. Это поле индуцирует в контурах металлоконструкций электродвижущую силу, величина которой зависит от конфигурации фронта молнии, размеров и взаимного расположения канала молнии и металлического контура, в котором наводится э. д. с., т. е. от электромагнитной индукции.

Заряженное грозовое облако, воздействуя на землю, наземные объекты, индуцирует на их поверхности электрические заряды, равные по величине и противоположные по знаку его зарядам. Эти заряды могут накапливаться на объектах, которые хорошо изолированы от земли (провода воздушных линий,

металлические крыши и др.), и обусловлены электростатической индукцией и медленным нарастанием электрического потенциала в облаке. Электрическое соединение с землей всех объектов, на которых возможно накопление зарядов статического электричества (заземление), является в данном случае наиболее эффективной профилактической мерой.

Вторичное проявление молнии создает значительное электрическое напряжение в конструкциях зданий, сооружений, технологическом оборудовании. Обусловлено оно наведением высокого потенциала в производственных объектах через воздушные, подземные металлические коммуникации. При отсутствии металлической связи огромный электрический потенциал, образующийся под воздействием переменного электромагнитного поля, в последнем случае переносится с молниеотвода, например, на расположенные в непосредственной близости от него металлические конструкции через воздушный зазор. Этот электрический пробой сопровождается дуговым разрядом, представляет большую опасность для обслуживающего персонала и может послужить причиной взрывов и пожаров.

Комплекс защитных устройств, предназначенных для обеспечения безопасности людей, сохранности зданий и сооружений, оборудования и материалов от возможных взрывов, загораний и разрушений, возникающих при воздействии молний, называется молниезащитой. Специальные устройства, отводящие ток молнии в землю, называются молниеотводами.

Грозовые разряды, как и всякие другие, распространяются по линии наименьшего сопротивления. В связи с этим они имеют свойство избирательно поражать возвышающиеся над поверхностью земли объекты, электропроводность которых стремится к бесконечности. Защитное действие молниеотводов основано как раз на этой особенности разрядов атмосферного электричества.

Молниеотвод состоит из опоры (несущей части), приемника грозового разряда, токоотвода и заземлителя. По конструкции различают молниеотводы стержневые, тросовые (антенные), сетчатые; по месту установки — стоящие рядом с защищаемым объектом или непосредственно на объекте.

Огромный по величине заряд атмосферного электричества, проходя по молниеотводу, может создавать вблизи его опасные для людей потенциалы. Поэтому токоотводы и заземлители рекомендуются устраивать в отдалении от входов в здания, проезжих дорог (не ближе 5 м), в редко посещаемых местах.

Каждый одиночный молниеотвод ограждает от прямого удара молнии определенную часть пространства. Вероятность поражения объектов в этом разнообразном по геометрической форме пространстве (зоне защиты молниеотвода) максимальна на периферии и резко увеличивается по мере продвижения к центру ее.

В зависимости от пожаро- взрыво- опасности и назначения здания и сооружения, а также местоположения его на территории СССР, в соответствии с Инструкцией по проектированию и устройству молниезащиты зданий и сооружений (Госстрой СССР, СН 305—77) и ПУЭ определяются следующие показатели.

1. Тип зоны защиты (зона А с надежностью защиты 99,5 % и выше и зона Б с надежностью 95 %).

2. Категория устройства молниезащиты:

а) устройства I и II категории возводятся для защиты зданий и сооружений от прямых ударов молнии, электростатической и электромагнитной индукции и заноса высоких потенциалов через наземные и подземные металлические коммуникации;

б) устройства III категории — для защиты от прямых ударов молнии и заноса высоких потенциалов через наземные металлические коммуникации.

Число N поражения молнией зданий и сооружений, не оборудованных молниезащитой, в течение года можно определить по формуле

$$N = (S + 6h) (L + 6h) n \cdot 10^{-6},$$

где S и L — соответственно ширина и длина защищаемого здания (сооружения), имеющего в плане прямоугольную форму, м; h — наибольшая высота здания (сооружения), м; n — среднегодовое число ударов молнии в 1 км^2 земной поверхности в месте расположения здания (для разных районов СССР изменяется от 1 до 12 ударов в год и принимается по таблице, приведенной в упомянутой выше Инструкции Госстроя СССР).

Ниже кратко рассмотрены принципы построения зон защиты молниеотводов.

Молниеотвод высотой $h \leq 150$ м представляет собой: а) в пространстве — круговой конус; б) на поверхности земли — круг радиусом r_0 ; в горизонтальной плоскости на высоте, равной высоте здания, — круг радиусом r_x ; боковые границы зоны обозначены поверхностью, образованной при вращении соответствующего участка образующей конуса (рис. 54).

Основные размеры защитной зоны определяются по следующим формулам.

Для зоны типа А:

$$h_0 = 0,85 h; \quad r_0 = (1,1 - 0,002 h) h;$$

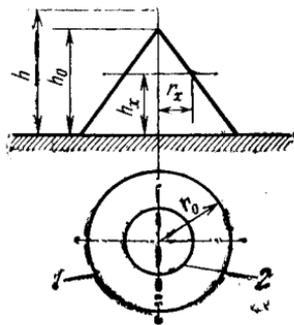


Рис. 54. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой до 150 м:

1 — граница зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой до 150 м; 2 — граница зоны защиты на уровне h_x

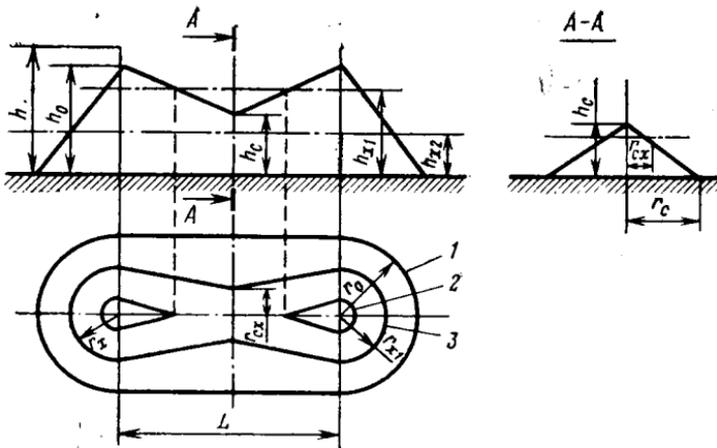


Рис. 55. Зона защиты двойного стержневого молниеотвода высотой до 150 м:

1, 2, 3 — соответственно границы зоны защиты на уровне земли, на уровне h_{x1} , на уровне h_{x2}

$$r_x = (1,1 - 0,002h) \left(h - \frac{h_x}{0,85} \right).$$

Для зоны типа Б:

$$h_0 = 0,92h; \quad r_0 = 1,5h; \quad r_x = 1,5 \left(h - \frac{h_x}{0,92} \right).$$

Зная значения h_x и r_x , высоту одиночного стержневого молниеотвода (для зоны Б) можно вычислить по формуле

$$h = \frac{r_x + 1,63h_x}{1,5}.$$

Зона защиты двойного стержневого молниеотвода высотой $h \leq 150$ м (рис. 55) имеет следующие размеры.

Зона типа А:

$$\text{при } L \leq h; \quad h_c = h_0; \quad r_{c'x} = r_x; \quad r_c = r_0;$$

$$\text{при } L > h \begin{cases} h_c = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4}L)(L - h); \\ r_{cx} = r_0 \frac{h_c - h_x}{h_c}; \quad r_c = r_0. \end{cases}$$

Зона А существует при $L \leq 3h$.

Зона типа Б:

$$\text{при } L \leq 1,5h; \quad h_c = h_0; \quad r_{cx} = r_x; \quad r_c = r_0;$$

$$\text{при } L > 1,5h \begin{cases} h_c = h_0 - 0,14(L - 1,5h); \\ r_{cx} = r_0 \frac{h_c - h_x}{h_c}; \quad r_c = r_0. \end{cases}$$

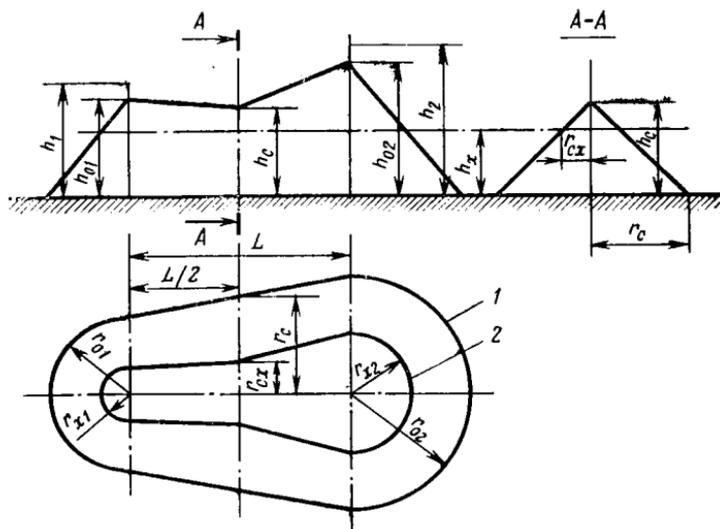


Рис. 56. Зона защиты двух стержневых молниеотводов разной высоты:

1, 2 — соответственно границы зоны защиты на уровне земли, на уровне h_x

Зона Б существует при $L \leq 5h$. Высота молниеотвода для зоны Б при известных h_c и L (при $r_{cx} = 0$) определяется по формуле

$$h = \frac{h_c + 0,14L}{1,13}.$$

При расстоянии между двумя стержневыми молниеотводами $L > 5h$ их можно рассматривать как одиночные.

Зоны защиты двух стержневых молниеотводов разной высоты h_1 и $h_2 \leq 150$ м представлены на рис. 56. Торцевые области этой зоны защиты определяют аналогично зонам защиты одиночных стержневых молниеотводов соответствующей высоты, а основные размеры h_{01} ; h_{02} ; r_{01} ; r_{02} ; r_{x1} ; r_{x2} — по формулам, приведенным для одиночного стержневого молниеотвода. Остальные размеры зоны вычисляются по формулам

$$r_c = \frac{r_{01} + r_{02}}{2}; \quad h_c = \frac{h_{c1} + h_{c2}}{2}; \quad r_{cx} = r_c \frac{h_c - h_x}{h_c},$$

где h_{c1} и h_{c2} для зон обоих типов (А и Б) находят по формулам расчета h_c для двойного стержневого молниеотвода.

Зоны защиты для равновысотного двойного стержневого молниеотвода существуют при условии, если $L \leq 3h_{\min}$ для зоны А и $L \leq 5h_{\min}$ для зоны Б.

Многokратный равновысотный стержневой молниеотвод (рис. 57) имеет зону защиты, равную сумме попарно взятых

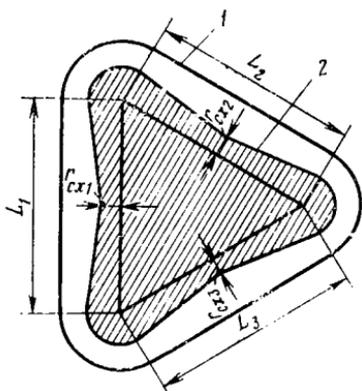


Рис. 57. Зона защиты (в плане) многократного стержневого молниеотвода высотой до 150 м:

1, 2 — соответственно границы зоны защиты на уровне земли, на уровне h_x

при $a < 120$ м как $h = h_{оп} - 2$ м;

при $a = 120 - 150$ м как $h = h_{оп} - 3$ м.

Основные размеры зоны защиты одиночных тросовых молниеотводов определяются следующим образом.

Зона типа А:

$$h_0 = 0,85h; \quad r_0 = (1,35 - 0,0025h)h;$$

$$r_x = (1,35 - 0,0025h) \left(h - \frac{h_x}{0,85} \right).$$

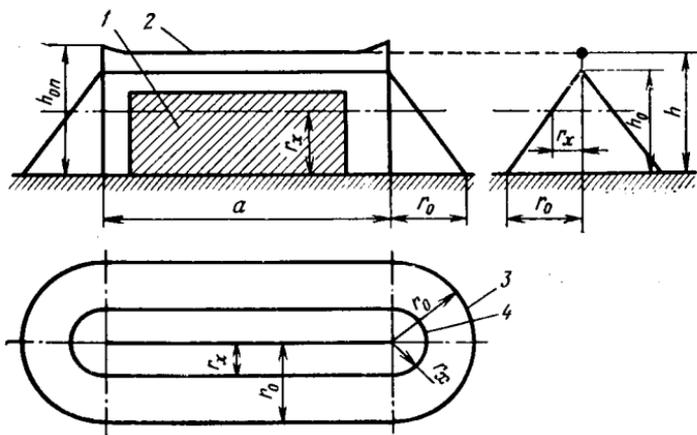


Рис. 58. Зона защиты одиночного тросового молниеотвода высотой до 150 м:

1 — защищаемый объект; 2 — трос; 3, 4 — соответственно границы зоны защиты на уровне земли, на уровне h_x

зон стержневых молниеотводов. Условием защищенности одного или группы сооружений высотой h_x с надежностью, аналогичной надежности зон типа А и Б, является неравенство $r_{cx} > 0$ для всех попарно взятых молниеотводов (r_{cx} для зон А и Б определяется по формулам расчета двойного стержневого молниеотвода).

Зона защиты одиночного тросового молниеотвода высотой $h \leq 150$ м (рис. 58) в точке наибольшего провеса при известной высоте опор $h_{оп}$ (с учетом стрелы провеса), а также высоты стального троса сечением 35—50 мм² определяется:

Зона типа Б:

$$h_0 = 0,92h;$$

$$r_0 = 1,7h;$$

$$r_x = 1,7 \left(h - \frac{h_x}{0,92} \right).$$

При известных величинах h_x и r_x высота одиночного тросового молниеотвода определяется (для зоны типа Б) по формуле

$$h = \frac{r_x + 1,85h_x}{1,7}.$$

Размеры зоны защиты двойного тросового молниеотвода высотой $h \geq 150$ м (рис. 59) находят по следующим формулам:

зона типа А

при

$$L \leq h; \quad h_c = h_0; \quad r_{cx} = r_x; \quad r_c = r_0;$$

при

$$L > h \quad \left\{ \begin{array}{l} h_c = h_0 - (0,14 + 5 \cdot 10^{-4}h)(L - h); \\ r_x' = \frac{L}{2} \frac{h_0 - h_x}{h_0 - h_c}; \\ r_c = r_0; \quad r_{cx} = r_0 \frac{h_c - h_x}{h_c}. \end{array} \right.$$

Условие существования зоны А: $L \leq 3h$;

зона типа Б

при

$$L \leq h; \quad h_c = h_0; \quad r_{cx} = r_x; \quad r_c = r_0;$$

при

$$\left\{ \begin{array}{l} h_c = h_0 - 0,12(L - h); \\ r_x' = \frac{L}{2} \frac{h_c - h_x}{h_0 - h_c}; \\ r_c = r_0; \quad r_{cx} = r_0 \frac{h_c - h_x}{h_c}. \end{array} \right.$$

Зона типа Б существует при $L \leq 5h$.

Значения размеров r_0 , h_0 и r_x для зон обоих типов определяют по формулам расчета одиночного тросового молниеотвода. При известных h_c и L (при $r_{cx} = 0$) высоту молниеотвода для зоны Б определяют по формуле

$$h = \frac{h_c + 0,12L}{1,07}.$$

Производственные объекты нефтяной и газовой промышленности, относящиеся по ПУЭ к классам В-I и В-II, по всей тер-

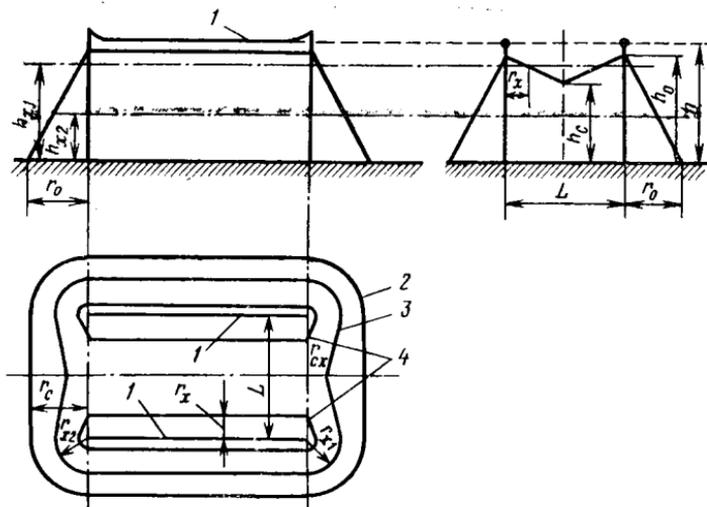


Рис. 59. Зона защиты двойного тросового молниеотвода высотой до 150 м.

1 — трос; 2, 3, 4 — соответственно границы зоны защиты на уровне земли, на уровне h_{x1} , h_{x2}

ритории СССР располагают в зоне защиты А с устройством молниезащиты I категории; соответственно В-1а, В-1б и В-1а, расположенные в местностях со средней грозовой деятельностью 20 и более часов в год при ожидаемом числе поражений молнией $N \leq 1$, — в зоне Б; при $N > 1$ — в зоне А; соответственно объекты классов П-1, П-2 и П-2а в местностях со средней грозовой деятельностью 20 и более часов в год, здания и сооружения I и II степени огнестойкости при $0,1 < N \leq 2$ и III, IV и V степени огнестойкости при $0,02 < N \leq 2$ — в зоне Б; при $N > 2$ — в зоне А и т. д.

Устья нефтяных эксплуатационных скважин, сливо-наливные эстакады для нефтепродуктов с температурой вспышки паров ниже 61°C , нефтепричалы, нефте- и газосборные пункты, машинные залы газовых турбин, сепарационные и замерные установки (емкости), теплообменники, насосные станции на открытых площадках, машинные залы компрессорных для перекачки природных и нефтяных газов, установки комплексной подготовки газа и другие объекты должны быть защищены от прямых ударов молний отдельно стоящими молниеотводами. В качестве редкого исключения установка молниеотвода допускается на подзащитных производственных объектах.

§ 1. Инженерно-психологические аспекты безопасности труда

Эргономика обстоятельно исследует составляющие производительных сил современного общества — человеко-машинные системы и комплексы. Машину и человека в этих структурах, состоящих из компонентов разной природы (человек, техника, атмосфера и др.), эргономика изучает в единстве, с качественной и количественной оценкой роли каждого компонента в эффективности, надежности и безопасности функционирования системы и ее отдельных частей.

Под системой эргономика понимает динамическую структуру, состоящую из человеческого и машинного звеньев и производственной среды. В процессе функционирования эти звенья целенаправленно взаимодействуют между собой, реализуя конкретные задачи и виды деятельности.

Система в целом не является простой комбинацией ряда подсистем, она обладает свойствами, которых нет ни в одной из подсистем в отдельности. Для решения задач в эргономике используют системный анализ.

Для изучения системы человек — машина — среда эргономика синтезирует основные идеи и достижения современной гигиены, физиологии, психологии, антропологии, большого комплекса фундаментальных технических, общественных и других наук.

При этом исходят из того, что ансамбль способностей, возможностей и свойств человека, который проявляется в конкретном виде целенаправленного труда, предопределен структурой выполняемой работы, свойствами техники и окружающей среды. В человеко-машинной системе этот ансамбль определяется эргономическими характеристиками, динамической структурой, составом компонентов, свойствами техники, внешними и внутренними средствами деятельности человека, конструкцией рабочего места, количеством, формой, размерами и расположением средств управления и индикации, антропометрическими, биомеханическими, психофизиологическими, информационными нагрузками, рабочим пространством и другими факторами.

Эргономическими свойствами человека считают такие анализаторы организма, как зрение, осязание, обоняние, слух, тактильное восприятие, а также чувственно-двигательную и психическую сферы, память, мышление, внимание и т. д.

По своим целям и задачам к эргономике близко примыкает инженерная психология. Эта область знаний изучает инструмент, машину, операцию, процесс, систему с точки зрения психологического восприятия человеком их структуры, функции и разнообразных свойств, соответствия их его эргоно-

мическим требованиям. Исследуя психологические функции человека в процессе труда, инженерная психология определяет соответствующие требования к технике. При этом психологические аспекты техники (информационная модель, средства контроля и управления и др.) не менее важны, чем инженерно-технические. Другими словами, психологический аспект машин столь же значим, как прочность, долговечность, надежность и другие инженерные показатели. Этот вывод особенно актуален для инженерной охраны труда, так как он объясняет определяющую роль человеческого звена в безопасности труда и современного производства.

Большие системы и комплексы становятся в период научно-технической революции все более характерными для общественного производства.

Самостоятельная область науки, которая изучает разработку, проектирование, создание и эксплуатацию сложных человеко-машинных систем, называется *системотехникой*. Для этой науки важны эргономически обоснованные характеристики надежности, стабильности, точности и быстродействия человека-оператора как наиболее ответственного звена в больших сложно организованных системах. При этом на человека-оператора возлагаются самые сложные и ответственные функции: управление, контроль, решение задач, программирование и др. Для повышения надежности человеческого звена функция оператора поручается здесь одновременно двум-трем специалистам, а правильность ответственных решений их до начала реализации проверяется при помощи ЭВМ. При такой организации достигается высокая надежность и безопасность работы больших систем.

Проектирование безопасной деятельности человека в структуре человеко-машинных систем должно базироваться на всестороннем учете его чувственных, двигательных и психических свойств, индивидуальных способностей и навыков, их непостоянства во времени и пространстве, зависимости от среды, биологических ритмов, гелиофизических факторов и т. д.

Исключительная сложность проблемы безопасности труда заключается в том, что человек в структуре человеко-машинной системы не является звеном с неизменными характеристиками. Функциональное содержание процесса труда определяется характером изменения активности многочисленных систем и функций человека, с помощью которых он реализует свою задачу. В этом непостоянстве заключена основная и пока что непреодолимая сложность проектирования деятельности человека с заданым уровнем надежности и безопасности.

Известно, что только в одном элементарном акте труда человек реализует целый ансамбль психологических и других свойств. Эффективность и безопасность выполнения элементарного акта деятельности зависит от состояния человека, различ-

ных систем его организма и других факторов. Соотношение этих факторов в акте деятельности неодинаково у разных людей и у одного и того же человека в разное время и в разных человеко-машинных системах. В этом причина неодинаковой подверженности работающих травмированию, на которую указывали ранее многие исследователи. Подлинная безопасность труда станет возможной только при разработке научной теории деятельности человека. Создание такой теории является основной целью большого комплекса наук о человеке, его деятельности, условиях и безопасности труда.

Одно из главных условий безопасности труда человека состоит в разностороннем эргономическом обосновании конструкции системы, ее компонентов, рабочего места и производственной среды. Только при этом можно ожидать высокой точности и надежности деятельности человека, исключения его неправильных действий, ошибок и сбоев в структуре и функциях систем и в собственной деятельности.

§ 2. Безопасность труда в структуре типичных производственных систем

Производственный процесс можно рассматривать как сложное функционирование ряда человеко-машинных систем, которые на разных этапах реализуют конкретные задачи, целенаправленно преобразуют материю, энергию и информацию.

С этих позиций деятельность человека — непрерывный процесс, состоящий из возникающих проблем и динамической процедуры их последовательных решений. Любую технологию можно рассматривать как процесс образования, функционирования и разрушения человеко-машинных систем и комплексов разного уровня организации. Количественное изучение этого процесса возможно в том случае, если определены параметры, характеризующие его развитие, состояние целостной биотехнической системы, комплекса, производственного процесса. Только при таком подходе система может быть определена конечным числом интегральных показателей ее состояния и функционирования.

На основе такой методологии технологический процесс обезвоживания нефти, например, или комплексной подготовки газа можно характеризовать давлением p , температурой T , массовым расходом Q , скоростью v , концентрацией газа C и другими параметрами. В момент времени τ эти параметры имеют мгновенное значение $p_i(\tau_i)$, $T_i(\tau_i)$, $Q_i(\tau_i)$, $v_i(\tau_i)$, $C_i(\tau_i)$. В процессе реализации конкретной технологической задачи указанные параметры биотехнической системы не остаются постоянными. Значения их в моменты времени $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_n$ характеризуют такие важные стороны производственных процессов, как динамичность, последовательность, изменение структуры системы во

времени и пространстве, взаимообусловленность компонентов, наличие фазовых изменений системы в целом и ее отдельных частей и т. д.

Имея в виду, что человек, машина и среда на всех этапах функционирования системы постоянно взаимосвязаны между собой, естественно предположить, что изменению каждого параметра машины, ее состояния, совокупности свойств, реализуемой функции соответствует конкретное изменение состояния человека-оператора, уровня его активности, работоспособности, профессионально значимых свойств и характеристик. Можно найти связь между состоянием человека и показателями окружающей производственной среды.

Сказанное полностью подтверждает вывод эргономики о том, что в конкретной ЧМС человек-оператор реализует конкретные виды деятельности; в конкретной деятельности он использует соответствующие функции и анализаторы, на разных стадиях реализует свои профессиональные возможности на разном уровне с разной глубиной. Каждая конкретная система человеческого организма работает при этом синхронно с техникой, с ее отдельными подсистемами и устройствами.

Цель эргономического анализа состоит в разработке оптимальных структуры и функций ЧМС, научном обосновании числа и назначения компонентов, входящих в ее состав, согласование этих компонентов между собой, а каждого отдельного — с системой в целом. Такое обоснование одновременно решает главную задачу охраны труда — устранение причин травматизма, аварий и профессиональных заболеваний.

Все многообразные человеко-машинные системы современного производства можно разделить на классы по числу операторов в системе, по степени непрерывности участия оператора в управлении системой, по виду связи оператора с объектом управления.

Системы и комплексы, в которых человек-оператор выполняет функции управления, контроля, программирования, обслуживания и т. п., называют эргатическими системами (ЭС). Эргатические системы в настоящее время преобладают в нефтяной и газовой промышленности.

В зависимости от числа операторов в структуре биотехнических систем различают полиэргатические системы — в структуре их одновременно работает много людей; моноэргатические — соответственно один человек; с постоянным участием оператора при функционировании системы (автомобиль — водитель); с эпизодическим включением человека-оператора в структуру системы (при запуске машины, в остальное время он находится рядом с системой — реализация функции контроля, наблюдения).

В зависимости от вида и конструктивных особенностей систем оператор может либо непосредственно управлять их рабо-

той, наблюдая результаты своих действий, либо запрограммировать действия дистанционно, выполняя свои функции на основе информации, поступающей в виде показаний приборов, графиков, звуковых, световых сигналов. Предпринимаются попытки подключения управляемой системы к биоэлектрической системе организма человека с прямой передачей принимаемых решений, команд в виде биоэлектрических сигналов.

Во всех случаях человек-оператор с помощью различных биологических датчиков (рецепторов) и контрольно-измерительных приборов (индикаторов) принимает необходимую информацию об объекте управления, опознает (декодирует) сигнал, сопоставляет его с заданными критериями оптимальной работы объекта (концептуальной моделью), принимает решение по выбору управляющего воздействия (иногда с помощью ЭВМ) и при помощи двигательного органа (эффектора) реализует это решение через исполнительный орган системы (преобразователь информации, энергии в соответствии с конструкцией и видом входного устройства объекта). Полученный результат управляющего воздействия оператор сопоставляет с требуемым и оценивает теперь уже новое состояние системы.

Весь этот сложный цикл, состоящий из конечного числа функциональных единиц деятельности, многократно повторяется оператором в процессе труда и составляет сущность производственной функции. Сбои и ошибки человека могут произойти на любой стадии этого цикла и являются причинами производственных несчастных случаев, аварий и профессиональных заболеваний. Комплексная эргономическая оптимизация всей деятельности человека является, таким образом, главным условием ее безопасности.

В зависимости от цели конкретной производственной системы и содержания деятельности оператора в ее структуре выделяют:

— контрольные эргатические системы — человек воспринимает значение контролируемого параметра, сопоставляет его с заданным, определяет вид управляющего воздействия и реализует его;

— поисковые системы — возникают при отказе, поломке и прекращают свою работу в момент обнаружения отказов. Оператор выполняет сложные виды умственной и психофизиологической деятельности по выявлению отказов и их устранению;

— восстанавливающие системы — возникают при значительном отклонении параметров системы от заданных; возвращение в нормальный режим работы выполняется восстанавливающей системой; человек-оператор в структуре восстанавливающей системы выполняет чрезвычайно сложные виды психофизиологической деятельности, решает сложные задачи, часто в условиях внешних и внутренних помех, дефицита времени и информации;

— компенсирующие системы — отличаются от восстанавливающих тем, что оператор устраняет или уменьшает рассогласование известным (стереотипным) способом;

— преследующие системы — оператор решает задачу динамического преследования движущегося объекта при значительных психофизиологических, координационных и мыслительных усилиях;

— предсказывающие системы — опытный оператор не только контролирует работу систем, но и предвидит возможные изменения ее состояния, может прогнозировать их.

В зависимости от типа системы и сложности задач, решаемых оператором, все виды операторской деятельности подразделяют на три класса:

I — оператор действует по шаблону, перерабатывает ограниченный объем информации при небольшой мыслительной нагрузке;

II — оператор решает сложные задачи с правом выбора способа решения, прекращения работы объекта и др. В данном случае необходимо внешнее адаптирование оператора к состоянию и результатам управляющего воздействия;

III — оператор решает свои задачи в условиях изменения состояния объекта, при огромном выборе возможных решений, использовании сложных методов переработки информации, принятия решения и его реализации, при непосредственном воздействии на объект без видимого или дистанционного результата, подтверждающего правильность решения.

Все эти виды систем типичны для нефтяной и газовой отраслей промышленности. Сложность управленческой деятельности человека-оператора неодинакова в разных производственных процессах и биотехнических комплексах. Учет в каждом конкретном производственном процессе значимости круга решаемых задач, сложности деятельности человека в их структуре является необходимым условием безопасности труда и производства, исключения несчастных случаев, аварий и профессиональных заболеваний.

§ 3. Роль человека в безопасном функционировании производственных систем

Эффективность и надежность всякой производственной системы в значительной степени зависят от человека, его способности качественно и стабильно выполнять свои функции в ее структуре. Современные человеко-машинные системы вообще предъявляют повышенные требования к надежности, быстродействию и помехоустойчивости человека-оператора, к большому числу профессионально важных свойств и функций его организма. В условиях характерных ограничений в структуре этих систем могут эффективно работать только специально отобранные и хорошо подготовленные профессионалы.

Под надежность понимается способность человека качественно и безошибочно выполнять свои функции в течение заданного времени. Этот показатель не остается постоянным в течение рабочего дня, недели, года. По мере развивающегося утомления, например, рассеивается внимание, замедляются мыслительные процессы и реакции, понижается активность двигательных и других органов. Изменение во времени претерпевают: способность человека воспринимать, опознавать и перерабатывать информацию; принимать решения и своевременно их выполнять в структуре системы и т. д. Все профессионально значимые свойства и функции человека подразделяют с учетом этого на статические и динамические. К числу последних относится работоспособность. В течение смены характерны три различных фазы работоспособности: нарастающая (первые 1,5 ч смены), высокая (продолжительностью 4 ч) и снижающаяся (последние 1,5 ч смены). Производительность труда в каждой из этих фаз, а также число сбоев и ошибок изменяются на 15—20 %. В течение смены понижаются физические, психофизиологические и психические показатели деятельности. Это служит причиной неравномерного распределения во времени случаев травматизма и аварий.

Быстродействием называется способность человека выполнять свою производственную функцию, отдельные виды работ в течение заданного времени. В большинстве производственных систем это время регламентировано эргономическими характеристиками машин и, как правило, предельно сокращено по экономическим соображениям. Оператор во многих случаях выполняет свои функции при дефиците времени. Порученная ему работа предъявляет повышенные требования к его быстродействию. Относительно большое число сбоев и ошибок, несчастных случаев и аварий возникает на объектах нефтяной и газовой промышленности из-за недостаточного быстродействия работающих.

Все возрастающее значение для безопасности труда приобретает точность деятельности человека — способность выполнять свою функцию в заданных показателях качества, стандарта. Точность всякой операторской деятельности зависит от степени реализации профессиональных способностей и навыков, практического уровня их формирования. Существенное значение для точности работы имеют также состояние здоровья, работоспособность, темп и вид выполняемой работы.

Заметное воздействие на нее оказывают естественные (врожденные) особенности человека, биологические ритмы и гелиофизические факторы. Более точно и с меньшими энергетическими затратами, например, человек выполняет двигательные действия справа налево и сверху вниз; менее точно — слева направо, снизу вверх и т. д. Из 100 квалифицированных токарей, желающих овладеть специальностью токаря-инструменталь-

щика, только 10 человек достигают своей цели. Остальные, не обладая необходимыми природными данными, не могут преодолеть трудностей в формировании необходимого навыка, научиться выполнять работу с высокой точностью.

Способность человека сохранять в рабочее время высокую работоспособность, точность и быстродействие при постоянно воздействующих на него внешних и внутренних раздражителях принято называть помехоустойчивостью. В качестве внешних раздражителей в данном случае рассматриваются высокая температура, способная замедлять мыслительные процессы, рассеивать внимание; вибрация, уменьшающая эластичность сухожилий и увеличивающая время скрытого периода простой сенсомоторной реакции, изменяющая координацию движений и т. д. Внутренними помехами могут быть: задержки в действиях из-за неправильно понятого сигнала; принятие ошибочного решения из-за недостатка информации; ситуации, в которых оператор вынужден выбирать одно из двух взаимоисключающих решений в условиях дефицита времени и др.

Замечено, что разные люди существенно неодинаково реагируют на одни и те же внешние и внутренние помехи, т. е. обладают различной помехоустойчивостью.

Высокая помехоустойчивость в деятельности человека является одним из основополагающих условий надежности производственных систем и комплексов, важным фактором безопасности труда и производства.

В некоторых ситуациях, которые называются психически трудными, человек выполняет свои функции с большим числом ошибок, пропуском важных сигналов, при рассеянном внимании. В таком состоянии оператор и обслуживаемая им система опасны для других систем и обслуживающего их персонала.

Во всем многообразии психической деятельности оператора особое значение с точки зрения безопасности труда имеют так называемые стрессовые состояния. Условия труда, при которых работающий видит и испытывает явную угрозу состоянию здоровья, жизни, безопасности для себя и своих коллег по работе, а также сохранности материальных ценностей (приближение неотвратимой производственной опасности и др.), вызывают в качестве ответной реакции особые состояния человека, называемые стрессами. В порядке возрастания тяжести стрессов можно подразделить на стадии:

1-я стадия — независимо от воли человека-оператора организм приводит в состояние повышенной готовности все системы и органы: учащается пульс, повышается кровяное давление, концентрируется внимание (гипермобилизация);

2-я стадия — человек-оператор становится излишне суетлив, нервозен, теряет ориентацию в действиях, способность оценивать значение событий;

3-я стадия — у человека резко понижается надежность дея-

тельности, способность выявлять главное, сохранять на должном уровне соотношение между главным и второстепенным. Он допускает все большее число ошибок и неправильных действий;

4-я стадия — работающий забывает все, чему его учили, не отдает отчета в своих действиях, теряет способность выполнять свои обязанности. Всякая операция для него распадается на отдельные элементы;

5-я стадия — резко обостряется оборонительная реакция. Человек ищет виновных и причины стрессового состояния за пределами сферы своей деятельности;

6-я стадия — полный отказ, профессиональная деградация.

Психологи считают, что из первых трех стадий стрессовых состояний человек способен выйти без глубоких необратимых изменений его психической функции, т. е. в нормальном состоянии.

Очевидно, что вероятность производственных травм при разных стрессовых стадиях неодинакова. Вместе с тем во всех случаях надежность деятельности человека резко снижается, она становится неустойчивой и опасной.

§ 4. Эргономические требования к конструкции рабочего места

Конструкция рабочего места является существенным фактором, в значительной степени определяющим состав и структуру нагрузки на физические, психофизиологические и психические функции. Оптимальный уровень этих нагрузок, равномерное распределение их на большом числе систем, анализаторов организма человека являются необходимым условием эффективной, надежной и безопасной деятельности. Эти условия могут быть выполнены при разностороннем научном обосновании конструкции рабочего места.

Во многих системах человек выполняет свою функцию при постоянном или длительном контакте с машиной. Управляя машиной, оператор может по своему усмотрению выбирать удобную рабочую позу (высоту сидения, расстояние от спинки до рычагов управления и т. д., работу сидя или стоя и др.).

Рабочая поза не должна создавать дополнительных нагрузок на двигательные органы, отдельные группы мышц.

Оператору во всех случаях должна быть предоставлена возможность выбора оптимального положения, которое лично он, а не конструктор находит наиболее правильным (при управлении машиной должны быть исключены чрезмерные требования к точности, быстродействию и другим эргономическим свойствам человека).

Органы управления машиной должны размещаться в оптимальной зоне с учетом их технологической значимости, частоты использования и т. д.

Работа по управлению машиной, системой не должна требовать от оператора чрезмерных усилий рук, ног и других органов и групп мышц; не должна быть монотонной, перегружать отдельные органы и анализаторные системы человека, накладывая на его деятельность чрезмерные временные, пространственные, информационные и другие ограничения. Человеку во всех случаях предоставляется возможность эффективно и легко воспринимать, опознавать, перерабатывать информацию, принимать правильные решения и своевременно реализовать их.

При компоновке контрольно-измерительных приборов на пульте управления, рабочем месте необходимо учитывать их функциональную значимость, связь с выходной информацией машины, системы, другими компонентами, а также частоту использования, условия эффективного считывания показаний, конструкцию и размеры шкалы, диапазоны изменения снимаемых величин, расстояние от оператора и др.

О большом значении и сложности компоновки панелей, пультов управления свидетельствует тот факт, что принципы компоновки стали самостоятельным, специальным объектом изучения новой научной области, которая называется комбинаторикой.

Существенно важным свойством контрольно-измерительных приборов (КИП) стала читаемость их шкал — свойство, определяющее скорость и точность снятия показаний и надежность интерпретации их человеком. Оператор получает от КИП осведомительную, командную, командно-осведомительную, эпизодическую и другую информацию, что предъявляет к читаемости шкал КИП специфические требования. Это важное эргономическое свойство приборов поставлено в настоящее время в один ряд с точностью, надежностью, помехоустойчивостью. Известно, что ошибки оператора на стадии восприятия информации остаются характерными и служат причиной аварий и несчастных случаев.

Качество снятия показаний КИП оператором зависит от формы прибора, шкалы и цифр, расположения стрелки в пределах шкалы при нулевом и минимальном значениях снимаемого параметра, соотношения толщины стрелки с размером деления и др. Существенно важны также расположение прибора по отношению к оператору, его зрительному аппарату, уровень освещенности и т. д.

Эффективность и надежность снятия отсчетов с КИП при разных функциях (контроль, измерение), а также значимость самой информации зависят от большого числа разнообразных факторов. С учетом все возрастающей ответственности оператора за принимаемые решения форма, код, модель четкость и другие свойства КИП должны иметь обстоятельное научное обоснование.

Во всех случаях стрелка прибора при измерении не должна выходить за пределы второго квадранта. Недопустимо также нахождение стрелки КИП при работе его в нормальном режиме в последнем квадранте шкалы отчета, на последней или близкой к ней цифре.

Конструкция рабочего места определяет также состав, структуру и трудоемкость рабочих движений человека. Высокая эффективность и безопасность двигательной сферы предполагает комплексное научное обоснование основных антропометрических (соответствие размеров и геометрии рабочего места размерам и геометрии тела и отдельных органов человека), биомеханических (физические нагрузки, их распределение по видам работ, трудовым движениям, отдельным органам человека-оператора — ноги, руки, отдельные группы мышц и т. д.) и других требований.

Эффективность двигательной деятельности человека, его моторных органов неоднозначна в зонах рабочего пространства. В числе этих зон минимальная ограничена частью пространства, в которой кисть и пальцы руки человека могут эффективно выполнять соответствующие виды работы при относительной неподвижности предплечий, оптимальная — в которой руки могут эффективно выполнять трудовые действия при подвижности плеча, максимальная — соответственно руки эффективно выполняют производственные действия при подвижности предплечья и относительной неподвижности туловища.

Наиболее точно, надежно и при минимальных энергозатратах двигательные действия разной сложности человек может выполнять только в оптимальной зоне, на высоте 0,6—0,8 м от пола, при допустимых нагрузках на мелкие и крупные группы мышц.

Полное соответствие этих условий физиологическим, антропометрическим, биомеханическим, психофизиологическим и другим требованиям является необходимым для всякого производительного труда.

§ 5. Профессиональный отбор и охрана труда

Научно-техническая революция динамически усложняет профессии и виды деятельности человека, изменяет состав, структуру труда, выдвигает все более высокие требования к профессиональной пригодности, навыкам специалистов.

Профессиография — область науки, разрабатывающая конструкции профессий, методы отбора кандидатов для обучения, содержание обучения и тренажа, согласованность индивидуальных особенностей с профессиографическими требованиями профессии, т. е. решает задачи профориентации, профотбора и профподготовки, разрабатывает методы обучения и тренажа.

Под профориентацией понимается профессиографическая и медицинская консультация с выдачей рекомендаций при выборе профессии, под профотбором — соответственно отбор кандидатов для конкретного вида деятельности, с большей вероятностью способных успешно освоить трудовые приемы и усовершенствоваться в конкретной профессии без чрезмерных усилий, затрат времени и ущерба для здоровья.

Расстановка кадров, безопасность труда и профотбор тесно взаимосвязаны, так как известно, что эффективность труда — необходимое условие его безопасности.

Профессиографические исследования показывают, что около 30 % подростков по окончании школы не могут овладеть избранной профессией. Травматизм среди рабочих, психофизиологические качества которых не соответствуют избранной профессии, на 40—50 % выше, чем среди тех, у которых такое соответствие имеется.

Неправильная профессиональная ориентация выражается в низкой производительности труда, повышенной склонности к профзаболеваниям, обострению уже имеющихся патологических сдвигов.

Текущие кадры, смена профессий по этой причине составляет среди трактористов-машинистов 15—25 %, среди монтажников-высотников 20—40 %, среди наладчиков — 10—15 % и т. д.

Научные основы профотбора и профориентации разрабатываются на основе индивидуальных различий, базируются на показателях силы нервной системы, ее уравновешенности и подвижности. Эти показатели стабильны и практически не изменяются в течение всей жизни.

Выше отмечалось, что всякая деятельность приводит в состояние активности большое число анализаторных и других систем организма человека. Профпригодным считается тот человек, у которого необходимое число органов и систем втягивается в деятельность естественно, непринужденно и уже в ходе обучения быстро совершенствуется.

В ряде задач профориентации и профотбора активно используются сведения об адаптации человека к окружающей среде. Метод, использующий закономерности приспособления человека к окружающей среде, весьма эффективен. Он предполагает в каждом отдельном случае использование огромного трудового опыта, который, как известно, создал человека.

Включение анализаторных систем в трудовую деятельность профессиография рассматривает в качестве одного из показателей приспособления человека к внешним условиям. Лучшее всего функциональное свойство оператора, его способность к овладению специальностью характеризуется комплексом психофизиологических свойств, через которые в конкретной деятельности проявляется уровень его адаптации.

Исследование функционирования различных систем организма на примере разных видов деятельности и в разное время, с оценкой порогов восприятия и оптимальных значений их для различных анализаторов (слуха, зрения и др.) является надежным методом выявления компонентов, обуславливающих эффективность и безопасность деятельности человека.

Мотив, побуждающий человека к выбору конкретной профессии и овладению ею, определяется поставленной целью, способностью мозга накапливать и обобщать опыт прошлого, оформлять этот опыт в виде знаний, динамических стереотипов, навыков и профессионально значимых свойств.

Реализация идей профессиографии во всех случаях жизни является одним из основополагающих условий решения программной задачи КПСС об исключении случаев травматизма и аварий на социалистических предприятиях. Без научного обоснования конструкции профессии, полного соответствия ее возможностям человека труд не может превратиться в жизненную потребность, по-настоящему стать эффективным средством совершенствования физических и духовных качеств.

В настоящее время в нашей стране имеется около 400 профессий, по которым дано полное профессиографическое обоснование. Использование этих данных в массовом масштабе в производстве равносильно высвобождению 1350 тыс. трудящихся.

Следует отметить, что абсолютной профнепригодности не существует. Не имея возможности овладеть одной профессией, человек успешно овладевает другой, нередко более сложной. Это свидетельствует об огромных возможностях для каждого трудящегося найти для себя интересную творческую работу высокой социальной значимости.

Проблема повышения безопасности труда современного человека чрезвычайно сложна и многопланова. Она не может изучаться и разрабатываться по частям. О сложности ее нельзя судить по одному элементу в структуре типичных биотехнических систем. Комплексное оздоровление условий труда возможно только при системном изучении деятельности человека в связи с инженерно-психологическими свойствами техники, составом и структурой производственной среды. Это в полной мере относится и к безопасности труда на предприятиях нефтяной и газовой промышленности.

§ 6. Научная организация труда и безопасность

Научная организация труда (НОТ) охватывает теоретические и практические проблемы деятельности человека в различных сферах производства. Задачи совершенствования организации труда решаются в комплексе с такими проблемами, как совершенствование технической и технологической базы, улучшения условий труда, повышение его безопасности.

Вопросы НОТ, как и инженерной охраны труда, можно изучать только на основе системного подхода.

Если организация — это своего рода «анатомия» предприятия (состав и структура системы), то управление — это его «физиология» (динамика дела). Объектом НОТ и охраны труда может быть целостная производственная система, ее состав (человек, машина, среда), структура (взаимосвязь, соотношения и взаимообусловленность основных компонентов между собой и с внешней средой) и функция (технологический процесс, производственная операция и т. п.). Во всех случаях реализация главной цели НОТ будет определяться:

- превращением знаний в решающий элемент управления производством и повышения его эффективности;

- интеграцией и тесным взаимодействием управленческих функций и знаний;

- тщательным и точным формированием целей и задач, опирающихся на системный подход.

Четкий режим трудовых процессов в течение всей рабочей смены значительно повышает производительность труда. Вынужденные перерывы в работе разрушают стереотип, могут явиться причиной ошибок и сбоев, профессиональных заболеваний. Вынужденный высокий темп работы и чрезмерное ограничение двигательной активности ускоряют нарастание утомления, снижают точность, быстродействие и надежность деятельности. Совмещение профессий, разнообразие операций, видов выполняемой деятельности, возможность смены рабочих поз предупреждают накопление утомления, повышают интерес к работе, способствуют активному отдыху.

При разработке мероприятий по НОТ важно учитывать, что физическая усталость проходит легче и быстрее, чем умственная. Мозговое, нервное утомление вредно и глубоко отражается на физическом состоянии, самочувствии человека, на деятельности сердца, кровообращении, дыхании и др. Изменение физиологического состояния организма зависит чаще всего от сложности выполняемой работы, характера и разнообразия раздражителей в потоке информации, частоты и числа переключений внимания и воздействия эмоциональных факторов. Во всех случаях работоспособность человека в коллективе на 30—40 % выше и на 10—20 лет дольше, чем при работе в одиночку.

Научная организация труда предполагает одновременное использование достижений технических наук и наук о человеке для оптимизации деятельности человека в структуре типичных человеко-машинных систем, обеспечения высокой эффективности и безопасности этой деятельности и функционирования системы в целом. Решение комплексной задачи по многомерной оптимизации трудовой деятельности находится за пределами отдельных областей знаний и возможно только на пути комплексного подхода.

Высокая эффективность и безопасность труда могут быть достигнуты: 1) совмещением профессий, специальностей и функций рабочих, ИТР и служащих во всех сферах производственной деятельности; 2) организацией обслуживания нескольких объектов; 3) технико-организационным и психофизиологическим обоснованием норм; 4) рациональной системой оплаты и стимулирования труда и др.

Имея в виду, что труд современного человека на 94 % состоит из сложной психофизиологической деятельности и только на 6 % из простой физической работы, НОТ определяет в качестве основополагающей психофизиологической задачи разностороннюю оптимизацию деятельности человека, создание наиболее благоприятных условий для нормального функционирования всех профессионально значимых систем его организма, сохранения здоровья и работоспособности.

Научная организация труда использует все области науки, которые стимулируют высокую эффективность деятельности человека. К этим наукам относится техническая эстетика — наука о художественных принципах в технике. Известно, что рациональная окраска производственных интерьеров, создание современных орудий труда и рабочей одежды, озеленение территории предприятий и цехов, использование на производстве функциональной музыки и т. д. значительно улучшают отношение человека к работе, повышают работоспособность, производительность труда, его привлекательность. Известно, что человек более внимательно и бережно («почтительно») относится к рабочему инструменту, машине, если в них воплощены последние достижения технической эстетики. Эстетизация увеличивает срок службы инструментов и машин, улучшает экономические результаты деятельности предприятия.

Особое внимание следует обратить на функции музыки в эстетизации производства. Музыка не только развлекает человека. Она создает определенное настроение (веселье, грусть, ожидание и т. д.) и может снижать нервно-психологическое напряжение и утомление. В периоды повышенной работоспособности (в середине первой половины рабочего дня и спустя 1,5—2 ч после обеда) рекомендуется спокойная музыка, снижающая нервно-психическое напряжение и утомление; в обеденный перерыв, напротив, — легкая музыка и песни.

В общих случаях трансляция функциональной музыки должна длиться не более 1,5—2 ч в смену (в начале смены 20—30 мин, после обеденного перерыва — 5—10 мин и за 15 мин до конца рабочего дня). В конце рабочего дня рекомендуется транслировать бодрые, энергичные мелодии — марши, эстрадную музыку с четким ритмом.

Для снятия психофизиологического утомления на предприятии оборудуют комнату психофизиологической разгрузки. В этой комнате снимается напряжение от однообразной позы,

действия производственного шума, а также нервное напряжение и утомление. Первый сеанс психофизиологической разгрузки проводится через 3 ч после начала работы (время появления первых признаков усталости, снижения работоспособности). В комнате психофизиологической разгрузки рабочие располагаются в креслах в удобной позе, не видя друг друга. Включается подсветка-слайд, гасится верхний свет. Сеанс продолжается 10 мин. Первые две минуты звучат медленная музыка, пение птиц. Задача этого периода — отвлечь рабочих от производственной обстановки. Во второй период — приятная, мелодичная музыка; на цветовом панно — зеленый успокаивающий свет. Через 3,5—4 мин музыка переходит в более бодрую, на панно зажигается красный свет. В конце сеанса включается верхний свет, звучит бодрая музыка.

Большое влияние на состояние, психику человека оказывает цвет. В восприятии цвета человеком участвуют зрение, осязание, слух и вкус одновременно. Цвет активно воздействует на деятельность человека в целом. Под влиянием цвета формируется и проявляется чувство радости или печали, создается впечатление легкости или тяжести (в отношении тяжести предметов), удаленности или близости предметов в пространстве. Рабочим предложили переносить ящики одинаковой массы черного, коричневого, желтого и белого цветов. Белые и желтые ящики казались всем рабочим легче, чем черные и коричневые. В другом опыте рабочим предложили отнести ящик к любому из столов, которые были расположены на равном расстоянии. Красный стол казался расположенным ближе.

Красный, оранжевый и желтый цвета ассоциируются с огнем (пламенем), с солнцем. Это теплые цвета. Белый, голубой, зеленый и некоторые другие цвета ассоциируются с холодом (холодные цвета); зеленый цвет, соответственно, — с прохладой и влажностью леса и т. д.

Для многих профессий и видов работ безопасность труда зависит от того, насколько быстро и точно человек различает движущиеся предметы, от которых может исходить опасность. При выполнении тяжелой физической работы человек быстро утомляется, вследствие чего притупляется его внимание, а следовательно, и быстрота реакции на поступающую информацию. В этом случае цветовые сигналы особенно эффективны. Их оповещение об опасности воспринимается почти мгновенно.

Многие несчастные случаи происходят из-за неосторожности и невнимательности пострадавших или других лиц. Эти категории формируются в психической сфере человека и обязаны часто пробегать в восприятии, памяти, мышлении. Так, на железных дорогах около 25 % наездов происходит из-за различных пробелов в функции внимания машиниста. Причина этого в данном случае связана также с темным цветом локомотива, плохо контрастирующим на фоне местности в ночное время и

при пасмурной погоде. Очевидно, целесообразно лобовую часть локомотива (и других путевых машин) окрашивать в яркие сигнальные цвета (например, оранжевый), хорошо контрастирующие с фоном местности и зимой, и летом.

Психологами приняты четыре основных сигнальных цвета: красный, зеленый, желтый и синий; четыре дополнительных цвета: оранжевый, голубой, фиолетовый и пурпурный. Сочетание этих промежуточных цветов дает множество оттенков. Их смешение с белым цветом дает цвета различной насыщенности; с черным — соответственно новые цвета и оттенки. Этот богатый цветовой спектр при рациональном использовании позволяет значительно улучшить условия восприятия движущихся объектов, повысить эффективность и надежность работы функции внимания.

Установлено, что светлые цвета стимулируют, возбуждают, радуют, темные — угнетают. Красный цвет повышает кровяное давление и действует возбуждающе, предупреждает о непосредственной опасности и требует немедленной реакции. Желтый цвет используется для обозначения возможной опасности. Зеленый цвет ассоциируется с отсутствием опасности, успокаивает и используется как сигнал безопасности. Зрительные ощущения усиливаются при переходе от зеленого цвета к красному и т. д.

Важным вопросом в профилактике травматизма является научно обоснованная окраска оборудования. При проектировании цветовой окраски оборудования важно соблюдать равновесие между насыщенными и ненасыщенными цветами, между холодными и теплыми тонами, избегать контрастных цветов. Не рекомендуется применять яркие краски там, где станки производят сильный шум.

При проектировании цветовой отделки производственных помещений необходимо учитывать состав исполнителей (мужчины или женщины) и их возраст, географическое расположение, вид и ритм рабочего процесса, местные особенности, традиции и навыки.

При умственной работе, требующей большой сосредоточенности, рекомендуется использовать холодные цветовые тона — зеленые, зелено-голубые, которые должны быть малонасыщенными и малоконтрастными.

Картины, цветы, декоративные растения рекомендуется использовать при однообразной работе. Яркие стены возбуждающе действуют на нервную систему, освежают сознание, снимают усталость, выполняют роль компенсаторных пунктов. При работах, требующих сосредоточенности, яркие стены и цветы отвлекают, снижают надежность восприятия.

Рациональное цветовое оформление в сочетании с соответствующим освещением позволяет сгладить неприятное впечатление от неправильных пропорций помещения, усилить восприя-

тие тепла или холода, улучшить зрительную работу и тем самым активно воздействовать на состояние, работоспособность и надежность человека-оператора.

Глава XIX

ОРГАНИЗАЦИЯ СЛУЖБЫ ОХРАНЫ ТРУДА И ПОЖАРО-ВЗРЫВОЗАЩИТЫ

§ 1. Организация службы охраны труда

В министерствах, объединениях, на предприятиях создаются управления, отделы или бюро по охране труда. На небольших предприятиях предусматриваются соответствующие функциональные подразделения, инженер по технике безопасности, работающий под руководством главного инженера.

Ответственными за состояние охраны труда на предприятии являются директор и главный инженер; в цехах и на участках, соответственно, начальник цеха (участка) и мастер. Они обязаны обеспечить безопасность труда на всех рабочих местах.

Главные и цеховые механики, энергетики отвечают за безопасную эксплуатацию механического и электрического оборудования. Транспортные отделы несут ответственность за безопасность на транспорте и т. д.

Во всех объединениях нефтяной и газовой промышленности, на отдельных предприятиях организуются специальные службы: горно-спасательные, газоспасательные, аварийные, охранные, пожарные. Они контролируют состояние безопасности, выполняют плановую профилактическую работу, ликвидируют последствия аварий, взрывов, пожаров, групповых несчастных случаев.

Внутриведомственный контроль за охраной труда осуществляет профсоюзная организация (через общественных инспекторов), партийные, комсомольские организации, органы народного контроля, руководящие ведомства через управления и отделы охраны труда.

Отделы, группы или отдельные инженеры по технике безопасности в соответствии с утвержденным типовым положением проводят разностороннюю профилактическую работу по созданию безопасных условий труда. Они контролируют выполнение трудового законодательства, норм, правил, инструкций по технике безопасности, разрабатывают планы мероприятий по охране труда, участвуют в рассмотрении проектов в проверке знаний персонала, расследуют аварии и несчастные случаи. Они имеют право проверять состояние техники безопасности в цехах и на участках, в любое время запрещать опасные работы, приостанавливать работу цехов, отдельных установок, машин, выполняемую с нарушением правил безопасности, стандартов и инструкций.

Важной работой является организация различных исследований и испытаний, проведение совещаний и смотров по технике безопасности.

Проверку условий труда проводят комплексным или инспекторским обследованием, повседневным надзором и систематическим контролем. Результаты обследований фиксируются в актах или журналах.

Безопасность труда во многом зависит от уровня образования и специальной подготовки работающих. На всех стадиях профессионального обучения (технические училища, техникумы, вузы) уделяется большое внимание вопросам охраны труда. Выполняется постоянная работа по проверке и оценке знаний по охране труда. По многим, наиболее опасным, профессиям, видам работ трудящимся выдаются специальные удостоверения на право ведения опасных работ. Обучение новых рабочих обязательно включает инструктажи: вводный (на рабочем месте с учетом уровня знаний, навыков и специальности обучаемого), периодический, повторный и внеочередной. Проведение инструктажа фиксируется записью в специальных журналах или карточках.

Большое практическое значение имеет пропаганда безопасных методов работы. Здесь используют лекции, беседы, радиопередачи, печатные издания (книги, газеты, журналы, плакаты), телепередачи, магнитофонные записи, фотовитрины и др. Учебно-методическими центрами и базами наглядного обучения являются кабинеты и уголки по технике безопасности, а также проводимые ими общественные смотры и конкурсы по охране труда.

Медицинское обслуживание на предприятиях осуществляют медико-санитарные части, медпункты, поликлиники, профилактории. Они проводят предварительные и периодические медицинские освидетельствования, выявляют противопоказания и профзаболевания, проводят лечение, врачебно-трудовую экспертизу и большую профилактическую работу. В плане этой работы они следят за выполнением санитарных норм, состоянием бытовых помещений и т. д.

Весьма важным направлением по повышению безопасности труда является профориентация, профотбор и профподбор. На сложном пути обеспечения высокой безопасности труда разностороннее согласование профессионально значимых свойств человека с требованиями производственной деятельности, функцией машин, информативностью среды является основополагающим фактором. По эффективности это мероприятие может исключить более половины всех несчастных случаев. Профессиографическое обоснование конструкции профессии, соответствие ее требований содержанию профессионального обучения и тренажа, а также применение программированной системы контроля знаний норм охраны труда (машинный и безмашин-

ный метод) являются необходимыми условиями высокой безопасности человека в процессе труда.

Важно также установить научно обоснованный режим труда и отдыха с обеспечением в полной мере установленной продолжительности рабочего дня или рабочей недели, запрещение сверхурочных работ, соблюдение продолжительности межсменных и внутрисменных перерывов, соответствия работающих выполняемой ими работе, соблюдение трудовой и производственной дисциплины и т. д.

Для производственных цехов, профессий и должностей с вредными условиями труда устанавливается соответствующий режим труда и отдыха, укороченный рабочий день, удлиненный оплачиваемый отпуск.

Исключительное значение имеет также соблюдение научно обоснованных и официально утвержденных нормативов безопасности труда: санитарных норм, определяющих санитарные требования к генеральному плану, водоснабжению, канализации, вентиляции, отоплению, освещению; технических нормативов — конструктивные (расчетные, размерные, весовые и другие нормы); габаритно-планировочных (основные размеры путей, проездов, проходов, рабочих мест, разрывов, расстояний и др.); параметрических (ограничение давлений, скоростей, электрического напряжения и др.). Эти нормативы устанавливаются нормами, правилами, стандартами, инструкциями по безопасному выполнению работ. Такого рода нормативами, инструктивными материалами охвачены все виды работ, рабочие профессии и рабочие места.

Непрерывное улучшение и облегчение условий труда на социалистических предприятиях обеспечиваются на основе комплексных планов по охране труда, разрабатываемых после обстоятельного изучения условий труда, зарождения, формирования и проявления опасных производственных факторов. Ежегодно администрация предприятия заключает с профсоюзной организацией коллективный договор и соглашение по охране труда. Выполнение этих планов, договоров, соглашений контролируется администрацией и профкомом и на деле означает планомерное и непрерывное улучшение условий труда, повышение его привлекательности и безопасности.

§ 2. Организация пожаро-взрывозащиты

Работу стройной системы пожарной охраны в СССР возглавляет Главное управление пожарной охраны (ГУПО) Министерства внутренних дел СССР (МВД СССР). Управление организует всю работу по пожарной профилактике, проводимую органами Госпожнадзора, пожарными командами, утверждает нормативы по пожарной безопасности, направляют работу исследовательских и проектных институтов, лабораторий и стан-

ций. Научным центром исследований в области пожаро-взрывозащиты является центральный научно-исследовательский институт (ВНИИПО). Для тушения пожаров созданы военизированные (в Москве, Ленинграде) и профессиональные (городские ведомственные) пожарные команды. На небольших предприятиях — пожарно-сторожевые команды. Все эти подразделения укомплектованы специально обученными и натренированными кадрами, оснащены современной противопожарной техникой и средствами пожаротушения.

На предприятиях и стройках из числа работающих и специально обученных рабочих организуются добровольные пожарные дружины (ДПД). Члены этих дружин подготовлены для выполнения почти всех видов профилактической и оперативной работы во всех сложных аварийных условиях. С членами ДПД проводятся учебные сборы и тренировки.

Госпожнадзор осуществляет комплекс организационно-технических мероприятий, направленных на устранение причин возникновения пожаров и взрывов, контролирует выполнение противопожарных нормативов в проектах и на действующих предприятиях, согласовывает все проекты на строительство и реконструкцию промышленных зданий и сооружений. На предприятиях уровень пожарной опасности, состояние средств пожаротушения, подготовленность ДПД и другие вопросы контролируют районные пожарные инспекторы.

При нарушении пожарных норм и инструкций инспектор имеет право давать обязательные для исполнения письменные предписания, штрафовать, а при необходимости — запрещать работу.

В помощь администрации на предприятиях из числа ИТР и рабочих создаются специальные пожарно-технические комиссии, которые контролируют соблюдение мер пожарной безопасности, намечают и проверяют выполнение всего комплекса мероприятий по пожаро-взрывозащите.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шехтман Б. А., Самедов И. Г., Мухометова Г. М. Гигиена труда в нефтяной промышленности. М., Медицина, 1979.
2. Научно-технический прогресс и безопасность труда. Под редакцией А. Н. Гржегоржевского. М., Машиностроение, 1979.
3. Основы законодательства Союза ССР и союзных республик о труде. М., Юридическая литература, 1972.
4. Охрана труда в электроустановках/ Б. А. Князевский, Т. П. Марусова, Н. А. Чапагин и др. М., Энергия, 1977.
5. Зинченко В. П., Мужиков В. М. Основы эргономики. Изд. МГУ, М., 1979.
6. Основы инженерной психологии/ Б. А. Душков, Б. Ф. Ломов, В. Р. Рубахин и др. М., Высшая школа, 1977.
7. Одум Ю. О. Основы экологии. Перевод с англ. М., Мир, 1975.
8. Техника безопасности в строительстве. Строительные нормы и правила. СНиП III—AII—70. М., Стройиздат, 1975.
9. Правила технической безопасности электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. М., Атом, 1974.
10. Охрана труда в машиностроении/ Е. Я. Юдин, А. Н. Баратов, Ф. А. Барбинов и др. М., Машиностроение, 1976.
11. Злобинский Г. М. Охрана труда в металлургии. М., Металлургия, 1975.
12. Охрана труда в химической промышленности/ Г. В. Макаров, Н. А. Стрельчук, В. П. Кулешов и др. М., Химия, 1977.
13. Психофизиологические и эстетические основы НОТ. М., Экономика, 1971.
14. Нормы радиационной безопасности НРБ—76. М., Атом, 1978.
15. Основы общей промышленности токсикологии (руководство). Под редакцией Н. А. Толоканцева и В. А. Фролова. Л., Медицина, 1976.
16. Киколов А. И. Умственный труд и эмоции М., Медицина, 1978.
17. Пожарная техника. Каталог-справочник. Изд. ЦНИИТЭН по строительству, дорожному и коммунальному машиностроению. М., 1979.
18. Кирилл Б. Ф. Вентиляция горных выработок и подземных сооружений при их строительстве и эксплуатации. Изд. МГИ. М., 1977.
19. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений. СНиП II—A 5—70. М., Стройиздат, 1975.
20. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий. СН 245—71. М., Стройиздат, 1972.
21. Единая система работ по созданию безопасных условий труда. М., Недра, 1978.
22. Лабораторный практикум по курсу «Охрана труда» для студентов всех специальностей. Вып. I и II. Под редакцией Г. Е. Панова и В. Т. Полозкова. Изд. МИНХ и ГП им. И. М. Губкина. М., 1976.
23. Куцин П. В., Султанов В. Д. Техника безопасности при эксплуатации бурового оборудования и инструмента. М., Недра, 1971.
24. Марков Н. В. Социалистический труд и его будущее. М., Политиздат, 1976.
25. Основы пожарной безопасности/ М. В. Алексеев, П. Г. Демидов, М. Я. Ройзман и др. М., Высшая школа, 1971.
26. Справочник по гигиене труда. Л., Медицина, 1976.
27. Количественная оценка тяжести работ. Методические рекомендации. Изд. НИИ труда. М., 1977.
28. Панов Г. Е., Полозков В. Т. Методические указания по курсу «Охрана труда» для заочников. Изд. МИН. и ГП им. И. М. Губкина. М., 1979.

29. Инструкция по проектированию и устройству молниезащиты зданий и сооружений. СН 305—77. М., Стройиздат, 1978.

30. Тимофеев А. В. Роботы и искусственный интеллект. М., Наука, 1978.

31. Чернихова Е. Я., Мышинская Р. П., Кошелева Е. С. Охрана, преобразование и рациональное использование природы. Пособие для учителей. М., Просвещение, 1978.

32. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках. М., Энергия, 1979.

33. Панов Г. Е. Эргономический метод анализа травматизма. Изд. МИНХ и ГП им. И. М. Губкина, М., 1979.

34. Панов Г. Е. Эргономика в нефтяной промышленности. М., Недра, 1979.

35. Охрана труда в нефтяной промышленности/ М. М. Сулейманов, Г. С. Газарян, Э. Г. Манвелян и др. М., Недра, 1980.

36. Система стандартов безопасности труда. Изд. Госкомитета стандартов Совета Министров СССР, М., 1978.

37. Коган М. С. Человеческая деятельность. М., Политиздат, 1974.

38. Нугаев Р. Я., Шатафутдинов И. Г., Шарипов А. Х. Обеспечение безопасности работ при эксплуатации объектов добычи нефти и газа. Изд. ВНИИОЭНГ, М., 1978.

39. Защита от шума. Нормы проектирования. СНИП II—12—77. М., Стройиздат, 1978.

40. Гранбер Г., Пост П. Огнетушащие средства. Перев. с немецк. М., Стройиздат, 1975.

41. Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования. СНИП II—4—79. М., Стройиздат, 1980.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	3
Раздел первый	
Общие вопросы охраны труда	8
Глава I. Правовые и организационные основы охраны труда	8
§ 1. Вопросы охраны труда и Конституция СССР	8
§ 2. Основные законодательные акты по охране труда	8
§ 3. Государственный надзор и общественный контроль за охраной труда	10
§ 4. Правила, нормы, стандарты и инструкции по охране труда	12
§ 5. Ответственность за нарушения законов по охране труда	13
Глава II. Условия труда. Комплексный анализ	14
§ 1. Условия и безопасность труда	14
§ 2. Факторы, характеризующие условия и безопасность труда	15
§ 3. Роль человека в создании нормальных условий и в безопасности труда	16
§ 4. Роль машинного компонента в условиях и в безопасности труда	19
§ 5. Роль производственной среды в условиях и в безопасности труда	20
§ 6. Условия труда в структуре типичных производственных систем	21
§ 7. Охрана труда инженерно-технического персонала	23
§ 8. Комплексное проектирование безопасных условий труда на нефтегазодобывающих предприятиях	25
§ 9. Проектирование нормальных условий труда	28
Раздел второй	
Охрана труда при разработке нефтяных и газовых месторождений	30
Глава III. Воздух производственных объектов, его состав и свойства	30
§ 1. Вредные вещества. Общие сведения	30
§ 2. Действие вредных веществ на человека	34
§ 3. Источники токсичных загрязнений воздуха на объектах нефтяной и газовой промышленности	39
§ 4. Методы и средства контроля состава воздуха	41
§ 5. Нормирование содержания вредных веществ в воздухе и меры защиты	42
Глава IV. Метеорологические условия	45
§ 1. Психофизиологический аспект метеорологических условий	45
§ 2. Микроклиматические условия. Определяющие факторы	46
§ 3. Нормирование метеорологических условий	48
§ 4. Тепловые и ультрафиолетовые облучения. Допустимые дозы	50
§ 5. Обеспечение нормальных микроклиматических условий труда	51
Глава V. Промышленная вентиляция	52
§ 1. Схемы и способы проветривания производственных помещений	52
§ 2. Естественная вентиляция (аэрация)	54
§ 3. Местная механическая вентиляция	62
Глава VI. Производственное освещение	64
§ 1. Роль освещения в условиях труда	64
§ 2. Светотехнические показатели	66
§ 3. Системы производственного освещения (СПО)	68
§ 4. Естественный свет в производственных помещениях	68
§ 5. Искусственный свет на объектах нефтегазодобывающей промышленности	70
§ 6. Типы и устройство светильников	74
§ 7. Нормирование искусственного освещения	77

§ 8. Расчет искусственного освещения	78
Глава VII. Производственный шум, вибрация и ультразвук	80
§ 1. Основные показатели	80
§ 2. Влияние шума, вибрации и ультразвука на организм человека	85
§ 3. Источники шума, вибрации, ультразвука на объектах нефтяной и газовой промышленности	87
§ 4. Нормирование условий труда по уровню шума, вибрации и ультразвуку	90
§ 5. Защита от шума, вибрации и ультразвука	91
Глава VIII. Безопасность при работе с радиоактивными веществами	96
§ 1. Основные свойства радиоактивных веществ	96
§ 2. Воздействие радиоактивных веществ на человека	100
§ 3. Нормирование условий труда при работе с РАВ	102
§ 4. Современные меры защиты от ионизирующих излучений	105
Глава IX. Безопасность при обращении с электрическим током	110
§ 1. Электрический ток. Действие его на организм человека	110
§ 2. Организация работ и электробезопасность	116
§ 3. Способы и средства защиты от поражения электрическим током	118
§ 4. Электромагнитные излучения. Опасность, способы защиты	122
§ 5. Лазерные излучения	124
Глава X. Защита от опасных проявлений статического электричества	127
§ 1. Электризация веществ	128
§ 2. Условия электризации веществ в технологических процессах	129
§ 3. Защита от статического электричества	131
Раздел третий	
Безопасность технологических процессов и оборудования	136
Глава XI. Безопасность оборудования и технологических процессов в нефтяной и газовой промышленности	136
§ 1. Свойства техники, технологические параметры и их роль в безопасности труда	136
§ 2. Антропометрические свойства безопасной техники	138
§ 3. Биомеханические факторы безопасной техники	142
§ 4. Психофизиологические факторы безопасной техники	150
§ 5. Общие требования безопасности технологических процессов и оборудования	154
§ 6. Безопасность сосудов, работающих под давлением	156
§ 7. Безопасность подъемно-транспортных систем	158
§ 8. Оценка безопасности нефтегазодобывающего производства	160
§ 9. Автоматизированные системы управления технологическими процессами и роботы	162
Глава XII. Окружающая среда и ее роль в условиях труда	165
§ 1. Влияние деятельности человека на окружающую среду	165
§ 2. Экология крупных промышленных комплексов	165
§ 3. Рациональное использование запасов нефти и газа	168
§ 4. Охрана природы при разработке нефтяных и газовых месторождений	169
Раздел четвертый	
Пожаро-взрывобезопасность на объектах нефтяной и газовой промышленности	173
Глава XIII. Процесс горения. Пожароопасные свойства природных нефтей и газов	173
§ 1. Виды процессов горения	173
§ 2. Пожароопасные свойства веществ	176
Глава XIV. Пожарная профилактика	181

§ 1. Общие задачи пожарной профилактики	181
§ 2. Причины возникновения пожаров	183
§ 3. Пожаро-взрывоопасность производств и помещений	184
§ 4. Возгораемость и огнестойкость строительных материалов и конструкций	186
Глава XV. Современные способы и средства пожаротушения	189
§ 1. Выбор способов и средств пожаротушения	189
§ 2. Средства пожаротушения	190
§ 3. Вода как средство пожаротушения	190
§ 4. Применение пены для тушения пожаров	192
§ 5. Огнегасительные свойства газо- и парообразных средств	194
§ 6. Галонированные углеводороды и огнегасительные порошки	195
§ 7. Автоматические системы сигнализации и пожаротушения	196
§ 8. Первичные средства пожаротушения	201
§ 9. Современные способы тушения пожаров открытых фонтанов нефти и газа	204
Глава XVI. Электрооборудование для пожаро-взрывоопасных производственных помещений	208
Глава XVII. Молниезащита производственных зданий и сооружений	213
Глава XVIII. Эргономические основы безопасности труда	221
§ 1. Инженерно-психологические аспекты безопасности труда	221
§ 2. Безопасность труда в структуре типичных производственных систем	223
§ 3. Роль человека в безопасном функционировании производственных систем	226
§ 4. Эргономические требования к конструкции рабочего места	229
§ 5. Профессиональный отбор и охрана труда	231
§ 6. Научная организация труда и безопасность	233
Глава XIX. Организация службы охраны труда и пожаро-взрывозащиты	238
§ 1. Организация службы охраны труда	238
§ 2. Организация пожаро-взрывозащиты	240
Список литературы	242

Григорий Ермолаевич Панов

**ОХРАНА ТРУДА ПРИ РАЗРАБОТКЕ НЕФТЯНЫХ
И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Редактор издательства *К. Ф. Клейменова*
Переплет художника *С. Н. Голубева*
Художественный редактор *В. В. Шутько*
Технический редактор *Л. Н. Шиманова*
Корректор *А. А. Передерникова*

ИБ № 4004

Сдано в набор 07.07.81. Подписано в печать 13.11.81. Т-28151. Формат 60×90^{1/16}. Бумага типографская № 2. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл. п. л. 15,5. Усл. кр.-отт. 15,5. Уч.-изд. л. 16,28. Тираж 10 000 экз. Заказ № 1693/7960—6. Цена 80 коп.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12,
Третьяковский проезд, 1/19.

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 191126, Ленинград, Социалистическая ул., 14.

Уважаемый товарищ!
В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «НЕДРА»
ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ
НОВЫЕ КНИГИ

МОЛЧАНОВ А. Г. Гидравлический привод штанговых скважинных насосов. 16 л. 1 р. 20 к.

Изложены основные теоретические положения принципа действия штангового гидравлического привода насосной установки с использованием в качестве уравнивающего груза колонны насосно-компрессорных труб. Определены основные тенденции развития этого привода для ШГНУ и перспективное направление создания и совершенствования его. Описано устройство основных узлов и деталей этого привода и методы установления оптимальной длины хода и режима работы. Показаны основные результаты эксплуатации гидроприводных установок, особенности их обслуживания и проведения подземных ремонтов. Сделан анализ экономической эффективности применения гидравлического привода.

Для инженерно-технических работников нефтяной промышленности. Будет полезна студентам нефтяных вузов и факультетов.

СУЛЕЙМАНОВ М. М., МУСОЕЛЯНЦ Р. Н., БАДАЛОВ О. Н. Борьба с шумом и вибрацией в нефтяной промышленности. 14 л. 75 к.

Даны рекомендации и показаны санитарно-гигиенические мероприятия, направленные на улучшение условий труда работников шумо- и виброопасных профессий в бурении и добыче нефти. Показаны технические и организационные пути борьбы с шумом и вибрацией. Описаны результаты исследований вибраций манифольдной линии буровых насосов при течении пульсирующего потока, в том числе, при сверхглубинном бурении.

Для инженерно-технических работников нефтяной и газовой промышленности.

*Интересующие Вас книги Вы можете приобрести в местных книжных магазинах, распространяющих научно-техническую литературу, или заказать через отдел «Книга — почтой» магазинов:
№ 17—199178, Ленинград, В. О., Средний проспект, 61;
№ 59—127412, Москва, Коровинское шоссе, 20.*

Издательство «Недра»