П4.55
А47

М. В. Алексеев

Предупреждение пожаров от технологических причин

МОСКВА
1·9·6·3

М. В. АЛЕКСЕЕВ

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ПОЖАРОВ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЧИН

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА РСФСР

Москва—1963

В книге изложены общие для всех технологических процессов условия и причины образования горючей среды в аппаратах и производственных помещениях, рассмотрены основные группы источников воспламенения, пути распространения пожара по производственным устройствам, а также даны основные рекомендации по предупреждению пожаров от технологических причин и предотвращению их развития.

Книга предназначена для слушателей пожарно-технических учебных заведений, практических работников пожарной охраны и инженерно-технического персонала промышленных объектов, министерств и ведомств.

ВВЕДЕНИЕ

Пожар и взрыв по своей химической сущности представляют собой процесс горения. Горение — это химическая реакция, протекающая с выделением тепла и света. При горении происходит окисление вещества окислителем, чаще всего кислородом воздуха.

Горючие вещества весьма разнообразны по своему агрегатному состоянию и по своей способности к окислению.

Известно очень мало веществ, которые интенсивно окисляются на воздухе при нормальной температуре, т. е. таких веществ, которые воспламеняются сразу же при соприкосновении с воздухом (например, желтый фосфор, фосфористый водород). Абсолютное же большинство веществ при нормальной температуре окисляется сравнительно медленно. Увеличить скорость реакции окисления можно путем дополнительного подогрева всего реакционного объема или части его. При достаточно высокой температуре нагрева образующееся в результате реакции окисления тепло возмещает все теплопотери и создает условия для самостоятельного развития процесса горения. Эта температура называется температурой самовоспламенения вещества.

Следовательно, чтобы горючее вещество воспламенилось и продолжало гореть, необходимы определенное количество кислорода и определенная мощность теплового источника, способного нагреть горючее вещество до температуры его самовоспламенения.

Только одновременное сочетание этих трех факторов, т. е. горючего вещества, кислорода воздуха и источника воспламенения, может вызвать горение. Отсутствие одного из этих обязательных условий делает горение, как правило, невозможным.

Среда «горючее вещество + воздух» называется горючей. Каждая горючая среда и каждый источник воспламенения имеют присущие им определенные свойства, которые необходимо знать при анализе пожарной опасности любого технологического процесса.

Начавшийся пожар может принять большие масштабы и причинить значительный ущерб, если имеются соответствующие условия для его распространения.

Таким образом, анализируя пожарную опасность технологических процессов, необходимо установить, при каких условиях в

аппаратах и производственных помещениях может образоваться горючая среда, какие могут быть источники воспламенения и каковы возможные пути распространения пожара.

Опыт практической работы и обучения в пожарно-технических учебных заведениях показал, что при анализе пожарной опасности различных производств и при разработке пожарно-профилактических мероприятий имеется много общих вопросов.

Изложению этих общих вопросов анализа пожарной опасности технологической части производств и посвящена настоящая работа.

РАЗДЕЛ I

ГОРЮЧАЯ СРЕДА В ПРОИЗВОДСТВАХ С ОГНЕОПАСНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

На ряде промышленных объектов хранятся, перерабатываются или участвуют в технологических процессах разнообразные по химическим и пожароопасным свойствам жидкие, газообразные и твердые вещества. Каждая из этих групп веществ имеет свои особенности. Например, условия хранения и обработки огнеопасных жидкостей в некоторых случаях отличаются от условий хранения и обработки газов. Жидкости в зависимости от их свойств могут находиться не только в закрытых и герметичных аппаратах, но и в постоянно открытых или открываемых на периоды загрузки и выгрузки, а газы, в том числе и сжиженные,— только в герметически закрытых аппаратах. Жидкости, испаряясь, образуют насыщенные пары, количество которых в единице объема зависит только от величины температуры, в то время как количество газов от температурных условий не зависит. Это показывает, что и условия образования горючих концентраций внутри аппаратов и трубопроводов с жидкостями в некоторых случаях отличаются от образования горючих концентраций внутри аппаратов с газами.

Известно, что наиболее опасными для производства являются случаи повреждений и аварий аппаратов. При повреждении аппаратов и трубопроводов с газами, последние в силу своей большой текучести и диффузионной способности быстро выходят наружу, смешиваются с воздухом и могут образовать взрывоопасные концентрации в больших объемах.

Повреждение аппаратов и трубопроводов приводит к растеканию и частичному испарению жидкостей. При этом, в зависимости от температурных условий, могут образоваться местные взрывоопасные смеси паров с воздухом. Чаще всего утечка жидкостей приводит к возникновению пожаров и реже — к взрывам. Причины, вызывающие повреждение аппаратов и трубопроводов с огнеопасными газами и жидкостями, во многом аналогичны и могут рассматриваться совместно.

Твердые вещества обычно обрабатывают открыто, т. е. без специальных укрытий и изоляции, если процесс их обработки не сопровождается выделением пыли или газообразных продуктов. При выделении горючих или ядовитых продуктов разложения обработку твердых веществ осуществляют в герметичных аппаратах.

В этом случае условия образования опасных концентраций внутри аппаратов и причины выхода газов наружу такие же, как и у аппаратов с газами. В тех случаях когда неизбежно выделение пыли, обработку твердых веществ осуществляют с укрытиями или в закрытых аппаратах. Условия образования горючих концентраций и причины выхода пыли из таких аппаратов наружу несколько отличны от аппаратов с газами и жидкостями.

Таким образом, говоря о пожарной опасности любого технологического процесса, необходимо в первую очередь выяснить, какие концентрации паров, газов или пылей находятся в самих аппаратах при нормальном режиме их работы и при каких условиях они могут быть горючими, а затем рассмотреть, когда и по каким причинам пары, газы и пыль могут выходить из аппаратов наружу, создавая пожарную опасность.

Глава I. ОБРАЗОВАНИЕ ГОРЮЧИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВНУТРИ АППАРАТОВ

Взрывоопасные концентрации паров, газов и пылей могут возникать в аппаратах и трубопроводах, работающих при атмосферном или повышенном давлении, находящихся под разряжением, а также в периоды остановки систем на чистку или ремонт. Рассмотрим эти вопросы более подробно.

§ 1. Аппараты с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями

В производственных условиях получаются, подвергаются обработке или участвуют в технологическом процессе разнообразные легковоспламеняющиеся и горючие жидкости в нагретом или холодном состоянии и при различном давлении.

Очень часто перерабатываются или применяются в качестве растворителей и химического сырья нефть и нефтепродукты, ароматические углеводороды, спирты, эфиры, альдегиды, кетоны, растительные масла, органические кислоты и др.

Все эти жидкости испаряются при любой температуре и имеют соответствующее данной температуре давление насыщенных паров. Но не при всех температурах пары жидкости образуют горючие концентрации. В некоторых случаях температура жидкости будет слишком мала для того, чтобы образовалось достаточное для горения количество паров. В других случаях температура жидкости будет слишком высока и при этом образуется столь много паров, что для образования горючей смеси не будет хватать воздуха. Следовательно, горючая смесь паров образуется только в определенных температурных интервалах нагрева жидкости, которые именуются температурными пределами взрываемости. При этом концентрация паров будет лежать в пределах взрыва и горение будет носить характер взрыва.

Таким образом, обязательными условиями для образования горючей концентрации паров жидкости в аппаратах и трубопроводах являются:

а) наличие парового пространства в аппарате;

б) наличие жидкости с рабочей температурой, лежащей в интервале температурных пределов взрываемости ее паров, т. е.:

$$t_{нпв} \leqslant t_{раб} \leqslant t_{впв},$$

где $t_{нпв}$ — нижний температурный предел взрываемости, °С;
$t_{впв}$ — верхний температурный предел взрываемости, °С;
$t_{раб}$ — рабочая температура жидкости в аппарате, °С.

Температурные пределы взрываемости большинства легковоспламеняющихся и горючих жидкостей можно найти в справочниках. Если в справочнике данные отсутствуют, то температурные пределы взрываемости могут быть легко определены лабораторным путем, а в некоторых случаях вычислены аналитически.

Примерное значение температурных пределов взрываемости для нефтепродуктов можно вычислить по следующим формулам [1]:

$$t_{нпв} \approx 0{,}82 \cdot t_к - 86\ °C,$$

$$t_{впв} \approx 0{,}70 \cdot t_к - 42\ °C,$$

где $t_к$ — начальная температура кипения нефтепродукта, °С.

Для однородных жидкостей любого химического состава температура нижнего предела взрываемости (вспышки) может быть определена по формуле :

$$T_{нпв} \approx 0{,}736 \cdot T_к,$$

где: $T_{нпв}$ — температура нижнего предела взрыва или вспышки, абс. град.,
$T_к$ — температура кипения жидкости, абс. град.

Нижний температурный предел взрываемости может быть вычислен также следующим образом [2]:

$$t_{нпв} \approx t_к - 18\sqrt{K},$$

где: $t_{нпв}$ — температура вспышки паров, или нижний температурный предел взрываемости, °С;
$t_к$ — температура кипения жидкости, °С;
K — число опасности вещества, определяемое следующим образом:

$$K = 4 \cdot C + 1 \cdot H + 4 \cdot S - 2 \cdot O - 2 \cdot Cl - 3 \cdot F - 5 \cdot Br,$$

где C, H, S, O, Cl и др. — число соответствующих атомов, входящих в состав молекулы жидкости.

---

[1] Ж. «Безопасность труда в промышленности», № 4, 1961.

[2] Предупреждение взрывов, пожаров и техника безопасности в химической, нефтеперерабатывающей и других отраслях промышленности. ГОСИНТИ, 1961.

Нижний предел взрыва паров в объемных процентах:

$$C_{нпв} = \frac{44}{K}.$$

Если число K будет меньше О, это значит, что данное вещество не способно гореть.

Рабочая температура жидкости (ее действительная температура в аппарате) определяется по показаниям термометров или из пояснительной записки к проекту, когда речь идет о проектируемом производстве. Если рабочая температура жидкости в процессе эксплуатации аппарата будет изменяться, следует определить, в ка-

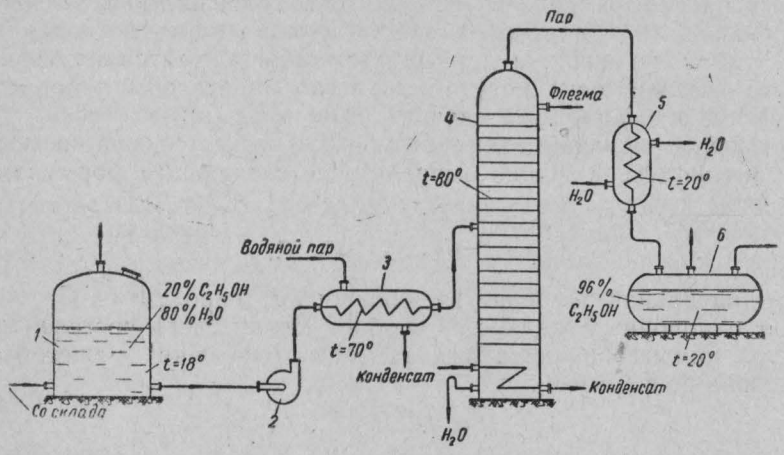


Рис. 1. Схема установки для укрепления водного раствора спирта:
1 — промежуточная емкость; *2* — насос; *3* — подогреватель; *4* — ректификационная колонна; *5* — конденсатор-холодильник; *6* — емкость ректификатора.

кие именно периоды работы аппарата внутри него могут возникнуть взрывоопасные концентрации.

Сказанное можно проиллюстрировать следующим примером (рис. 1): 20-процентный водный раствор этилового спирта при температуре 18° С из емкости *1* насосом *2* подается на подогрев до 70° С в подогреватель *3*, а затем подвергается укреплению (ректификации) в колонне *4*. Минимальная температура в колонне равна 80° С.

Из верхней части колонны выходят пары чистого спирта, которые конденсируются, и жидкость охлаждается до 20° С в холодильнике *5*. Полученный спирт-ректификат сливается в емкость *6*. Требуется определить, какие концентрации паров спирта будут во всех аппаратах данной технологической схемы. Для решения этого вопроса нужно установить: а) имеют ли аппараты объем, не заполненный жидкостью, и б) сравнить их рабочие температуры с величиной температурных пределов взрываемости для жидкости данного состава. Результаты анализа сведены в табл. 1.

Таблица 1

№ аппарата	Название и что в аппарате находится	Наличие парового пространства	Рабочая температура, °С	Температурные пределы взрыва		Заключение
				нижний, °С	верхний, °С	
1	Резервуар с 20-процентным водным раствором этилового спирта	Есть	18°	+33*	+54	Концентрация паров спирта в резервуаре ниже нижнего предела взрыва, так как $t_{раб} < t_{нпв}$
2	Насос для 20-процентного раствора этилового спирта	Нет	18°	+33	+54	Взрывоопасной смеси нет, так как отсутствует паровой объем и $t_{раб} < t_{нпв}$
3	Подогреватель для 20-процентного раствора спирта	Нет	70°	+33	+54	Взрывоопасной смеси нет, так как отсутствует паровой объем
4	Ректификационная колонна для укрепления этилового спирта до 96%	Есть	80°	+11*	+40	Концентрация паров спирта выше верхнего предела взрыва, так как $t_{раб} > t_{впв}$
5	Холодильник - конденсатор спирта-ректификата	Нет	20°	—	—	Отсутствует паровоздушное пространство
6	Приемник спирта-ректификата	Есть	20°	+11	+40	Концентрация паров спирта взрывоопасная, так как $t_{нпв} < t_{раб} < t_{впв}$

Таким образом, в аппарате *1* концентрация паров ниже нижнего предела взрыва, в аппарате *6* концентрация взрывоопасная, в аппарате *4* концентрация выше верхнего предела взрыва, а в аппаратах *2*, *3* и *5* вообще отсутствует паровое пространство.

Очень часто резервуары емкости имеют большой объем воздушного пространства. В этом случае возникает вопрос, правильно ли делать заключение о горючей концентрации паров по температуре жидкости при низком ее уровне в резервуаре и можно ли считать постоянной концентрацию паровой фазы по высоте аппарата.

Практические наблюдения показали, что пары однородных жидкостей в аппаратах даже с большим паровоздушным объемом в результате диффузии и конвекционных потоков дают концентрацию, почти не изменяющуюся по высоте. Пары неоднородных легкокипящих жидкостей также дают примерно одинаковые концентрации смеси по высоте емкости. Это можно подтвердить опы-

* М. Г. Годжелло и др. Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости. Справочник, стр. 62. Изд. МКХ РСФСР, 1956.

тами, проведенными на резервуарах с бензином Реутовской нефтебазы Московской области[1].

Опыты показали, что уже через 15 мин. при температуре 20° С пары бензина насыщают паровоздушное пространство высотой до 6 *м*. В дальнейшем (опыт продолжался в течение 17 часов) концентрация изменилась всего лишь на 0,5%.

Легкоиспаряющиеся жидкости образуют практически одинаковую концентрацию паров по высоте аппарата. Более тяжелые, т. е. трудноиспаряющиеся, неоднородные жидкости при обычных температурах будут иметь неравномерную концентрацию паров по высоте аппарата. Однако эта неравномерность при повышении температуры сглаживается.

Таким образом, при пожарно-техническом обследовании и экспертизе проектов можно считать, что аппараты и емкости с огнеопасными жидкостями при любом их уровне имеют во всем воздушном объеме концентрацию паров, практически одинаковую и соответствующую действительной температуре жидкости в данный момент. Этот вывод справедлив только в том случае, если количество жидкости будет достаточным для образования насыщенной концентрации паров в воздушном объеме аппарата или резервуара.

Минимальное количество жидкости, при испарении которой внутри аппарата может образоваться насыщенная концентрация паров, определяется следующим образом.

Зная упругость насыщенных паров P_s при рабочей температуре жидкости, можно определить объемную концентрацию паров:

$$C_{об} = \frac{P_s \cdot 100}{P_{раб}},$$

где: $C_{об}$ — концентрация паров в объемных процентах;
$P_{раб}$ — давление в аппарате.

Объемную концентрацию паров можно перевести в весовую:

$$C_{вес} = \frac{C_{об} M}{100 \cdot V_t} \text{ г/л} = \frac{10 \cdot C_{об} \cdot M}{V_t} \text{ г/м}^3,$$

где: V_t — объем грамм-молекулы пара при рабочей температуре жидкости:

$$V_t = \frac{22{,}4\,(t + 273)}{273} \cdot \frac{760}{P_{раб}};$$

M — молекулярный вес паров.

Зная весовую концентрацию паров и объем аппарата, найдем количество испарившейся жидкости G:

$$G = C_{вес} \cdot V,$$

где V — объем воздушного пространства аппарата, $м^3$.

---

[1] А. Ф. Виноградов. Хранение и транспорт нефтепродуктов. Гостехиздат, Киев, 1948.

Если необходимо определить минимальное количество жидкости G, которая при испарении может образовать взрывоопасную концентрацию в данном объеме, достаточно знать величину нижнего предела взрываемости паров *г/м*³ и объем аппарата, тогда:

$$G = C_{нпв} \cdot V,$$

где: $C_{нпв}$ — нижний предел взрыва, *г/м*³;
V — объем аппарата, *м*³.

Предупредить образование горючих концентраций паров в емкостях и аппаратах с наличием огнеопасных жидкостей можно следующим образом:

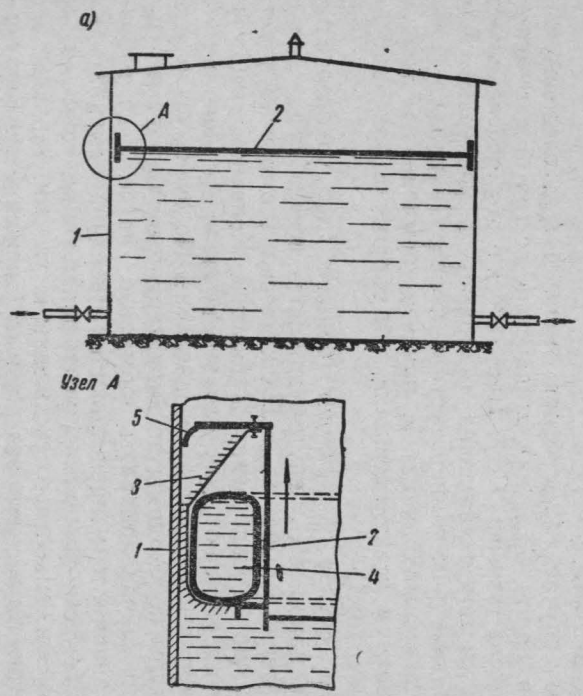
а) путем ликвидации паровоздушного объема. В аппаратах и резервуарах с постоянным уровнем жидкости это достигается выбором линейных размеров, обеспечивающих максимально возможное заполнение внутреннего объема, с последующим автоматическим регулированием установленного уровня жидкости.

В аппаратах и резервуарах с изменяющимся уровнем жидкости (промежуточные резервуары, мерники и т. п.) это достигается изоляцией поверхности жидкости от воздуха плавающими на ней телами, например: плавающими крышами (рис. 2, *а*), слоем стойкой пены и т. п. Могут быть также аппараты с эластичными складывающимися стенками (рис. 2, *б*) и т. п.;

б) путем создания температурных условий, исключающих образование взрывоопасных концентраций. При этом могут обеспечиваться постоянные условия работы аппаратов при температурных режимах ниже нижнего или выше верхнего температурного предела взрываемости.

В первом случае $t_{раб}$ будет меньше $t_{нпв}$, следовательно, концентрация паров $C_{раб}$ над жидкостью всегда будет меньше нижнего предела взрыва $C_{нпв}$. Практически это обеспечивается применением систем охлаждения (например, в маслозакалочных ваннах), ограничением температуры подогрева (например, в обогреваемых топливных бачках) и, наконец, применением вакуума (например, вакуум ксантатмешалки при обработке алкалицеллюлозы сероуглеродом).

Во втором случае $t_{раб}$ будет больше $t_{впв}$, следовательно, концентрация паров $C_{раб}$ внутри аппарата всегда будет больше верхнего предела взрыва $C_{впв}$. Практически это обеспечивается применением систем подогрева жидкостей. Конечно, специально жидкость не подогревают, так как это вызвало бы дополнительный расход тепла и увеличило бы давление. Но очень часто высокие температуры необходимы по характеру технологического процесса. В этом случае аппараты нормально нагреты до рабочих температур, значительно превышающих верхний температурный предел взрываемости (например, ректификационные колонны, выпарные установки, емкости со сжиженными газами, варочные котлы). Нарушение температурного режима (снижение температуры) в таких аппаратах может вызвать образование взрывоопасных



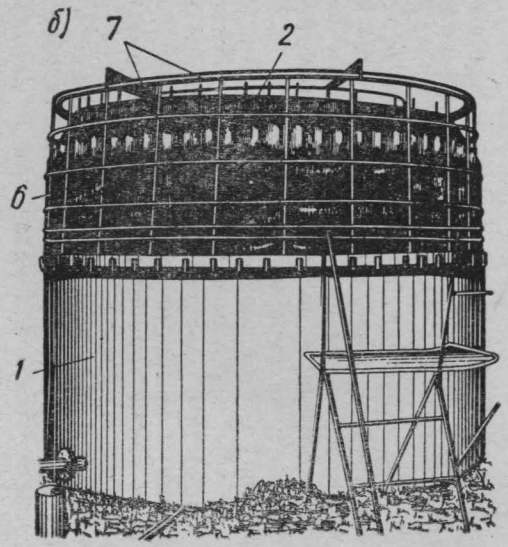


Рис. 2. Резервуары с плавающими крышами:

а — уплотнение из гибкой ленты и кольцевого рукава с жидкостью; *б* — плавающая крыша герметично соединена с корпусом резервуара мягкой тканью; *1* — корпус резервуара; *2* — плавающая крыша; *3* — гибкая ребристая лента; *4* — уплотнительный кольцевой рукав с жидкостью; *5* — уплотнительная прокладка; *6* — подвижная складывающаяся стенка из мягкой обрезиненной ткани; *7* — направляющий каркас.

смесей. Следовательно, при концентрациях ниже или выше пределов взрываемости паров необходимо систематически контролировать температурный режим, применяя приборы автоматического контроля или автоматического регулирования температурного режима;

в) путем введения негорючих газов в объем аппаратов или емкостей. Негорючие газы (азот, углекислый газ, выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания в топочные газы) понижают концентрацию горючих паров и кислорода над жидкостью, образуя негорючую смесь. Очень часто, создавая давление в аппаратах или емкостях негорючими газами, перемещают огнеопасные жид-

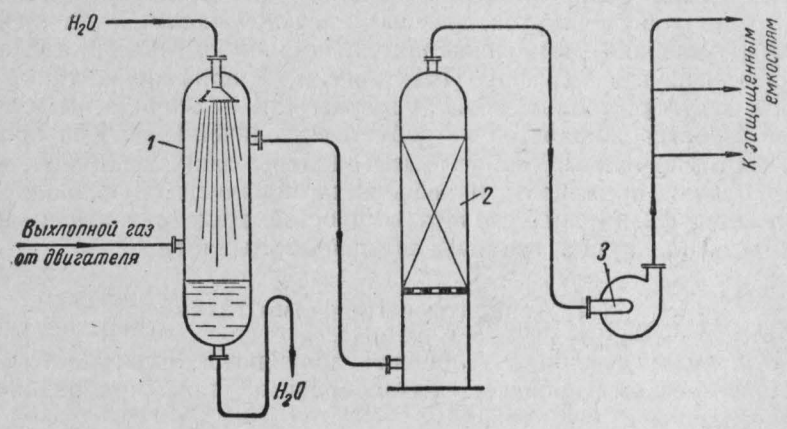


Рис. 3. Схема очистки и охлаждения выхлопных и дымовых газов.

кости по трубопроводам в различные точки цехов. Азот и углекислый газ для защиты аппаратов и емкостей используются в том случае, когда для удовлетворения каких-либо производственных потребностей на заводе имеется станция по их производству или накоплен большой запас этих газов. Азот и углекислый газ в баллонах применяются лишь для защиты аппаратов малого объема (например, автоклавы для растворения ацетилцеллюлозы в ацетоне и передавливания раствора).

При защите больших объемов огнеопасных жидкостей выгоднее использовать выхлопные или дымовые газы. При этом они должны подаваться в емкости или аппараты очищенными, без продуктов неполного сгорания, в холодном состоянии и при содержании свободного кислорода не более 10—8%. Принципиальная схема очистки и охлаждения выхлопных и дымовых газов показана на рис. 3. Продукты горения поступают в водяной холодильник *1* для охлаждения и очистки от несгоревших твердых частичек топлива. Охлажденный и очищенный газ пропускается для осушки через скруббер *2* с коксовой насадкой и после этого нагнетается компрессором или вентилятором *3* в емкость с ЛВЖ.

В настоящее время такие установки используются для защиты нефтепродуктов на танкерах, в наземных и подземных цистернах и резервуарах.

Проектный институт «Гипропищепром» при проектировании спиртохранилищ предусматривает заполнение свободного пространства емкостей топочными газами;

г) путем введения в огнеопасную жидкость каких-либо добавок, снижающих ее испаряемость, т. е. уменьшающих количество горючих паров в воздушном пространстве аппарата, резервуара. Теоретически в качестве таких добавок могут быть применены негорючие вещества, растворяемые в огнеопасных жидкостях: например, вода — для снижения испаряемости метилового, этилового и пропилового спиртов, ацетона, уксусной кислоты; четыреххлористый углерод — для снижения пожарной опасности нефтепродуктов, сероуглерода и др. Практически же применение таких способов встречает большое затруднение, так как при этом изменяются свойства жидкостей и требуется увеличение объема аппаратов. Все же, видимо, могут быть найдены такие вещества, которые, будучи применены в небольших количествах, позволят без изменения физических свойств жидкостей резко снизить их испаряемость или сузить границы взрываемости паров.

§ 2. Аппараты с горючими газами

В производственных условиях получаются или участвуют в технологическом процессе разнообразные газы при различных температурах и давлении.

В качестве химического сырья или топлива в производственных условиях используются следующие газы: естественный, нефтяной, коксовый, этилен, ацетилен, генераторный, абгазы, аммиак, водород, доменный и др.

К 1965 г. уровень добычи газа должен достигнуть 150 млрд. $м^3$ в год, в 1970 г.—310—325, а в 1980 г.—680—720 млрд. $м^3$. Естественно, что в связи с этим аппаратов, емкостей и трубопроводов с горючими газами с каждым годом будет все больше.

Неправильная эксплуатация аппаратов с горючими газами может вызывать пожары и взрывы. Поскольку такими же свойствами, как газы, обладают и перегретые пары жидкостей, излагаемые ниже условия образования горючих концентраций газов, относятся и к перегретым парам.

Чаще всего аппараты и трубопроводы бывают заполнены чистым газом, и реже по технологическим условиям используется смесь горючего газа с воздухом или кислородом.

Так как горючая концентрация смеси газа с воздухом может образоваться только в пределах границ взрыва, то наличие ее внутри аппаратов и трубопроводов может быть выражено следующим образом:

$$C_{нпв} \leqslant C_{раб} \leqslant C_{впв},$$

где: $C_{раб}$ — действительная концентрация газа в аппарате, % или $г/м^3$;

$C_{нпв}$, $C_{впв}$ — нижний и верхний пределы взрыва газа, % или $г/м^3$.

При отсутствии данных о пределах взрыва газа они могут быть определены опытным путем. Действительная концентрация горючего газа не может быть определена ни по величине рабочей температуры, ни по давлению в аппарате. Действительную концентрацию газа в аппарате $C_{раб}$ определяют взятием пробы на анализ или по данным технологической записки.

Минимальное количество газа, которое может образовать взрывоопасную концентрацию в объеме данного аппарата, находят из выражения $G = C_{нпв} \cdot V$.

Чаще всего аппараты и трубопроводы с газами работают при давлении выше атмосферного, и воздух проникнуть в них не может. Поэтому взрывоопасные концентрации с газами могут образоваться вероятнее всего в периоды пуска и остановки, при работе под вакуумом или при работе на смеси горючего газа с кислородом. Об этом будет сказано ниже.

§ 3. Аппараты с огнеопасными пылями

В производственных условиях горючие пыли могут являться конечным продуктом (например, пылевидное топливо, древесная мука, сахарная пудра и т. д.) или отходами и побочными продуктами производства (например, мучная, табачная, древесная пыль и т. д.). Размеры частичек пыли колеблются в весьма широких пределах. В зависимости от размеров частиц и скорости движения воздуха пыль может находиться во взвешенном или осевшем состоянии. При изменении скорости движения воздушных потоков осевшая пыль (аэрогель) легко переходит во взвешенное состояние (аэрозоль).

Минимальную скорость движения воздушного потока, при которой твердая частичка данного размера переходит во взвешенное состояние, можно определить по следующей упрощенной формуле:

$$W_{\min} = 4{,}65\sqrt{d \cdot \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_2}}, \ м/сек,$$

где: d — диаметр твердой частицы, $м$;

γ_1 — удельный вес материала частицы, $кг/м^3$;

γ_2 — объемный вес воздуха (или газа), $кг/м^3$.

Многие пыли во взвешенном состоянии способны давать взрывоопасные концентрации. Считают, что из органических пылей не образуют взрывоопасных концентраций только такие, которые при разложении дают менее 10% (по весу) газообразных веществ (например, пыль кокса, графита, антрацита) или обладают способностью к коагуляции (частички слипаются и быстро оседают, например, пыль хлопка). Пределы взрыва пылевоздуш-

ных смесей зависят не только от химического состава того вещества, из которого получена пыль, но и в сильной степени от измельченности, влажности и зольности ее.

Наиболее важное значение имеет нижний предел взрыва пыли, так как величина верхнего предела взрыва очень высока и практически редко достижима.

Таким образом, обязательным условием наличия взрывоопасной концентрации пыли внутри аппаратов будет соблюдение следующего равенства: $C_д \geqslant C_{нпв}$.

Действительная концентрация ($C_д$) взвешенной пыли (в $г/м^3$) может быть определена только анализом. Величина нижнего предела взрыва пыли находится по справочным пособиям (с учетом фракционности, влажности и зольности) или опытным путем.

Наибольшее количество взвешенной пыли дают машины и агрегаты с механизмами ударного действия (дробилки, мельницы, разрыхлители, обойки, центробежные классификаторы), а также машины и установки, работа которых сопряжена с использованием воздушных потоков (пневматические системы транспортировки, воздушные классификаторы, сепараторы и т. п.) или с падением измельченной продукции с высоты (самотечные трубы, места пересыпания с одного транспортера на другой, моменты загрузки и выгрузки измельченной продукции и т. п.).

Значительную опасность для аппаратов представляет скопление осевшей пыли, так как при взвихрении она может создать взрывчатые смеси; самовозгорающиеся пыли могут дать очаги самовозгорания, искры от попавших в машину твердых частиц могут вызвать очаги тления, от которых воспламенится и взвешенная пыль.

Осевшая пыль в машинах и аппаратах скопляется на застойных участках, тупиках, дефектах поверхности, местах острых сопряжений, при увлажнении пыли и конденсации влаги на стенках аппаратов и трубопроводов.

Уменьшить пожарную опасность аппаратов и трубопроводов с наличием пыли можно следующими способами:

а) применением менее «пылящих» процессов измельчения (например, вибрационный помол, измельчение с увлажнением, мокрые процессы обработки твердых и волокнистых веществ);

б) введением негорючих газов внутрь аппаратов в течение всего периода работы или только в наиболее опасные моменты (например, в периоды пуска и остановки мельниц и подобных им машин) или добавлением к огнеопасной пыли минеральных веществ (например, мела и др.);

в) устройством систем отсосов пыли из машин;

г) конструктивными решениями, обеспечивающими минимальное скопление осевшей пыли, к которым относятся: гладко обработанные внутренние поверхности аппаратов и трубопроводов, плавные повороты трубопроводов и сопряжения поверхностей аппа-

ратов, плавные переходы диаметров, уклон конусной части аппаратов не менее 60° (рис. 4, *а*), а самотечных трубопроводов — не менее 45° к горизонту (рис. 4, *б*);

д) использованием вибраторов для предотвращения образования пробок пыли в бункерах;

е) предохранением стенок аппаратов и трубопроводов от увлажнения. Это достигается размещением аппаратов в отапливаемых помещениях и устройством теплоизоляции при расположении их на открытых площадках или в неотапливаемых помещениях.

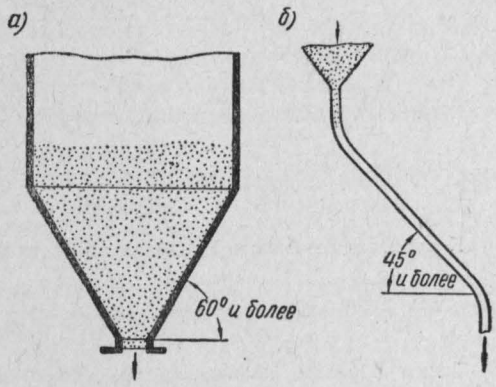


Рис. 4. Допустимые уклоны стенок аппаратов с пылевидной продукцией:
а — конусной части аппаратов и бункеров; *б* — самотечных труб.

§ 4. Аппараты, работающие под разрежением

Пониженное давление (т. е. разрежение) создают в аппаратах для снижения температурного режима для предотвращения попадания паров и газов в воздух производственного помещения. В этих случаях за последним аппаратом по ходу технологического процесса устанавливают вакуум-насос или эжектор.

Если аппараты и трубопроводы, находясь под разрежением, имеют неплотности, то через них будет подсасываться внутрь воздух и возможно образование взрывоопасных смесей. Количество подсасываемого при этом воздуха можно определить по формуле:

$$V = \mu \cdot f \cdot \sqrt{2g\frac{H}{\gamma}} \cdot \frac{T_{раб}}{T_o},$$

где: V — объем засасываемого воздуха, *м³/сек*;
μ — коэффициент расхода, равный для воздуха 0,6—0,75;
f — сечение неплотностей, через которые подсасывается воздух, *м²*;
H — величина разрежения в *мм* вод. ст., *кГ/м²*;
γ — удельный вес воздуха, равный 1,29 *кг/нм³*;
$T_{раб}$ — температура в аппарате, куда подсасывается воздух, абс. град.;
T_o — температура воздуха, абс. град.

Пример. Определить, может ли быть опасным подсос воздуха в ацетиленовый химический очиститель производительностью в 2 *м³/сек* через оставленный незакрытым вентиль на трубопроводе диаметром 75 *мм*. Температура газа в трубопроводе 80° С, а разрежение — 800 *мм* вод. ст. Температура воздуха равна 0° С.

Решение. Количество подсасываемого воздуха V *м³/сек*, определим по формуле:

$$V = \mu \cdot f \sqrt{2g \frac{H}{\gamma}} \cdot \frac{T_{раб}}{T_o},$$

где: $\mu = 0,6$;

$$f = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,075^2}{4} = 0,0044 \text{ м}^2;$$

$$\gamma = 1,29 \text{ кг/м}^3.$$

Подставляя указанные данные, получим:

$$V = 0,6 \cdot 0,0044 \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 800}{1,29}} \cdot \frac{(273 + 80)}{273} = 0,46 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

К производительности аппарата по ацетилену это составит:

$$C = \frac{V}{V + V_{ац}} \cdot 100 = \frac{0,46}{0,46 + 2} \cdot 100 = 20\%.$$

Таким образом, количество воздуха в системе составит 20%. При этом действительная концентрация ацетилена в аппарате составит 80%. Верхний предел взрыва ацетилена по литературным данным равен 82%.

Следовательно, внутри системы при указанном подсосе воздуха образуется взрывоопасная концентрация.

Из сказанного следует, что при работе под вакуумом нельзя допускать подсос воздуха в систему. Так как обычными способами заметить неплотности очень трудно, то постоянный контроль за состоянием системы проще всего осуществлять путем непрерывного автоматического анализа стационарными газоанализаторами или взятием пробы на присутствие кислорода. Количество кислорода в газе больше установленной нормы указывает на наличие неплотностей и подсоса через них воздуха. В некоторых случаях герметичность системы проверяется путем создания положительного давления в течение небольшого промежутка времени. Положительное давление создают частичным перекрытием вентиля на линии, идущей к вакуум-насосу, а затем проверяют, есть ли утечка газа.

Оценивая возможность образования взрывоопасной концентрации в аппаратах, необходимо иметь в виду, что нижний и, особенно, верхний пределы взрыва не являются величинами постоянными, а изменяются в зависимости от величины давления и температуры газа. Закономерности изменения пределов взрыва в зависимости от температуры и давления рассматриваются в соответствующих пособиях [1].

---

[1] П. Г. Демидов. Горение и свойства горючих веществ. Изд. МКХ РСФСР, 1962. А. Н. Баратов. Влияние температуры на концентрационные пределы взрывчатости. Информационный сборник ЦНИИПО № 11, 1957 г.

§ 5. Образование горючих концентраций в периоды пуска и остановки аппаратов

Взрывы технологических аппаратов и пожары возникают часто в периоды неустановившегося режима работы. К таким периодам относятся остановка аппаратов на профилактический осмотр, ремонт и пуск их в эксплуатацию.

Образование взрывоопасных концентраций при остановке аппаратов или трубопроводов происходит в результате неполного удаления паров или газов из внутреннего объема системы, а при пуске аппаратов и трубопроводов — в результате недостаточного удаления воздуха.

Непосредственными причинами, приводящими к образованию взрывоопасных концентраций в аппаратах и трубопроводах при их остановке, являются:

а) неполный спуск огнеопасных жидкостей. При этом некоторое количество жидкости остается в нижней части аппарата, на его стенках, тарелках или других внутренних устройствах. Если в аппарате осталось много жидкости или пара, то удалить их последующей продувкой очень трудно;

б) отсутствие или недостаточная продувка водяным паром или негорючим газом, недостаточная промывка водой или вентилирование воздухом внутреннего пространства аппаратов и трубопроводов от оставшихся жидкостей, паров и газов. Неправильной является такая продувка, которая проводится при уменьшенном количестве подаваемого на продувку негорючего газа или пара, уменьшенном времени продувки или при отсутствии контроля за составом продувочных газов, отводимых из аппарата;

в) негерметичное отключение трубопроводов с огнеопасными жидкостями и газами от подлежащих остановке аппаратов.

Если отключение неработающих аппаратов производится только путем перекрытия задвижек на соединительных трубопроводах, то это не гарантирует полной герметичности. Во время эксплуатации рабочие части задвижек (клапаны, тарелки, плашки и т. п.) изнашиваются, деформируются, места сопряжений подвижных частей с корпусом задвижек могут быть загрязнены твердыми отложениями. Все это приводит к тому, что и в закрытом состоянии такие задвижки способны пропускать жидкости, газы и пары, которые, просачиваясь и постепенно накапливаясь, могут образовать взрывоопасные концентрации даже в хорошо подготовленных и правильно продутых аппаратах и трубопроводах.

Чтобы избежать возможности образования взрывоопасных концентраций внутри аппаратов и трубопроводов при их остановке, проводят следующие мероприятия: полностью сливают огнеопасные жидкости и стравливают горючие газы, надежно отключают трубопроводы с огнеопасными веществами и продувают внутренний объем аппаратов. Продувку аппаратов производят для того, чтобы в аппаратах не оставалось жидкостей и газов.

Для обеспечения полного слива жидкостей сливной трубопровод присоединяют к самой нижней точке аппарата. Наиболее часто сливные трубопроводы совмещают с рабочими трубопроводами. Устройство конических или сферических днищ, а также некоторый уклон горизонтально расположенных аппаратов и трубопроводов облегчают условия опорожнения. Подлежащая сливу жидкость отводится в какой-либо другой аппарат или емкость (специальных резервуаров для этой цели не устраивают). Если конструктивное устройство аппарата не обеспечивает полного слива жидкости, то применяют промывку водой. Вода, постепенно вымывая и вытесняя горючую жидкость, занимает ее место в аппарате.

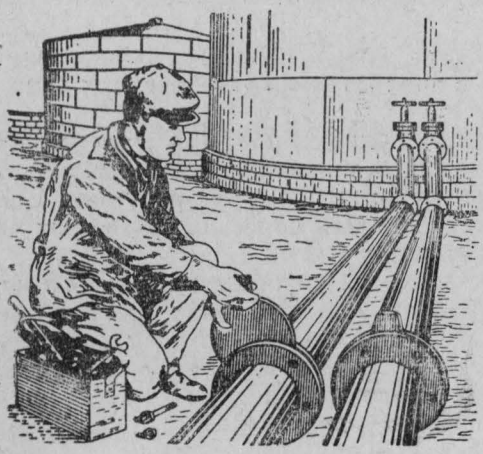


Рис. 5. Установка заглушки на трубопроводе.

Надежное отключение аппаратов и трубопроводов от работающих систем может осуществляться различными способами. В некоторых случаях, особенно если аппараты останавливаются на длительный срок, отключение производят путем полного разъединения всех линий. Для этого перекрывают задвижку, демонтируют фланцевое соединение со стороны отключаемого аппарата и разъединяют линию или вообще демонтируют одно звено трубопровода. Недостатком этого метода является необходимость ослабления креплений для смещения трубопровода со своего места, а также возможность выхода наружу газа или жидкости при пропуске задвижки через открытый фланец трубопровода. Поэтому часто отключение линий производят не разъединением фланцев, а путем установки между ними заглушек. При этом перекрывают задвижки, разъединяют фланцевое соединение со стороны отключаемого аппарата и рядом с прокладкой или вместо нее устанавливают металлическую заглушку с хвостовиком (рис. 5). Затем фланцы вновь стягивают болтами. Хвостовики нужны не только для удобства установки заглушки, но и для того, чтобы место установки заглушки было заметным.

В том случае, когда отключение аппаратов производится довольно часто, а трубопроводы имеют большой диаметр или расположены в труднодоступных местах, рекомендуется применять гидравлические затворы-отключатели. Гидравлические затворы для отключения линий устанавливаются стационарно и только на газо-

проводах. Гидравлический затвор-отключатель (рис. 6) представляет собой вертикальный цилиндрический корпус-горшок *1* с внутренней перегородкой *3*. В нерабочем состоянии гидрозатвор свободно пропускает поток газа, а будучи заполненным водой, отсекает одну часть газовой линии *2* от другой. Для заполнения гидрозатвора водой к нему подводится водопроводная линия *4*. Высота запирающего слоя воды *H* зависит от рабочего давления газа и устанавливается нормами. Так, в правилах устройства и безопасной эксплуатации газогенераторных станций сказано, что отключение газогенераторов и электрофильтров должно производиться при помощи устройства с водяным затвором. Величина водяного затвора должна приниматься по табл. 2.

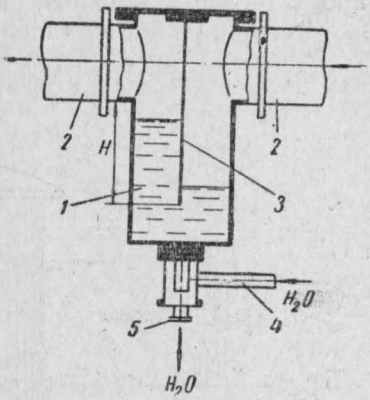


Рис. 6. Гидравлический затвор-отключатель газовой линии:

1 — корпус; *2* — газовые линии; *3* — перегородка; *4, 5* — линии подачи и пуска воды; *H* — максимальная высота водяного затвора.

Поддержание постоянного уровня воды должно обеспечиваться подводом к нему воды и устройством сливной линии.

Надежное отключение аппаратов (рис. 7) может быть обеспечено также устройством на линии *1* двух близко друг к другу расположенных задвижек *2*, *3* с отводной трубой *4* между ними, как показано на рис. 7, *а*. В этом случае неисправность или неплотное закрытие любого из вентилей на рабочей линии не вызовет попадания пара или газа в отключенный аппарат, так как имеется путь наименьшего сопротивления — выход пара или газа наружу через открытую отводную трубу *4* при открытом на ней вентиле *5*. Отводная труба обычно выводится за пределы производственного помещения, или над ней устраивают местный отсос.

Таблица 2

Величина рабочего давления *P* газа, *мм* вод. ст.	Высота водяного затвора *H*, *мм*
До 300	$P + 150$, но не менее 250
От 300 до 1000	$1{,}5\,P$
Свыше 1000	$P + 500$

Если через отводную трубу можно ожидать выхода жидкости или конденсата, то такая труба подводится к трапу производственной канализации или к специальной сборной емкости.

На некоторых предприятиях герметичность отключения газовых и жидкостных линий достигается закрытием на линии двух

смежно расположенных задвижек с подводом между ними линии водяного пара (рис. 7, *б*).

Давление водяного пара принимается несколько выше рабочего давления в линии. Это препятствует попаданию огнеопасного продукта в отключенный аппарат в случае неисправности или неплотного закрытия вентилей.

При пожарно-техническом обследовании необходимо выяснить, как производится отключение аппаратов на ремонт и чистку и соответствует ли применяемый метод требованиям пожарной безопасности. Если систематическая остановка аппаратов требуется по технологическим соображениям (частая разгрузка, регенерация и т. п.), то на способы отключения таких аппаратов следует обращать внимание и при рассмотрении проектных материалов.

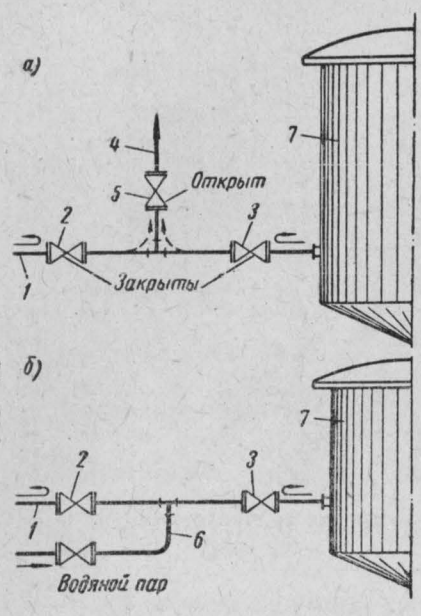


Рис. 7. Отключение линий от аппаратов:

а — двумя вентилями с открытой трубкой в атмосферу; *б* — двумя вентилями с подводом водяного пара между ними; *1* — трубопровод с огнеопасным продуктом; *2*, *3*, *5* — задвижки; *4* — отводная труба; *6* — линия водяного пара; *7* — аппарат.

Полный слив жидкости и герметичное отключение останавливаемых аппаратов создают необходимые предпосылки для окончательного удаления оставшихся горючих веществ путем продувки. Продувка аппаратов от остатков жидкостей и газов может производиться водяным паром, негорючими газами и воздухом. Наиболее часто продувка осуществляется водяным паром, так как он имеется на всех промышленных предприятиях; кроме того, высокая температура пара способствует испарению находящихся в аппарате остатков жидкости.

Продувка негорючими газами — азотом, углекислым газом и дымовыми газами — чаще всего осуществляется в том случае, когда производство получает их без особых затрат и в достаточном количестве (например, как побочный продукт производства). Так, на газогенераторных станциях один из генераторов при необходимости работает как печь для получения дыма, которым и продуваются все подлежащие остановке газогенераторы, газопроводы и другие аппараты.

Продувка воздухом производится за счет естественной вентиляции небольших по объему аппаратов с остатками газов. При

продувке аппаратов путем вентилирования имеется период, когда концентрация смеси будет в пределах взрываемости, и наличие любого источника воспламенения при этом может вызвать взрыв. Именно эта опасность ограничивает возможность более широкого применения такого способа продувки.

Время продувки аппаратов и трубопроводов зависит от многих факторов, из которых наиболее существенными являются: величина внутреннего объема и конструктивное устройство аппарата, количество горючих остатков в аппарате и их летучесть, диаметры линий подачи газа на продувку и отвода смеси из аппарата, давление газа в продувочной линии и т. п.

Учесть все эти факторы и аналитическим путем определить необходимое время продувки очень трудно. Практически момент окончания продувки определяют по анализу отходящей из аппарата продувочной смеси. Продувка считается законченной, если отходящая смесь будет иметь горючих газов или паров не более установленной нормы, которая в каждом конкретном случае может быть различной, но всегда в 2—3 раза меньше нижнего предела взрыва. После окончания продувки приступают к вскрытию аппарата. На вертикальных аппаратах люки открывают сверху вниз. После этого аппарат с открытыми люками оставляют вентилироваться и охлаждаться. Если внутри аппарата будут производиться работы, то перед этим из разных точек надо взять пробу воздуха.

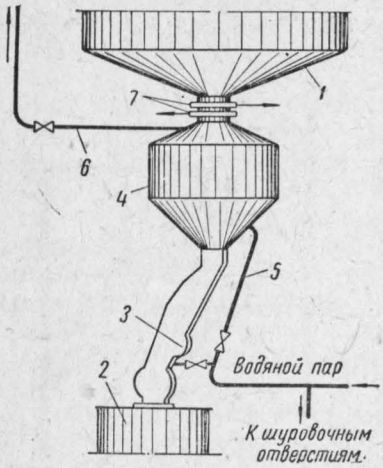


Рис. 8. Схема продувочных устройств загрузочной системы газогенератора:

1 — бункер с топливом; *2* — загрузочная коробка газогенератора; *3* — питатель; *4* — рабочий бункер; *5* — паровая линия; *6* — продувочная линия; *7* — задвижка.

Для лучшей продувки аппаратов их обеспечивают не только линиями для подачи негорючего газа или водяного пара, но и продувочными свечами. Линии подачи негорючего газа делают чаще всего стационарными, реже пар или газ подается в аппараты по гибким шлангам. Диаметры линий обычно принимаются в пределах 50 *мм*. Продувочные свечи выводятся за пределы производственного помещения (примерно на 2 *м* выше конька кровли) или присоединяются к общей линии для улавливания газов и паров с целью последующей утилизации. Схема продувочных устройств показана на рис. 8. Примерную длительность продувки τ в часах можно установить расчетом:

$$\tau = \frac{K \cdot V}{3600 \cdot v} = \frac{K \cdot V}{3600 \cdot F \cdot W},$$

где: V — объем аппарата, $м^3$;

v — секундная подача пара или газа, $м^3/сек$;

K — коэффициент, зависящий от величины конечной концентрации удаляемого газа и конструктивных особенностей аппарата. При конечной концентрации газа около 0,5% можно принять $K=10—12$;

F — площадь сечения трубопровода, $м^2$;

W — скорость движения водяного пара или газа по трубе, $м/сек$.

Задаваясь временем продувки, по этой же формуле можно определить диаметр трубопровода для подачи водяного пара или негорючего газа.

Порядок отключения и продувки аппаратов от горючих газов и паров записывается в цеховую технологическую инструкцию.

Так же, как и при остановке, производится продувка аппаратов и трубопроводов от воздуха при пуске их в эксплуатацию (рис. 8 и 9).

Продувка производится чаще всего водяным паром или негорючими газами и лишь в некоторых случаях допускается вытеснение воздуха горючим газом. Вытеснение воздуха из системы горючим газом применяется иногда при продувке газопроводов, газогенераторов и емкостей небольшого объема. При этом смесь газа с воздухом не подается потребителю, а обязательно выбрасывается в атмосферу через продувочную свечу или другое устройство. Продувочные свечи (при продувке аппаратов методом проветривания и вытеснения воздуха газом) защищают огнепреградителями.

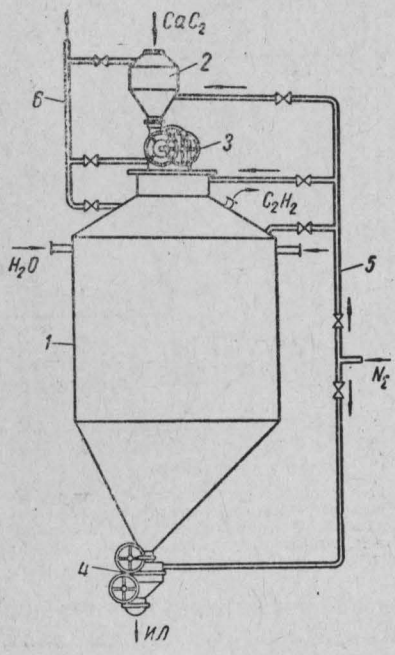


Рис. 9. Схема продувочных устройств ацетиленового генератора:

1 — корпус; 2 — загрузочный бункер; 3 — питатель; 4 — выгрузка ила; 5 — линия азота для продувки генератора, бункера и питателя; 6 — продувочная свеча.

Окончание продувки аппаратов определяется анализом выбрасываемой смеси на присутствие кислорода.

Порядок продувки и предельное содержание кислорода, при котором продувка прекращается, указывается в технологической инструкции.

Таким образом, правильное устройство продувочных линий и строгое соблюдение правил продувки являются необходимым условием обеспечения пожарной безопасности при пуске и остановке аппаратов с огнеопасными жидкостями и газами.

Причины и последствия выхода огнеопасных веществ из аппаратов наружу рассмотрены в последующих главах.

Глава II. ВЫХОД ПАРОВ И ГАЗОВ НАРУЖУ ПРИ НОРМАЛЬНОМ СОСТОЯНИИ АППАРАТОВ И ТРУБОПРОВОДОВ

Горючие концентрации вне аппаратов, т. е. в производственном помещении или на открытой площадке, могут образоваться в том случае, если будут выходить наружу пары, газы или жидкости. Такие явления можно ожидать не только при повреждениях, но и при наличии исправных аппаратов с открытой поверхностью испарения жидкости (открытые резервуары, емкости, ванны и т. п.); аппаратов с открытыми люками, крышками и т. п.; аппаратов с изменяющимся уровнем жидкости (мерники, промежуточные и расходные резервуары, приемники готовой продукции и т. п.), дыхательные трубы которых выведены непосредственно в помещение цеха.

Практически на предприятиях чаще всего применяются герметически закрытые аппараты. Но и из таких аппаратов наблюдается выход паров и газов наружу, так как всегда могут быть небольшие неплотности в швах, фланцевых соединениях и сальниках.

Количество выходящих во всех этих случаях газов или паров не только может быть замерено, но и определено расчетом.

Рассмотрим все эти вопросы более подробно.

§ 1. Испарение жидкостей из открытых аппаратов и при разливе

Количество жидкости, испаряющейся со свободной поверхности, будет зависеть от ее физических свойств, температурных условий, площади зеркала испарения, времени испарения и подвижности воздуха.

Образование насыщенной концентрации по всему объему производственного помещения маловероятно, поэтому испарение будет происходить непрерывно и длительное время.

На практике с таким испарением сталкиваются в том случае, если жидкость разлилась на пол, при хранении жидкостей в открытых резервуарах, при окраске, пропитке растворенными смолами тканей и бумаги, промывке деталей растворителями и т. п.

Самый простой случай испарения — это испарение с поверхно-

сти неподвижной жидкости в покоящийся воздух (статическое испарение).

Основной закон статического испарения, открытый Дальтоном, гласит, что количество паров испаряемой жидкости в единицу времени пропорционально площади зеркала испарения, коэффициенту диффузии D и разности давления насыщенного пара P_s жидкости при данной температуре и давления паров в воздухе P_g.

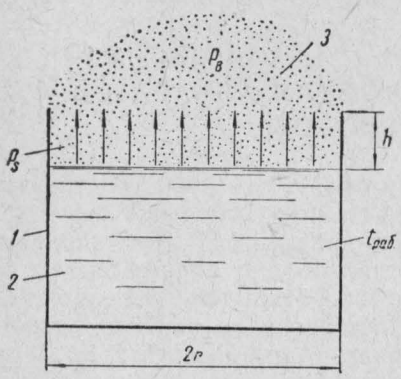


Рис. 10. Аппарат с открытой поверхностью испарения:

1 — корпус; *2* — жидкость с высотой взлива *h см* от краев резервуара; *3* — паровоздушная смесь.

Отношение давления паров жидкости в воздухе в данный момент к максимальному давлению насыщенных паров при данной температуре называется степенью насыщения φ, т. е.:

$$\varphi = \frac{P_g}{P_s} \text{ или } P_g = \varphi P_s.$$

При решении практических задач обычно определяют скорость испарения, а затем количество испарившейся жидкости.

Под скоростью испарения понимают объем паров жидкости V, испаряющейся со свободной поверхности в 1 сек. Скорость испарения зависит от формы сосуда, в котором находится жидкость, и от высоты взлива жидкости (рис. 10).

Так, при испарении из круглого сосуда радиусом *r см* при расстоянии от испаряющей поверхности до края сосуда h скорость испарения будет равна:

$$V = 4 \cdot (\sqrt{h^2 + r^2} - h) \cdot D \cdot \ln \frac{P - \varphi P_s}{P - P_s} \ см^3/сек,$$

где: D — коэффициент диффузии паров жидкости, *см²/сек*;
P — барометрическое давление воздуха, *мм* рт. ст.;
P_s — давление насыщенных паров жидкости при данной температуре, *мм* рт. ст.

При испарении с поверхности, имеющей круглую форму и $h=0$, скорость испарения будет равна:

$$V = 4 \cdot r \cdot D \cdot \ln \frac{P - \varphi P_s}{P - P_s} \ см^3/сек.$$

(Формулы взяты из Справочника физико-химических величин. Техническая энциклопедия, т. 7, стр. 238).

Коэффициент диффузии паров изменяется в зависимости от температуры, давления и скорости движения воздуха.

Зависимость коэффициента диффузии от температуры выражается формулой Винкельмана:

$$D_t = D_o \left(\frac{T_{раб}}{T_o} \right)^m \text{ см}^2/\text{сек},$$

где: D_o — коэффициент диффузии при 0° и давлении 760 *мм* рт. ст.;

$T_{раб}$ — абсолютная температура, при которой происходит испарение;

m — показатель степени для подавляющего большинства паров, равный 2.

Коэффициент диффузии для некоторых жидкостей и значение m приведены в табл. 3.

Таблица 3

Жидкость	D_o *см²/сек* в воздухе	m	Жидкость	D_o *см²/сек* в воздухе	m
Сероуглерод	0,0892	2	Анилин	0,06095	2
Метиловый спирт	0,1325	2	Капроновая кислота	0,050	1,77
Этиловый спирт	0,1020	2	Хлористый бензол	0,066	2
Метилацетат	0,084	2	Толуол	0,0709	2
Этилацетат	0.0715	2	Нафталин	0,0513	2
Диэтиловый эфир	0,0778	2	Этилбензол	0,0658	1,75
Бензол	0,077	2	Дифенил	0,0610	2

Коэффициент диффузии можно определить также по следующей приближенной формуле:

$$D_o = \frac{0,8}{\sqrt{M}} \text{ см}^2/\text{сек},$$

где M — молекулярный вес жидкости.

Количество испаряющейся жидкости значительно возрастает с увеличением скорости движения воздуха, так как увеличивается коэффициент диффузии D_W.

В этом случае:

$$D_W = D_o \sqrt{W} \cdot \ln \frac{1}{1-\varphi} \text{ см}^2/\text{сек},$$

где W — скорость воздуха вдоль испаряющей поверхности, *см/сек*.

Таким образом, коэффициент диффузии с учетом поправок на температуру и скорость движения воздуха относительно испаряющей поверхности может быть определен по следующей формуле:

$$D = D_o \cdot \left(\frac{T_{раб}}{T_o} \right)^m \cdot \sqrt{W} \cdot \ln \frac{1}{1-\varphi} \text{ см}^2/\text{сек},$$

Найденное значение коэффициента диффузии подставляется в формулы для определения скорости испарения жидкости.

Весовое количество испарившейся жидкости за определенный промежуток времени определяется по равенству:

$$G = V \cdot \gamma \cdot \tau,$$

где: G — вес испарившейся жидкости, *г*;
V — скорость испарения, *л/сек*;
γ — объемный вес паров жидкости, *г/л*;
τ — время испарения, сек.

Пример 1. Определить, сколько этилового спирта испарится за час из открытого резервуара диаметром 4 *м* при высоте слоя жидкости от кромки резервуара в 1 *м*. Температура спирта = 20° С. Испарение происходит в воздух, где φ изменяется от 0 до 100%. Скорость движения воздуха 1 *м/сек*.

Решение. Для определения количества испарившегося спирта используем формулу:

$$V = 4\left(\sqrt{h^2 + r^2} - h\right) \cdot D \cdot 2{,}3 \lg \frac{P - \varphi \cdot P_s}{P - P_s} \text{ см}^3/\text{сек},$$

где: $h = 100$ *см*; $r = 200$ *см*; $P = 760$ *мм* рт. ст.; $\varphi = 0{,}5$; P_s при 20° С равно 44,46 *мм* рт. ст. (см. приложение 1).

Коэффициент диффузии при $t = 20°$ С и скорости воздуха, равной 100 *см/сек*:

$$D = D_o \cdot \left(\frac{T_{раб}}{T_o}\right)^m \cdot \sqrt{W} \cdot 2{,}3 \lg \frac{1}{1 - \varphi}.$$

Из табл. 3 находим, что $D_0 = 0{,}1020$ *см²/сек* и $m = 2$. $T_{раб} = 273 + 20 = 293°$, $W = 100$ *см/сек*. Следовательно:

$$D = 0{,}1020 \left(\frac{293}{273}\right)^2 \cdot \sqrt{100} \cdot 2{,}3 \lg \frac{1}{1 - 0{,}5} = 0{,}785 \text{ см}^2/\text{сек}.$$

Подставляя найденные значения в основную формулу, получим:

$$V = 4\left(\sqrt{100^2 + 200^2} - 100\right) \cdot 0{,}785 \cdot 2{,}3 \lg \frac{760 - 0{,}5 \cdot 44{,}46}{760 - 44{,}46} =$$

$$= 4 \cdot 100 \cdot 1{,}23 \cdot 0{,}785 \cdot 2{,}3 \cdot 1{,}03 = 11{,}6 \text{ см}^3/\text{сек}.$$

За 1 час это составит: $V = 11{,}6 \cdot 3600 = 41760$ *см³/час* или 41,8 *л/час*.

Вес испарившегося спирта будет равен:

$$G = 41{,}8 \cdot \gamma = 41{,}8 \cdot 2 = 83{,}6 \text{ г/час},$$

где:

$$\gamma = \frac{M}{24} = \frac{46}{24} = 1{,}92 \approx 2 \text{ г/л},$$

где: M — молекулярный вес спирта;
24 — объем грамм-молекулы при 20° С.

Пример 2. В производственном помещении при наполнении аппаратов разлили на пол метиловый спирт. Образовалась лужа диаметром около 4 *м*. Температура спирта 40° С. Жидкость не убирали в течение 2 часов. Определить, какое количество метилового спирта испарится, если скорость движения воздуха в цехе (параллельно поверхности испарения) равна 1,6 *м/сек*. Коэффициент насыщения $\varphi = 0{,}6$.

Решение. Для определения количества испарившегося спирта используем формулу:

$$V = 4 \cdot r \cdot D \cdot 2{,}3 \lg \frac{P - \varphi \cdot P_s}{P - P_s} \text{ см}^3/\text{сек},$$

где: $r = 200$ *см*; $P = 760$ *мм* рт. ст.;
P_s при 40° С равно 260,5 *мм* рт. ст. (см. приложение 1).

Коэффициент диффузии при $t = 40°$ С и $W = 160$ *см/сек*:

$$D = D_0 \cdot \left(\frac{T_{раб}}{T_o}\right)^m \cdot \sqrt{W} \cdot 2{,}3 \lg \frac{1}{1 - \varphi}.$$

Из табл. 3 находим, что $D_0 = 0{,}1325$ *см²/сек* и $m = 2$, тогда:

$$D = 0{,}1325 \left(\frac{273 + 40}{273}\right)^2 \cdot \sqrt{160} \cdot 2{,}3 \lg \frac{1}{1 - 0{,}6} = 2{,}25 \text{ см}^2/\text{сек}.$$

Подставляя найденные значения, получим:

$$V = 4 \cdot 200 \cdot 2{,}25 \cdot 2{,}3 \cdot \lg \frac{760 - 0{,}6 \cdot 260{,}5}{760 - 260{,}5} = 340 \text{ см}^3/\text{сек}.$$

За 2 часа это составит: $340 \cdot 2 \cdot 3600 = 2\,448\,000$ *см³* = 2448 *л*.

Вес испарившегося спирта будет равен:

$$G = 2448 \cdot \gamma = 2448 \cdot \frac{M}{v_t} = 2448 \cdot \frac{32}{25{,}6} = 3060 \text{ г} = 3{,}06 \text{ кг},$$

где v_t — объем грамм-молекулы пара при $t = 40°$ С.

Зная, что нижний предел взрыва паров метилового спирта равен 46,5 *г/м³*, найдем объем помещения, в котором испарившийся спирт может образовать взрывоопасную смесь:

$$V_{пом} = \frac{G}{C_{нпв}} = \frac{3060}{46{,}5} \approx 66 \text{ м}^3.$$

Приведенные формулы дают также возможность определить, в течение какого времени пары жидкости, испаряющейся со свободной поверхности, могут образовать в воздухе помещения взрывоопасную концентрацию.

Об испаряемости жидкостей со свободной поверхности можно примерно судить по величине относительной летучести. За единицу относительной летучести принята летучесть диэтилового (серного) эфира. Относительная летучесть какой-либо жидкости показывает, во сколько раз она медленнее испаряется по сравнению с диэтиловым эфиром. Величины относительной летучести некоторых жидкостей приведены в табл. 4.

Таблица 4

Жидкость	Относительная летучесть	Жидкость	Относительная летучесть
Эфир диэтиловый	1,0	Метиловый спирт	6,3
Ацетон	2,1	Этиловый спирт	8,3
Метилацетат	2,2	Бутилацетат	11,8
Этилацетат	2,9	Амилацетат	13,0
Бензол	3,0	Бутиловый спирт	33,0
Бензол «калоша»	3,5		

Если есть данные о количестве какой-либо испарившейся жидкости за определенный промежуток времени, то, пользуясь данными об относительной летучести, можно приблизительно определить скорость испарения любой другой жидкости.

§ 2. Выход паров через дыхательные трубы аппаратов

Количество поступающих в помещение паров огнеопасных жидкостей из аппаратов, сообщающихся с атмосферой через дыхательные трубы или открытые люки, зависит не только от физических свойств жидкости, но и от числа «малых» и «больших» дыханий.

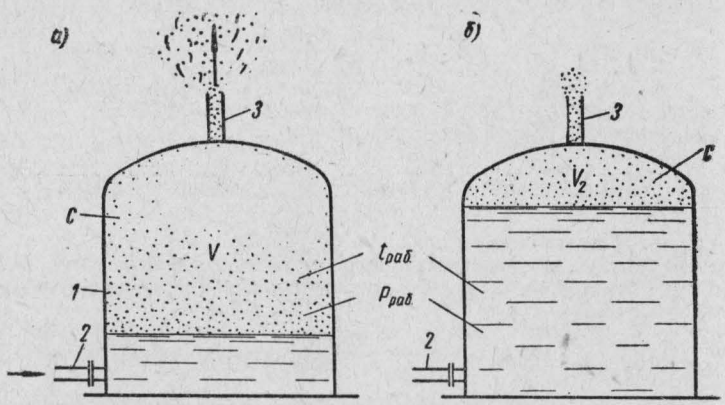


Рис. 11. Большое дыхание резервуара с огнеопасной жидкостью:
а — начало дыхания; *б* — конец дыхания; *1* — корпус резервуара; *2* — наполнительная линия; *3* — дыхательная линия.

Большим дыханием называют вытеснение паров наружу или подсос воздуха внутрь аппаратов при изменении уровня жидкости в них.

Малым дыханием называют вытеснение паров наружу или подсос воздуха внутрь аппаратов, вызываемое изменениями температуры газового пространства под влиянием температуры внешней среды.

Количество паров огнеопасной жидкости, которое может теряться при дыхании аппаратов, можно определить расчетом.

Определение потерь при большом дыхании. Предположим, что перед наполнением резервуара или мерника (рис. 11) объем его паровоздушного пространства был равным V_1 $м^3$, а после наполнения уменьшился до V_2 $м^3$. Наполнение почти всегда происходит при неизменяющейся температуре $t_{раб}$ и постоянном давлении в емкости $P_{раб}$. Естественно, что при наличии насыщенной концентрации объем вытесняемых паров при наполнении емкости будет равен:

$$V_{пара} = C(V_1 - V_2)\ м^3,$$

где C — концентрация насыщенных паров жидкости:

$$C = \frac{P_s}{P_{раб}}.$$

Тогда вес теряемых при дыхании паров будет равен:

$$G_б = V_{пара} \cdot \gamma_{пара} = (V_1 - V_2) \cdot C \cdot \gamma_{пара} \ кг/цикл,$$

где $\gamma_{пара}$ — объемный вес паров жидкости в $кг/м^3$.

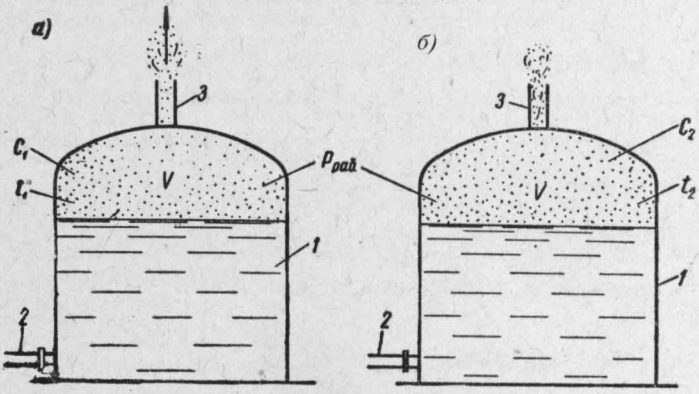


Рис. 12. Малое дыхание резервуара с огнеопасной жидкостью:
а — начало дыхания; *б* — конец дыхания; *1* — корпус резервуара; *2* — наполнительная линия; *3* — дыхательная линия.

Так как объемный вес паров жидкости изменяется в зависимости от величины $P_{раб}$ и $t_{раб}$, необходимо сделать соответствующую поправку. Тогда:

$$G_б = (V_1 - V_2) \cdot C \cdot \frac{P_{раб}}{P_o} \cdot \frac{T_o}{T_{раб}} \cdot \gamma_{пара} \ кг/цикл.$$

Чтобы не искать $\gamma_{пара}$ в таблицах, можно его выразить через объемный вес воздуха, зная, что:

$$\gamma_{пара} = \frac{M_ж}{V_t} = \frac{M_ж}{M_в} \cdot \gamma_в,$$

где: $M_ж$ — молекулярный вес паров жидкости;
$M_в$ — молекулярный вес воздуха, равный 29;
$\gamma_в$ — объемный вес воздуха, равный 1,30 $кг/м^3$.

В окончательном виде формула примет вид:

$$G_б = (V_1 - V_2) \cdot C \cdot \frac{P_{раб}}{P_o} \cdot \frac{T_o}{T_{раб}} \cdot \frac{M_ж}{M_в} \cdot \gamma_в \ кг/цикл.$$

Определение потерь при малом дыхании. При малом дыхании (рис. 12) уровень жидкости не изменяется, следовательно, объем паровоздушного пространства V резервуара (мерника) остается неизменным. Давление в емкости $P_{раб}$ также

остается неизменным, так как избыток паровоздушной смеси удаляется через дыхательную систему. Если предположим, что за весь период малого дыхания температура равномерно изменяется от t_1 до t_2, следовательно, равномерно изменяется и концентрация насыщенных паров от C_1 до C_2. Объем вытесняемой паровоздушной смеси при малом дыхании может быть найден из следующего выражения:

$$\Delta V = V \cdot \beta \cdot (t_2 - t_1) = V \cdot \frac{\Delta t}{273} \ м^3,$$

где: ΔV — увеличение объема паровоздушной смеси, $м^3$;

β — коэффициент объемного расширения, равный $\frac{1}{273}$;

Δt — изменение температуры паровоздушного пространства от t_1 до t_2.

Зная ΔV, можно определить вес теряемых при дыхании паров:

$$G_м = \Delta V \cdot C_{ср} \cdot \gamma_{пара} \ кг/цикл,$$

где $C_{ср}$ — средняя концентрация насыщенных паров за период дыхания:

$$C_{ср} = \frac{C_1 + C_2}{2}.$$

Подставляя найденные значения, делая поправку к объемному весу, получим:

$$G_м = V \cdot \frac{\Delta t}{273} \cdot C_{ср} \frac{P_{раб}}{P_o} \cdot \frac{273}{T_{раб}} \cdot \frac{M_ж}{M_в} \cdot \gamma_в \ кг/цикл$$

или окончательно:

$$G_м = V \cdot C_{ср} \cdot \frac{\Delta t}{T_{раб}} \cdot \frac{P_{раб}}{P_o} \cdot \frac{M_ж}{M_в} \cdot \gamma_в \ кг/цикл.$$

Если температура при малом дыхании изменяется неравномерно, то весь период делят на небольшие отрезки времени, находят изменение температуры и соответствующие потери паров за каждый промежуток времени в отдельности, а затем определяют общий итог. Естественно, что малые дыхания имеют место главным образом у резервуаров и емкостей, расположенных вне помещений.

Пример 1. Определить, какое количество паров бензола выйдет из аппарата при одном большом дыхании, если известно, что температура в паровоздушном пространстве равна 20° С. давление 760 *мм* рт. ст., объем аппарата 11,0 $м^3$, а коэффициент заполнения 0,9.

Решение. Для определения количества вытесняемых паров бензола воспользуемся формулой:

$$G_б = (V_1 - V_2) \cdot C \cdot \frac{P_{раб}}{P_o} \cdot \frac{T_o}{T_{раб}} \cdot \frac{M_ж}{M_в} \cdot \gamma_в,$$

где $V_1 - V_2$ — количество вытесняемой из аппарата паровоздушной смеси,

В нашем случае: $11{,}0 \cdot 0{,}9 = 9{,}9$ *м*³ $\approx 10{,}0$ *м*³;

C — объемная концентрация паров бензола в воздухе при $t = 20°$ С,

$C = \frac{P_s}{P_{общ}} = \frac{75{,}65}{760} \approx 0{,}1$, так как упругость паров бензола при $t = 20°$ С равна 75,65 *мм* рт. ст.;

$T_{раб}$ — температура газового пространства, в нашем случае равная $273 + 20 = 293°$;

$M_{ж}$ — молекулярный вес бензола, равный 78;

$M_{в}$ — молекулярный вес воздуха, равный 29;

$\gamma_{в}$ — объемный вес воздуха, равный 1,30 *кг/м*³.

Подставляя указанные данные в формулу, будем иметь:

$$G_б = 10 \cdot 0{,}1 \frac{760}{760} \cdot \frac{273}{293} \cdot \frac{78}{29} \cdot 1{,}30 = 3{,}26 \text{ кг/цикл.}$$

Пример 2. Определить, какое количество паров авиационного бензина выйдет из резервуара РВС—5000 за одно большое дыхание в июне, если известно, что средняя температура в этом месяце равна 26,2° С, номинальный объем резервуара 4810 *м*³, упругость паров авиационного бензина при $t = 26{,}2°$ С равна 280 *мм* рт. ст., молекулярный вес бензина 63,1.

Решение. Как и в предыдущей задаче, определим промежуточные значения и подставим их в основную формулу. Средняя объемная концентрация бензиновых паров будет равна:

$$C = \frac{280}{760} = 0{,}37.$$

Объем вытесняемой паровоздушной смеси $V_1 - V_2 = 4810$ *м*³.

Тогда:

$$G_б = 4810 \cdot 0{,}37 \frac{273}{760} \cdot \frac{760}{273 + 26{,}2} \cdot \frac{63{,}1}{29} \cdot 1{,}29 = 4570 \text{ кг.}$$

Таким образом в летнее время с каждым 1 *м*³ вытесняемой паровоздушной смеси из резервуаров и цистерн теряется около 1 *кг* паров бензина.

§ 3. Выход паров и газов из герметических аппаратов и трубопроводов, работающих под давлением

При эксплуатации закрытых аппаратов и емкостей с жидкостями и газами даже при исправном их состоянии, т. е. при нормально герметичном уплотнении, всегда есть некоторые утечки обрабатываемых веществ через прокладки, сальники, швы и тому подобные места. Величина этих утечек может быть различной, в зависимости от состояния аппаратов и трубопроводов и от режима их работы.

Естественно, что точный подсчет таких потерь весьма затруднителен. Для ориентировочного определения потерь в этих случаях можно воспользоваться формулой Н. Н. Репина, применяющейся при расчетах воздухообмена вентиляционных установок.

Принимая, что просачивание паров и газов через неплотности подчиняется законам, которым подчиняется и истечение через небольшое отверстие, и предполагая, что истечение происходит адиабатически, Н. Н. Репин предложил следующую формулу:

$$G = K \cdot C \cdot V \cdot \sqrt{\frac{M}{T_{раб}}} \text{ кг/час,}$$

где: K — коэффициент, учитывающий степень износа производственного оборудования. Обычно K принимается в пределах от 1 до 2;

C — коэффициент, зависящий от давления паров или газов в аппарате; значения коэффициента даны в табл. 5;

V — внутренний (свободный) объем аппаратов и коммуникаций, находящихся под давлением, $м^3$;

M — молекулярный вес газов или паров, находящихся под давлением в аппаратах;

$T_{раб}$ — абсолютная температура паров или газов, находящихся в аппаратах.

Значения коэффициента C в зависимости от различных рабочих давлений приведены в табл. 5.

Таблица 5*

Рабочее давление, *ати*	Менее 1	1	6	16	40	160	400	1000
Коэффициент, °С	0,121	0,166	0,182	0,189	0,152	0,298	0,297	0,370

Промежуточные значения C определяются интерполяцией.

Пример. Определить количество ацетилена, выходящего через неплотности аппаратов в помещение при допустимых условиях герметизации, если известно, что рабочее давление газа в аппарате 1,5 *ати*, в трубопроводах — 1 *ати*, объем аппаратов — 50 $м^3$, суммарный объем трубопроводов — 10 $м^3$, температура газа в аппаратах — 80° С, в трубопроводах — 30° С.

Решение. Определение количества выходящего через неплотности газа или пара производим по формуле Н. Н. Репина:

$$G = K \cdot C \cdot V \cdot \sqrt{\frac{M}{T_{раб}}} \text{ кг/час.}$$

По таблице определяем значение C: при $P = 1{,}5$ *ати* $C = 0{,}168$; при $P = 1{,}0$ *ати* $C = 0{,}166$.

Принимаем коэффициент износа аппаратов $K_a = 1{,}5$ и трубопроводов $K_m = 1$; молекулярный вес ацетилена $M = 26$. Тогда утечка газа будет равна:

а) из аппаратов:

$$G_a = 1{,}5 \cdot 0{,}168 \cdot 50 \sqrt{\frac{26}{273 + 80}} = 12{,}6\sqrt{0{,}074} = 3{,}4 \text{ кг/час;}$$

б) из трубопроводов:

$$G_m = 1{,}0 \cdot 0{,}166 \cdot 10 \sqrt{\frac{26}{273 + 30}} = 1{,}66 \cdot \sqrt{0{,}086} = 0{,}49 \text{ кг/час.}$$

Следовательно, общие потери ацетилена составят:

$$G = G_a + G_m = 3{,}4 + 0{,}49 = 3{,}89 \text{ кг/час.}$$

---

* Н. Н. Репин. Метод расчета вентиляции химических производств. Журн. «Отопление и вентиляция» № 4—5, 1938.

Неизбежность потерь паров и газов из аппаратов приводит к необходимости учета их при составлении материального баланса производственного процесса. Обычно величина потерь при нормальном состоянии аппаратов принимается в пределах до 1% часовой производительности аппаратов. Данные о величине учитываемых потерь можно найти в расчетной части пояснительной записки технического проекта.

Кроме рассмотренных случаев пары и газы могут выходить наружу из таких герметизированных аппаратов, работа которых связана с необходимостью взятия проб для анализа (например, варочные котлы, растворители, мешатели и т. п.), или из аппаратов периодического действия, работа которых связана с разгрузкой и загрузкой. Указанные операции нередко сопровождаются открыванием люков; при этом находящиеся внутри аппарата пары и газы (при отсутствии защитных устройств) выходят наружу и могут образовать местные взрывоопасные концентрации.

§ 4. Требования, направленные на уменьшение количества выделяющихся паров и газов, и контроль за состоянием воздуха помещений

Выделение паров и газов по указанным выше причинам не носит эпизодического, случайного характера. Оно более или менее устойчиво во времени. В производственных помещениях, в которых постоянно находятся люди, концентрация паров и газов всегда будет значительно ниже нижнего предела взрыва, так как в противном случае длительное пребываие людей в помещении было бы невозможно (пары огнеопасных жидкостей и газов вредно действуют на организм человека). Вместе с тем отсутствие опасной концентрации в объеме помещения не исключает возможности ее образования непосредственно у мест выделения паров (у открытых аппаратов, ванн, дыхательных труб и т. п.), так как рассеивание паров и газов в воздухе происходит не мгновенно, не сразу. Следует также иметь в виду, что тяжелые пары и газы имеют сравнительно небольшую скорость диффузии и их концентрация будет больше в нижних горизонтах, в траншеях, углублениях и т. п.; наоборот, легкие пары и газы, легко распространяясь по конвекционным потокам, быстрее рассеиваются, и концентрация их будет больше в верхних частях производственных помещений.

В помещениях же, где люди бывают периодически (например, газораспределительные будки, узлы задвижек, помещения промежуточных емкостей) и где нет интенсивного воздухообмена, имеются условия для образования даже общеобъемных взрывоопасных концентраций. Именно на эти помещения следует обращать серьезное внимание при пожарно-технических обследованиях.

Среднюю концентрацию паров и газов, выделяющихся в производственное помещение при безаварийной работе аппаратов, можно подсчитать по формуле:

$$C_{вес} = \frac{\sum G_i}{V},$$

где: $C_{вес}$ — концентрация паров и газов в воздухе, *г/м*³;
$\sum G_i$ — количество паров и газов, выходящих из аппаратов в цех, *г/час*;
V — воздухообмен в помещении, *м*³/*час*.

К определению величины V надо подходить осторожно. В помещениях небольших, без открытых проемов и с небольшим количеством окон, без искусственной вентиляции за расчетный объем можно принимать объем самого помещения. Если же помещение имеет открытые проемы (фонари, открывающиеся окна, ворота и т. п.), естественную или искусственную вентиляцию, необходимо учитывать кратность обмена воздуха. Кратность воздухообмена можно узнать из проектных материалов или по актам испытания эффективности действия вентиляционных устройств. В этом случае:

$$V = V_{пом} \cdot n,$$

где: $V_{пом}$ — объем помещения, *м*³;
n — кратность обмена воздуха, объем/час.

Наиболее просто и достоверно можно определить действительную концентрацию паров и газов путем взятия пробы воздуха на анализ. Анализ воздуха дает возможность установить места утечек и наибольшего скопления огнеопасных паров и газов, установить эффективность имеющихся систем вентиляции, выявить общее состояние герметичности технологической аппаратуры.

Анализ воздуха может быть разовым, периодическим и постоянным (непрерывным).

Разовый анализ производят с какой-либо конкретной целью: определение мест наибольшего скопления газов, проверка концентрации перед началом огневых работ, исследование эффективности действия вытяжной вентиляции и т. п. Периодический анализ предусматривает контроль за предельно допустимым количеством паров и газов в воздухе и производится главным образом по линии охраны труда и техники безопасности.

Результаты анализа воздуха заносят в специальный журнал или составляют соответствующий акт. Эти документы находятся у начальников цехов или у помощника директора по технике безопасности. Постоянный анализ воздуха на присутствие опасных газов и паров осуществляют стационарными газоанализаторами.

Отсутствие на предприятии данных анализа воздуха по отдельным опасным помещениям, изменение характера аппаратов и условий вентилирования, явное скопление газов в воздухе могут явиться основанием для требования дополнительного исследования воздуха на количество находящихся в нем паров и газов.

Перед исследованием очень важно продумать методику работы: в какое время, в каких точках брать пробу воздуха. При этом

надо учитывать характер производственного помещения (т. е. степень и равномерность вентилирования), характер расположения в нем производственных аппаратов, периоды максимальной нагрузки оборудования, моменты загрузки и выгрузки аппаратов периодического действия и т. п.

Следует иметь в виду, что органы санитарной инспекции определяют концентрацию паров и газов преимущественно в рабочих зонах, т. е. в местах наиболее частого пребывания людей, а это почти всегда не совпадает с местами максимальной концентрации паров и газов.

Разовое измерение концентрации паров и газов в воздухе удобнее всего производить переносным газоанализатором ПГФ во взрывозащищенном исполнении (ВЗГ) с универсальной шкалой канд. техн. наук А. Н. Баратова. Такой газоанализатор позволяет получить данные о действительной концентрации в % от нижнего предела взрыва для любых газов, паров и их смесей.

После определения действительной концентрации делают соответствующие выводы, сравнивая результаты с предельно допустимыми концентрациями паров и газов по Санитарно-техническим нормам проектирования производственных предприятий (Н 101—54) или с данными значений нижних концентрационных пределов взрыва.

Предельно допустимые концентрации по санитарным нормам в десятки раз меньше концентраций, соответствующих нижнему пределу взрываемости паров и газов. Это видно из табл. 6.

Таблица 6

Наименование вещества	Допустимая концентрация по Н 101—58, г/м³	Нижний предел взрыва, г/м³
Аммиак	0,02	112
Ацетон	0,2	38,6
Бензол	0,05	42,0
Сероводород	0,01	61,0
Этиловый спирт	1,0	50,0
Бутиловый спирт	0,2	53,0
Диэтиловый эфир	0,3	38,6

В том случае, если концентрация паров и газов не может быть ограничена требованиями санитарных норм (например, для помещений без пребывания людей или где повышенная концентрация требуется по технологическим соображениям — сушилки, воздуховоды и т. п.), допустимая концентрация устанавливается, исходя из требований пожарной безопасности и во всех случаях должна быть не менее, чем в 2 раза меньше величины нижнего предела взрыва.

Чтобы уменьшить выделение паров и газов в производственные помещения при нормальном состоянии аппаратов, необходимо ограничивать использование открытых емкостей, аппаратов с открытыми люками, крышками и другими открытыми проемами. Для уменьшения безвозвратных потерь и снижения пожарной опасности все аппараты и емкости с огнеопасными жидкостями должны быть плотно закрыты.

Если условия технологии требуют наличия открытых емкостей, то должны быть приняты меры к уменьшению площадей испарения. В нерабочие периоды такие емкости необходимо держать закрытыми; для этого они должны иметь плотно закрывающиеся крышки с ручным или автоматическим приводом.

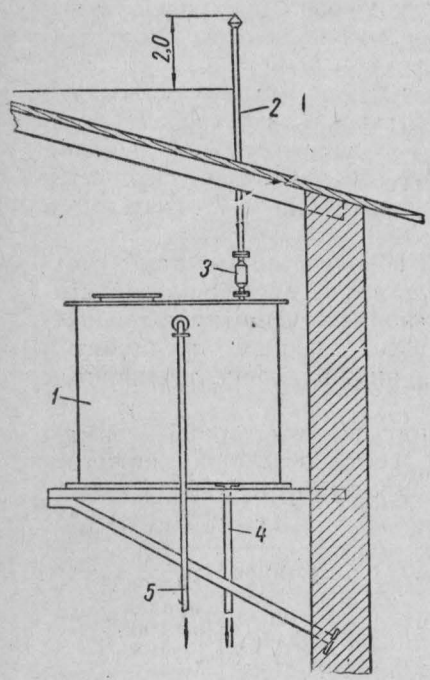


Рис. 13. Напорный бак с дыхательной трубой:

1 — корпус; *2* — дыхательная труба; *3* — огнепреградитель; *4* — наполнительная и расходная линия; *5* — переливная труба.

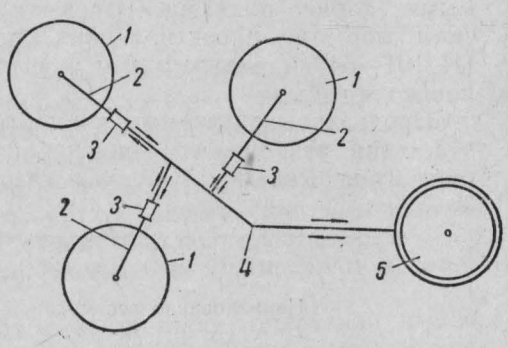


Рис. 14. Группа емкостей, дыхательные линии которых соединены с газгольдером:

1 — емкости; *2* — дыхательные линии; *3* — огнепреградители; *4* — магистральная линия; *5* — газгольдер для вмещения избытка и возмещения недостатка паровоздушной смеси при работе емкостей.

Чтобы при «дыхании» аппаратов пары не попадали в производственное помещение, дыхательные трубы выводятся за его пределы (рис. 13) или присоединяются к общецеховой системе по улавливанию паров (рис. 14). Обычно дыхательные трубы *2* (см. рис. 13) выводятся на 2 *м* выше уровня крыши и защищаются огнепреградителями *3*, чтобы предупредить возможное распространение пламени внутрь емкости при воспламенении паров от внешних источников огня. При наличии нескольких емкостей *1* (см. рис. 14) допускается объединение дыхательных линий *2* в

единую магистраль *4*. Огнепреградители *3* устанавливаются на всех линиях между аппаратами и магистралью.

Очень важно систематически наблюдать за герметичностью аппаратов и трубопроводов. Для этого, кроме систематического внимательного внешнего осмотра, проводят контрольные испытания аппаратов на герметичность перед каждым пуском в работу или через определенные отрезки времени, как это предусматривается технологической инструкцией, а также берут в установленные сроки анализы воздуха (пробы) на присутствие горючих паров и газов. Перед взятием проб или разгрузкой периодически действующих аппаратов можно рекомендовать создание в них разрежения с последующим погашением его подачей негорючего газа (азота, CO_2 и др.). При невозможности создания разрежения выходящие пары следует улавливать устройством местных отсосов системы вентиляции. О правилах проверки аппаратов и трубопроводов на плотность и прочность будет сказано ниже (см. стр. 83).

В помещениях, где выделяются вредные и пожароопасные пары и газы, устраивают вытяжную или приточно-вытяжную принудительную вентиляцию. Места, связанные с постоянным выделением паров и газов (ванны, мешатели, шнек-прессы, посты окраски, люки для взятия проб из аппаратов, люки выгрузки и загрузки аппаратов периодического действия и т. д.) оборудуют местными отсосами из расчета максимального приближения их к источнику выделения паров и газов.

При наличии принудительной вентиляции необходимо систематически (один раз в квартал или полгода) проверять эффективность ее действия с составлением акта.

Большое внимание должно быть уделено выявлению и ликвидации различного рода застойных зон, непроветриваемых карманов и т. п. При необходимости из таких мест производят местный отсос воздуха или создают условия для естественной вентиляции. Всякого рода лотки и траншеи с трубопроводами, где могут скапливаться пары и газы, целесообразно засыпать песком. Помещения, не связанные с пребыванием людей, но опасные в смысле возможности выделения паров или газов, оборудуют естественной вентиляцией с расположением мест отсосов по высоте помещения в соответствии с плотностью выделяющихся паров.

Правильно устроенная и грамотно эксплуатируемая система вентиляции является надежным инженерно-профилактическим мероприятием, обеспечивающим пожарную безопасность помещений при безаварийном состоянии производственных аппаратов. Теоретические исследования и практика эксплуатации показали, что в помещениях, где выделяющиеся горючие пары или газы легче воздуха или имеются мощные восходящие потоки воздуха, достаточно устраивать отсосы (искусственные или естественные) из верних зон помещения, а приток воздуха — в нижние части помещения. Там, где выделяющийся пар или газ тяжелее воздуха и нет больших конвекционных потоков, необходимо устраивать

отсосы из нижних и верхних зон помещения, а чистый воздух подавать сверху или в среднюю зону помещения.

Сильные конвекционные потоки возникают обычно в производственных помещениях с большим тепловыделением.

Радикального снижения пожарной опасности аппаратов и уменьшения количества выходящих из них в помещение огнеопасных паров или газов можно добиться путем замены обращающихся в производстве более опасных веществ и растворителей менее пожароопасными или совсем негорючими. Такая замена в целом ряде случаев возможна и практически осуществима там, где этому вопросу уделено достаточно серьезное внимание со стороны технологов, рационализаторов и изобретателей, где активно работают пожарно-технические комиссии.

Более подробно об этом направлении снижения пожарной опасности производственного процесса изложено в главе VII, § 4.

Глава III. ВЫХОД ОГНЕОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ НАРУЖУ ПРИ ПОВРЕЖДЕНИИ АППАРАТОВ. ПРИЧИНЫ ПОВРЕЖДЕНИЯ АППАРАТОВ

§ 1. Определение количества жидкостей и газов, выходящих наружу при повреждении аппаратов

Наибольшую опасность для производств представляет утечка паров, газов и жидкостей в результате образования неплотностей и повреждений аппаратов, когда значительное количество продуктов может выходить наружу, вызывая скопление их в помещении или на открытых площадках.

При сравнительно небольших повреждениях аппаратов и трубопроводов жидкости, пары и газы, находящиеся в них, будут выходить наружу в виде струек. Если площадь отверстий, образующихся при повреждении аппаратов, будет известна, то количество продуктов, поступающих из аппаратов наружу, можно определить расчетом.

Так, количество жидкости G, выходящей наружу через отверстие, определяют по формуле:

$$G = \mu \cdot f \cdot \gamma \sqrt{2gH} \quad кг/сек,$$

где: μ — коэффициент расхода, зависящий от формы отверстия и свойств жидкости;

f — площадь повреждения, $м^2$;

γ — объемный вес жидкости, $кг/м^3$;

H — давление в аппарате и высота столба жидкости до места повреждения, $м$ вод. ст.

В табл. 7 приведены значения μ в зависимости от вязкости жидкости при истечении ее через круглые отверстия (по данным проф. И. А. Чарного).

Таблица 7

Кинематическая вязкость, *см²/сек*	0,01—0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1.0	2,0
Коэффициент расхода .	0,61	0,51	0,41	0,36	0,33	0,3	0,26

Выходящая наружу жидкость растекается и, если она нагрета выше температуры вспышки, образуются местные взрывоопасные смеси паров с воздухом. Зная площадь, на которой развилась жидкость, и время, в течение которого она не убиралась, можно найти количество испарившейся жидкости, используя для этого метод, изложенный на стр. 26—28.

Количество паров и газов G, выходящих через отверстия при повреждении аппаратов и трубопроводов, работающих под давлением, можно определить следующим образом:

$$G = f \cdot W \cdot \gamma \ кг/сек,$$

где: f — площадь повреждения, эквивалентная круглому отверстию, *м²*;

W — скорость истечения при адиабатическом расширении газа, *м/сек*;

γ — объемный вес газа, *кг/м³*.

Истечение газа или пара через отверстие происходит с дозвуковой или звуковой скоростью в зависимости от соотношения давлений окружающей среды P_0 и газа в аппарате $P_{раб}$.

Истечение со звуковой скоростью будет во всех случаях, если $P_{раб} \geqslant P_{кр}$. Отношение $\frac{P_{кр}}{P_{раб}} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$ называется критическим отношением и обозначается γ. Примерное значение γ следующее: для одноатомных газов — 0,489; двухатомных — 0,528; многоатомных — 0,548.

Если

$$\frac{P_o}{P_{раб}} > \gamma, \text{ то } W = \mu \cdot \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \cdot P_{раб} \cdot V_t' \left[1 - \left(\frac{P_o}{P_{раб}}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]} \ м/сек.$$

Если

$$\frac{P_o}{P_{раб}} \leqslant \gamma, \text{ то } W = \mu \cdot \sqrt{2g \frac{k}{k+1} \cdot P_{раб} \cdot V_t'} \ м/сек,$$

где: k — отношение C_p/C_v

V_t' — объем килограмма газа с поправкой на температуру;

μ — коэффициент расхода, принимаемый в пределах от 0,7 до 0,9.

Последняя формула может быть упрощена и представлена в следующем виде:

для двухатомных веществ:

$$W = 3{,}38\sqrt{P_{раб} \cdot V_t'} = 3{,}38 \cdot \sqrt{R \cdot T_{раб}}\ м/сек;$$

для многоатомных веществ:

$$W = 3{,}34\sqrt{P_{раб} \cdot V_t'} = 3{,}34\sqrt{R \cdot T_{раб}}\ м/сек,$$

где R — универсальная газовая постоянная.

Величину универсальной газовой постоянной определяют по формуле:

$$R = \frac{848}{M}\ кгм/кг\ °C,$$

где M — молекулярный вес вещества.

При больших повреждениях ориентировочно можно считать, что все количество огнеопасных продуктов, находящихся в аварийной системе, будет выходить наружу. Дополнительно к этому истечение продукта будет продолжаться из питающих трубопроводов до момента их отключения. Естественно, что при этом образуются не только местные, но и общеобъемные взрывоопасные концентрации.

Для того чтобы уменьшить количество огнеопасных веществ, выходящих наружу при аварии питающих трубопроводов, на них целесообразно устанавливать быстродействующие задвижки с автоматическим приводом, срабатывающим при аварийном показании стационарного газоанализатора, или применять автоматические прерыватели потока, срабатывающие от перепада давления в линии при аварии.

В практике эксплуатации производственных аппаратов возможны не только случаи утечек при повреждении прокладок сальников, швов и т. п., но и повреждение материала корпуса и даже полное разрушение аппаратов с выходом наружу большого количества жидкостей и газов (так, например, при разрыве в 1954 г. сферического резервуара емкостью 600 $м^3$ с сжиженным газом образовалось газовоздушное облако объемом около 10^6 $м^3$; в феврале—марте 1952 г. в Англии при испытании произошли разрывы двух огромных резервуаров емкостью 14 000 и 16 000 $м^3$).

Условия работы технологических аппаратов разнообразны. Материал аппаратов, трубопроводов, их арматура и прокладки испытывают постоянное воздействие обрабатываемых веществ, нередко нагретых до высоких температур и находящихся под высоким давлением. На аппараты воздействует также окружающая среда, которая часто, особенно в химических производствах, обладает агрессивными свойствами.

Материал аппаратов и толщина стенок при проектировании подбираются так, чтобы они могли противостоять воздействию обрабатываемых веществ, температуры, внутреннего давления и внешней среды. Следовательно, аварии и повреждения могут воз-

никнуть от недостатков конструктивного характера (неудачный выбор материала, неправильный расчет) или эксплуатационного характера (нарушение принятых режимов работы аппаратов) или от того и другого одновременно. Определить истинную причину повреждения не всегда бывает просто, так как кажущаяся на первый взгляд причина повреждения в действительности может являться следствием целого ряда других взаимосвязанных между собой явлений.

Естественно, что предупредительные мероприятия должны быть направлены на предотвращение не кажущихся, а действительных причин повреждений и аварий.

Для того чтобы несколько облегчить процесс исследования возможных или имевших место причин повреждений аппаратов, необходимо изучить наиболее характерные из них. Рассмотреть причины одновременно и во взаимосвязи почти невозможно, поэтому мы рассмотрим их в отдельности.

Все причины повреждений производственного оборудования разделяются на две большие группы:

а) повреждения, возникающие в результате механических воздействий;

б) повреждения, возникающие в результате химического износа материала.

Рассмотрим эти причины более подробно.

А. Механические воздействия на материал аппаратов

В результате механического воздействия материал аппаратов и трубопроводов может испытывать чрезмерно высокие внутренние напряжения, способные вызвать не только образование неплотностей в швах и разъемных соединениях, но и полное разрушение аппарата или трубопровода по наиболее слабому сечению.

Причины появления высоких внутренних напряжений весьма разнообразны, но все их можно разделить на следующие подгруппы:

1) завышенные против нормы внутренние давления в аппаратах;

2) нагрузки динамического характера, на которые аппарат не рассчитан;

3) температурные напряжения, на которые материал стенок аппарата не рассчитан, или изменение свойств материала от воздействия температуры.

§ 2. Завышенные против нормы давления в аппаратах

Каждый аппарат, емкость и трубопровод предназначены для работы с определенной величиной внутреннего давления. Исходя из этого, рассчитываются стенки аппарата, швы и разъемные сое-

динения. Естественно, что всякое повышение внутреннего давления при работе аппарата будет сопровождаться увеличением внутренних напряжений в материале. Чем выше будет давление, тем больше и опаснее внутреннее напряжение.

Давление при работе аппаратов и трубопроводов будет повышаться против установленного значения, если по каким-либо причинам количество поступающих в систему пара, газа или жидкости значительно превысит их расход из системы, т. е. если возникнет нарушение материального баланса, произойдет непредвиденное тепловое расширение газов или жидкостей в результате тепловых воздействий, а также в том случае, если образуются пары и газы при химических реакциях.

Нарушения материального баланса

Все технологические аппараты рассчитываются на основе установленного для них материального баланса. Так, для аппаратов непрерывного действия за каждый промежуток времени количество веществ, поступающих в аппарат и выходящих из него, не должно изменяться.

Если поступление веществ в аппарат при постоянном расходе увеличивается или расход веществ при постоянном поступлении уменьшается, то изменяется режим работы аппарата и может образоваться повышенное давление или опасный для аппарата вакуум. Чаще всего такие явления наблюдаются: а) при неправильной работе насосов; б) при увеличении сопротивления линий по разным причинам; в) при неисправности дыхательных устройств; г) при неисправности редуцирующих устройств и т. п.

а) Обычно насосы и компрессоры подбираются с таким расчетом, чтобы обеспечивалось перекачивание определенного количества веществ, преодолевалось сопротивление при движении среды и создавалось нужное давление в аппаратах. Всякое изменение в расходе должно сопровождаться изменением производительности насоса. Чтобы избежать подобных явлений, на линии, за насосом устанавливают автоматические регуляторы давления, которые при повышении давления в системе уменьшают число оборотов вала центробежных насосов или снижают число ходов поршневых насосов, а при уменьшении давления в системе автоматически увеличивают их производительность. В настоящее время имеется большое количество различных автоматических регуляторов давления, и многие из них рассчитаны для работы во взрывоопасной среде.

В некоторых случаях для сглаживания неравномерностей подачи или расхода жидкости и газа на линиях перед аппаратами устанавливают регуляторы расхода, редукционные клапаны, а также промежуточные (буферные) емкости. Объем таких емкостей определяется расчетом, исходя из средней неравномерности расхода и времени подачи.

Для аппаратов периодического действия характерен период заполнения, так как при этом может быть переполнение емкостей с образованием повышенных давлений и повреждением корпуса. Причинами переполнения являются: отсутствие контрольно-измерительных и регулирующих приборов, отсутствие контроля за наполняемыми емкостями и неправильное их оборудование. Характерным примером этого являются авария и пожар резервуара с бензином емкостью 700 $м^3$ на одной из нефтебаз.

Вновь построенный резервуар со сферической кровлей был рассчитан на рабочее давление 2000 *мм* вод. ст. Без надлежащей проверки, с дефектами сварки, при отсутствии измерителей или регуляторов уровня жидкости резервуар начали эксплуатировать. Это привело к тому, что после переполнения резервуара бензином стенка его разорвалась и разлившаяся жидкость воспламенилась.

Для контроля за количеством жидкости в резервуарах и мерниках используют измерители уровня, за количеством газа в газгольдерах постоянного давления — указатели объема, за количеством газа и пара в аппаратах — показания манометра. Для быстрого сообщения о необходимости прекращения подачи продукта устраивают системы сигнализации или места расположения аппаратов и емкостей обеспечивают какой-либо надежной связью с насосными станциями.

Измерители уровня могут быть местного и дистанционного действия. Рекомендуется применять уровнемеры поплавкового, пневматического или другого безопасного в пожарном отношении типа. Широко применяются универсальные дистанционные уровнемеры УДУ-2 (для вертикальных резервуаров) и УДУ-3 (для горизонтальных резервуаров). При хранении жидкостей под небольшим давлением, а также бутана и легких фракций бензина можно устанавливать контрольные мерные стекла с клапанами, автоматически закрывающимися при поломке стекла, и защитными сетками.

В аппаратах и емкостях с большой оборачиваемостью (напорные баки, мерники, расходные резервуары и т. п.) во избежание переполнения устраивают переливные трубы. Переливная труба *5* не имеет вентилей и задвижек, врезается в стенку аппарата (см. рис. 13) на высоте, соответствующей максимально допустимому уровню жидкости, и имеет диаметр несколько больше диаметра наполнительной линии.

Невыполнение этого условия может привести к аварии и пожару. Так, например, на одном из нефте-маслозаводов на верхней площадке цеха был размещен бак с расплавленным озокеритом, который не имел переливной трубы и вообще никаких приспособлений для автоматического контроля за уровнем жидкости. Отсутствие должного контроля при заполнении бака привело к его переполнению, растеканию озокерита вниз по площадкам и воспламенению паров от соприкосновения с поверхностью трубопровода для перегретого пара.

Наиболее эффективным средством, предупреждающим переполнение, являются автоматические системы для отключения насосов или компрессоров при достижении установленного уровня жидкости или давления газа в аппарате;

б) Повышенные давления нередко образуются при увеличении сопротивления в линии за насосом или за аппаратом. Это может иметь место при неполном открытии задвижек или уменьшении сечения трубы в результате отложений на стенках солей, грязи, кокса, полимеров, кристаллогидратов, льда и т. п.

При уменьшении сечения трубопровода давление у насоса будет возрастать пропорционально квадрату отношения площадей или должна уменьшаться производительность насоса. Но насосы объемного действия — поршневые, шестеренчатые и ротационные — не могут менять свою производительность в соответствии с изменением сопротивления линии. В этих случаях изменение сопротивления линии может вызвать аварию. Так, на одной из крекинг-установок временно прекратилась работа поршневого «горячего» насоса. В результате произошло почти полное закоксование радиантных труб печи глубокого крекинга.

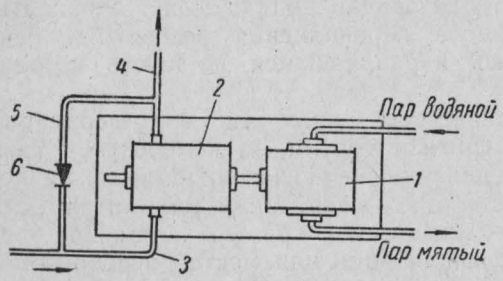


Рис. 15. Поршневой насос с циркуляционной линией:

1 — паровая машина; *2* — насос; *3* — всасывающая линия; *4* — нагнетательная линия; *5* — циркуляционная линия; *6* — предохранительный (перепускной) клапан.

Возобновление работы насоса привело к сильному повышению давления и разрыву труб в печи. Возник пожар.

Центробежные насосы по сравнению с поршневыми менее опасны, так как при увеличении сопротивления в линии давление несколько возрастает и насос начинает работать «на себя».

Для того чтобы избежать таких аварий, следует подбирать центробежные насосы без завышенной мощности, а у поршневых насосов устраивать циркуляционную линию с перепускным клапаном, как показано на рис. 15. Однако наиболее эффективно использовать устройства, автоматически регулирующие работу насоса или компрессора в зависимости от величины давления в линии.

Для предупреждения образования пробок в линиях производят очистку жидкостей от взвешенных твердых частиц и солей, не допускают образования коксоотложений, полимеров, ледяных и кристаллогидратных пробок (кристаллогидраты представляют собой нестойкие соединения углеводородных газов с парами воды, например: $CH_4 \cdot 7H_2O$; $C_2H_6 \cdot 8H_2O$ и т. д.; эти гидраты представляют собой белые кристаллические тела, похожие на снег или лед).

Очистка от взвешенных частиц производится путем отстаивания; очистка от солей химическим способом (щелочью или кислотой), а также током высокого напряжения (ЭЛОУ — электрообессоливающие установки). Во избежание отложения кокса необходимо строго соблюдать установленный температурный режим при нагреве и скорости движения органических жидкостей по трубам подогревателя. Предотвращения полимерных отложений достигают путем добавки в продукт ингибиторов (специальных антикатализаторов процесса полимеризации в виде древесных смол, гидрохинона и т. д.), снижением температурного режима, ликвидацией застойных участков, и, наконец, применением для устройства аппаратов материала, тормозящего процесс полимеризации. Образование ледяных и кристаллогидратных пробок предупреждают путем осушки исходных веществ от влаги (хлористым алюминием и кальцием, силикагелем и т. п.), подогревом веществ или мест в аппаратах и трубопроводах, где наиболее вероятно отложение кристаллогидратов, а также путем введения в обрабатываемые вещества специальных добавок, растворяющих кристаллогидраты (например, метиловый или этиловый алкоголь). Аппараты и трубопроводы, расположенные на открытых площадках и в неотапливаемых помещениях, защищают теплоизоляцией.

Трубопроводы и аппараты подвергаются также очистке в сроки, установленные технологической инструкцией. Очистку поверхности от отложений производят механическими и химическими способами.

в) К образованию повышенного давления в газовых линиях нередко приводит скопление значительного количества конденсата, образующего пробки в коленах, изгибах и наиболее низких участках газопровода. Кроме того, наличие жидких пробок в линии вызывает временное прекращение подачи газа к месту потребления и возможность попадания в аппарат конденсата, а это в некоторых случаях также может являться причиной повреждений и аварий.

Особенно опасно попадание конденсата в аппараты с высокой рабочей температурой и в газовые компрессоры.

Во избежание возможных повреждений и аварий газовых линий от скопления конденсата их защищают теплоизоляцией, особенно при расположении их в неотапливаемых помещениях или вне помещений. В наиболее низких точках (участках газопровода) и в других местах возможного скопления жидкости ставят сборники конденсата.

Перед компрессорами часто ставят буферные емкости, которые не только сглаживают неравномерность газопотребления компрессором, но и улавливают находящийся в газе конденсат. Перед аппаратами, попадание конденсата в которые представляет опасность, кроме буферных емкостей устраивают также продувочные приспособления (см. рис. 20).

г) В мерниках, емкостях и резервуарах повышенное давление

может образоваться в результате отсутствия условий для своевременного удаления вытесняемого жидкостью воздуха. Это имеет место в том случае, если заглушена дыхательная труба, не работают дыхательные клапаны, диаметр дыхательной трубы не соответствует скорости налива или заполнение производится при

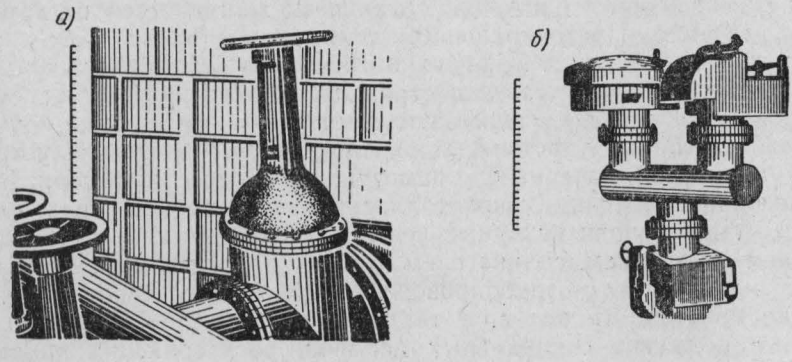


Рис. 16. Несоответствие приемного устройства резервуара его дыхательной аппаратуре:
а — приемное устройство; *б* — дыхательная линия с клапанами.

увеличенной скорости подачи жидкости. На рис. 16 показан случай несоответствия приемного устройства нефтяного резервуара его дыхательной арматуре (рис. 16, *б*). Все это может привести

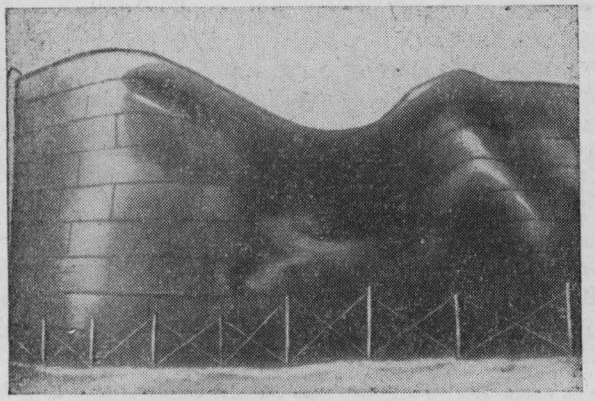


Рис. 17. Смятие корпуса резервуара от значительного вакуума при его опорожнении.

к повышенному давлению при наполнении резервуара и вызвать повреждение его стенок и крыши. Те же причины могут привести к образованию вакуума во время опорожнения резервуара и вызвать смятие его корпуса, как показано на рис. 17.

Отсюда вытекает, что на дыхательных трубах нельзя допускать устройство запорных приспособлений или ставить заглушки. Нельзя также, не изменяя диаметра дыхательной трубы, устанавливать на ней какие-либо устройства, увеличивающие сопротивление выходу паровоздушной смеси.

Диаметр дыхательной линии можно рассчитать в зависимости от скорости заполнения аппарата жидкостью.

Нельзя увеличивать скорость наполнения резервуаров и емкостей без дополнительной проверки пропускной способности дыхательной трубы. Перед началом наполнения необходимо убедиться в исправности дыхательной линии, особенно в холодное время года, когда дыхательные трубы и защитные приспособления на них (огнепреградители) могут забиваться льдом, а клапаны примерзать. Уменьшить примерзаемость дыхательных клапанов можно путем устройства их из пластмасс или футеровки пластмассой рабочих поверхностей. Неплохие результаты дает применение фторопластов.

д) Одной из возможных причин образования повышенных давлений является неисправность или неправильное выполнение линий, соединяющих аппараты с неодинаковыми внутренними давлениями. Иногда различие в величине давления связанных между собой аппаратов бывает очень большим. Так, трубчатые печи крекинг-установок, работающие с давлением 50—70 *атм*, соединены с испарителями, работающими при давлении 8 *атм* и т. д.

В соответствии с «Правилами устройства, установки и освидетельствования сосудов, работающих под давлением» аппараты, находящиеся под давлением меньшем, чем питающий их источник, должны иметь на линии, кроме запорного вентиля, еще автоматическое редуцирующее приспособление с манометром и предохранительным клапаном, установленным на стороне меньшего давления. Естественно, что неисправность или отсутствие редукционного клапана, а также наличие обходных линий может вызвать аварию. Так, на одном из нефтехимических заводов решили применить новую схему перекачки пропан-бутановой фракции из ректификационной колонны в емкость. Перед пуском не проверили контрольно-измерительные приборы, предохранительные клапаны были отключены заглушками, а редукционный клапан отсутствовал. После открытия задвижки на соединительной линии бутан-пропановая смесь стала беспрепятственно переходить из колонны с давлением 15 *ати* в емкость, рассчитанную на 7 *ати*. В результате этого произошел разрыв емкости и возник пожар.

Не допускается использование редукционного клапана в качестве запорного вентиля или регулирование давления обычными задвижками. Редукционный клапан можно не ставить, если перепад давления сравнительно небольшой, а все связанные между собой аппараты рассчитаны на наибольшее давление. Для группы сосудов, имеющих одинаковое давление, но соединенных с аппаратом большего давления, достаточно одного редукционного и

предохранительного клапанов с манометром, установленным на общей магистрали до первого ответвления.

Тепловое расширение газов или жидкостей

Весьма опасным случаем является образование повышенных давлений в аппаратах и трубопроводах при нагревании находящихся в них жидкостей и газов выше установленного предела. Это может иметь место в результате отсутствия или неисправности контрольно-измерительных приборов, при недосмотре обслуживающего персонала, а в некоторых случаях от лучистой энергии соседних аппаратов и даже при повышении температуры окружающей среды. При повышении рабочей температуры давление в аппаратах увеличивается за счет объемного расширения и увеличения упругости паров и газов. Следует различать два вида аппаратов, в которых указанные явления будут сказываться по-разному: это аппараты, полностью изолированные, и аппараты, соединенные с другими.

Естественно, что наиболее опасными будут первые, так как в них при одинаковом нагреве давление нарастает более интенсивно и до более высоких пределов, чем во вторых. Это видно из следующего:

а) в аппаратах с наличием газов и перегретых паров давление при нагревании увеличивается пропорционально величине абсолютной температуры и может быть выражено формулой:

$$P_{кон} = P_{нач} \cdot \frac{T_{кон}}{T_{нач}},$$

где: $P_{кон}$ — давление при конечной температуре $T_{кон}$, °К;
$P_{нач}$ — давление при начальной температуре $T_{нач}$, °К.

Нарастание давления в аппаратах с газами, как видно из приведенной формулы, идет по закону прямой линии.

Чем выше температура нагрева, тем больше давление. При нагревании на 273° С давление увеличивается по сравнению с первоначальным примерно в два раза. В силу указанных обстоятельств на практике отмечено немало случаев, когда под воздействием температуры пожара разрывались газовые баллоны, перекрытые участки газопроводов, газовые счетчики, резервуары и аппараты с парами и газами.

Давление в аппаратах и емкостях с насыщенными парами жидкостей определяется величиной давления насыщенных паров при данной температуре.

Давление паров в этом случае определяется по таблицам.

Изменение давления насыщенных паров некоторых жидкостей в зависимости от температуры приведено в приложении 1. При отсутствии таблиц давление насыщенного пара можно определить по формуле:

$$\lg P_s = -A + \frac{B}{T},$$

где P_s — давление насыщенного пара при температуре T, абс. град.;

A и B — константы, определяемые расчетом, если известны давления паров для двух каких-либо значений температур;

б) особенно опасен нагрев емкостей, тары и трубопроводов, когда весь их внутренний объем заполнен жидкостью. Нагреваясь, жидкости увеличиваются в объеме, но этому препятствуют стенки аппаратов. Так как жидкости почти не сжимаются, то нагревание их даже до невысоких температур вызывает образование очень больших внутренних давлений, приводящих к повреждениям и разрыву стенок. То же получается при нагреве емкостей и аппаратов, сплошь заполненных сжиженными газами. На практике было много случаев, когда неправильное заполнение бочек и цистерн жидкостями, а также емкостей и баллонов сжиженными газами при последующем нагревании заканчивалось авариями. Характерным примером является разрыв сферического резервуара с жидким газом на одном из нефтеперерабатывающих заводов. Резервуар объемом 600 $м^3$ был полностью заполнен бутан-бутиленовой фракцией. При этом температура воздуха была ниже нуля. Все линии были отключены, а предохранительный клапан снят, и вместо него поставлена заглушка. К утру температура повысилась, и это вызвало разрыв стенок резервуара. Жидкий газ, изливаясь наружу, быстро испарялся, образуя газовое облако, которое пошло по ветру в сторону производственных установок. От факелов пламени форсунок трубчатых печей газ воспламенился. В сфере огня оказались многие технологические установки и резервуары с нефтепродуктами. Этой аварии не произошло бы при правильном заполнении емкости сжиженным газом.

При наполнении емкостей и баллонов жидкостями и сжиженными газами до установленной нормы, т. е. когда остается паровое пространство, давление растет пропорционально повышению температуры и резкого повышения давления не наблюдается.

Однако отсутствие необходимого газового или парового пространства, т. е. заполнение всего внутреннего объема жидкостью или сжиженным газом, приводит при нагревании к сильному увеличению давления в емкости и к возможности разрыва ее стенок.

Величину развивающегося при этом давления можно определить следующим образом. Коэффициент объемного расширения жидкостей при нагревании равен:

$$\beta = \frac{\Delta V}{V \cdot \Delta t},$$

откуда:

$$\frac{\Delta V}{V} = \beta \cdot \Delta t,$$

где: β — коэффициент объемного расширения жидкости;

ΔV — увеличение объема жидкости при нагревании на Δt;

V — объем жидкости (объем аппарата, заполненного жидкостью).

Если допустить, что внутренний объем сосуда при нагревании не изменится, то стремление к узеличению объема жидкости будет погашаться развивающимися силами сжатия. Коэффициент объемного сжатия жидкостей равен:

$$\beta_{сж} = \frac{\Delta V}{V \cdot \Delta P},$$

откуда

$$\frac{\Delta V}{V} = \beta_{сж} \cdot \Delta P,$$

где $\frac{\Delta V}{V}$ — относительное изменение объема жидкости при сжатии на ΔP *атм.*

Так как $\frac{\Delta V}{V}$ при нагревании и сжатии будут равны, то:

$$\beta \cdot \Delta t = \beta_{сж} \cdot \Delta P \text{ или } \Delta P = \frac{\beta}{\beta_{сж}} \cdot \Delta t.$$

Общее давление в емкости:

$$P_{общ} = P_{раб} + \Delta P.$$

Коэффициенты объемного расширения и объемного сжатия жидкостей и газов приведены в приложениях 2 и 3.

Пример. Определить величину давления в емкости, которая оказалась сплошь заполненной жидким аммиаком, если известно, что начальная температура была равна 10° С, а затем аммиак нагрелся до 50° С. Давление паров аммиака при 50° С равно 20 *ата.* Стенки емкости рассчитаны на максимальное давление 100 *ата.*

Решение. Величину давления находим по формуле:

$$\Delta P = \frac{\beta}{\beta_{сж}} \cdot \Delta t.$$

Для этого необходимо определить коэффициенты объемного расширения β и сжатия $\beta_{сж}$. Так как указанные коэффициенты изменяются в зависимости от величины температуры, необходимо подставлять в формулу их среднее значение.

По таблице значений коэффициентов объемного расширения (приложение 2) находим, что: при $t_1 = 10°$ С $\beta_1 = 0{,}00217$, а при $t_2 = 50°$ С $\beta_2 = 0{,}00313$.

Следовательно:

$$\beta = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} = \frac{0{,}00217 + 0{,}00313}{2} = 0{,}00265.$$

По таблице значений коэффициентов объемного сжатия (приложение 3) находим:

при $t_1 = 10°$ С $\beta'_{сж} = 0{,}000123$;

при $t_2 = 50°$ С $\beta''_{сж} = 0{,}000220$.

Следовательно:

$$\beta_{ст} = \frac{\beta'_{сж} + \beta''_{сж}}{2} = \frac{0{,}000123 + 0{,}000220}{2} = 0{,}000171.$$

Подставляя полученные значения в основную формулу, будем иметь:

$$\Delta P = \frac{\beta}{\beta_{сж}} \Delta t = \frac{0,00265}{0,00171} (50 - 10) = 620 \ кГ/см^2.$$

Тогда

$$P_{общ} = P_{раб} + \Delta P = 20 + 620 = 640 \ кГ/см^2.$$

При этом неизбежны авария емкости и выход аммиака наружу, так как давление будет в 6,5 раза больше максимально допустимого. Между тем при правильном наполнении емкости рабочее давление при 50° С не должно быть более 20 $кГ/см^2$.

Следовательно, неполное заполнение жидкостью или сжиженным газом объема резервуара или баллона является важным профилактическим мероприятием. Если газовое или паровое пространство будет достаточным, то оно выполнит роль компенсатора, т. е. роль газового колпака, и опасность образования чрезмерно больших давлений будет устранена. Но в то же время неполное заполнение емкостей и баллонов уменьшает их полезную емкость, снижает коэффициент использования внутреннего объема, удорожает эксплуатацию. Для создания оптимальных условий безопасности и экономичности нужно определить возможную степень заполнения емкостей жидкостью или сжиженным газом.

В приближенных технических расчетах достаточную для практики точность определения величины свободного пространства в емкостях дает следующее выражение:

$$V_{св} = \beta \cdot V \cdot (t_2 - t_1) \text{ или } \frac{V_{св}}{V} = \beta \cdot \Delta t \cdot 100\%,$$

где: $V_{св}$ — свободное пространство, $м^3$ или $л$;
V — объем сосуда, $м^3$ или $л$;
t_1 и t_2 — начальная и конечная температура, °С;
β — коэффициент объемного расширения.

Пример. Определить оптимально необходимую величину свободного объема в сосуде с сжиженным пропаном при увеличении температуры с 20 до 40°С. Объем сосуда 100 $м^3$.

Решение. При определении величины свободного объема в сосуде воспользуемся приближенной формулой:

$$\frac{V_{св}}{V} = \beta \cdot \Delta t \cdot 100.$$

По таблице находим, что при $t_{ср} = 30°$ С $\beta = 0,00367$.
Подставляя это значение, получим:

$$\frac{V_{св}}{V} = 0,00367 \cdot 20 \cdot 100 = 7,34\%.$$

Из расчетов и данных эксплуатации следует, что емкости могут заполняться сжиженными газами на 85—90%, а обычными жидкостями — на 90—95% своего объема;

в) если аппараты или емкости соединены с другими аппаратами и подвергаются нагреву сверх установленной нормы, то давление, хотя и будет повышаться, но резкого нарастания не произойдет. Так, в ректификационной колонне или в выпарном

аппарате повышение температурного режима приведет к увеличению количества пара, выделяющегося в единицу времени. Так как эти и все последующие аппараты не рассчитаны на пропуск и обработку пара в количестве, большем, чем обусловлено нормальным режимом, то постепенно давление повысится по всей системе.

Прекращение конденсации паровой фазы

Образование повышенных давлений в аппаратах может иметь место и при нарушении нормального режима конденсации паровой фазы. Паровая фаза, выходя из испарителей, выпарных аппаратов, ректификационных колонн, подвергается конденсации путем охлаждения водой, рассолом или сжиженными газами. Если по каким-либо причинам уменьшится количество тепла, отнимаемого от пара, полного процесса конденсации не будет. Неполная конденсация паров в конденсаторе при постоянном воспроизводстве их в аппарате приведет к выходу паров через воздушки наружу или к образованию повышенного давления.

Приращение давления можно определить по формуле:

$$\Delta P = \frac{a \cdot V_n \cdot \tau}{100 \cdot V_{св}},$$

где: V_n — количество паров, нормально конденсирующихся в аппарате, $м^3/час$;

a — уменьшение конденсации против нормальной, %;

τ — длительность прекращения конденсации паров, час.

Непосредственной причиной процесса неполной конденсации является уменьшение или полное прекращение подачи охладителя, а также уменьшение коэффициента теплопередачи при сильном загрязнении теплообменной поверхности конденсаторов.

Во избежание появления рассмотренных в пунктах *а*, *б*, *в* причин необходимо соблюдать установленный температурный режим, применяя контрольно-измерительные и автоматические регулирующие приборы; снабжать аппараты предохранительными клапанами, соблюдать установленные нормы заполнения, а также защищать аппараты от воздействия внешних источников тепла путем применения теплоизоляции, экранов и т. п. Необходимо также вести тепловой контроль за работой конденсаторов и в установленные сроки производить очистку теплообменной поверхности от накипи и отложений. Очистка производится механическим способом или путем промывки 10-процентным раствором соляной кислоты, слабым раствором щелочи и затем чистой водой.

Во время пожара аппараты со сжиженными и сжатыми газами необходимо охлаждать водяными струями, защищать экранами, а при необходимости эвакуировать их из сферы действия лучистой энергии и конвекционных тепловых потоков.

Большое значение имеет исправность теплоизоляции на аппаратах и трубопроводах. Теплоизоляция не только уменьшает по-

тери тепла, но и предохраняет аппарат от чрезмерного нагревания в случае пожара. Для защиты от нагревания солнечными лучами в качестве экранов часто используют навесы, брезенты, окрашивают стекла оконных проемов и стеклянную поверхность тары в белый цвет. Стеклянные бутыли с легкоиспаряющимися или разлагающимися жидкостями (растворители, кислоты и т. п.) нельзя закрывать притертыми пробками.

Особое значение для аппаратов и емкостей с наличием сжиженных и сжатых газов и паров имеют правильно подобранные и смонтированные предохранительные клапаны.

Предохранительные клапаны устанавливаются рычажного или пружинного типа, отрегулированные на предельно допускаемое рабочее давление и имеющие устройства, не позволяющие обслуживающему персоналу увеличивать нагрузку клапана. Устройство пружинного предохранительного клапана[1] показано на рис. 18. Размеры и количество предохранительных клапанов[1] выбирается с таким расчетом, чтобы в аппарате не могло образоваться давление, превышающее рабочее более чем на 15% при давлении до 60 *ати* и на 10% при рабочем давлении свыше 60 *ати*.

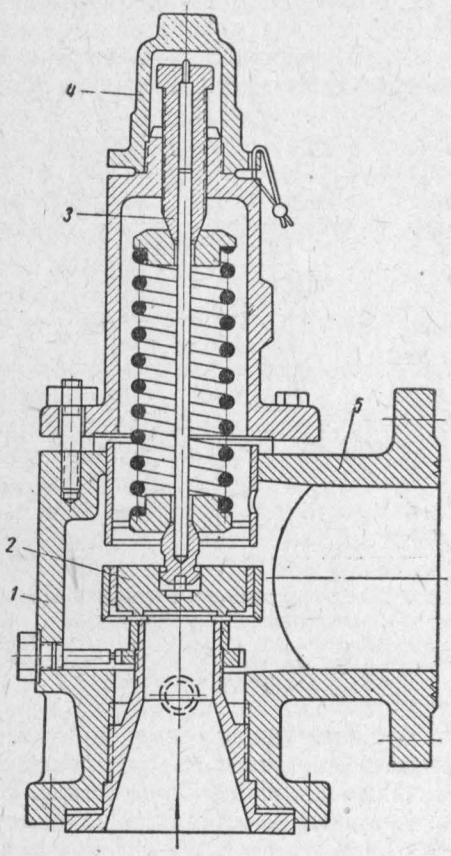


Рис. 18. Пружинный предохранительный клапан:

1 — корпус; *2* — клапан; *3* — винт регулировки рабочего давления клапана; *4* — предохранительный колпак; *5* — штуцер для присоединения отводной трубы.

При расчете пропускной способности предохранительного клапана для паров и газов пользуются следующей формулой:

$$G = 220 \cdot f \cdot P \sqrt{\frac{M}{T_{раб}}},$$

[1] «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением». Госгортехиздат, 1961.

где: G — пропускная способность клапана, *кг/час*;

f — площадь сечения клапана, *см*^{2};

P — давление, при котором сработает клапан, *кГ/см*^{2};

M — молекулярный вес пара или газа;

$T_{раб}$ — рабочая температура в аппарате, абс. град.

Из этой формулы может быть найдена площадь сечения клапана.

На аппаратах со сжиженными газами в соответствии с «Правилами безопасности в газовом хозяйстве» § 406 (Госгортехиздат, 1961) устанавливают по два предохранительных клапана—один контрольный, другой рабочий Предохранительные клапаны устанавливают непосредственно на аппарате и защищают от засорения и коррозии. Если почему-либо установить клапаны на сосуде нельзя, то их устанавливают в непосредственной близости от сосуда на трубопроводе или специальном отростке, при условии что между ним и сосудом не будет никакого запорного приспособления.

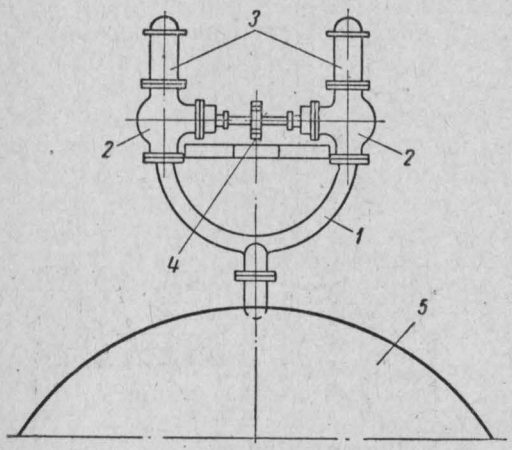


Рис. 19. Предохранительные клапаны с переключающим устройством:

1 — фасонный тройник; *2* — вентиль; *3* — предохранительный клапан; *4* — винт с маховичком; *5* — корпус аппарата.

Наличие задвижек перед клапанами может быть допущено только при блокированном соединении их, как показано на рис. 19. При центральном (нормальном) положении маховичка оба предохранительных клапана полуоткрыты. В случае необходимости отключения одного из клапанов на осмотр и ремонт вращением маховичка закрывают задвижку под неисправным клапаном; при этом сечение второго клапана полностью открывается. Аппарат или емкость не допускается к эксплуатации при отсутствии предохранительного клапана или при его неисправности. При срабатывании предохранительного клапана огнеопасные пары и газы будут выходить в производственное помещение. Чтобы избежать этого, от предохранительных клапанов устраивают отводные трубы, выходящие за пределы помещения.

Отрегулированный предохранительный клапан должен быть запломбирован или защищен от возможности изменять его регулировку. Отключать клапан во время эксплуатации аппарата нельзя. Данные о состоянии клапанов при их проверке записываются в специальную книгу или технический паспорт аппарата.

В тех случаях, когда по роду производства или под действием содержимого в аппарате предохранительный клапан не может надежно работать, вместо него устанавливают предохранительную пластину, разрывающуюся при повышении давления (не более чем на 25% рабочего давления) в сосуде. На емкостях для хранения бутана и газового бензина, кроме предохранительных клапанов, должны быть установлены два вакуумных клапана, рассчитанные на подсос при вакууме, равном 300 *мм* вод. ст., что возможно при низких температурах среды. Предохранительные клапаны могут не устанавливаться только в том случае, если аппарат рассчитан на давление, которое не меньше давления питающего его источника, и если в сосуде исключена возможность повышения давления от химической реакции или нагрева. Это допущение справедливо при наличии клапана на источнике давления.

Попадание легкокипящей жидкости в аппараты с высокой рабочей температурой

Помимо рассмотренных случаев, давление в некоторых аппаратах может резко повыситься в результате попадания в них какой-либо легкокипящей жидкости. Это относится к аппаратам, работающим при высоких температурных режимах. На предприятиях было немало случаев, когда в аппараты с температурой 250—350° С и выше, попадала вода с обводненным продуктом или конденсат из паровой линии. Когда паровая линия перекрыта, то в ней постепенно скапливается конденсат, и если паровая линия не будет освобождена от конденсата, он неизбежно будет выжат в аппарат при пуске пара. Встречаются случаи, когда в аппаратах при промывке или испытании оставалась неспущенной часть жидкости, а высоконагретый продукт подавался без предварительного испарения остатка. При этом вода или другая жидкость попадает в такие условия, которые приводят к ее перегреву и быстрому испарению. При испарении жидкости образуется большое количество высоконагретых паров, и давление резко повышается.

Так, на одном из нефтеперерабатывающих заводов произошел взрыв буферной емкости крекинг-установки. Нефтепродукт, нагретый до 700° С, подали в буферную емкость, на дне которой осталось около 130 *л* воды. Мгновенное испарение воды вызвало настолько большое давление, что емкость взорвалась. При взрыве крышка была сорвана и ударила в дымовую трубу, а осколки корпуса весом до 80 *кг* были разбросаны в радиусе до 300 *м*. Были повреждены продуктовые и сырьевые трубопроводы.

То избыточное давление в *атм*, которое может образоваться в аппаратах при испарении попавшей в них жидкости, можно найти из следующего выражения:

$$\Delta P = \frac{V_п}{V_{св}},$$

но $V_п = m \cdot v$,

где: $V_п$ — объем пара, образующегося при испарении попавшей в аппарат жидкости, $м^3$;

$V_{св}$ — свободный объем аппарата (объем парового пространства), $м^3$;

m — количество попавшей в аппарат жидкости, *кг*;

v — объем пара в $м^3$, образующегося при испарении 1 *кг* жидкости.

Известно, что одна килограмм-молекула любого газа или пара при нормальных условиях (температура 0° и давление 760 *мм* рт. ст.) занимает объем 22,4 $м^3$. Чтобы найти, сколько получится пара при испарении 1 *кг* жидкости, составим следующую пропорцию: M *кг* дает 22,4 $нм^3$; 1 *кг* — v_0, тогда

$$v_0 = \frac{22.4}{M}\ нм^3/кг,$$

где: v_0 — объем паров от испарения 1 *кг* жидкости при 0°;

M — молекулярный вес испаряющейся жидкости.

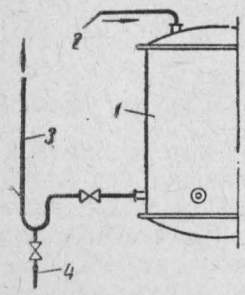


Рис. 20. Устройство для продувки паровой линии от конденсата:

1 — корпус аппарата; 2 — продуктовая линия; 3 — линия водяного пара; 4 — трубка для продувки линии от конденсата.

Количество паров, выделяющихся при испарении 1 *кг* любой жидкости при любой рабочей температуре $T_{раб}$, можно определить из следующего выражения:

$$v = v_0 \cdot \frac{T_{раб}}{T_0} = \frac{22\ 4}{M} \cdot \frac{T_{раб}}{273} =$$

$$= 0{,}082\,\frac{T_{раб}}{M}\ м^3/кг.$$

Тогда приращение давления в аппарате от испарения m *кг* попавшей в него жидкости будет равно:

$$\Delta P = \frac{m \cdot v}{V_{св}}\ кГ/см^2.$$

Пример. Определить, какое давление образовалось в буферной емкости при быстром испарении 130 *л* воды, если известно, что средняя температура в аппарате равна 420° С, а свободный объем ее—20 $м^3$.

Решение. Количество паров при испарении 1 *кг* воды определяем по формуле:

$$v = 0{,}082\,\frac{T_{раб}}{M} = 0{,}082 \cdot \frac{273 + 420}{18} = 3{,}16\ м^3/кг.$$

Общее количество паров при испарении 130 *л* воды составит:

$$V_п = v \cdot 130 = 3{,}16 \cdot 130 = 441\ м^3.$$

Давление в буферной емкости при таком количестве пара будет равно:

$$\Delta P = \frac{V_п}{V_{св}} = \frac{411}{20} \approx 20{,}5\ кГ/см^2.$$

Естественно, что такое давление сверх нормального рабочего не может быть безвредным для емкости.

Чтобы избежать возможности повреждения высокотемпературных аппаратов от попадания в них воды и других жидкостей, не-

обходимо: паровые линии, подключенные к аппаратам, оборудовать приспособлением для спуска конденсата (рис. 20); в высоконагретые аппараты не подавать обводненный пар. Пар дают только в достаточно прогретые аппараты и только после предварительной продувки линии от конденсата. После промывки или гидравлического испытания аппаратов осуществляют полный спуск жидкости и выпаривают остаток при подогреве до температуры не выше 110° С. Недопустимо также подавать в горячие аппараты обводненный высоконагретый продукт. Эти требования должны найти отражение в технологической инструкции.

Образование паров и газов при химических реакциях

Повышенные давления в аппаратах могут образоваться и в результате чисто химических причин, главным образом в результате интенсивного газообразования или тепловыделения при взаимодействии веществ. Так, интенсивное газо- и парообразование происходит при взаимодействии карбида кальция с водой, металлов — с кислотами, при экзотермических реакциях полимеризации, нитрации и т. п. Без большой ошибки можно сказать, что почти все экзотермические реакции сопровождаются образованием высоконагретых паро- или газообразных продуктов. Однако количество этих продуктов будет различно в зависимости от характера реакции, а давление в аппарате, кроме того, будет зависеть еще от интенсивности и равномерности отвода тепла, т. е. качества охлаждения аппаратов. Нарушение нормального режима охлаждения аппаратов, отсутствие или неисправность системы отвода избыточных газов влекут за собой возможность появления больших давлений, а отсюда повреждений и аварий. Так, были случаи аварий с полимеризаторами при производстве синтетического каучука. Процесс полимеризации дивинила сопровождается выделением большого количества тепла, газообразных и парообразных продуктов.

Уменьшение подачи рассола на охлаждение, наличие пробок в стравливающих линиях, неисправность манометров приводят к порче прокладок, срыву нарезки болтов и даже к срыву крышки или повреждению корпуса автоклава.

Из сказанного следует, что при наличии закрытых аппаратов, в которых протекают химические процессы с выделением тепла и газообразных продуктов, надо контролировать системы охлаждения реагирующей массы, линии отвода избыточных паров и газов, приборы контроля за температурным режимом и давлением. Для отвода тепла устраивают рубашки и змеевики, а для предотвращения местных очагов перегрева применяют мешалки. Стравливание осуществляют автоматически через предохранительные клапаны или вручную через стравливающие линии. Контроль за температурой и давлением в аппарате и охладительной системе осуществляется обычными или дистанционными термометрами и манометрами.

§ 3. Воздействие нагрузок динамического характера

При динамическом действии нагрузок напряжение всегда будет больше, чем при статическом действии тех же нагрузок. Отношение внутреннего напряжения, вызванного динамическим воздействием σ_g к напряжению, вызванному статическим воздействием той же нагрузки σ, называется динамическим коэффициентом и обозначается K_g, т. е.:

$$K_g = \frac{\sigma_g}{\sigma}.$$

Величина K_g зависит от характера динамичности нагрузки и в ряде случаев достигает значений от 1,5 до 15.

При эксплуатации производственного оборудования нагрузки динамического характера могут быть в виде резких изменений давления, гидравлических ударов, вибрации аппаратов и трубопроводов и случайных ударных воздействий.

Остановимся на этих причинах более подробно.

Резкие изменения внутреннего давления в аппаратах и трубопроводах

В аппаратах, рассчитанных на работу при сравнительно постоянных режимах, могут быть случаи резкого увеличения или уменьшения давления в единицу времени. Подобные нарушения встречаются при испытании аппаратов на прочность, пуске в эксплуатацию, в моменты остановки, а также при грубых нарушениях установленного режима температур и давления.

Перепады давления воздействуют на материал как динамические нагрузки и могут вызвать опасные напряжения в стенках аппаратов.

По этой причине, например, возник большой пожар на одном из нефтеперерабатывающих заводов. В 8 час. утра приступили к пуску после ремонта крекинг-установки. К 15 час. установка была введена «в мягкий режим», т. е. работала под давлением 24 *атм* вместо 50 *атм*, как требовалось по нормальному режиму. В 15 час. 15 мин. давление на установке было резко повышено до 49 *атм*. В результате такого повышения давления вырвало несколько двойников (ретурбендов), из печи на расстояние 25 *м* были выброшены четыре трубы, сорваны три трубных решетки и навески для труб. Одновременно с выбросом двойников из печи под большим давлением стал выходить горячий нефтепродукт, который при соприкосновении с воздухом воспламенился. Пожар угрожал соседним установкам, но был умело локализован и быстро ликвидирован.

Чтобы избежать образования опасных внутренних напряжений в периоды пуска и остановки аппаратов и вообще в периоды перехода от одного режима давления на другой, следует обеспечивать плавность изменения давления. Интенсивность нарастания или снижения давления в единицу времени не должна превышать установленную норму, предусмотренную технологической инструкцией. Всякое изменение давлений в процессе работы аппарата также должно производиться плавно, без скачков.

Гидравлические удары

Большие внутренние напряжения в стенках аппаратов и трубопроводов могут возникать в результате резкого торможения движущегося потока жидкости или газа, т. е. в результате так называемого гидравлического удара.

Воздействию гидравлических ударов чаще всего подвержены трубопроводы и насосы. Гидравлические удары возникают обычно в результате быстрого закрывания или открывания вентилей на трубопроводах, при больших пульсациях подаваемой насосами жидкости, при резком изменении давления вообще на каком-либо из участков трубопровода.

Величину ΔP, на которую повысится давление в трубопроводе при гидравлическом ударе, можно определить по формуле академика Жуковского:

$$\Delta P = \frac{\gamma}{g} \cdot C \cdot \Delta W \cdot 10^{-4}\ кГ/см^2,$$

где: ΔW — уменьшение средней скорости движения при торможении струи, *м/сек*;

g — ускорение силы тяжести, *м/сек*^{2};

γ — объемный вес жидкости, *кг/м*^{3};

C — скорость распространения ударной волны, *м/сек*.

Скорость распространения ударной волны может быть определена из следующего выражения:

$$C = \sqrt{\frac{g \cdot E_{ж}}{\gamma\left(1 + \frac{d}{\delta} \cdot \frac{E_{ж}}{E}\right)}},\ м/сек,$$

где: d — внутренний диаметр трубопровода, *м*;

δ — толщина стенки трубопровода, *м*;

E — модуль упругости материала трубопровода, *кг/м*^{2};

$E_{ж}$ — модуль упругости жидкости, *кг/м*^{2}.

Модуль упругости жидкостей $E_{ж}$ есть величина, обратная коэффициенту сжимаемости жидкостей $\beta_{сж}$. Данные о величине коэффициент сжимаемости некоторых жидкостей приведены в приложении 3.

Поясним сказанное примером.

Пример. Определить силу гидравлического удара при быстром закрытии задвижки в стальном трубопроводе, имеющем наружный диаметр 377 *мм* и толщину стенки 10 *мм*. По трубопроводу перекачивают нефть удельного веса 890 *кг/м*^{3} со скоростью 1,3 *м/сек*.

Решение. Для того чтобы найти приращение давления от гидравлического удара, определим сначала скорость распространения ударной волны:

$$C = \sqrt{\frac{g \cdot E_{ж}}{\gamma\left(1 + \frac{d}{\delta} \cdot \frac{E_{ж}}{E}\right)}}\ м/сек.$$

Согласно табличным данным и условиям задачи имеем:

$$E_{ж} = 13\,500 \cdot 10^4 \ кГ/м^2; \ \gamma = 890 \ кг/м^3; \ d = 377 - 2 \cdot 10 = 357 \ мм;$$

$$E_{стали} = 2{,}1 \cdot 10^6 \cdot 10^4 \ кг/м^2$$

Тогда $$C = \sqrt{\frac{13\,500 \cdot 10^4 \cdot 9{,}81}{990 \cdot \left(1 + \frac{0{,}357 \cdot 13\,500 \cdot 10^4}{0{,}01 \cdot 2{,}1 \cdot 10^6 \cdot 10^4}\right)}} = 1100 \ м/сек.$$

Приращение давления от гидравлического удара будет равно:

$$\Delta P = \frac{\gamma}{g} \cdot C \cdot \Delta W = \frac{890}{9{,}81} \cdot 1100\,(1{,}3 - 0) = 130\,000 \ кГ/м^2 \text{ или } 13 \ кГ/см^2.$$

Такое приращение давления во многих случаях может вызвать повреждение и даже разрыв трубопровода[1].

Давление при гидравлическом ударе зависит от времени закрытия запорных устройств и длины трубопровода. Чем длиннее трубопровод и меньше период закрытия задвижки, крана, клапана и т. п., тем больше будет давление.

Если снижение давления в питательном аппарате может вызвать обратный поток жидкости или газов, то на соединительных линиях вблизи от аппаратов с большим давлением устанавливают обратные клапаны, предотвращающие возможность образования гидравлического удара или снижающие их вредное действие. Защите от гидравлических ударов способствует также снижение пульсации давления путем установки на линии газовых колпаков или подключения аппаратов с паровоздушным объемом. Во избежание гидравлических ударов нельзя резко изменять производительность насосов.

Вибрации аппаратов и трубопроводов

Образование неплотностей во фланцевых соединениях, расстройство швов и даже поломки нередко являются следствием вибраций, возникающих в результате систематического изменения внутреннего давления или при воздействии внешних возмущающих сил.

Вибрация наблюдается у трубопроводов, находящихся под давлением и недостаточно хорошо закрепленных, у аппаратов, соединенных с поршневыми насосами и компрессорами, а также у аппаратов и трубопроводов, расположенных вблизи от работающих дизелей, мощных компрессоров, молотов, прессов и других агрегатов. Наблюдается вибрация от воздействия ветра у недостаточно закрепленных наружных аппаратов.

Наибольшая опасность от вибрации возникает тогда, когда число колебаний возмущающей силы по своему значению будет приближаться к числу собственных колебаний системы. В этом случае наблюдается так называемое явление резонанса.

---

[1] Пример взят из книги В. С. Яблонского «Гидравлика». Гостоптехиздат, 1957.

Самая радикальная мера борьбы с вибрациями — устранение или во всяком случае уменьшение действия возмущающих сил. Практически это достигается уменьшением пульсации при работе насосов (замена поршневых насосов центробежными, установка «воздушных» колпаков и т. п.), устройством под вибрирующими агрегатами более массивных фундаментов и изоляцией их от фундаментов конструктивных элементов зданий, гашением колебаний путем применения различного рода эластичных прокладок, пружин и тому подобных устройств, а также прочным креплением трубопроводов и аппаратов, подверженных вибрации. Все эти вопросы продумываются и решаются, как правило, в процессе проектирования. Защита глухой стены от выкрошивания кладки в местах прохождения вибрирующих труб производится, как показано на рис. 21. Вибрацию трубопроводов легко заметить по колебаниям самой трубы, по наличию разрушенной теплоизоляции, по проемам в стенах, через которые проходят трубы, по расшатанным опорам.

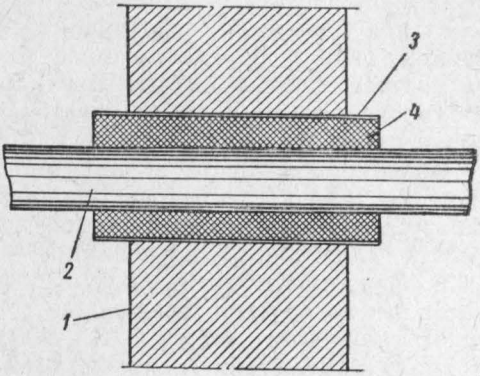


Рис. 21. Прокладка через глухую стену трубопровода с небольшой вибрацией:

1 — стена; *2* — трубопровод; *3* — гильза (металлическая труба); *4* — асбестовое волокно или шлаковата уплотненная.

Динамические повреждения имеют место также в результате неосторожной работы внутрицехового транспорта, ударов грузами, ударного действия осколков при авариях соседних аппаратов и т. п. Во всех подобного рода цехах и установках, где есть внутри- и межцеховой транспорт, а также аппараты с огнеопасными жидкостями и газами, необходимо обеспечить такое их расположение, чтобы перемещаемые тяжести и падающие грузы не могли вызвать повреждений. Для этого трубопроводы прокладывают в стороне от цеховых транспортных путей, располагают их в закрытых траншеях с углублением маховиков задвижек ниже уровня пола. Газовые линии прокладывают выше мостовых кранов, тельферов и других средств перемещения грузов.

§ 4. Температурные напряжения. Изменение свойств металлов под действием температур

Неплотности и повреждения могут появиться в результате образования непредусмотренных при расчете аппаратов и трубопроводов температурных напряжений в материале их стенок, а

также от снижения механических свойств металлов под действием температуры. Подобные случаи могут иметь место в результате

а) отсутствия условий для свободного изменения размеров аппаратов и трубопроводов при изменении температуры;

б) воздействия на стенки аппаратов высоких температур, т. е. температур, значительно превышающих предусмотренные нормальным режимом работы;

в) воздействия на стенки аппаратов температур значительно ниже нуля.

Наблюдения показывают, что медленные пластические деформации (так называемая течь металла) появляются в аппаратах даже в том случае, когда напряжение не превышает предела текучести при данной температуре. Это явление носит название ползучести (крип). Пределом ползучести при данной температуре называется такое максимальное напряжение материала, при котором скорость нарастания остаточной деформации не превышает допустимого значения.

Явление ползучести в значительной мере зависит от химического состава и от способа обработки металла, а также от температуры. Обычные сорта сталей недостаточно хорошо сопротивляются длительному воздействию температур выше 250—300° С.

В зависимости от величины температурного режима для аппаратов рекомендуются следующие стали: до 250—400° С—обычные конструкционные стали; 250—400° С — хромоникелевые, хромомолибденовые стали с присадками кремния и марганца; 400—500° С — стали с присадками хрома, ваннадия, вольфрама или никеля; до 500—600° С — аустенитовая сталь с большими добавками хрома, никеля и небольшим количеством вольфрама.

Однако соответствующий выбор качества стали по нормальным рабочим температурам еще не исключает возможности образования повышенных температурных напряжений.

Температурные напряжения

Температурные воздействия вызывают изменение первоначальных размеров тела. Если конструкция аппарата обеспечивает беспрепятственное изменение его размеров при нагревании или охлаждении, то дополнительные напряжения в материале не возникают; в противном случае могут возникнуть значительные внутренние напряжения.

Таким образом, неправильный подбор материала или отсутствие возможности свободного изменения размеров аппарата может явиться причиной образования неплотностей и повреждений даже в пределах нормальных рабочих температур. Так, стальной трубопровод, по которому проходят нагретые продукты, не имея возможности свободно удлиняться при отсутствии температурных компенсаторов, будет испытывать напряжения, величину которых можно определить следующим образом.

Удлинение 1 *м* стальной трубы при нагревании на 100° С составляет 1,2 *мм*.

Тогда:

$$\Delta l = \alpha \frac{t_2 - t_1}{100} \cdot L = \alpha \cdot \Delta t \cdot L \cdot 10^{-5} \text{ м},$$

где: α — удлинение в *мм* на 1 *м* трубы при нагревании на 100°;
t_1 — температура трубы до нагрева;
t_2 — температура трубы после нагрева;
Δl — удлинение трубы при нагревании;
L — длина трубы, *м*.

Так как труба не может свободно удлиняться, то в ней возникнут соответствующие внутренние напряжения, величина которых будет равна:

$$\sigma_t = \frac{\Delta l}{L} \cdot E = \alpha \cdot \Delta t \cdot E \cdot 10^{-5} = 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta t \cdot E,$$

где E — модуль упругости, для стали равный $2{,}10 \cdot 10^6$ *кГ/см²*.

Пример. Определить температурные напряжения в стальной трубе длиной 10 *м* при условии жесткого защемления обоих концов трубы и нагревании ее от 15 до 415° С.

Решение. Напряжение в стенках трубы определяем по формуле:

$$\sigma_t = 1{,}2 \cdot 10^{-5} \Delta t \cdot E = 1{,}2 \frac{415 - 15}{10^5} \cdot 2{,}1 \cdot 10^6 = 10\,080 \text{ кГ/см}^2.$$

В действительности напряжение будет несколько меньше ввиду того, что концы трубы не могут быть совсем жестко закреплены, и, кроме того, возможен некоторый изгиб трубы.

Излишнее внутреннее напряжение может возникнуть и в аппаратах, отдельные части которых нагреты неодинаково и в то же время жестко соединены между собой (кожух и трубки кожухотрубного теплообменника, трубки паровых котлов и т. п.).

Для локализации температурных напряжений необходимо обеспечивать возможность свободного изменения длины и объема аппаратов и трубопроводов в зависимости от температуры. Для этого на прямолинейных участках трубопроводов с газами, парами и жидкостями устраивают специальные температурные компенсаторы: линзовые, сальниковые, петлеобразные или лирообразные.

Устройство компенсатора сальникового типа показано на рис. 22, линзового типа — на рис. 23 и гнутых — на рис. 24. Чаще всего на трубопроводах применяются гнутые компрессоры лирообразные, *а*; петлеобразные, *б*.

Такого же типа компенсирующие устройства делаются у кожухотрубных теплообменников, длина трубок которых достигает 2 *м* и более. Следует иметь в виду, что различного рода изгибы и повороты трубопроводов являются как бы естественными температурными компенсаторами.

При конструировании аппаратов во избежание неравномерного удлинения отдельных их частей подбирают материалы с примерно одинаковыми коэффициентами линейного расширения.

Большие температурные напряжения могут возникать в результате неодинакового нагрева отдельных частей аппарата или при резком изменении температур, особенно у аппаратов с толстыми стенками.

Так, на одном из химических комбинатов из-за местных температурных напряжений произошел разрыв стальной колонны, предназначенной для синтеза изобутилового масла[1]. Колонна работала под давлением 320 *атм* и при максимальной температуре в зоне катализатора 470° С. Стенки колонны представляли собой стальную трубу толщиной 30 *мм*, усиленную четырьмя рядами намотанной на корпус профилированной стальной ленты. Суммарная толщина стенки колонны составляла 126 *мм*. Колонна была изготовлена из хромомолибденовой стали. Перед пуском колонны было произведено её гидравлическое испытание в пять ступеней при 400 *атм* с одновременным замером величины остаточных деформаций. Испытания дали положительные результаты. До взрыва температура в зоне катализатора по вине обслуживающего персонала резко повысилась (стрелка потенциометра дошла до предела и в течение 5 мин. показывала 600° С).

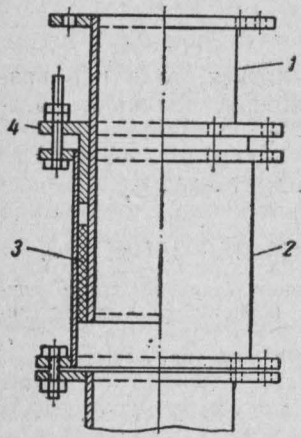


Рис. 22. Компенсатор сальникового типа:
1 — подвижная часть сальника; *2* — неподвижная часть; *3* — набивка; *4* — букса для уплотнения набивки.

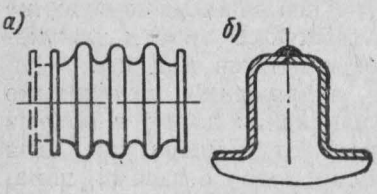


Рис. 23. Компенсатор линзового типа:
а — общий вид компенсатора с тремя линзами; *б* — разрез линзы.

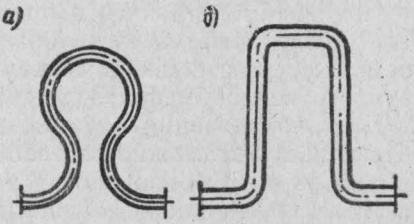


Рис. 24. Компенсаторы гнутые:
а — лирообразные; *б* — петлеобразные.

Через некоторое время произошел разрыв корпуса колонны. Силой взрыва была разрушена железобетонная кабина с толщиной стенок 200 *мм*. Верхнюю часть корпуса колонны отбросило на расстояние 3 *м* от установки. Обломки решеток и катализатор были разбросаны на расстояние до 150 *м* от колонны. Трубопровод диаметром 150 *мм* вместе с тросом подвесной опоры был переброшен через помещение на расстояние 50 *м*. Съемные железобетонные щиты ве-

[1] Журнал «Безопасность труда в промышленности» № 5, 1958.

сом 5 *т*, закрывающие при работе агрегата монтажный проем в стене кабины, были отброшены на 140 *м*.

Исследования проф. С. П. Соколова показали, что причиной аварии послужил увеличенный температурный перепад в стенке колонны. Суммарные напряжения от температуры и от внутреннего давления на внешнем волокне корпуса достигают опасного предела уже при температурном перепаде в 45° С. По данным ГИАП, при установившемся температурном режиме таких колонн действительный температурный перепад не превышает 15—20° С (при наличии теплоизоляции). Было доказано, что температурная вспышка в зоне катализатора сопровождалась интенсивным перепадом температур внутри корпуса колонны. Известно, что разность температур между внутренней и наружной поверхностями стенки корпуса величиной в 1° С уже вызывает напряжение сжатия на внутренней поверхности и растяжения на наружной до 18—20 *кг/см*². При этом суммарные напряжения от внутреннего давления и разности температур стенки были настолько велики, что внешние, наиболее напряженные слои ленты, постепенно стали терять несущую способность и разрушались.

Для предупреждения подобного рода аварий с толстостенными аппаратами устанавливают регистрирующие приборы с сигнальными устройствами для замера температуры стенки корпуса; производят охлаждение внутренней поверхности путем пропускания холодного циркуляционного газа, а где это невыполнимо, уменьшают расчетный прогрев стенок.

Для уменьшения разности температур между внутренней и наружной поверхностями стенки аппарата и уменьшения влияния температуры внешней среды наружные части нагретых аппаратов защищают теплоизоляцией. Во избежание температурных перенапряжений необходимо также медленно нагревать и охлаждать аппараты в период их пуска и остановки.

Действие на материал аппаратов высоких температур

При воздействии на аппараты и трубопроводы высоких температур происходит изменение прочности материала. Наиболее широко распространенный конструкционный материал — сталь Ст. 3 уже при температуре 600° С имеет предел прочности около 30% первоначального значения в нормальных условиях. При таких температурах сильно увеличиваются пластичность металла, его текучесть, металл не может выдерживать действующих на него нагрузок: происходит вспучивание и даже разрыв стенок. Так как марка стали подбирается, исходя из величины нормальной рабочей температуры, то ясно, что действие более высоких температур не может пройти бесследно. Высокие температуры возникают при нарушении температурного режима в процессах нагрева и экзотермических реакций, а также при пожарах, когда аппараты и трубопроводы попадают в зону огня или интенсивного теплоизлучения от факелов пламени, нагреваясь при этом до 800—1000° С.

Исходя из экономических соображений, не всегда целесообразно требовать специальных мер защиты аппаратов от нагрева во время пожара. Но нельзя упускать из виду возможность использования прямых и косвенных мер защиты (теплоизоляции,

экранов, разрывов и т. п.). На установках с большим количеством горючих веществ нельзя допускать наличие аппаратов и трубопроводов с поврежденной теплоизоляцией. Применение искусственных способов охлаждения и защиты поверхности аппаратов в процессе пожара должно осуществляться таким образом, чтобы не вызвать в материале резких перепадов температур.

Высокие температуры, способствующие снижению механической прочности материала теплообменной поверхности, могут иметь место в огневых и электропечах для нагрева огнеопасных жидкостей и газов, в паровых котлах и т. д. Этому способствует наличие отложений на теплообменной поверхности. Теплообменная поверхность в нормальных условиях воспринимает тепло и передает его нагреваемому продукту, сама не нагреваясь выше установленного предела. Если же на теплообменной поверхности со стороны продукта появятся участки с отложениями каких-либо малотеплопроводных веществ, то в этих местах стенка окажется изолированной от продукта, не будет им охлаждаться и окажется перегретой. Это вызовет сни-

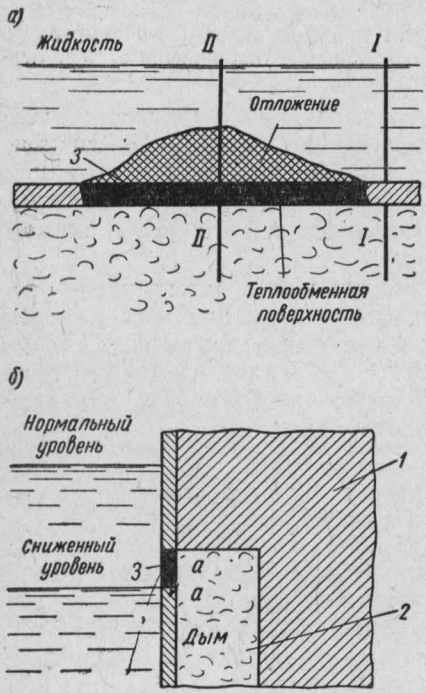


Рис. 25. Места перегрева теплообменной поверхности:

а — при ококсовании или отложении накипи; *б* — при снижении уровня жидкости; *1* — кладка печи; *2* — дымовой канал; *3* — стенка аппарата с перегретым участком (залит черным).

жение механической прочности металла, вспучивание под воздействием давления в аппарате и разрыв стенки.

В паровых котлах перегретые участки могут образоваться в результате отложения на трубах накипи (коэффициент теплопроводности $\lambda_{отл} = 2$ *ккал/м час·град*), в печах и котлах для нагревания органических жидкостей и газов — в результате отложения на теплообменной поверхности продуктов термического разложения (кокс — с коэффициентом теплопроводности $\lambda_{отл} = 0{,}5$ *ккал/м час·град*), в селитровых закалочных ваннах — в результате отложения на теплообменной поверхности шлама и т. д. Перегрев теплообменной поверхности может иметь место также при снижении уровня нагреваемой жидкости в аппаратах, имеющих форму котла, при котором пламя и дымовые продукты будут

нагревать не охлаждаемую жидкостью стенку. Эти возможные случаи представлены на рис. 25.

Зная температуру теплоносителя t_1, температуру нагреваемого вещества t_2, толщину стенки теплообменной поверхности $\delta_{ст}$ и толщину отложения $\delta_{отл}$, можно определить температуру перегретых участков из следующей формулы:

$$t_{ст} = t_1 - \frac{r_1}{R}(t_1 - t_2),$$

где: r_1 — термическое сопротивление при переходе тепла от теплоносителя к теплообменной поверхности;

R — общее термическое сопротивление, т. е. сопротивление при переходе тепла от теплоносителя к нагреваемому веществу.

В нашем случае: $r_1 = \frac{1}{\alpha_1}$ *м² час · град/ккал.*

$$R = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta_{отл}}{\lambda_{отл}} + \frac{1}{\alpha_2} \text{ м}^2 \text{ час} \cdot \text{град/ккал},$$

где. α_1 — коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к стенке в *ккал/м² час · град*;

α_2 — коэффициент теплоотдачи от стенки к нагреваемому веществу в *ккал/м² час · град*;

$\lambda_{ст}$, $\lambda_{отл}$ — теплопроводность материала стенки и отложения в *ккал/м час · град*;

$\delta_{ст}$, $\delta_{отл}$ — толщина стенки и отложения, *м*.

Действие на материал аппаратов низких температур

Ряд аппаратов и сооружений эксплуатируется в условиях, когда рабочая температура или температура окружающей среды значительно ниже нуля. В таких условиях работают аппараты холодильных установок (аммиачные, пропановые и др.), аппараты производства жидкого воздуха, кислорода и азота (температура до —180° С и ниже), а также емкости, резервуары и баллоны, находящиеся в зимнее время на открытых площадках в районах Урала, Сибири и Крайнего Севера, где температура воздуха в зимнее время доходит до —50° С. Низкие температуры приводят к ухудшению пластических свойств сталей, потере ударной вязкости, делают их хрупкими.

В практике имели место случаи, когда резервуары с ЛВЖ разрушались в результате снижения механических качеств стали под воздействием низких температур. Изучение этих случаев показало, что все разрушения резервуаров происходили по одной и той же схеме, а именно: разрушался наиболее нагруженный конструктивный элемент — корпус резервуара, заполненного продуктом. При этом корпус разрушается по образующей на полную высо-

ту; затем в результате огромного радиального усилия, связанного с излитием большого количества жидкости, корпус отрывается от днища и отбрасывается в сторону. Одновременно крыша резервуара обрушивается на днище, которое обычно остается на

Рис. 26. Разрушенный резервуар.

месте или немного сдвигается в сторону. На рис. 26 показан один из разрушенных резервуаров. Примерная схема разрушения резервуара показана на рис. 27.

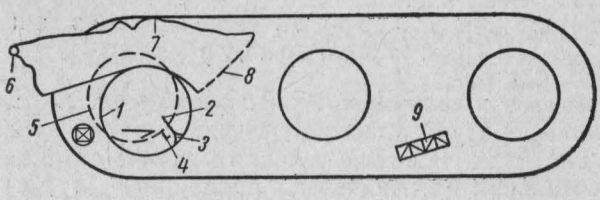


Рис. 27. Схема разрушения резервуаров:

1 — положение кровли после разрушения; *2* — положение лазового люка до аварии; *3* — место начала разрыва днища через лазовый люк; *4* — линия разрыва кровли; *5* — положение днища резервуара; *6* — лазовый люк на развернутой стенке резервуара; *7* — нижняя кромка стенки, которая была приварена к днищу; *8* — линия разрушения стенки; *9* — положение отброшенной лестницы.

При аварии жидкость разрушает вал или перехлестывает через обвалование и разливается на значительной площади.

Так, в феврале 1953 г. в резервуарном парке нефтепровода одного из товарно-транспортных управлений произошел разрыв резервуара емкостью 5000 $м^3$, наполненного сырой нефтью. Нефть залила площадь около 5 *га*. В момент аварии возник пожар, охвативший всю площадь разлившейся нефти, несколько производственных зданий и пять резервуаров. Разрушение резервуара произошло по основному металлу и частично по сварному шву в результате потери прочности стали при низкой температуре.

Кроме случаев полного разрушения стенок, часто наблюдается образование трещин, нарушающих герметичность и создающих опасность дальнейшей эксплуатации емкостей.

Трещины появляются, как правило, в наиболее холодные месяцы года (на декабрь, январь и февраль падает 83% всех зарегистрированных случаев). Трещины образуются преимущественно у резервуаров со сварными стенками.

Несомненно, что образование трещин в резервуарах связано с понижением температуры окружающего воздуха. Весьма показательным в этом отношении является одновременное образование трещин в нескольких резервуарах объемом по 5000 $м^3$ в Восточной Сибири. При резком понижении температуры до —43° С в течение суток у пяти резервуаров образовалось 18 трещин в основном металле и в сварных швах. Установлено, что разрушение происходит без заметной пластической деформации. Это обстоятельство свидетельствует о том, что при низких температурах пластические свойства стали ухудшаются, она становится хрупкой и легче поддается разрушению. Разрушению и образованию трещин при температурах 20—40° С нуже нуля способствовало действие сильного ветра, направление которого почти всегда совпадало с местом начала разрушения металла.

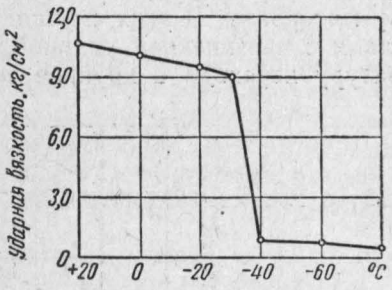


Рис. 28. Изменение вязкости стали при низких температурах.

Характерно, что все разрушенные резервуары были построены из кипящей мартеновской стали, обладающей, как известно, повышенной склонностью к хрупкому разрушению при температуре 10—15° С ниже нуля.

На рис. 28 показано изменение вязкости малоуглеродистой стали при понижении температуры. Из графика видно, что при температуре около 30° С ниже нуля происходит резкое падение ударной вязкости стали, а при 40° С ударная вязкость составляет всего 7,1% от первоначального значения. На возможность разрыва стенок влияет не только низкая температура, но и ряд других факторов: жесткость конструкции (клепаные резервуары, как правило, не разрушаются); непровар шва; коррозия стенок и т. п. Однако низкая температура и ее резкое изменение в совокупности с односторонним воздействием ветра, приводящим к образованию местных температурных напряжений, являются одной из главных причин разрушения металла в районах холодного климата.

Естественно, что аппараты и трубопроводы, работающие в условиях низких температур, весьма чувствительны к различного рода динамическим воздействиям (ударам, сотрясениям и т. п.).

Так, на одном из заводов по производству синтетического этилового спирта произошло разрушение трубы абсорбционной колонны, работающей при температуре—40° С. Перед пуском производилось испытание холодильной системы, работающей нормально при давлении около 40 *атм*. В период испытания давление было резко повышено до 35 *кг/см*², и в этот момент вырвало фланец трубы, соединяющей абсорбер с холодильной установкой. Куски трубы и фланца были отброшены далеко от абсорбера. Через разрушенную трубу стал выходить сжиженный пропан. Территория установки быстро заполнилась газом. Крыша находящегося рядом компрессорного цеха и территория покрылись слоем снега. Благодаря быстро принятым мерам вспышки газа не произошло и авария была ликвидирована. Несомненно, что причиной аварии послужило динамическое воздействие на металл, находящийся при температуре —40° С.

Отсюда следует, что для сооружения аппаратов, емкостей и трубопроводов, постоянно находящихся в условиях воздействия низких температур, серьезное внимание должно уделяться подбору материала. В этих случаях, как правило, должны применяться стали с повышенной ударной вязкостью, имеющие низкую температуру перехода в хрупкое состояние, в частности легированные

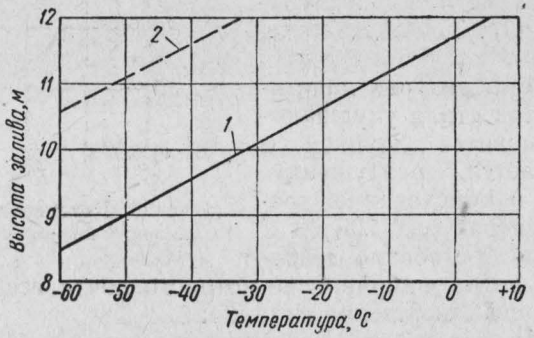


Рис. 29. Допустимый уровень залива резервуара РВС-5000 при различных температурах и различных марках стали для изготовления стенок:

1 — мартеновская Ст. 3 — кипящая; 2 — мартеновская Ст. 3 — спокойная.

марганцем стали. Для изготовления резервуаров, цистерн, баллонов и подобных им сосудов, работающих в зонах холодного климата или предназначенных для работы со сжиженными газами на наружных этажерках рекомендуется применять мартеновскую сталь, спокойную, дополнительно раскисленную кремнием и имеющую критическую температуру хрупкости (точку резкого снижения ударной вязкости), равную 20—30° С ниже нуля. В настоящее время для изготовления резервуаров начали выпускать сталь спокойную, раскисленную не только кремнием, но и титаном, алюминием. Эта сталь имеет гарантированную ударную вязкость при температуре —40° С.

Сварку узлов в зимних условиях разрешается производить при температуре воздуха не ниже —20° С. Для уменьшения опасности при эксплуатации наружных резервуаров в зоне холодного кли-

мата целесообразно устанавливать уменьшенный против нормы уровень взлива, реже производить операции по сливу и наливу, а также утеплять наиболее напряженные узлы путем применения теплоизоляции, устройства предохранительных щитов. Эти узлы можно укрывать матами, засыпать землей и снегом. Допустимый уровень залива резервуара РВС-5000 при различных температурах виден из графиков на рис. 29.

Аппараты, работающие в условиях низких температур, надо особенно предохранять от воздействия динамических нагрузок, не допускать ударов и т. п.

* *
*

Из сказанного о повреждениях производственных аппаратов и трубопроводов в результате воздействия факторов механического характера видно, что все они взаимосвязаны и взаимообусловливают друг друга. Так, воздействие повышенной температуры может вызвать одновременно и появление температурных напряжений и изменение механических качеств материала стенок аппаратов и трубопроводов.

Б. Повреждения в результате химического износа материала аппаратов

§ 5. Виды коррозии и характер коррозийных разрушений

Под химическим износом понимают уменьшение толщины или прочности стенок аппаратов в результате химического взаимодействия материала с обрабатываемыми веществами или с внешней средой. Большинство металлов, а также некоторые прокладочные материалы сравнительно легко разрушаются при контакте с растворами кислот, щелочей, солей, а также с водой, кислородом воздуха и другими химическими веществами. Это явление в технике называют коррозией. Процессы коррозии очень разнообразны и широко распространены. Разрушающему действию коррозии подвержены в большей степени наиболее слабые места производственной аппаратуры — швы, разъемные соединения, прокладки, места изгибов и поворотов труб и т. п. Коррозирующими свойствами по отношению к данному материалу могут обладать сами обрабатываемые вещества или примеси, содержащиеся в них, а также воздух и находящиеся в нем примеси. Коррозия приносит большие убытки народному хозяйству страны и часто является причиной утечек, повреждений и даже аварий.

В практике имели место случаи сквозных проржавлений стенок аппаратов, магистральных и подводящих продуктопроводов.

Сущность протекающих химических процессов при коррозии металла не везде одинакова.

По характеру самого процесса коррозия может быть химической и электрохимической. При химической коррозии процесс разрушения металла не сопровождается возникновением электрического тока. Таково разрушение металлов в жидкостях, не проводящих электрический ток (диэлектриках), в сухих газах и парах при высокой температуре. При электрохимической коррозии про-

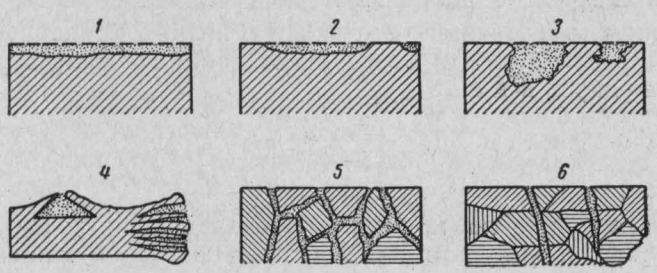


Рис. 30. Виды коррозийных разрушений металла:
1 — равномерная коррозия; *2* — коррозия пятнами; *3* — коррозия язвами; *4* — поверхностная коррозия; *5* — межкристаллитная коррозия; *6* — внутрикристаллитная коррозия.

цесс разрушения металлов сопровождается образованием электрического тока, т. е. переходом электронов от одних участков металла к другим. Часто химическая и электрохимическая коррозия происходит одновременно.

По внешнему виду коррозийные разрушения металла бывают весьма разнообразными. Основные их виды показаны на рис. 30.

§ 6. Химическая коррозия

Химическая коррозия имеет место в аппаратах с высокой температурой, а также при обработке безводных диэлектриков. Это чаще всего «газовая» коррозия, протекающая в среде с наличием кислорода, серы, водорода и других веществ.

При взаимодействии металла с газообразным кислородом получаются окислы металлов, например:

$$4Fe + 3O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3.$$

Окисел (ржавчина, окалина) не обладает механической прочностью и легко отслаивается от металла. Естественно, что скорость окисления повышается с увеличением температуры и количества кислорода, а также если кислород какое-то время находится в атомарном состоянии.

В нефтеперерабатывающей, коксобензольной, газовой отраслях промышленности, при производстве серы и сероуглерода имеет место коррозия элементарной серой с образованием сернистого железа. Сера может находиться в виде мельчайших частичек как примесь в основном продукте, но чаще всего сера получается в

результате окисления или термического разложения сернистых соединений и сероводорода. Температура разложения сероводорода равна 310° С. Следовательно, в аппаратах с температурой 310° С и выше (печи, колонны, реакторы и т. п.) происходит процесс диссоциации сероводорода с образованием элементарной серы и взаимодействие ее с металлом.

$H_2S \rightarrow H_2 + S$ (термическая диссоциация): $2H_2S + O_2 \rightarrow 2H_2O + 2S$ (окисление); $Fe + S \rightarrow FeS$ (коррозия).

При более низких температурах между сероводором и металлом происходят электрохимические процессы, о чем будет сказано ниже.

Сернистые соединения железа представляют собой пористое вещество, не обладающее большой механической прочностью и легко окисляющееся на воздухе с выделением значительного количества тепла, способного нагреть сульфиды до их самовоспламенения.

Наиболее распространенным способом борьбы с этим видом коррозии является очистка обрабатываемых веществ от серы и сернистых соединений. Очистка может быть химическая (обработка серной кислотой и щелочью) и электрическая на электрообессоливающих установках (ЭЛОУ). Отсутствие или недоброкачественность очистки приводит к сильному износу стенок из обычной стали.

Так, на одном из нефтеперерабатывающих заводов при недостаточной очистке высокосернистой нефти толщина стенки ректификационной колонны из стали *3*, работающей при температуре 340° С, уменьшилась за 12 месяцев эксплуатации с 22 до 11,5 *мм*.

На другой нефтеперерабатывающий завод, не имеющий обессоливающих установок, поступила высокосернистая нефть. Однако графики планово-предупредительных ремонтов и мероприятия по защите оборудования разработаны не были. В результате за первые же 3 месяца переработки сернистой нефти на заводе произошло 16 различных повреждений, причем некоторые из них сопровождались загоранием.

При производстве аммиака, процессах гидрогенизации возникает так называемая водородная коррозия, которая особенно сильно проявляется при высоких давлениях и высоких температурах. Водородная коррозия относится к виду межкристаллитных. Установлен следующий механизм разрушения металла водородом.

При повышенных давлениях и температуре происходит диффузия водорода в толщу металла по границам структурных зерен. При этом происходит частичное растворение водорода в металле. При растворении водорода металл делается хрупким, падает его сопротивляемость удару и изгибу.

Водород, растворяясь в металле, вступает с ним в химическое соединение. С водородом взаимодействуют главным образом цементит Fe_3C стали, в результате чего происходит обезуглероживание (декарбонизация) ее. Реакция протекает так:

$$Fe_3C + 2H_2 \rightarrow CH_4 + 3Fe.$$

Этот процесс сопровождается разрушением структуры зерна и образованием мелких трещин, расположенных на поверхности по границам зерен. Процесс образования трещин объясняется также не только обезуглероживанием, но и тем, что удельный объем железа (0,1272) меньше удельного объема цементита (0,1351) и, следовательно, при распаде цементита уменьшается как весовое количество (углерод переходит в газовую фазу CH_4), так и объем вещества.

Последнее приводит к тому, что процесс обезуглероживания, начавшийся с поверхности, вызывает появление трещин, идущих внутрь. В трещины проникает молекулярный водород, вызывающий ускорение процесса.

На рис. 31 показано изменение механических свойств стенки колонны синтеза аммиака, выполненной из углеродистой стали (C=0,25%), находящейся под давлением водорода в 300 *атм* при температуре 600° С.

Из приведенных графиков видно, что механические качества металла, особенно с внутренней стороны стенки, при этих условиях резко снижаются.

Отрицательное влияние водорода возможно и при небольших давлениях, но при высокой температуре.

Уменьшить вредное действие водорода на сталь можно путем введения добавок хрома, вольфрама, молибдена, ваннадия, а также высококачественной механической обработкой поверхности (шлифовка).

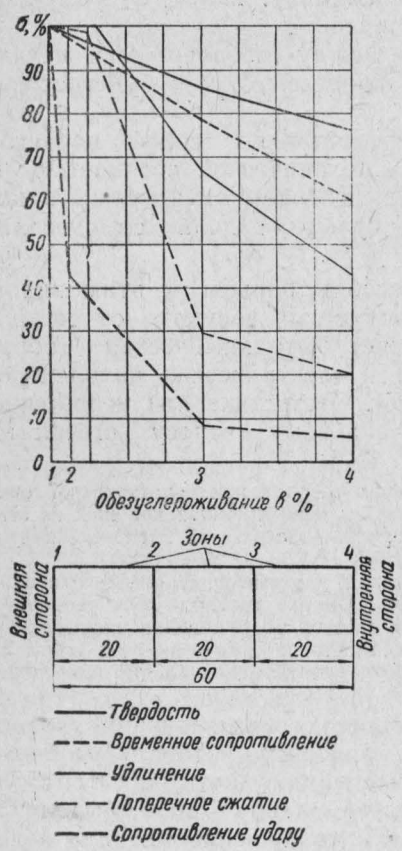


Рис. 31. Изменение механических качеств стали под воздействием водорода.

Исследования показали, что вообще при явлении газовой коррозии железоуглеродистых сталей наблюдается их обезуглероживание.

При действии на сталь газов, содержащих окислители, а также водород и его соединения, происходит реакция между углеродом и этими газами с образованием твердых продуктов коррозии и газообразных продуктов.

§ 7. Электрохимическая коррозия

Электрохимическая коррозия представляет собой процесс разрушения металлов в электролитах. Этот вид коррозии наиболее часто встречается в практике эксплуатации аппаратов и трубопроводов.

К электрохимической коррозии относятся:

атмосферная коррозия, т. е. коррозия, протекающая в воздухе, имеющем определенную влажность и примеси агрессивных паров и газов;

водяная коррозия, т. е. коррозия, протекающая в различных водных растворах;

коррозия в концентрированных растворах, т. е. коррозия, протекающая в растворах различных химических реагентов: кислот, щелочей, солей и т. п.;

почвенная коррозия, т. е. коррозия аппаратов, находящихся в почве различного характера.

Явление электрохимической коррозии в принципе представляет собой работу гальванического элемента. Если в раствор кислоты погрузить цинковую и медную пластины и замкнуть их, то в цепи возникнет электрический ток. В процессе работы такого элемента с цинковой пластинки в раствор непрерывно переходят ионы цинка; цинковая пластинка растворяется, заряжаясь отрицательно, а пластинка меди окажется неизменной, она будет служить местом, где нейтрализуются катионы, т. е. положительно заряженные ионы раствора (ионы водорода). Любой металл не является однородным, сам металл и различные включения в нем будут играть роль электродов. При этом одни участки металла будут анодными, а другие—катодными. Металл на анодных участках будет растворяться, а на катодных участках будет выделяться водород. Процесс образования таких гальванических элементов можно увидеть на рис. 32. Если неоднородный металл (например, железо + включения) поместить в электролит (например, раствор соляной кислоты), то ионы более растворимого металла будут уходить в раствор. В этом месте стенка будет разрушаться, так как поверхность ее будет анодной. Отрицательные ионы электролита (в данном случае ионы хлора) начнут перемещаться в направлении выделяющихся положительно заряженных ионов металла и, соединяясь с ними, образуют хлористую соль металла. В то же время положительно заряженные частицы электролита (водород) будут перемещаться к участкам стенки, заряженным отрицательно, и, нейтрализуясь, образуют молекулу водорода.

Таким образом, получается два потока частиц. Внутри металла имеет место поток электронов от участков, отрицательно заряженных, к участкам, положительно заряженным. Внутри жидкости имеют место потоки отрицательных ионов электролита (хлора) к местам выделения ионов металла и потоки положи-

тельных ионов электролита (водорода) к отрицательно заряженным участкам металла.

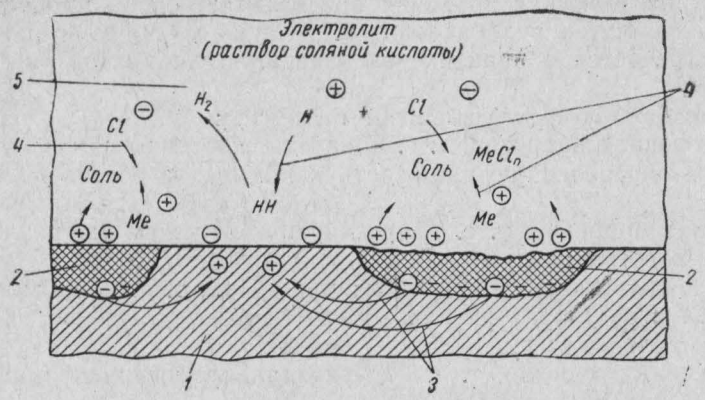


Рис. 32. Схема электрохимической коррозии:

1 — металл, более стойкий к коррозии; *2* — металл, менее стойкий, образующий в электролите анодные участки; *3* — поток электронов внутри металла; *4* — поток ионов в электролите; *5* — нейтральные молекулы водорода.

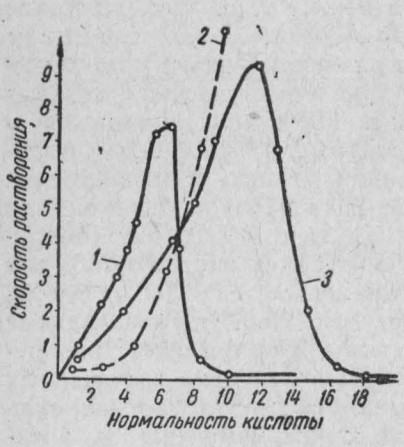


Рис. 33. Зависимость растворения стали от концентрации кислот:

1 — азотная кислота; *2* — соляная кислота; *3* — серная кислота.

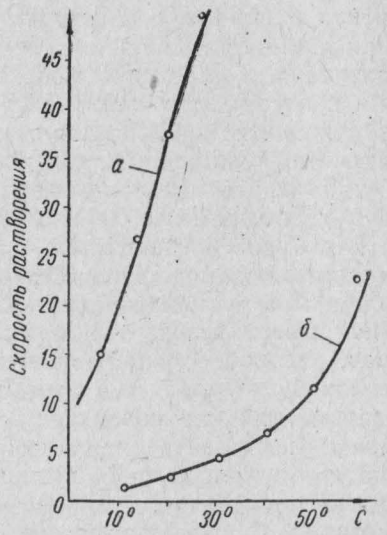


Рис. 34. Растворение стали в кислотах в зависимости от температуры:

а — в чистой кислоте; *б* — в кислоте, содержащей 0,8% ингибитора ПБ.

Растворение металла в электролите можно рассматривать как результат работы большого количества микроскопических гальванических элементов. По современным взглядам на электрохими-

ческую коррозию возникновение коррозийных участков на поверхности металла вызывается не только неоднородностью металла, но и многими другими причинами: неоднородностью деформаций и внутренних напряжений в металле, неоднородностью концентрации жидкой фазы, физических условий и т. д.

Скорость электрохимической коррозии зависит от характера металла, концентрации электролита, температуры, условий деполяризации (интенсивности отвода или окисления выделяющегося водорода) и др. Зависимость скорости растворения стали от концентрации различных кислот и от величины температуры показана на рис. 33 и 34. Из приведенных графиков видно, что скорость растворения металла в соляной кислоте увеличивается с увеличением ее концентрации, а в серной и азотной кислотах сначала наблюдается рост, а затем резкое падение скорости растворения. С повышением температуры скорость растворения увеличивается.

§ 8. Способы защиты от коррозии

Борьба с вредным влиянием коррозии может осуществляться следующими способами:

а) применение коррозийно-устойчивых металлов. В химической, нефтеперерабатывающей, газовой и других отраслях промышленности часто применяются вещества с высокой коррозийной активностью, а самые процессы ведутся при повышенной температуре и давлении. Поэтому важнейшие аппараты коммуникации и арматура обычно изготовляются из легированных сталей. Но во многих случаях характер среды позволяет применять обычные металлы. Следовательно, выбор материала должен производиться с учетом химической активности обрабатываемых веществ и окружающей среды. Так, обычная сталь практически вполне устойчива против серной кислоты крепостью 65% и выше, фтористо-водородной кислоты, едкого натра и соответствующих солей; нержавеющие стали вполне устойчивы против азотной кислоты, серной кислоты при комнатной температуре и разбавленных растворов соляной кислоты; медь устойчива к растворам солей и щелочей; свинец устойчив против серной, плавиковой и фосфорной кислот, почвенной коррозии; алюминий устойчив в концентрированных азотной, серной кислотах, в растворах солей (сульфатах, хромовых солях) и т. п.;

б) применение неметаллических химически стойких материалов. Неметаллические материалы обладают высокой коррозийной устойчивостью, часто превышающей устойчивость металлов, и поэтому они находят все более широкое применение. В химическом аппаратостроении довольно часто используют такие неорганические материалы, как естественные каменные породы (гранит, базальт), а также искусственно получаемые (фарфор, стекло, керамика, цементы и т. п.). Не менее

часто, особенно в последнее время, применяются органические материалы — пластические массы: фенол-формальдегидные, полихлорвиниловые, полистирольные, резина, эбонит, капрон и др. Неметаллические материалы применяют для изготовления корпусов аппаратов, труб, насосов, отдельных узлов и деталей. Весьма широко неметаллические материалы применяются в качестве прокладочных и сальниковых материалов;

в) защитные покрытия. Наиболее широко для защиты от коррозии применяется метод защитных покрытий.

Покрытие поверхностей масляными и нитро-красками, лаками, глифталевыми и полихлорвиниловыми красками применяют для защиты от атмосферных воздействий, а также от воздействия нефтепродуктов, щелочей, органических растворителей, газов и т. п.

Для защиты от почвенной коррозии сооружения и трубопроводы покрывают битумно-пековыми обмазками толщиной 3—4 *мм*.

Очень часто применяют защиту поверхностей от коррозии путем нанесения тонких металлических пленок, т. е. путем никелирования, лужения, хромирования, оксидирования и т. п.

Защита поверхности осуществляется также при помощи футеровки. Футеровка поверхности может производиться керамическими плитками на специальной мастике, керамической массой, свинцом гомогенным и рольным, листами алюминия, пластическими материалами, резиной и эбонитом. В отдельных случаях для защиты поверхности применяются цементные композиции (кислотоупорный, водонепроницаемый цемент и т. п.). Основной недостаток защиты методом футеровки заключается в наличии швов, стыков и мест креплений, которые наиболее часто повреждаются. Образованию трещин, повреждений и отслаиванию способствуют температурные деформации.

Гораздо более эффективной оказывается толстослойная монолитная защита. Наибольшее значение для химических производств имеет двухслойная стенка: обычно наружный цилиндр является основной несущей конструкцией, а внутренний цилиндр из легированной стали является защитным слоем;

г) уменьшение коррозийной активности среды осуществляют путем очистки обрабатываемых веществ от коррозирующих примесей, а также введением в электролиты замедлителей коррозии, так называемых ингибиторов.

Очистка от коррозирующих примесей осуществляется обычно химическим путем, а также абсорбционными и адсорбционными способами. Для этого требуются специальные установки и значительное количество энергии. С экономической стороны выгоднее применять замедлители коррозии. Ингибиторы или присадки уменьшают скорость процесса, действуя не на электролит, а на поверхность металла. Исходя из электрохимической теории коррозии, действие ингибиторов можно объяснить уменьшением электродных участков на поверхности металла. Предельное содержа-

ние ингибитора в электролите обычно колеблется в пределах от 0,01 до 1%. Дальнейшие изыскания новых замедлителей могут значительно расширить область их применения в химической промышленности. Уменьшения коррозийной способности почвы можно добиться путем снижения ее проводимости, т. е. осушкой, засыпкой мест установки аппаратов и прокладки трубопроводов битуминозными землями (например, гумбрином) и т. п.;

д) катодная защита металлов. Недостатки рассмотренных выше способов защиты, особенно для аппаратов, работающих в условиях почвенной и водной коррозии привели к разработке принципиально новых методов защиты. Одним из них является катодная защита, которая заключается в том, что при помощи источника постоянного тока вся защищаемая поверхность сооружения или трубопровода делается катодной, а в качестве анода этой электрической цепи применяют специальное заземление. Принципиальная схема катодной защиты показана на рис. 35.

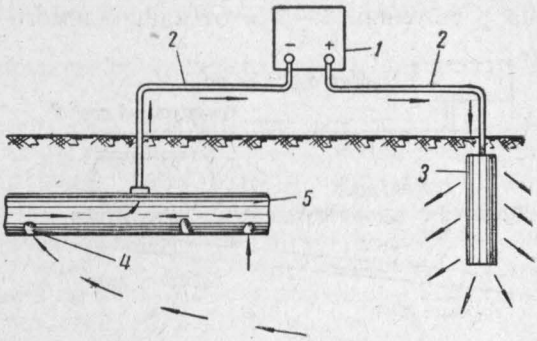


Рис. 35. Схема катодной защиты:

1 — источник тока; *2* — провод; *3* — анодное заземление; *4* — изолирующее покрытие; *5* — защищаемое сооружение (труба).

Постоянный ток от положительного полюса источника тока *1* (пункт защиты) по проводу *2* поступает на анодное заземление *3*, от которого переходит в почву. Из почвы ток попадает через дефектные места изолирующего покрытия *4* на защищаемую трубу *5* и возвращается в пункт защиты *1*. Таким образом, вся поверхность металлического подземного сооружения делается катодной и предохраняется от коррозийного разрушения. Активному разрушению подвергается анодное заземление, которое обычно выполняется из металлического лома (старых труб, рельсов и т. п.). Для питания установки катодной защиты может быть использован любой источник постоянного тока. Напряжение источника тока обычно берется в пределах 6—12 *в*, а плотность защитного тока — в пределах от 2 до 2 *ома* на 1 $м^2$ защищаемой поверхности. При хорошей битумной изоляции поверхности защищаемого участка одна катодная установка может защищать трубопровод протяженностью от 10 до 20 *км* или 5—10 резервуаров емкостью от 5 до 10 тыс. $м^3$. Благодаря высокой эффективности, экономичности и простоте катодная защита находит все большее и большее применение. В настоящее время в СССР запрещено вводить в эксплуатацию магистральные газо-

проводы и нефтепроводы без электрозащиты на особо опасных участках;

е) протекторная защита металлов. Катодная защита требует постоянного расхода электроэнергии. От этого недостатка свободна система катодной защиты с автономными анодами, или, как ее называют, протекторная защита. При протекторной защите полностью сохраняется принцип катодной защиты, но зато отсутствует внешний источник электрического тока. Ток, необходимый для защиты, получается в результате создания искусственных гальванопар, у которых катодом является защищаемый металл, а анодом специальный металл (цинк, магний, алюминий). Металлы, применяемые в качестве анодов, должны быть очень чистыми, так как даже незначительное количество примесей резко снижает их защитное действие. Автономные аноды размещаются на расстоянии 1—5 *м* от защищаемого объекта. Количество анодов зависит от состояния электролита и формы защищаемого объекта. Каждый анод электрически соединяют (проводником) с защищаемым объектом. Обычно аноды располагают на расстоянии примерно 20 *м* друг от друга. Протекторную защиту имеют многие магистральные газопроводы;

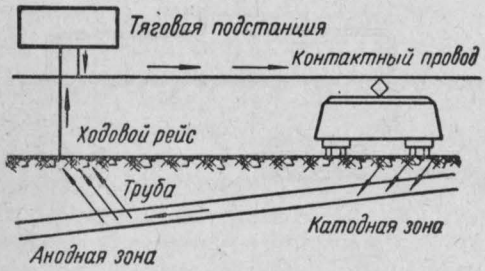


Рис. 36. Схема коррозии блуждающими токами.

ж) защита сооружений от блуждающих токов. Кроме электрохимической почвенной коррозии, в некоторых случаях имеет место коррозия производственного оборудования блуждающими токами. Блуждающие токи появляются в результате неправильной прокладки рельсов электрических железных дорог и трамвайных путей, неправильной установки аккумуляторных батарей, неисправности силовых и осветительных кабелей. На рис. 36 приведена схема коррозии блуждающими токами подземного трубопровода.

Как видно из рисунка, при этом образуются две зоны: катодная и анодная. Коррозия блуждающими токами имеет место на анодном участке, т. е. в местах выхода тока из трубы в почву. Скорость коррозии будет пропорциональна плотности тока, стекающего с поверхности в почву. В среднем ток силой в 1 *а* может растворить в течение года до 7 *кг* металла. В катодной зоне, т. е. в местах входа электрического тока из почвы в металл, может возникнуть явление электроэррозии. Под электроэррозией понимают процесс отрыва частичек металла электрическими искрами аналогично электроискровой обработке металла.

Основными методами борьбы с вредным действием блуждаю-

щих токов являются: уменьшение величины блуждающего тока путем улучшения изоляции токонесущих проводников (рельсов, кабелей и т. п.) и улучшение электроизоляции подземных сооружений. Но это не всегда может быть выполнимо. Эффективным способом борьбы с вредным действием блуждающих токов является устройство электрического дренажа. Электрический дренаж (отвод токов) осуществляется путем прокладки специального проводника, соединенного с возможным источником блуждающего тока. При этом все защищаемое сооружение окажется катодным и растворение металла происходить не будет, так как отсутствует утечка электрического тока из сооружения в землю.

Катодная, протекторная и электродренажная защита могут быть эффективными только тогда, когда за ними будет установлено систематическое наблюдение и будут производиться замеры сопротивлений и потенциалов в установленных точках и в установленные сроки.

Результаты и время испытаний записываются в специальный журнал;

з) защита поверхностей от коррозии путем обработки их ультразвуками. Большое значение для защиты металлов от коррозии имеет разрабатываемый в настоящее время ультразвуковой способ обработки поверхности. Ультразвуковые колебания, передаваемые от специального генератора высокой частоты к поверхности, полностью удаляют имеющиеся на ней продукты коррозии и делают металл более устойчивым. Сущность данного метода заключается, видимо, в более плотном и однородном расположении молекул на поверхности металла. При этом образуется значительно меньшее количество анодных участков, и коррозия уменьшается.

* *
*

В заключение следует отметить большое значение систематического контроля за состоянием аппаратов (внешний осмотр, регулярная проверка их прочности и плотности).

Каждый аппарат, работающий под давлением выше 0,7 *ати*, может быть включен в работу только после получения соответствующего разрешения от местной инспекции Госгортехнадзора[1] или от специально выделенного администрацией объекта лица. Все аппараты подвергаются техническим освидетельствованиям до пуска их в работу и периодически — в процессе эксплуатации и обязательно после ремонта. Техническое освидетельствование состоит из следующих операций:

наружного осмотра представителем Госгортехнадзора (не реже одного раза в год без остановки аппаратов и без предупреждения администрации предприятия о времени осмотра);

---

[1] Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Госгортехиздат, 1961.

внутреннего осмотра (ежегодно владельцами аппаратов и не реже одного раза в 4 года представителем Госгортехнадзора) и гидравлического испытания, которое проводится не реже одного раза в 8 лет. При этом преследуется цель выявления прочности и плотности соединений и корпуса сосуда.

Величина испытательного давления принимается на 25—50% больше рабочего давления.

Под пробным давлением сосуд выдерживается 5 мин., затем давление снижают до рабочего, при котором осматривают и остукивают сварные швы молотком весом от 0,5 до 1,5 *кг*.

В некоторых случаях гидравлическое испытание заменяют пневматическим на такое же давление, хотя оно значительно опаснее по возможным последствиям при разрыве аппарата.

При появлении признаков разрыва, слезок, потения или пропуска газа в сварных швах или стенках аппарат признают не выдержавшим испытания.

Места утечек выявляют путем промазки швов и соединений мыльным раствором. Применяют и более совершенный способ: к воздуху, нагнетаемому в систему аппаратов или трубопроводов, добавляется небольшое количество аммиака (до 5%). Наличие неплотностей определяется поднесением к швам и соединениям тряпки, пропитанной слабым раствором соляной кислоты или фенолфталеина. В местах утечки при этом образуется хорошо заметное белое облачко.

Пожарному специалисту в своей практической работе необходимо поддерживать тесную связь с местными органами Госгортехнадзора и при необходимости использовать их материалы.

Необходимо строго следить за выполнением установленных сроков планово-предупредительных и капитальных ремонтов. Хорошо и своевременно произведенный ремонт является профилактическим средством для предупреждения аварий и пожаров.

Для качественного ремонта большое значение имеют данные о состоянии оборудования. Такие данные накапливаются в результате наблюдения за аппаратами в процессе их работы и в результате тщательного обследования при остановке. При этом особое внимание обращают на наиболее опасные места. Проверка состояния стенок зачастую сопровождается контрольными замерами степени износа материала. Все замеченные ранее, а также выявленные в процессе осмотра недостатки заносятся в дефектную ведомость и подлежат исправлению.

Сроки планово-предупредительных ремонтов зависят от рода установки и характера перерабатываемого сырья.

В процессе эксплуатации необходимо вести учет не только случаев пожаров и загораний, но и всех нарушений правил и требований пожарной безопасности, а также правил технической эксплуатации, даже если они в данном случае не вызвали накаких последствий. Анализ причин нарушений дает возможность вести целенаправленную профилактическую работу, помогает шире во-

влекать инженерно-технический персонал, рабочих, рационализаторов и изобретателей в дело улучшения противопожарного состояния объекта.

Глава IV. НЕКОТОРЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КАТЕГОРИИ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

При определении пожарной опасности производственного помещения следует учитывать как вероятность возникновения пожара, так и те последствия, которые он может вызвать.

Под вероятностью возникновения пожара обычно понимают возможность образования горючих концентраций паров или газов и появления в этот момент источника воспламенения, контакт между которыми может вызвать горение.

Возможность образования горючих и взрывоопасных концентраций зависит главным образом от пожароопасных свойств обрабатываемых веществ и состояния производственных аппаратов. Большое значение для оценки пожарной опасности производственного помещения имеет также выяснение вопроса о том, в какой части объема помещения может образоваться взрывоопасная концентрация и в течение какого промежутка времени это явление может наступить.

Под последствиями, которые может вызвать пожар, понимают возможность уничтожения огнем хранимых и обрабатываемых веществ, производственного оборудования, конструктивных элементов здания, а также снижение производительности предприятия в целом.

Противопожарные нормы строительного проектирвания промышленных предприятий и населенных мест (Н 102—54) в основу классификации производств по пожарной опасности берут вероятность возникновения пожара, т. е. величину температуры вспышки для жидкостей и величину нижнего предела взрыва для газов (подразумевается, что при наличии огнеопасных концентраций источник воспламенения всегда может появиться). Чем ниже температура вспышки жидкости и чем меньше величина нижнего предела взрыва, тем опаснее производственное помещение по возможности возникновения пожара.

Эти же нормы, а также правила устройства электротехнических установок учитывают, в какой части объема помещения могут образоваться опасные концентрации (местные или общеобъемные). Однако действующие нормы при классификации производств по пожарной опасности не учитывают того промежутка времени, в течение которого во всем объеме помещения или в его отдельной части может образоваться опасная концентрация паров или газов.

Этот промежуток времени можно определить по формуле:

$$\tau = \frac{V \cdot C_{нпв}}{G},$$

где: τ — время, сек.;

$C_{нпв}$ — концентрация НПВ, *г/м*³ или $\frac{\%\ (\text{объемных})}{100}$;

G — количество паров или газов, выделяющихся при аварии в воздух помещения, *г/сек* или *м*³/*сек* (см. стр. 40—42);

V — объем производственного помещения, *м*³.

Пример. Необходимо определить, в течение какого времени может образоваться взрывоопасная концентрация в помещении компрессорной станции объемом 4200 *м*³, если произошла авария трубопровода с этиленом. Диаметр трубопровода 200 *мм*, давление этилена 40 *кГ/см*², температура газа 40° С. Нижний предел взрыва этилена в смеси с воздухом 3,1% (объем) или 40 *г/м*³.

Решение. Определим скорость истечения газа из трубы W.

Так как $\frac{P_o}{P_{раб}} = \frac{1.0}{40} < \nu_{кр} = 0{,}528$ (для многоатомных газов), то:

$$W = 3{,}34\sqrt{R \cdot T_{раб}} = 3{,}34\sqrt{\frac{848}{M} \cdot T_{раб}} =$$

$$= 3{,}34\sqrt{\frac{848}{28}(273 + 40)} \approx 324\ м/сек.$$

Количество поступающего этилена в помещение в 1 сек. будет равно:

$$G = W \cdot F = 324\,\frac{3{,}14 \cdot 0{,}2^2}{4} \approx 10{,}2\ м^3/сек.$$

Тогда время, в течение которого концентрация может достичь взрывоопасного предела, будет равно:

$$\tau = \frac{V \cdot C_{нпв}}{G} = \frac{4200 \cdot 3{,}1 \cdot 10^{-2}}{10{,}2} = 12{,}75\ сек.$$

Из имевших место случаев и приведенного расчета видно, что при авариях аппаратов с газами время нарастания концентрации до опасных пределов может исчисляться секундами и даже долями секунд, а при изливе жидкостей минутами и даже часами.

В соответствии с требованиями § 10 Н 102—54 производственные помещения промышленных предприятий с наличием огнеопасных жидкостей, газов и пылей относят к категориям А, Б или В в зависимости от величины температуры вспышки жидкости или нижнего предела взрываемости. Установление категории пожарной опасности производственных помещений по Н 102—54 не вызывает затруднений, за исключением тех случаев, когда устанавливается категория пожарной опасности для помещений:

с разнородными по пожарной опасности технологическими процессами;

с небольшим количеством огнеопасных веществ;

с наличием автоматики и аварийных систем вентиляции.

Для помещений с разнородными по пожарной опасности технологическими процессами категория опасности устанавливается по наиболее пожароопасному процессу. Исключение из этого правила может быть допущено только в том случае, если площадь или объем помещения, занятого технологическим процессом с наиболее высокой пожарной опасностью, незначительна по сравнению с остальной площадью или объемом этого помещения и если будут осуществлены специальные мероприятия, устраняющие возможности образования местной взрывоопасной концентрации или распространения пожара за пределы участка, имеющего повышенную пожарную опасность. Такими специальными мероприятиями можно считать устройство местной вытяжной вентиляции, изоляцию опасных участков перегородками, устройство камер и т. п.

Площадь или объем помещения, где размещается оборудование технологических процессов с наиболее высокой пожарной опасностью, считаются незначительными, если они не превышают 5% площади или объема помещения с менее пожароопасными процессами производства.

Категория опасности помещений с небольшим количеством огнеопасных веществ определяется по аналогии с рассмотренным выше случаем.

Нормы указывают, что к взрывоопасным помещениям категории А или Б могут быть отнесены только такие, в которых находятся огнеопасные вещества в количестве, достаточном для образования с воздухом взрывоопасных смесей. Причем не уточнено, следует ли брать весь объем помещения или только часть его. В каждом случае следует подходить к решению этого вопроса с учетом конкретных условий производства.

Очень часто производственные помещения оборудуются системами приточной или вытяжной вентиляции, иногда даже с местными отсосами от точек постоянного выделения вредных веществ. Мощность вентиляционных установок рассчитывается на удаление вредных веществ при нормально-эксплуатационном состоянии аппаратов. При аварийных случаях с аппаратами или с самой вентиляционной системой количество вредных веществ в воздухе помещения будет возрастать. Следовательно, наличие обычных систем приточно-вытяжной вентиляции не дает оснований снижать категорию опасности производственного помещения.

Вместе с тем нельзя не учитывать наличия аварийной вентиляции, автоматических средств локализации аварий, автоматического извещения о повышении концентрации паров и газов в воздухе помещения. В этом случае есть основание снизить категорию опасности помещения. Во всех остальных случаях категория опасности производственного помещения определяется обычными методами.

РАЗДЕЛ II

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ

Источники воспламенения, встречающиеся в производственных условиях, весьма разнообразны как по природе своего появления, так и по запасу тепловой энергии.

В некоторых случаях причиной воспламенения горючих веществ служат источники тепла, необходимые для проведения технологического процесса, — огневые печи, реакторы огневого действия, приборы отопления, электро- и газосварочные посты, двигатели внутреннего сгорания и т. д. Определить наличие указанных источников воспламенения нетрудно. Значительно сложнее выявить возможность внезапного появления таких источников воспламенения, наличие которых не вызывается нормальным функционированием производства. Большинство таких источников воспламенения образуется в результате грубого нарушения противопожарного режима обслуживающим персоналом, слабого знания пожароопасных свойств обрабатываемых веществ или от неисправностей производственной аппаратуры.

Для упрощения анализа все источники воспламенения можно разбить по природе их появления на следующие группы: тепловое проявление химических реакций, тепловое проявление электрической энергии, тепловое проявление механической энергии.

Глава V. ТЕПЛОВОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

К этой группе источников воспламенения относятся все химические реакции, протекающие с выделением тепла в количестве, достаточном для нагрева участвующих в реакции веществ или соприкасающихся с ними горючих материалов до температуры самовоспламенения.

Наиболее распространенными источниками воспламенения этой группы являются: открытый огонь, раскаленные продукты горения, искры и экзотермические реакции химических веществ.

§ 1. Открытый огонь

Пожары от открытого огня происходят весьма часто, так как температура источников открытого огня и запас тепловой энергии достаточны для воспламенения почти всех горючих веществ. В условиях производства такими источниками воспламенения могут быть печи огневого действия, огневые реакторы, резаки, горелки и паяльные лампы при производстве ремонтных работ, курение, факелы для отогрева труб или освещения, сжигание отходов.

Не останавливаясь на характеристике всех этих достаточно хорошо известных источников воспламенения, укажем лишь на некоторые специфичные требования пожарной безопасности.

Печи и реакторы огневого действия располагают обычно изолированно от помещений с пожаро- и взрывоопасными процессами. При размещении аппаратов огневого действия на открытых площадках соблюдают противопожарные разрывы, величина которых зависит от характера и режима работы смежных аппаратов и сооружений. Так, на предприятиях химической промышленности расстояние от огневых аппаратов до технологического оборудования с внутренним давлением до 0,7 от 0,7 до 6 и свыше 6 *ати* должно быть соответственно не менее 10, 15 и 20 *м*, а от печей до зданий технологического назначения—8 *м* при глухой стене и 10 *м* при наличии проемов в ней. Огонь форсунок и раскаленная кладка печей и топок могут воспламенить пары и газы, выходящие наружу при авариях соседних с ними аппаратов. Для некоторой изоляции печей с открытым огневым обогревом от газовоздушных смесей, образующихся при авариях соседних установок, устраивают наружное кольцо из дырчатых труб для создания вокруг них паровой завесы, как показано на рис. 37. Вместо факелов для разжига форсунок и горелок применяют электрические или газовые запальники. Один из применяющихся электрических запальников показан на рис. 38. В процессе эксплуатации печей следят за состоянием кладки, соблюдением установленного режима обогрева, не допускают загрязнения площадки перед форсунками.

Ремонтные работы, связанные с применением открытого огня, следует производить, строго соблюдая установленные инструкциями правила. Места производства огнеопасных работ обеспечивают средствами пожаротушения, а в отдельных случаях выставляют пожарный пост.

Для постоянных огневых работ в цехах и на территории объекта отводят наиболее безопасные в пожарном отношении участки.

Запрещение курения в цехах и на территории объектов может дать положительный эффект только в том случае, если будут отведены специально оборудованные для курения места. Периодическое сжигание производственных отходов осуществляют на площадках вне территории объекта.

Постоянное сжигание отходов производят в специально предназначенных для этого печах, а газы—в заводских факельных ус-

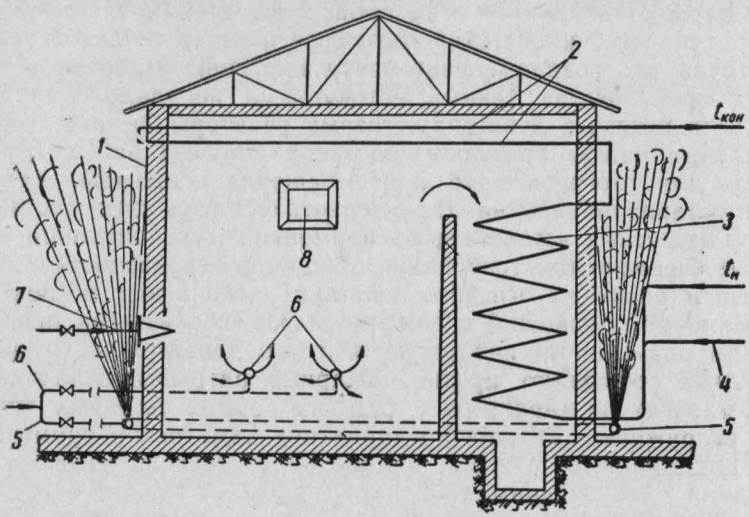


Рис. 37. Схема трубчатой печи пиролиза газа с паропроводами для создания паровой завесы:

1 — корпус печи; *2* — радиантные трубы; *3* — конвекционные трубы; *4* — труба для подачи водяного пара в змеевик против ококсования; *5* — система подачи водяного пара для создания завесы вокруг печи; *6* — система подачи водяного пара для целей паротушения; *7* — горелки печи; *8* — предохранительные шарнирно-откидные дверцы.

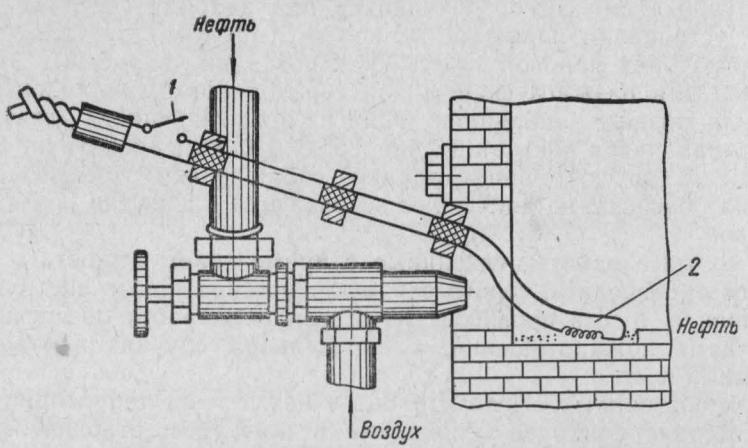


Рис. 38. Приспособление для электрозажигания форсунок и горелок печей:

1 — рубильник; *2* — электронагревательная спираль.

тановках. Территорию вокруг ствола факела в радиусе 50 *м* ограждают и обозначают предупредительными знаками. Высоту

вертикальной трубы факельной установки принимают равной не менее 25 *м*.

Площадки, а также места размещения печей и факелов для сжигания отходов производства выбирают с учетом направления господствующих ветров, располагая их с подветренной стороны.

§ 2. Газообразные продукты горения

При горении веществ в топках и двигателях внутреннего сгорания образуются раскаленные газообразные продукты. Температура продуктов горения весьма высокая; она достигает 600—1100 °С.

При наличии щелей в кладке топок, прогаров и неплотностей в выхлопных трубах продукты горения выходят наружу и, соприкасаясь с находящимися поблизости волокнистыми или твердыми материалами, воспламеняют их. Поэтому при эксплуатации печей наблюдают за состоянием кладки, у двигателей не допускают прогара выхлопных труб и прокладок во фланцевых соединениях, не допускают наличия вблизи нагретых поверхностей каких-либо горючих веществ. Топки нестационарных устройств (передвижные зерносушилки, локомобили и т. п.) укрепляют каркасом и защищают металлическим кожухом. Нередко продукты горения используют в качестве теплоносителя при сушке волокнистых (хлопок, лен, лубяные культуры) и сыпучих органических материалов (зерновые продукты, пластмассы), древесины .Перед подачей теплоносителя в сушильную камеру продукты горения разбавляют холодным воздухом до требуемой температуры в смесительных камерах.

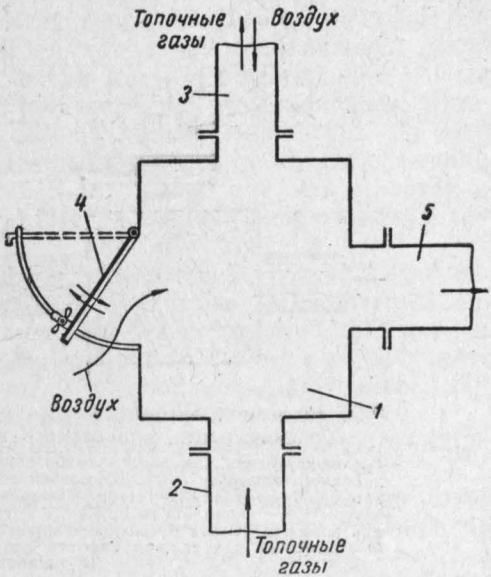


Рис. 39. Схема устройства для смешения продуктов горения и холодного воздуха:

1 — смесительная камера; *2* — труба для подачи горячих топочных газов; *3* — постоянно открытая труба; *4* — крышка отверстия для регулировки рабочей температуры теплоносителя; *5* — труба для подачи теплоносителя (готовой смеси) к вентилятору и затем в сушильную камеру.

Топочные газы поступают в смесительную камеру *1* (рис. 39)

по трубе *2*. Труба *3* постоянно открыта. При растопке через эту трубу дым выбрасывается наружу, а при работе сушилки через нее подсасывается постоянное количество холодного воздуха, позволяющего получить смесь газов с максимальной рабочей температурой. Для получения смеси с требуемой температурой холодный воздух подсасывается также через регулируемое отверстие с крышкой *4*. Готовая рабочая смесь подается в сушильную камеру по трубе *5*. При уменьшении или прекращении подачи холодного воздуха в смеситель, а также при отсутствии температурного контроля чрезмерно горячие продукты горения будут попадать в сушильную камеру и могут вызвать пожар.

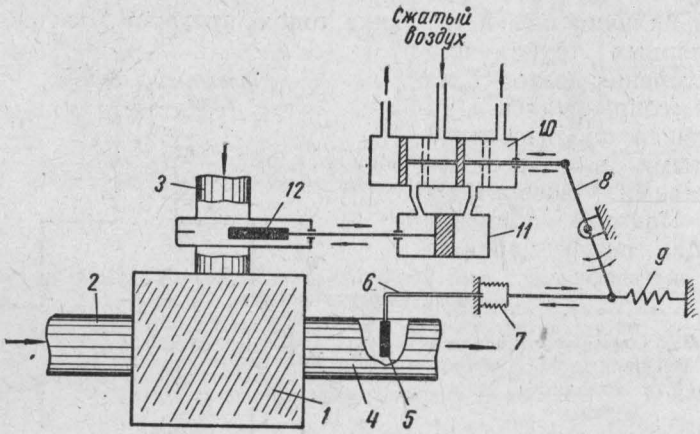


Рис. 40. Схема автоматического регулирования температуры теплоносителя, подаваемого в сушильную камеру:

1 — смесительная камера; *2* — труба горячих топочных газов; *3* — труба холодного воздуха; *4* — труба подачи готовой смеси (теплоносителя) в камеру; *5* — термобаллон (чувствительный элемент на изменение температуры); *6* — капиллярная трубка; *7* — сильфон; *8* — рычаг; *9*—пружина для возврата рычага влево при понижении температуры теплоносителя; *10* — золотник для подачи сжатого воздуха; *11* — цилиндр усилителя; *12* — шибер.

Во избежание этого в механизированных сушилках применяют системы автоматического контроля за температурой теплоносителя, подаваемого в сушильную камеру. При нарушении установленного температурного режима обслуживающий персонал предупреждается соответствующими сигналами.

На многих сушильных установках заданная температура теплоносителя регулируется автоматически, а при остановке вентилятора также автоматически перекрывается линия подачи газа в сушильную камеру и продукты горения выбрасываются наружу через открывающуюся или постоянно открытую растопочную трубу (см. рис. 39). Одна из схем автоматического регулирования температуры теплоносителя, подаваемого в сушильную камеру, показана на рис. 40.

Если имеется опасность попадания или соприкосновения горючих веществ с высоконагретыми поверхностями выхлопных труб двигателей, трубы изолируют или защищают продуваемыми кожухами. В местах прохождения дымовых и выхлопных труб через сгораемые конструкции устраивают противопожарные разделки.

§ 3. Искры при работе топок и двигателей

Искры представляют собой твердые раскаленные частички, образующиеся в результате процессов неполного сгорания или механического уноса топлива при работе топок и двигателей внутреннего сгорания.

Воспламеняющая способность искры зависит от ее температуры, теплосодержания и времени действия. Температура искр достаточно высокая (600—700° С и выше), т. е. больше температуры самовоспламенения почти всех горючих веществ, но запас тепловой энергии у искр небольшой, так как в подавляющем большинстве случаев их размеры очень малы. Существование искры как источника воспламенения определяется тем временем, в течение которого она остывает от начальной температуры до температуры самовоспламенения горючей среды, в которую попала искра. Это время не может быть большим, так как маленькая раскаленная частичка в полете быстро сгорает или, оседая, остывает.

Следовательно, искра способна воспламенить только вещества, достаточно подготовленные к горению и имеющие небольшой период индукции[1]. К таким веществам относятся газо- и паровоздушные смеси, особенно при концентрациях, близких к стехиометрическим[2], а также осевшая пыль и волокнистые материалы, попадая на которые искры легко вызывают очаги тления.

Основными причинами образования искр при работе топок являются:

а) большой механический унос топлива в результате конструктивных недостатков топки, применения не того сорта топлива, на которое печь рассчитана, усиленной шуровки и дутья;

б) неполное сгорание топлива в результате недостаточной подачи воздуха, чрезмерной подачи топлива, недостаточного распыления жидкого топлива;

в) нарушение сроков очистки топок и дымовых труб от сажи.

Основными причинами образования искр и нагара при работе дизельных и карбюраторных двигателей являются:

а) неправильная регулировка системы подачи топлива и электрозажигания (для карбюраторных);

б) загрязнение топлива смазочным маслом и минеральными примесями;

---

[1] Под периодом индукции условно понимают время с момента контакта искры с горючим веществом до его загорания.

[2] Стехиометрическими называют такие смеси, у которых количество горючего вещества и воздуха соответствует реакции полного горения.

в) длительная работа с перегрузкой двигателя;

г) нарушение сроков очистки выхлопной системы от нагара.

Чтобы избежать возникновения пожаров от искр при сжигании топлива, необходимо устранять причины, вызывающие искрообразование, а также улавливать и гасить те искры, которые все же образовались и могут быть выброшены наружу.

Устранение причин искрообразования обеспечивают поддержанием топок и двигателей в хорошем техническом состоянии, соблюдением установленных режимов сжигания топлива, использованием только предназначенного вида топлива, регулярной очисткой поверхности от сажи и нагара.

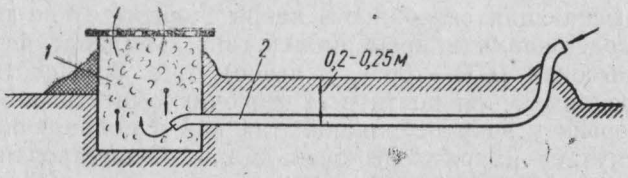


Рис. 41. Искроосадительная камера для выхлопной трубы нефтяных двигателей:

1 — искроосадительная камера; *2* — выхлопная труба двигателя.

Улавливание и гашение искр осуществляют путем установки на дымовых и выхлопных трубах искрогасителей и искроулавливателей.

В основу защитного действия применяемых в настоящее время искрогасителей и искроулавливателей положено использование механических сил, охлаждения и разбавления продуктов горения негорючими газами и сил электрического притяжения.

Наиболее распространенную группу представляют искроулавливатели с использованием механических сил, т. е. сил тяжести, инерции и центробежных сил.

Такими искроулавливателями оборудуют сушилки, работающие на смеси дымовых газов с воздухом; выхлопные трубы тракторов, комбайнов, автомобилей, паровозов; дымовые трубы вагранок, локомобилей, котельных и т. д.

Простейшим искрогасителем этой группы является искроосадительная камера, показанная на рис. 41.

При поступлении газов в камеру *1* из трубы *2* скорость движения их уменьшается, и под воздействием силы тяжести искры оседают. Такой искроулавливатель является громоздким и недостаточно эффективным. Поэтому в чистом виде искроосадительные камеры применяют редко, но принцип, положенный в основу их работы, используют во многих искрогасителях.

В искроулавливателях инерционного действия на пути движения газового потока устанавливают какие-либо отражательные устройства (в виде стенок, перегородок, козырьков, жалюзей и т. п.), заставляющие изменять направление движения потока.

При этом искры, двигаясь по инерции, ударяются о препятствия, дробятся, теряют скорость и догорают. На рис. 42 показана топка *1*, имеющая искроосадительную камеру *3* с перегородкой *4*. Наиболее эффективным является инерционный искроулавливатель жалюзийного типа, показанный на рис. 43. Благодаря многократным резким поворотам струи газа при ударе о жалюзи и суживающемуся сечению колец искроулавливателя улавливается до 90—95% всех искр.

В центробежных искроулавливателях поток газа совершает вращательное винтообразное движение, как показано на рис. 44. В результате развивающихся при этом центробежных сил искры отбрасываются к стенке, дробятся, истираются и догорают. Такие искроулавливатели называют циклонными. В стационарных установках широко применяют искроулавливатели циклонного типа. В передвижных установках нашли применение действующие на этом же принципе турбинно-вихревые искрогасители (рис. 45). Неподвижная турбинка турбинно-вихревых искрогасителей сообщает струе выхлопного газа вращательное движение, за счет чего возникают центробежные силы, отбрасывающие искры к стенкам корпуса, о который они истираются.

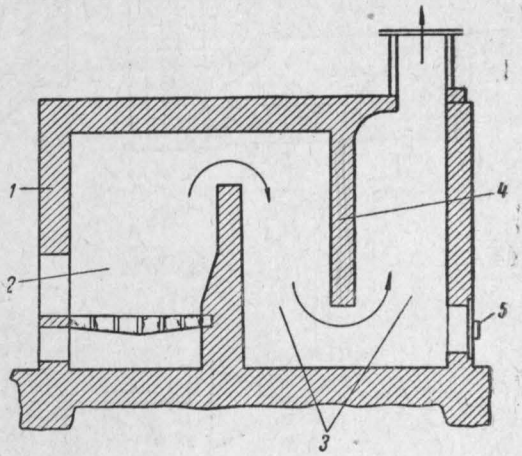


Рис. 42. Искроосадительная камера с перегородкой:

1 — корпус печи; *2* — топливник; *3* — искроосадительная камера; *4* — перегородка; *5* — дверца для очистки камеры.

В искрогасителях, работа которых основана на охлаждении искр, газовый поток вынужден проходить сквозь водяные завесы (рис. 46) или ударяться о водяную поверхность (рис. 47). При этом искры гаснут и остаются в воде. Такие искрогасители весьма эффективны. Применяются они на танкерах, вагранках, локомобилях, стационарно установленных двигателях и т. д. Вместо воды применяют иногда насыщенный или обводненный пар. В этом случае искры охлаждаются менее интенсивно, но свободный кислород в продуктах горения разбавляется паром, и тление искр прекращается.

Для улавливания искр из газового потока силами электрического притяжения применяют электрофильтры. Основными элементами электрофильтра *б* (рис. 48) являются коронирующие и осадительные электроды, к которым подводится постоянный ток

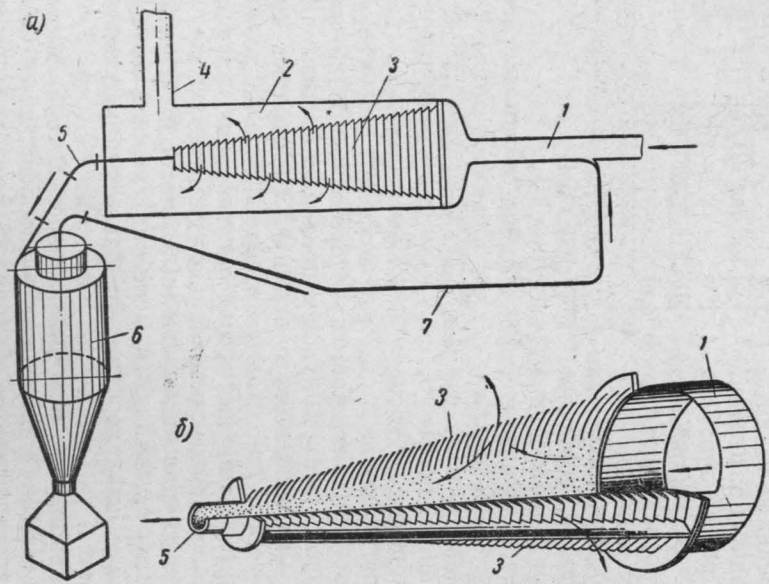


Рис. 43. Искроулавливатель жалюзийного типа:

а — схема включения искроулавливателя, *б* — рабочая камера (система конических колец); *1* — газопровод; *2* — жалюзийный искроулавливатель; *3* — конические кольца рабочей камеры; *4* — линия очищенных от искр газов; *5* — линия для подачи уловленных искр в циклон; *6* — циклон для очистки газа от крупных искр; *7* — возврат газа с мелкими искрами в жалюзийную камеру.

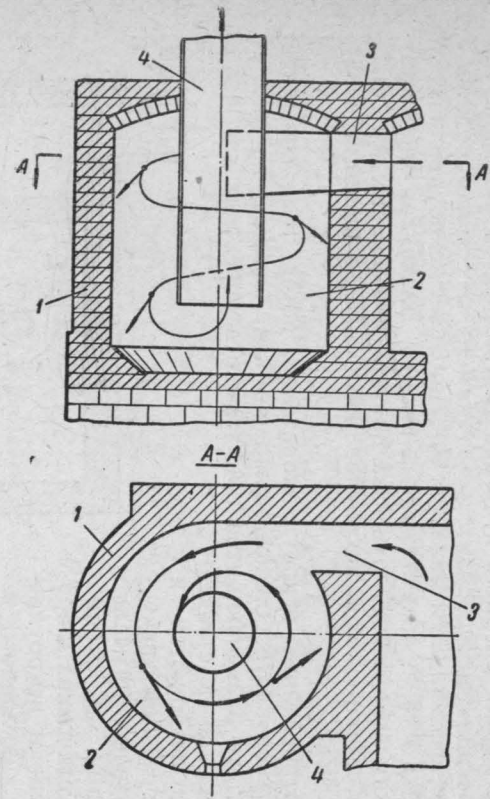


Рис. 44. Искроулавливатель циклонного типа:

1 — корпус; *2* — камера циклона; *3* — тангенциальный ввод из топливника в камеру циклона; *4* — центральная труба для отвода очищенных от искр газов.

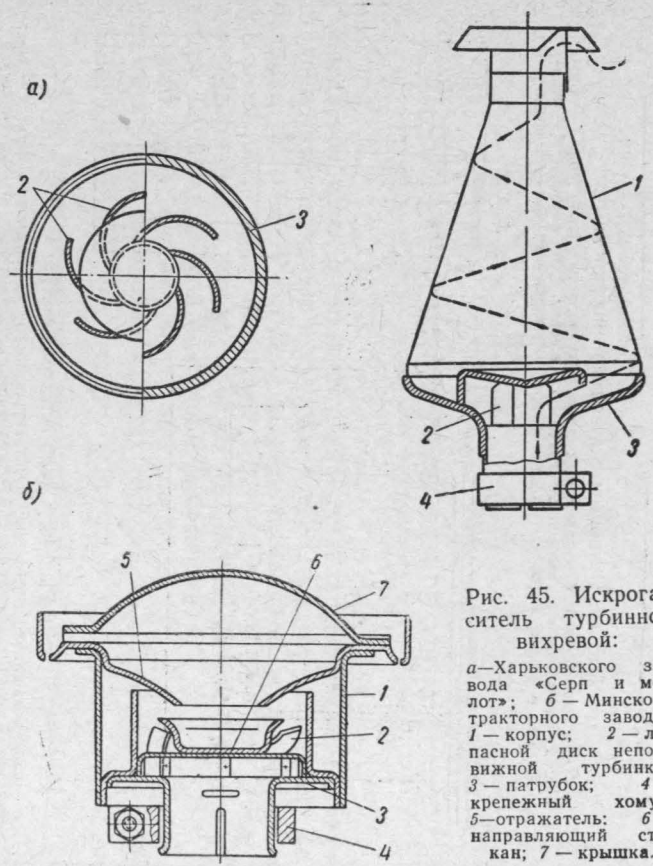


Рис. 45. Искрогаситель турбинно-вихревой:

а—Харьковского завода «Серп и молот»; *б* — Минского тракторного завода, *1* — корпус; *2* — лопасной диск неподвижной турбинки; *3* — патрубок; *4* — крепежный хомут; *5*—отражатель; *6* — направляющий стакан; *7* — крышка.

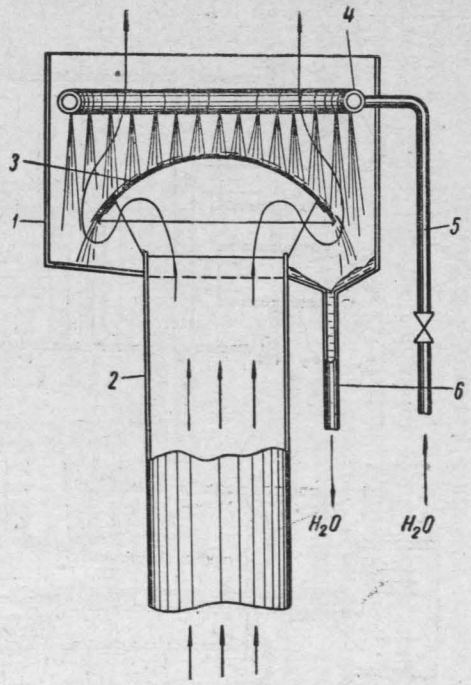


Рис. 46. Искрогаситель с водяной завесой:

1 — корпус искрогасителя; *2* — дымовая труба (или труба выхлопных газов); *3* — отражатель; *4* — кольцо — распылитель воды; *5* — питающая водой труба; *6* — сливная труба.

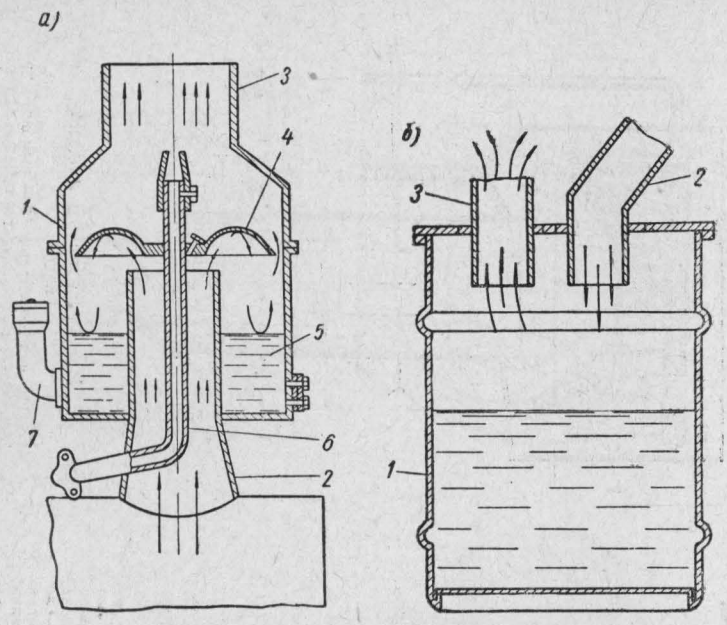


Рис. 47. Искрогаситель водяной инерционный:

а — для локомобилей; *б* — для стационарно установленных тракторов: *1* — корпус; *2* — дымовая или выхлопная труба; *3* — выброс газа наружу; *4* — отражатель; *5* — слой воды; *6* — паровая труба; *7* — труба для заливки воды.

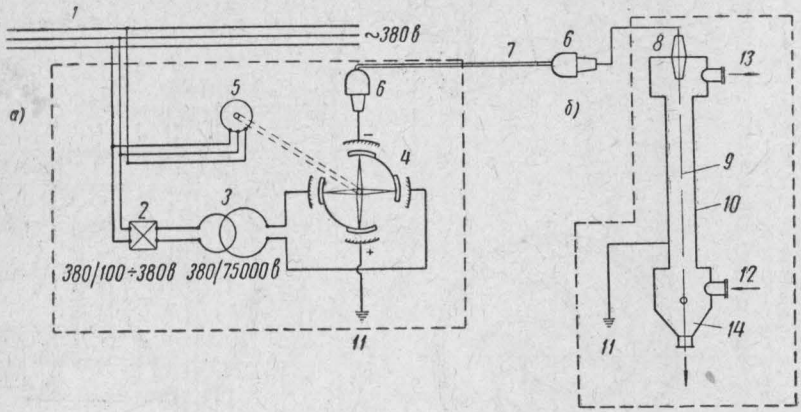


Рис. 48. Схема электрофильтра:

а — электромашинное отделение; *б* — электрофильтр; *1* — питающая сеть; *2* — регулятор низкого напряжения; *3* — трансформатор-усилитель; *4* — механический выпрямитель; *5* — электродвигатель выпрямителя; *6* — муфты; *7* — кабель; *8* — проходной изолятор; *9* — коронирующий электрод; *10* — осадительный электрод; *11* — заземление; *12* — ввод газа с искрами; *13* — выход очищенного газа; *14* — бункер.

высокого напряжения (30—40 *кв*) от электромашинного выпрямителя *а*. Между электродами происходит ионизация молекул газового потока. Искры, сталкиваясь с ионами, заряжаются отрицательными зарядами, притягиваются к осадительным электродам, отдают им свой заряд, слипаются и при встряхивании электрода падают в бункер. Такие устройства применяют для улавливания сажи из продуктов горения на сажевых заводах, катализаторной пыли из регенерационных газов на установках каталитического крекинга, при производстве синтетического каучука из нефтяных газов и т. п.

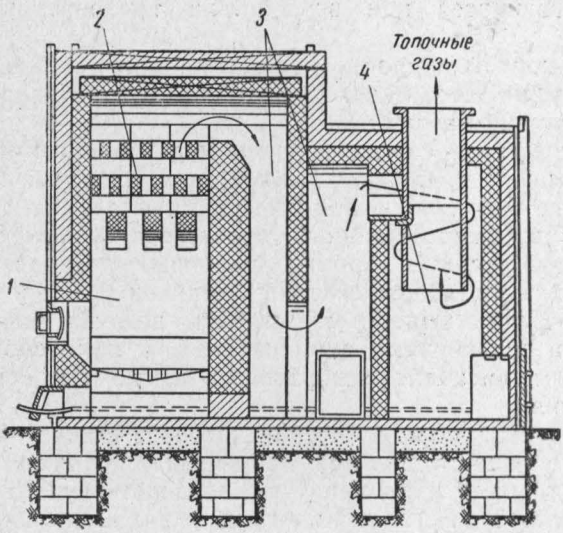


Рис. 49. Топка зерносушилки СЗС-2 с несколькими последовательными ступенями искроулавливания.

Когда требуется очень тщательное улавливание искр, последовательно устанавливают несколько систем искроулавливания. Показанная на рис. 49 топка *1*, применяющаяся в установках для сушки хлопка, зерна и других материалов, имеет три ступени искроулавливания: дожигательную насадку *2*, искроосадительную камеру *3* с перегородкой и циклонную камеру *4*.

Правильная эксплуатация искроулавливателей предполагает систематическое наблюдение за их состоянием и очистку от золы в установленные сроки.

§ 4. Экзотермические реакции химических веществ

Все реакции, протекающие с выделением тепла, таят в себе потенциальную возможность возникновения пожара или взрыва, в зависимости от их теплового эффекта. Если теплота реакции вызывает разогрев реагирующих или рядом находящихся горючих

веществ до температуры их самовоспламенения, пожар будет неизбежен.

В условиях производства и хранения химические вещества по характеру возможных реакций можно подразделить на следующие группы:

а) самовозгорающиеся при соприкосновении с воздухом;

б) воспламеняющиеся или вызывающие горение при соприкосновении с водой;

в) окислители, воспламеняющие органические вещества при взаимоконтакте;

г) разлагающиеся при воздействии температуры, давления, удара.

Все эти вопросы подробно рассматривают в специальных пособиях[1] по химии. Здесь будет дана только краткая характеристика отдельным группам веществ.

а) К веществам, самовозгорающимся при соприкосновении с воздухом, относятся: фосфор (белый), растительные масла и жиры, сернистые металлы, металлическая пудра (цинковая, алюминиевая), уголь (активированный, древесный, сульфированный, бурый, каменный), сажа, карбиды щелочных металлов, фосфористый водород, металлоорганические соединения и др.

Окисление этих веществ кислородом воздуха начинается при обычных или повышенных температурах, и при условии аккумуляции тепла происходит саморазогрев их до температуры самовоспламенения.

Как известно, время, в течение которого может произойти самовозгорание веществ, при прочих равных условиях зависит от количества материала и температуры воздействующего на него источника тепла. Такая зависимость для ряда способных к самовозгоранию веществ (например, таких как дерматин, ледерин, торф фрезерный, хлопок, сено, силос, табак, термоизоляционные материалы — войлок, шевелин, древесно-волокнистые плиты и др.) была изучена научными сотрудниками ЦНИИПО, и ими предложены следующие расчетные формулы[2].

$$\lg t = A_p - n_p \lg x; \qquad \lg t = A_в - n_в \lg \tau,$$

где: t — температура окружающей среды, при которой наступает самовозгорание материала, °С;

x — линейный размер (толщина) штабеля, *мм*;

τ — время воздействия источника тепла, час.;

A_p, n_p, $A_в$, $n_в$ — константы для данного материала, определяемые опытным путем.

---

[1] П. Г. Демидов. Горение и свойства горючих веществ. Изд. МКХ РСФСР, 1962.

А. А. Рубин. Противопожарные мероприятия в складском хозяйстве. Изд. МКХ РСФСР, 1961.

[2] С. И. Таубкин, А. Н. Баратов, Н. С. Никитина. Справочник пожароопасности твердых веществ и материалов. Изд. МКХ РСФСР, 1961.

Численное значение указанных констант в виде отношений:

$$\frac{A_p}{n_p} = a \text{ и } \frac{A_в}{n_в} = б$$

приведены в графе 11 справочника.

Пример Определить температуру и время, при которых произойдет самовозгорание ледерина, сложенного в кучу толщиной 150 *мм*, при условии нагрева ее со всех сторон.

Из справочника пожароопасности твердых веществ и материалов (стр. 112). имеем, что $a = \frac{2,95}{0,47}$ и $б = \frac{2,21}{0,18}$.

Подставляя значения *а*, *б* и *x* в вышеприведенные уравнения, будем иметь:

$\lg t = 2,95 - 0,47 \cdot \lg 150$;

$\lg t = 2,21 - 0,18 \lg \tau$,

откуда $\lg t = 2,95 - 0,47 \cdot 2,176$ или $t = 85°$.

Воспользуясь найденной температурой, из второго уравнения найдем время:

$\lg t = 2,21 - 0,18 \lg \tau$;

$$\lg \tau = \frac{2,21 - \lg 85}{0,18} = \frac{2,21 - 1,93}{0,18} = 1,55 \text{ или } \tau = 35,5 \text{ часа.}$$

Следовательно, сложенный в кучу ледерин при 85° С самовозгорится через 35,5 часа.

Контакт самовозгорающихся химических веществ с воздухом происходит обычно при повреждении тары, розливах, расфасовке, процессах сушки, хранении измельченных материалов, при вскрытии аппаратов для осмотра и ремонта, при откачке жидкостей из резервуаров и т. п.

Наиболее специфичными для производственной аппаратуры являются случаи самовозгорания сернистых соединений железа и термополимеров. Сернистые соединения железа образуются в результате химического взаимодействия сероводорода или свободной серы со стенками стальных аппаратов (см. § 6, гл. III). Этот процесс протекает чаще всего при переработке и хранении сернистых нефтей и нефтепродуктов, хранении и очистке естественных и нефтяных газов, получении и очистке генераторных газов, водорода, коксового газа и т. д.

Наиболее активным по склонности к самовозгоранию является закисный сульфид железа (FeS). Окисление сернистых соединений железа начинается с подсыхания поверхности и соприкосновения ее с кислородом воздуха; при этом температура постепенно повышается, наблюдается появление голубого дымка, а затем небольших язычков синего пламени. В результате этого отложения на стенках разогреваются иногда до красного свечения, т. е. до температуры 600—700° С.

Избежать опасности взрыва и пожара от сернистого железа можно путем химической очистки от сероводорода поступающих на обработку веществ, а также медленным, постепенным окислением образовавшихся в аппаратах самовозгорающихся отложений. Медленное окисление пирофорных (самовозгорающихся) соединений обеспечивают добавкой небольшого количества воздуха

(до 0,5%) к водяному пару, подаваемому на продувку аппаратов, или заполняют аппарат водой и постепенно снижают ее уровень. Очистку стенок аппаратов, где могут быть сернистые соединения железа, следует вести при постоянном смачивании их водой, а получающиеся зачистки сразу же удалять и подвергать уничтожению.

В тех случаях, когда производственный процесс связан с использованием веществ, склонных к полимеризации, имеется возможность образования так называемых термополимеров. Термополимеры представляют собой рыхлое, губчатого строения вещество, в составе которого имеется значительное количество непредельных соединений. Наличие ненасыщенных связей и развитая поверхность определяют их способность к самовозгоранию при соприкосновении с воздухом. Термополимеры образуются в основном при нарушении температурного режима и в застойных зонах (в местах с незначительной скоростью движения продукта). Образование термополимеров предупреждают введением ингибиторов, соблюдением установленных температурных режимов, устранением застойных участков и тупиков. Образующиеся термополимеры удаляют очисткой поверхности с такими же мерами предосторожности, как и при очистке от сернистых соединений железа.

Основными требованиями при использовании и хранении самовозгорающихся веществ должны быть изоляция от воздействия воздуха, а при невозможности этого—уменьшение поверхности окисления, создание условий, способствующих увеличению теплоотдачи, введение ингибиторов, тормозящих процесс окисления. Вещества этой группы следует хранить изолированно от других огнеопасных веществ.

б) К веществам, воспламеняющимся или вызывающим горение при соприкосновении с водой, относятся: натрий, калий, карбид кальция, карбиды щелочных металлов, гидраты щелочных металлов, негашеная известь, рубидий, силаны, фосфористый кальций, фосфористый натрий и т. д.

Многие из этих веществ (например, щелочные металлы, карбиды и т. п.) при взаимодействии с водой образуют горючие газы, которые могут воспламеняться от теплоты реакции. Некоторые из них сами являются негорючими веществами (например, негашеная известь), но теплота реакции их с водой может нагреть соприкасающиеся горючие материалы до температуры самовоспламенения. Неисправность или повреждение тары, наличие открытых проемов в ограждающих конструкциях складов или складирование на открытых площадках могут вызвать попадание атмосферной или грунтовой воды на указанные химические вещества и привести к возникновению пожара. Основное требование при хранении и использовании таких веществ заключается в защите от попадания на них воды и воздействия повышенной влажности. Хранят вещества этой группы изолированно от других огнеопасных веществ.

в) К веществам, воспламеняющим органические соединения при взаимоконтакте, относятся твердые, жидкие и газообразные окислители: хлор, бром, фтор, окислы азота, азотная кислота, перекиси натрия и бария, хромовый ангидрид, селитры, жидкий и сжатый кислород, хлораты, перхлораты, перманганаты, соли хромовой кислоты и др.

Окислители вызывают самовозгорание органических веществ при смешении или соприкосновении с ними. Иногда это происходит при незначительном подогреве, механическом воздействии или в присутствии небольшого количества влаги. В некоторых случаях реакция носит характер взрыва.

Основным требованием пожарной безопасности при этом является раздельное хранение окислителей и органических веществ, предотвращение взаимоконтакта и смешения окислителей и органических веществ при их использовании.

г) К разлагающимся (нестойким) при воздействии тепла и давления или удара относятся химические вещества, получающиеся в результате реакций, протекающих с поглощением тепла (эндотермических), например, карбиды меди, серебра, ртути, ацетилен, взрывчатые вещества и др. Процесс разложения этих веществ всегда сопровождается выделением тепла и может закончиться их самовоспламенением или взрывом. Хранение и использование таких веществ ведется с защитой от воздействия тепла, ударов, резких повышений давлений.

Необходимо также отметить, что многие производственные процессы (например, нитрование веществ, окисление, полимеризация, поликонденсация, галоидирование и др.) протекают с выделением значительного количества тепла, избыток которого отводят из зоны реакции. Недостаточное охлаждение или несвоевременный контроль за процессом может привести к росту температуры, к повреждению аппарата и сопровождаться воспламенением выходящих наружу веществ. Количество охлаждающей среды и поверхность теплообмена аппаратов определяются теплотехническим расчетом. Весьма часто технологические процессы осуществляют при рабочих температурах, превышающих температуру самовоспламенения находящихся в аппаратах веществ. При повреждении подобных аппаратов выходящие на воздух продукты будут воспламеняться и гореть. К таким процессам можно отнести процессы пиролиза, крекинга, ректификации высококипящих растворов, термоокислительные реакции и т. п.

Глава VI. ТЕПЛОВОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Механическая энергия легко переходит в тепловую. Пожары от теплового проявления механической энергии могут быть в результате искрообразования при ударах или разогрева тел при трении и изменении объема. Рассмотрим это более подробно.

§ 1. Искры при ударах твердых тел

При достаточно сильном ударе твердых тел друг о друга высекаются искры (искры трения). Искра в этом случае представляет собой раскаленную до свечения частичку металла. Высокая температура искр связана с их нагреванием при ударе и окислением поверхности металла кислородом воздуха. Размеры искр трения зависят от хрупкости материала соударяющихся тел, силы удара и обычно не превышают 0,1—0,5 *мм*.

Рассматривая опасность такой искры для горючей среды, необходимо иметь в виду, что хотя температура ее высокая (1200—1600° С), но запас тепловой энергии весьма мал и длительность существования искры исчисляется долями секунды.

Из этого следует, что:

а) механические искры не способны воспламенить паро- и газовоздушные смеси, имеющие большой период индукции и высокие температуры самовоспламенения (метановые, аммиачные, естественного газа, генераторного газа, паров большинства горючих жидкостей). Это подтверждается всей практикой эксплуатации промышленных предприятий, а также опытами, проведенными МАКНИИ, ГИАП, МИХМ[1] и др. Исследования ГИАП и МИХМ показали, что искры трения стали о карборунд могут воспламенить воздушные смеси только пяти из наиболее распространенных веществ: ацетилена, этилена, водорода, сероуглерода и окиси углерода. Другие паро- и газоводушные смеси при опытах не воспламенялись;

б) механические искры не способны воспламенить пыль во взвешенном состоянии;

в) более опасными будут не летящие, а неподвижные искры, т. е. такие, которые после высечения упадут на какие-либо препятствия. При этом искра будет охлаждаться более медленно и отдавать свое тепло одному и тому же объему горючей среды. Таким образом, условия для воспламенения будут более благоприятными.

Летящая искра не может воспламенить пылевоздушные смеси и волокнистые вещества, а неподвижная искра, попавшая на их поверхность, вызывает появление очагов тления.

Этим, видимо, объясняется, что наибольшее количество вспышек и загораний от механических искр возникает в таких машинах, где имеются волокнистые материалы или отложения мелкой горючей пыли. Так, в размольных цехах мельниц и крупозаводов, в сортировочно-разрыхлительных и угарных цехах текстильных фабрик, а также на хлопкоочистительных заводах более 50% всех загораний и пожаров возникает от искр, высекаемых при ударах твердых тел.

---

[1] Предупреждение взрывов, пожаров и техника безопасности в химической, нефтеперерабатывающей и других отраслях промышленности. ГОСИНТИ, 1961.

Высечение искр в условиях производства может быть вызвано различными причинами. Часто искры образуются от ударов стальными инструментами в процессе работы и при случайном их падении, при ударах быстровращающихся механизмов о неподвижные части машин, при попадании кусочков металла или камней в такие машины, а также во время аварий, связанных с поломкой быстродвижущихся механизмов или разрывом корпуса аппаратов.

Искры, образующиеся при работе стальными инструментами

При использовании стальных инструментов (молотков, зубил, ключей, ломов и т. п.) в процессе текущего обслуживания аппаратов, а также при ремонтных работах могут быть высечены искры.

Необходимо иметь в виду, что опыт эксплуатации стального инструмента не подвергался всесторонним исследованиям. Поэтому не предоставляется возможным в настоящее время дать исчерпывающий ответ на вопрос, для всех ли производств с наличием легковоспламеняющихся жидкостей и горючих газов, кроме указанных на 104 стр., безопасны искры, образующиеся при работе со стальными инструментами.

Вместе с тем известны случаи вспышек и взрывов газов, паров и пыли именно по этой причине. Так, имели место взрывы барабанов с карбидом кальция в момент вскрытия их ударными стальными инструментами, взрывов и пожаров в насосных и компрессорных станциях от искр при падении инструмента, при ударах ключей в момент подтягивания гаек для ликвидации утечек газа из аппаратов и т. п. В этом отношении характерны взрыв и последовавший за ним пожар в полимеризационном цехе одного из заводов СК. У полимеризатора через недостаточно герметичное уплотнение между крышкой и корпусом стали выходить пары дивинила. Чтобы уплотнить соединения, решили подтянуть болты, использовав для этого стальные массивные ключи. В момент производства работ была высечена искра, произошла вспышка паров дивинила, а затем взрыв и пожар.

Из одной из фабрик, перерабатывающей старую кинопленку на целлулоидные изделия, в помещении для удаления эмульсии с поверхности кинопленки производились работы по ремонту батарей центрального отопления. Пол помещения был загрязнен кусочками кинопленки. Ударом молотка была высечена искра, которая, попав на скопившиеся под батареей отходы кинопленки, воспламенила их. Мгновенно все помещение было объято пламенем.

Следовательно, имеется реальная опасность применения искрообразующего инструмента во взрывоопасных цехах и в цехах с быстровоспламеняющимися твердыми веществами. Несмотря на эту опасность и наличие инструкций с требованием не применять

стальных инструментов в опасных цехах, все же они иногда применяются и пока еще, видимо, будут применяться. Применение так называемого омедненного инструмента не всегда достигает цели, ибо мягкий слой металла быстро истирается, обнажая стальную поверхность. Чтобы уменьшить возможность возникновения пожаров по этой причине, необходимо учитывать следующее.

Если безопасность искрения от ударов для данной среды экспериментально не доказана, то все работы, связанные с применением стального инструмента, нужно проводить только после тщательной уборки и очистки места производства работ, подтверждения анализом отсутствия опасных концентраций газов и паров и при уверенности, что в процессе работы эта концентрация нарастать не будет. Если же почему-либо концентрация газа или пара может быть повышенной, то при эпизодических работах стальными инструментами можно рекомендовать усиленный обдув места работы воздухом, применяя для этого передвижные вентиляционные агрегаты. Можно рекомендовать применение консистентных смазок (солидол, тавот, вазелин) для смазывания поверхности соударяющихся тел. Если же инструменты используются часто, их необходимо делать из материала не способного высекать при ударе искры. Такие инструменты могут быть выполнены, например, из бериллия, фосфористой бронзы, латуни, алюминиевого сплава АКМ-5-2, дюралей с ограниченным до 1,2—1,8% содержанием магния (сплав Д-16 и др.) и даже из нержавеющей стали марки 1Х18Н9Т или с содержанием 6—8% кремния и 2—5% титана.

Во всех случаях использования стального инструмента необходимо оберегать его от падения, избегать ненужных ударов и по возможности заменять ударные операции безударными (например, рубку металла зубилом заменять распиловкой и т. п.).

Нельзя применять молотки и кувалды из алюминия, так как при ударах таким инструментом о покрытую ржавчиной сталь легко высекаются искры.

Искры, образующиеся при попадании в машины металла или камней

Если машина имеет стальной корпус и быстровращающиеся механизмы в виде барабанов, лопастей, бил, валков, ножей, колес, дисков и т. п., то попадание в нее посторонних твердых предметов в виде кусочков металла или камешков может привести к высечению искр.

К машинам и аппаратам, попадание твердых тел в которые представляет пожарную опасность, относятся:

аппараты с мешалками и лопастями при растворении или химической обработке твердых веществ в легковоспламеняющихся растворителях (например, целлулоидная масса в спирте, ацетилцеллюлоза в ацетоне, каучук в бензине, нитроклетчатка в спиртоэфирной смеси, алкалицеллюлоза в сероуглероде и т. п.);

аппараты ударно-центробежного действия для измельчения и смешения твердых горючих материалов (например, молотковые мельницы, ударно-дисковые мельницы, соломорезки, дробилки кормов и т. п.);

аппараты ударно-центробежного действия для разрыхления, очистки и смешения волокнистых горючих материалов (например, хлопкоочистительные машины, волокноотделители, пухоотделители, мяльные и трепальные машины, питатели-смесители, разрыхлители и ворсовальные машины на текстильных фабриках);

машины ударно-центробежного действия для очистки злаков от земли, песка, внешней оболочки и зародыша (мягкие обойки, наждачные обойки, лущильники и т. п.);

аппараты-смесители для перемешивания порошков, для составления порошковых композиций;

машины скалывающе-раздавливающего действия для измельчения твердых горючих веществ и злаков (вальцовые дробилки и мельницы);

аппараты центробежного действия для перемещения газов, паров и измельченных твердых веществ (например, вентиляторы, центробежные компрессоры и т. п.).

Твердые предметы могут попасть в эти машины извне вместе с обрабатываемыми продуктами или появиться в результате неисправности и поломки самих машин.

Образование искр в машинах ударного действия можно уменьшить путем очистки веществ, поступающих на обработку, от твердых примесей.

Очистка от твердых примесей может осуществляться различными способами. Сыпучие вещества очищаются от вредных твердых примесей путем просеивания, отвеивания или промывки одновременно с очисткой от других примесей. Очистка от ферромагнитных (черные металлы) примесей часто производится магнитными улавливателями.

Труднее очистить массу волокнистых материалов, так как твердые примеси обычно запутываются в волокнах. Для улавливания камней из хлопка-сырца перед поступлением его на очистку в машины хлопкоочистительных заводов устанавливаются специальные камнеулавливатели.

Схема линейной камнеловушки гравитационного типа показана на рис. 50. При работе такой камнеловушки тяжелые примеси выпадают в результате уменьшения скорости движения хлопка в камере, а сам хлопок потоками воздуха уносится дальше.

При движении хлопка-сырца по воздуховодам с большой скоростью в местах изгибов труб возникают силы инерции, которые стремятся более тяжелые частицы выбросить из потока. На использовании этого явления основаны камнеловушки, устройство и работа которых показаны на рис. 51.

Ферромагнитные примеси из сыпучих и волокнистых материалов, как уже было сказано выше, улавливаются магнитными

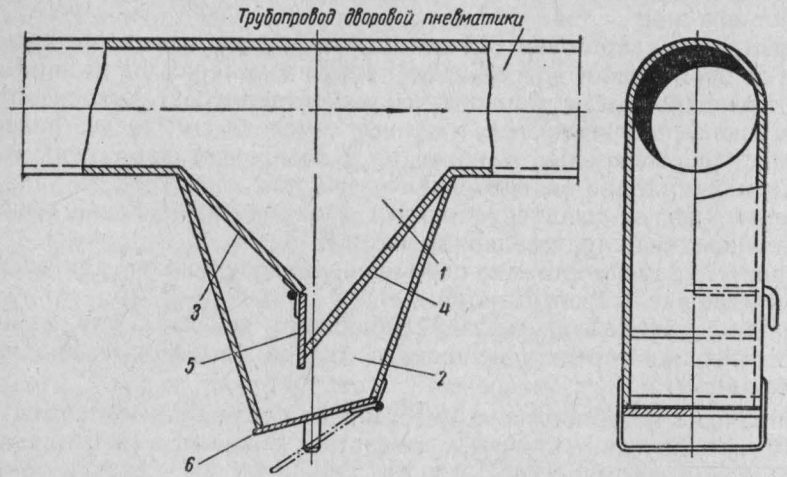


Рис. 50. Схема линейного камнеулавливателя гравитационного типа:
1 — камера, в которой снижается скорость движения хлопка-сырца; *2* — камера для уловленных твердых предметов; *3* и *4* — направляющие поверхности; *5* — клапан; *6* — крышка для разгрузки камнеулавливателя.

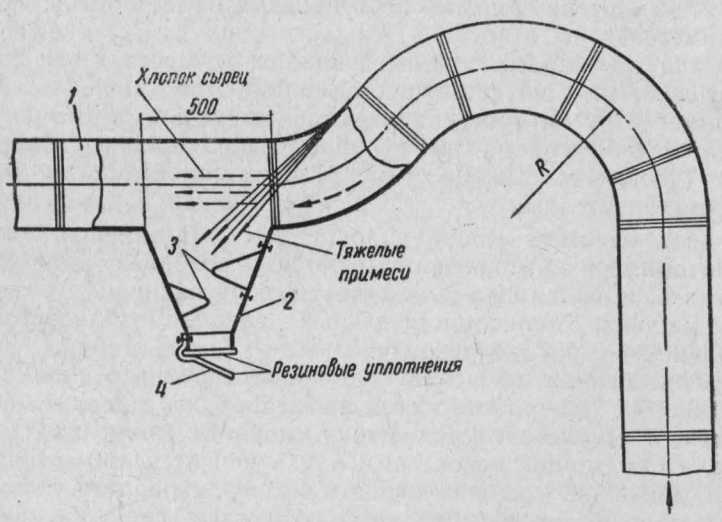


Рис. 51. Линейный камнеулавливатель инерционного действия:
1 — трубопровод дворовой пневматики; *2* — камнеулавливатель; *3* — наклонные поверхности; *4* — крышка для разгрузки камеры.

улавливателями, или, как их называют, магнитными сепараторами.

Разнообразие магнитных улавливателей видно из схемы на рис. 52.

Эффективность работы магнитного улавливателя зависит от его расположения и условий работы, т. е. от скорости движения продукта, равномерности и толщины его слоя, характера примесей.

На рис. 53 изображен наиболее широко применяемый на мукомольных, крупяных и комбикормовых заводах магнитный аппарат с ручной очисткой магнитных полюсов.

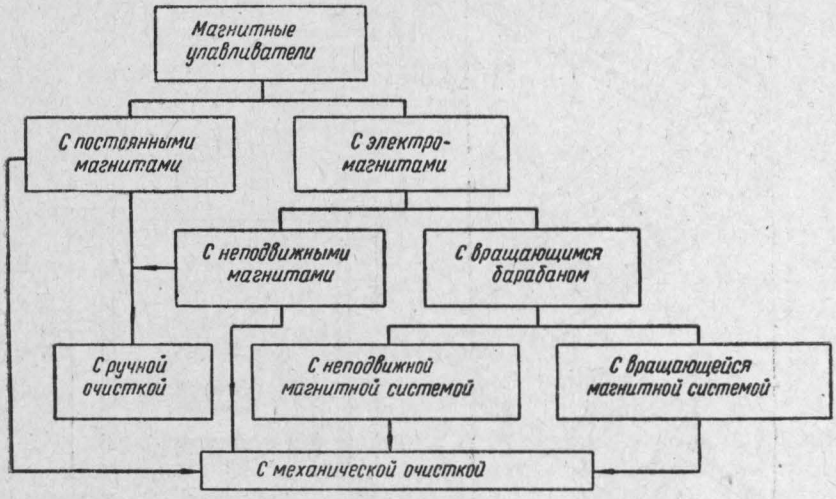


Рис. 52. Классификация магнитных улавливателей.

В процессе эксплуатации наблюдают за тем, чтобы магнитные аппараты не уменьшали своей подъемной силы и чтобы полюсы регулярно очищались от улавливаемых частиц. На рис. 54 показан разрез электромагнитного сепаратора с вращающимся барабаном для улавливания ферромагнитных примесей из сыпучих тел. В корпусе *1* размещен вращающийся барабан из диамагнитного материала, внутри которого находится неподвижный электромагнит *2*. Продукт с возможными примесями, поступающий по трубе *3*, ровным тонким слоем подается на поверхность барабана и через трубу *4* выходит из аппарата. Металлические примеси при этом притягиваются к поверхности вращающегося барабана и выносятся им из основной массы продукта. Выйдя из сферы действия магнитного поля, примеси падают в трубу *5*.

Для улавливания металлических частичек из волокнистых материалов на хлопкозаводах, прядильных фабриках и на заводах по получению нитроклетчатки, ацетил-целлюлозы, вискозного

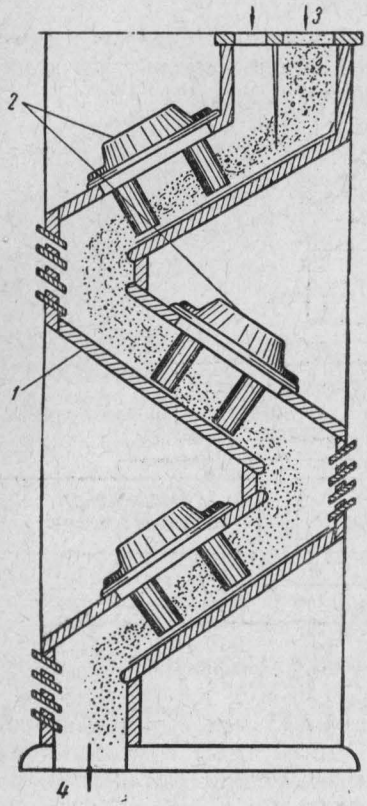


Рис. 53. Магнитный улавливатель с постоянными магнитами:

1 — корпус; *2* — система постоянных магнитов; *3* — поступление продукта; *4* — выход очищенного продукта.

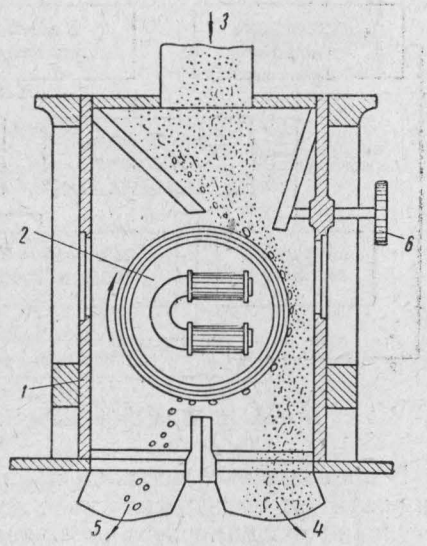


Рис. 54. Электромагнитный сепаратор с вращающимся барабаном:

1 — корпус; *2* — неподвижный электромагнит; *3* — поток продукта; *4* — труба для очищенного продукта; *5* — труба для уловленных примесей; *6* — регулировочный винт.

шелка и т. д. применяют чаще всего электромагнитные улавливатели барабанного типа или электромагнитные улавливатели (ЭМУ) (рис. 55).

Магнитные улавливатели устанавливаются, как правило, в начале технологического процесса перед машинами ударного действия, попадание металлических частиц в которые будет представлять опасность воспламенения паро- и газовоздушных смесей или отложившейся пыли. Нельзя забывать, что магнитные сепараторы преследуют не только пожарно-профилактическую

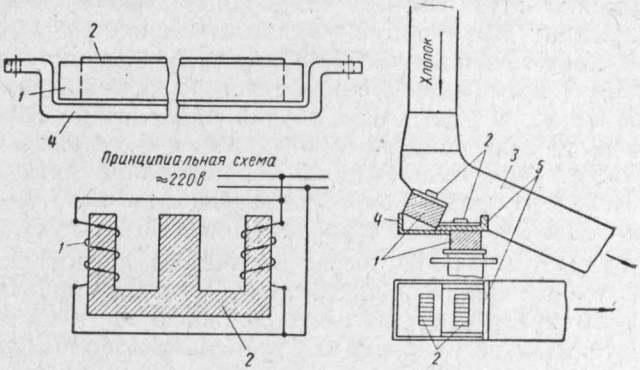


Рис. 55. Электромагнитный улавливатель с ручной очисткой полюсов:

1 — параллельно соединенные катушки; *2* — сердечники; *3* — трубопровод пневматики; *4* — крепежная планка; *5* — барьер.

цель, — они предохраняют машины и от механических повреждений, их установка часто диктуется санитарно-техническими требованиями.

За магнитными аппаратами необходимо регулярно наблюдать: проверять подъемную силу, очищать полюсы, обеспечивать равномерность поступления продукта и т. п. Электромагниты должны непрерывно питаться электротоком, так как прекращение подачи электроэнергии приведет к полной потере их защитного действия.

Если в кусковом сырье имеются твердые немагнитные примеси, выделение которых затруднено, а присутствие их может вызвать искрообразование (например, наличие камней и ферросилиция в карбиде кальция), осуществляют тщательную сортировку сырья, а поверхности машин и аппаратов, о которые они могут ударяться, футеруют мягким металлом, твердой резиной или пластмассой.

Искры, образующиеся при ударах подвижных механизмов о неподвижные части машин

Нередко применяют машины и станки, движущиеся и быстровращающиеся механизмы которых расположены очень близко от неподвижных частей. Так, ротор центробежных вентиляторов по-

чти вплотную соприкасается с вертикальными стенками кожуха и менее чем на $^1/_{100}$ диаметра отстоит от выкидного патрубка; быстровращающиеся пильчатые и ножевые барабаны волокноотделительных и хлопко-разрыхлительных машин имеют небольшой зазор от неподвижных стальных решеток. Нередки случаи, когда вращающиеся части машин (например, шестерни, фрезы) защищают близко к ним расположенными неподвижными кожухами, планками и т. п. Естественно, что при этом могут создаться условия, при которых подвижные части будут ударяться о неподвижные. Это может случиться при неправильной регулировке зазоров, при деформации и вибрациях вала, изнашивании подшипников, перекосах, недостаточном креплении на валу режущего инструмента, имеющего возможность продольного перемещения, ударов о защитный кожух и т. д. Такие случаи приводят не только к возможности высечения искр, но и к поломкам отдельных частей машин. Поломка узла машины или выкрашивание металла в свою очередь может сопровождаться образованием искр и попаданием металлических частичек в обрабатываемый продукт.

Основными условиями, обеспечивающими предотвращение образования искр и поломки движущихся и вращающихся механизмов при возможном ударе их о неподвижные части машины, являются: тщательная регулировка и балансировка валов, правильный подбор и наблюдение за состоянием подшипников, проверка величин зазоров между вращающимися и неподвижными частями машин, надлежащее крепление, исключающее возможность продольных перемещений; недопущение перегрузки машин. Перед началом работы машины, в которых вращающиеся части могут ударяться о неподвижные, должны проверяться (в неподвижном состоянии, а затем на холостом ходу). При этом проверяют отсутствие перекосов, правильность зазоров, отбалансировку и отсутствие вибраций, прочность крепления вращающихся механизмов. В процессе работы при появлении постороннего шума, ударов и сотрясений надо остановить машину для устранения неполадок.

На промышленных предприятиях, где необходимо осуществлять транспортировку паро- и газовоздушных смесей, а также пылей и горючих отходов производства, применяют искробезопасные вентиляторы и наблюдают за их состоянием. Иногда для устранения возможности высечения искр кожух вентилятора с внутренней стороны покрывают слоем мягкого металла. Ротор вентилятора тщательно балансируют и надежно закрепляют; при этом следят за тем, чтобы лопасти ротора не задевали о кожух. Величина зазора между кромкой входного патрубка и краем ротора принимается в пределах до 1% от диаметра колеса. У станков для распиловки, фрезерования и шлифовки пожароопасных материалов (особенно целлулоида и магниевых сплавов) перед началом работы проверяют крепление режущего инструмента и отсутствие деформации вала. Кожухи местных отсосов пыли и отходов производства располагают так, чтобы режущий инструмент не мог их касаться.

В производственных помещениях, где еще сохранились трансмиссионные передачи, следует обращать внимание на то, чтобы не было ударов холостого шкива о рабочий в моменты переключения ремня. Во избежание этого между холостым и рабочим шкивами должен быть зазор в 5—6 *мм*, в котором устанавливается шайба из цветного металла. По этим же соображениям не разрешают производить сшивку ремней металлической проволокой или соединение их заклепками и болтами.

Таким образом, в производственных помещениях, где обрабатываются легковоспламеняющиеся жидкости и горючие газы, а также волокнистые и твердые вещества, обработка которых связана с пылеобразованием, необходимо предотвращать возможность высечения искр как внутри машин, так и в помещениях, где они установлены.

В производственных помещениях с наличием ацетилена, паров сероуглерода, нитросоединений и подобных им легковоспламеняющихся или нестойких веществ пол делают из материала, не образующего искр, или выстилают резиновыми ковриками, дорожками и т. п. Пол помещений, где обрабатывается нитроклетчатка, кроме того, поддерживается всегда в увлажненном состоянии. Тележки и вагонетки должны иметь на колесах ободы из мягкого металла или резины.

§ 2. Разогрев тел при трении

Всякое перемещение соприкасающихся друг с другом тел требует затраты энергии на преодоление сил трения. Энергия, затрачиваемая на совершение работы по преодолению сил трения, превращается в теплоту. Количество выделяющегося тепла зависит от вида трения. Наибольшими по величине будут силы, возникающие при сухом и полусухом трении. Эти виды трения и будут наиболее опасными в отношении возможного разогрева тел.

При всех прочих равных условиях силы трения при скольжении будут больше, чем при качении, и, следовательно, в этом случае будет выделяться больше тепла.

Тепло, выделяемое при трении, может нагреть один из элементов до температуры размягчения, а смазочное масло или другие горючие вещества — до температуры самовоспламенения.

Величина силы трения зависит не только от вида трения, но и от природы трущихся поверхностей, их физического состояния (загрязненности, шероховатости), давления, размера поверхности и от температуры. Все эти факторы должны учитываться коэффициентом трения f.

Имея возможность определить коэффициент трения (учитывая реальные условия работы трущейся пары), а также зная нагрузку N и величину относительного перемещения l, можно найти работу силы трения A:

$$A = P_{тр} \cdot l = f \cdot N \cdot l.$$

Зная, что почти вся энергия при трении переходит в тепло (лишь незначительное количество ее расходуется на износ поверхностей), можно определить количество тепла, выделяющегося при трении тел:

$$Q = \frac{A}{425} = \frac{f \cdot N \cdot l}{427} \text{ ккал},$$

где 427 — механический эквивалент теплоты, *кГм/ккал*.

При нормальной эксплуатации трущихся тел образующееся тепло рассеивается в окружающую среду, обеспечивая тем самым установленный температурный режим. Нарушение условий нормальной эксплуатации может привести к опасному перегреву. Повышение температуры трущихся тел возможно и при увеличении количества выделяющегося тепла и при ухудшении условий теплоотдачи в окружающую среду, а еще более — при одновременном воздействии этих двух факторов. По указанным причинам в условиях производства имеют место загорания в подшипниках, приводных ремнях и транспортерных лентах, при наматывании на валы волокнистых материалов и при механической обработке твердых горючих веществ. Рассмотрим эти случаи более подробно.

Перегревы подшипников

Правильно подобранные и нормально эксплуатируемые подшипники не перегреваются, их температура не превышает обычно 35° С, и лишь в некоторых случаях допускается повышение до 75° С. Наиболее опасными по возможности перегрева являются подшипники скольжения сильно нагруженных и высокооборотных валов.

К увеличению сил трения, а следовательно, и количества выделяющегося тепла могут привести следующие обстоятельства: нарушение качества смазки рабочих поверхностей, загрязнение, перекосы, перегрузка машины и чрезмерная затяжка крышки подшипника.

Недостаточность смазки подшипника может быть вызвана ее нерегулярностью, малым количеством подачи смазочного масла, засоренностью отверстия или канала для подвода масла к подшипнику, а также применением не того сорта масла, на который данный подшипник рассчитан.

К ухудшению условий теплоотдачи от поверхности подшипника в окружающую среду могут привести следующие обстоятельства: загрязнение поверхности слоем малотеплопроводных веществ, неисправность системы дополнительного охлаждения подшипника, дополнительная изоляция подшипника или всей машины невентилируемыми кожухами и т. п.

Весьма часто поверхности подшипников загрязняются слоем отложившейся горючей пыли (древесной, мучной, хлопковой), которая, изолируя подшипник от воздуха, создает условия для его

перегрева и в то же время, подвергаясь длительному воздействию тепла, сама начинает окисляться. Принудительно охлаждаются подшипники чаще всего путем устройства циркуляционной смазки или подачи холодной воды через охладительную рубашку подшипника. Недостаточное количество подаваемого в систему охлаждения масла или воды, а также сильное загрязнение системы водяного охлаждения отложениями солей приводят к повышению температуры подшипника.

Примерную величину температуры подшипника можно определить расчетным путем по формуле (рис. 56):

$$t_п = \frac{q_{тр} + \alpha \cdot t_в}{\alpha},$$

где: $t_п$ — температура поверхности подшипника, °С;
α — коэффициент теплоотдачи от поверхности подшипника к воздуху, *ккал/м² · час.* °С;
$t_в$ — температура окружающего воздуха, °С;
$q_{тр}$ — количество тепла, выделяющегося при работе подшипника, *ккал/м² · час.*

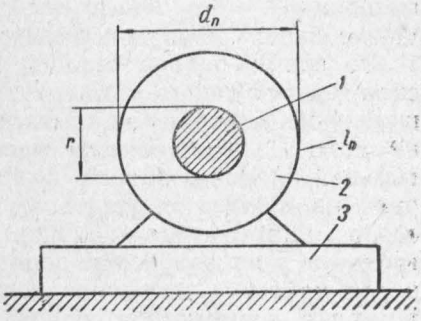


Рис. 56. Схема подшипника скольжения:
1 — вал (цапфа); 2 — корпус подшипника; 3 — станина.

Количество тепла, выделяющегося при работе подшипника, отнесенное к одному *м²* его наружной поверхности (см. рис. 56), можно найти по следующей формуле:

$$q_{тр} = 0{,}14\,\frac{f \cdot N \cdot d \cdot n}{d_п \cdot l_п}\ ккал/м^2\,час,$$

где: f — коэффициент трения;
N — нагрузка на подшипник, *кг*;
n — число оборотов вала, мин.;
d — диаметр вала (цапфы), *м*;
$d_п$ и $l_п$ — наружный диаметр и длина подшипника, *м*.

Коэффициент теплоотдачи α определяется расчетом или находится по таблицам. Так как α зависит от величины искомой температуры $t_п$, то при расчете задаются примерным значением температуры, а затем сравнивают вычисленное значение с найденным. Расхождение не должно превышать 5%.

Чтобы избежать возможности перегрева подшипников, необходимо осуществлять следующие требования.

Во всех случаях целесообразно вместо подшипников скольжения рекомендовать применение подшипников качения. Особенно это относится к сильно нагруженным и высокооборотным валам.

Если такие подшипники при работе машины систематически перегреваются или были случаи загорания масла, то их следует обязательно заменять более рациональными подшипниками, в том числе и подшипниками качения. На многих фабриках произведенная силами рационализаторов реконструкция подшипников дала положительные результаты.

Большое внимание должно быть уделено систематической смазке подшипников. Хорошо смазывать подшипники — это не значит лить больше масла. Нормальная смазка предполагает использование того сорта масла, который установлен привилами эксплуатации для данного подшипника, и соблюдение сроков смазки. При скользящих подшипниках быстровращающихся валов смазка производится обычно через 7—8 часов, а при наличии шарикоподшипников — через 20—30 дней. Смазочные отверстия подшипников необходимо очищать от загрязнения.

Во время работы машин, имеющих быстровращающиеся и сильно нагруженные валы, ведут контроль за температурой подшипников. Контроль за температурой при доступности подшипника может осуществляться простейшим способом — приложением тыльной стороны ладони к поверхности подшипника; при этом рука не должна ощущать высокую температуру. В сложных и особо ответственных машинах (турбинах, дизелях и т. п.) контроль за температурой подшипников осуществляют путем применения приборов дистанционного действия с датчиками в виде термопар, термометров сопротивления или термобаллончиков. Для этого в теле подшипника делают несколько гнезд и закладывают в них чувствительные элементы, а показывающие, регистрирующие или сигнализирующие приборы монтируют на щите управления. При повышении температуры более установленной величины приборы автоматически подают сигналы—оптический и акустический.

Для контроля за температурой подшипников можно рекомендовать также окраску их красками, изменяющими свой цвет при нагревании. Рецепты таких красок разработал пожарный техник А. Вишнеревский.

Термокраска может быть изготовлена по следующим рецептам:

I рецепт. Растворяется 17 *г* $AgNO_3$ в 150 *мл* воды и 16,6 *г* KJ в 150 *мл* воды. Оба раствора смешиваются и взаимодействуют друг с другом по реакции:

$$AgNO_3 + KJ \rightarrow KNO_3 + AgJ \text{ (осадок)}.$$

Выделившийся желтый осадок промывают и отфильтровывают в темноте. Затем растворяют 13,6 *г* $HgCl_2$ в 400 *мл* воды, нагревают до 25—30° С и 16,6 *г* KJ — в 100 *мл* воды. Оба раствора, смешиваясь, взаимодействуют друг с другом по следующей реакции:

$$HgCl_2 + 2KJ \rightarrow 2KCl + HgJ_2 \text{ (осадок)}.$$

Выделившийся ярко-красный осадок отфильтровывают и промывают. Сухие осадки солей AgJ и HgJ_2 растворяют в спирте

(примерно 30 *мл*) до изменения цвета из красного в желтый. Затем после полного испарения спирта полученная краска растирается в олифе или шеллаке и наносится на поверхность. При нагревании до 40—45° С краска изменяет желтый цвет на красный.

II рецепт. В 100 *мл* воды растворяют 15 *г* HgJ_2 и 11 *г* KJ. Отдельно растворяют 10,5 *г* $CuSO_4$ в 100 *мл* воды. Затем оба раствора сливаются вместе при постоянном взбалтывании. При этом протекает химическая реакция, в результате чего выпадает осадок:

$$HgJ_2 + 2KJ + 2CuSO_4 \rightarrow HgSO_4 + K_2SO_4 + 2CuJ_2 \text{ (осадок)}.$$

Осадок отфильтровывается и промывается. Для употребления краска растворяется в олифе или шеллаке. При нагревании до 70—80° С краска из красной становится темно-вишневой.

Защитное действие красок продолжается до 1 года. После каждого нагревания и последующего остывания краска восстанавливает свой первоначальный цвет.

Если подшипники имеют циркуляционное масляное охлаждение или охлаждение водой, наблюдают за температурой охлаждающей жидкости и соответственно регулируют ее подачу.

Наружную поверхность подшипников следует очищать от пыли и других отложений. Необходимо проверять состояние вала, не допуская его деформации и перекссов. В процессе работы наблюдают за тем, чтобы машины не имели длительных перегрузок.

Перегревы транспортерных лент и приводных ремней

Основной причиной перегрева приводных ремней и транспортерных лент является длительное проскальзывание ремня или ленты относительно шкива. Такое проскальзывание, называемое обычно буксованием, возникает в результате несоответствия между передаваемым усилием и натяжением ветвей ремня, ленты.

При буксовании вся энергия расходуется на трение ремня о шкив, в результате чего выделяется значительное количество тепла. Наиболее часто буксование транспортерных лент и ременных передач возникает из-за перегрузки или слабого натяжения ремня. У норий причиной буксования ленты чаще всего является завал башмака, т. е. такое состояние, когда ковши нории не могут пройти сквозь толщу транспортируемого вещества. К перегрузке и буксованию может привести также защемление ленты, перекосы и т. п. Так, например, на одной обогатительной фабрике от буксования транспортерной ленты возник пожар, в результате которого производственное оборудование было в сильной степени повреждено. Буксование произошло от того, что уголь, поступая из течки, заклинил ленту вблизи от приводного барабана.

Во избежание перегревов и загораний транспортерных и приводных ремней нельзя допускать работу передачи с перегрузкой, следует контролировать степень натяжения ленты, ремня и их со-

стояние. Нельзя допускать завалов башмаков норий продукцией, перекосов лент с трением их о кожухи и другие рядом находящиеся предметы. В некоторых случаях (при применении мощных, высокопроизводительных транспортеров и норий) применяют устройства и приспособления, автоматически сигнализирующие о работе передачи с перегрузкой или останавливающие движение ленты с ковшами при завале башмака нории.

В некоторых случаях для уменьшения пробуксовывания присыпают ремень канифолью. Однако этот метод не устраняет основной причины буксования, а приводит лишь к некоторому кратковременному эффекту и поэтому не должен применяться. Кроме того, обработка ремня канифолью способствует образованию зарядов статического электричества, что также представляет определенную пожарную опасность. Наилучший эффект в устранении буксования дает применение клиноременной передачи. Поэтому там, где возможно, следует рекомендовать замену плоскоременных передач клиноременными.

Наматывание на валы волокнистых материалов

Волокнистые материалы и соломистые продукты нередко наматываются на валы около подшипников. Наматывание сопровождается постепенным уплотнением массы, а затем сильным нагреванием ее при трении о стенки машины, обугливанием и, наконец, воспламенением.

Пожары от подобного рода причин часто возникают на льнозаводах, пенько-джутовых заводах, прядильных фабриках, сушилках волокна, в комбайнах при уборке зерновых культур и т. п.

Так, нередко возникают пожары от наматывания вискозного штапельного волокна на валы барабанов сушилок и вентиляторов (рис. 57).

Иногда загорание происходит в результате наматывания волокнистых материалов на валы транспортеров, перемещающих отходы и готовую продукцию. На прядильных фабриках часто загорания возникают в результате обрыва шнура или тесьмы, с помощью которых приводятся во вращение веретена прядильных машин с последующим наматыванием их на шейки быстровращающихся ведущих валов.

Наматыванию волокнистых материалов на вращающиеся валы машин способствуют: наличие увеличенного зазора между валом и подшипником (попадая в этот зазор, волокно заклинивается, защемляется, начинается процесс наматывания его на вал со все более сильным уплотнением слоев), наличие оголенных участков вала, с которыми соприкасаются волокнистые материалы; пропуск через машины более влажного и загрязненного сырья.

Во избежание возможности наматывания волокнистых материалов на вращающиеся валы машин необходимо:

защищать валы от непосредственного соприкосновения с обрабатываемыми волокнистыми материалами путем применения

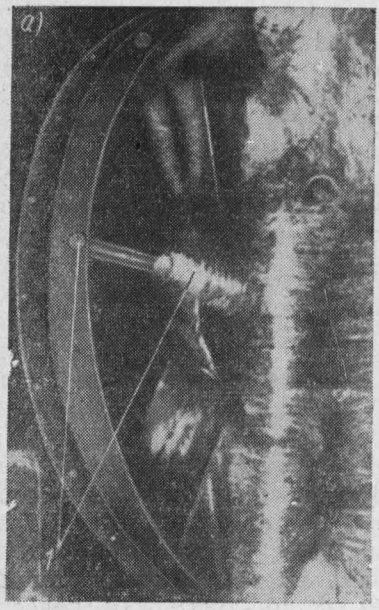


Рис. 57. Наматывание штапельного волокна на вентиляторы текстильных машин и сушилок:

а — наматывание волокна на вентилятор; *б* — наматывание волокна на вал вентилятора; *1* — вентилятор; *2* — вал вентилятора; *3* — паровые трубы.

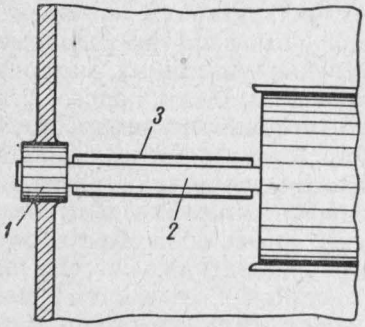


Рис. 58. Защита вращающегося вала свободно насаженной втулкой:

1 — подшипник; *2* — вал; *3* — защитная втулка.

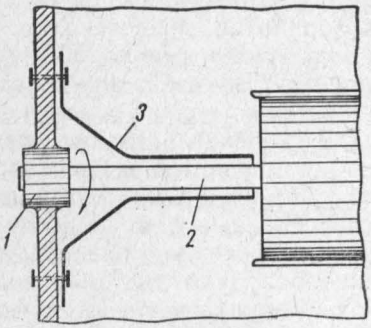


Рис. 59. Защита вращающегося вала неподвижным кожухом-втулкой:

1 — подшипник; *2* — вал; *3* — защитный кожух-втулка.

свободно насаженных втулок (рис. 58), цилиндрических и конических кожухов (рис. 59) кондукторов, направляющих планок, противонамоточных щитов и т. д.;

устанавливать минимальные зазоры между цапфами вала и подшипниками, не допуская работы с увеличенными зазорами;

систематически наблюдать за валами, где может быть наматывание, своевременно очищая их от волокон;

защищать валы специальными противонамоточными острыми ножами, разрезающими наматывающееся волокно, если обычными методами возможность наматывания не исключается. Такую защиту имеют, например, трепальные машины льнозаводов.

Перегревы при обработке резанием твердых горючих материалов

Механическая обработка (резание, строгание, фрезерование, шлифовка) твердых материалов связана с преодолением значительных сил трения и вследствие этого нагреванием материала получающихся отходов, а также режущего инструмента, которым производится работа. При нормальных режимах резания и правильной заточке режущего инструмента развивающиеся температуры не представляют опасности, однако, отклонение от нормы может вызвать значительное их повышение. Основными факторами, влияющими на разогрев материала при его механической обработке, являются: скорость резания, толщина стружки, качество заточки инструмента, механические и теплотехнические качества материала. Чем больше скорость резания, толще стружка и тупее инструмент, тем больше будет выделяться тепла. Это тепло может привести к воспламенению обрабатываемых горючих материалов.

Опасность воспламенения при нарушении режима механической обработки представляют целлулоид, эбонит, термореактивные пластмассы, резина, магниевые сплавы и другие подобные им материалы. Во избежание воспламенения указанных материалов при их механической обработке необходимо для каждого станка установить режим резания (скорость резания, толщину стружки, величину подачи и т. п.) и строго его соблюдать. Нельзя допускать работу затупленными инструментами и использовать станки, не приспособленные для обработки данного материала. Для охлаждения опасных материалов в процессе резания и фрезерования станки оборудуют системой водяного охлаждения. Систему подачи воды блокируют с системой пуска станка. Если система подачи воды не включена или неисправна, то пустить станок в работу в этом случае будет нельзя. Вода не только охлаждает материал и инструмент, но и удаляет от рабочего места пожароопасные отходы в виде опилок, крошки и пыли, а также предотвращает возможность образования на материале зарядов статического электричества. Если химические свойства материала (например, магния, его сплавов, титана) не позволяют применять для охлаждения воду, используют другую жидкость или газ.

§ 3. Разогрев веществ при адиабатическом сжатии

Уменьшение объема газообразных тел и изменение формы пластических материалов требуют затраты механической энергии и сопровождаются нагреванием сжимаемого вещества, а также конструктивных элементов компрессоров и прессов.

При прессовании материалов такого резкого изменения объема не происходит, как при сжатии газа, и поэтому не наблюдается большого увеличения температур. Наиболее опасными при прессовании являются пластические массы на основе нитроклетчатки. При прессовании нитроклетчатки опасаются ее саморазложения, которое может произойти от разогрева при сжатии — при наличии в массе воздушных включений или зазоров между цилиндром и поршнем. Во избежание этого прессование нитроклетчатки и подобных ей веществ осуществляется в два приема (подпрессовка, а затем основное сжатие), а под поршень кладутся специальные прокладки — обтюраторы.

С точки зрения пожарной опасности наиболее характерным является процесс адиабатического сжатия горючих газов и воздуха, так как выделяющееся при этом тепло приводит к максимальному нагреванию сжимаемого газа.

Повышение температуры газа при адиабатическом сжатии определяется уравнением:

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}},$$

где: T_1 и T_2 — температура газа до и после сжатия, °К;
P_1 и P_2 — начальное и конечное (после сжатия) давление газа, *кГ/см*^{2};
k — показатель адиабаты, представляющий собой отношение теплоемкости при постоянном давлении к теплоемкости при постоянном объеме.

Во избежание чрезмерного нагрева газа при сжатии до высоких давлений его сжимают не сразу, а ступенчато, и охлаждают после каждой ступени сжатия. Для постепенного сжатия газа до высоких давлений применяются многоступенчатые компрессоры с водяными холодильниками. Схема такого компрессора показана на рис. 60.

При нормальном режиме работы компрессора и хорошем состоянии холодильников температура в цилиндрах не должна превышать 140—160° С. Нарушение нормальных условий работы, т. е. увеличение давления в цилиндрах сверх установленного или недостаточное охлаждение газа перед поступлением на следующую ступень сжатия может вызвать повышение температуры. Давление может повыситься, если по какой-либо причине уменьшился расход газа, а производительность компрессора не изменилась, если увеличилось число ходов поршня или газ поступает с большим

начальным давлением. Интенсивность охлаждения газа может уменьшаться вследствие недостаточной подачи холодной воды в холодильники, отсутствия контроля за ее температурой или в результате сильного загрязнения отложениями теплообменной поверхности холодильников.

Высокая температура в компрессорах, нагнетающих горючие газы, приводит к более интенсивному испарению смазочного масла и ухудшению качества смазки вообще, что вызывает загрязнение конденсатом и продуктами разложения масла поверхности

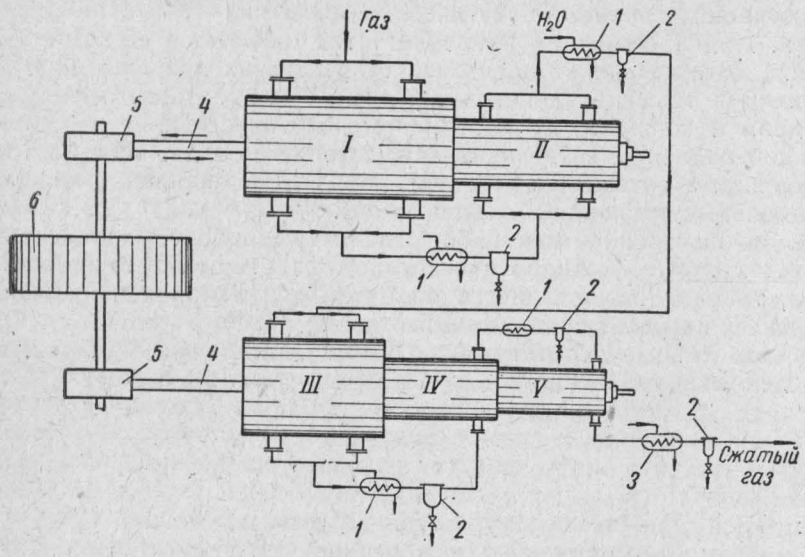


Рис. 60. Схема пятиступенчатого компрессора:

I, II, III, IV и *V* — цилиндры соответствующих ступеней сжатия газа; *1* — межступенчатые холодильники; *2* — маслосборники; *3* — конечный холодильник; *4* — шток; *5* — коленчатый вал с шатуном; *6* — маховое колесо.

холодильников, снижает степень охлаждения и тем самым способствует еще более сильному нагреву газа. А это может вызвать и образование повышенных давлений и механические повреждения компрессора, в результате чего горючий газ будет выходить в помещение компрессорной станции. Так как при сжатии чистых горючих газов в компрессоре и трубопроводах не может быть взрывоопасных смесей, то вероятнее всего взрыв может произойти в помещении компрессорной станции вследствие утечки газа через неплотности или при авариях.

Несмотря на то, что воздушные компрессоры сжимают и подают в трубопроводы не горючий газ, а воздух, в практике имеют место их взрывы с последующими пожарами. Взрывы в воздушных компрессорах или в системе сжатого воздуха за компрессором, как правило, происходят в результате образования взрыво-

опасных концентраций паров и продуктов разложения масла с воздухом, при одновременном наличии очагов самовозгорания отложений на поверхности труб. Образование же паров масла и продуктов его разложения непосредственно связано с наличием высоких температур, появляющихся в результате адиабатического сжатия воздуха.

Находясь под воздействием высокой температуры, часть масла испаряется и разлагается, а под воздействием кислорода воздуха окисляется. Активное воздействие кислорода обусловливается сравнительно высокими температурами и большой поверхностью масляной пленки и взвеси.

Исследованиями установлено, что в интервале температур до 150° С на каждые 10° С повышения температуры процесс окисления ускоряется в 2—3 раза. Продукты разложения, окисления и испарения масла уносятся воздухом из компрессора и часть из них отлагается на поверхности труб в виде масляных нагаров.

Нарушение температурного режима увеличивает испарение и окисление масла. В объеме цилиндра в момент сжатия воздуха может образоваться взрывоопасная концентрация паров масла, но температура чаще всего не достигает температуры самовоспламенения. Более благоприятные для взрыва условия образуются в нагнетательном воздуховоде. Это объясняется следующим.

Процесс окисления масла продолжается и по выходе его из цилиндров в отложившемся слое на стенках труб. В результате окисления температура отложений повышается, что приводит к дополнительному выделению в сжатый воздух паров масла и продуктов его окисления. Таким образом, концентрация горючих веществ в воздухе за компрессором еще более увеличивается. Изменение режима работы компрессора (повышение температуры и давления) может привести к более активному процессу, т. е. к образованию очагов самовозгорания отложений на трубах и взрыву. Самыми опасными являются участки трубопровода от компрессора до воздухосборника и сам воздухосборник. Взрывы чаще всего происходят при работе компрессоров на повышенных давлениях, но бывают они и в момент остановки. При остановке снижается скорость движения воздуха в нагнетательном воздуховоде и уменьшается теплоотдача от окисляющихся отложений масла, т. е. создаются благоприятные условия для самовозгорания отложений. Горение масляных отложений на поверхности труб может и не сопровождаться взрывом.

Во избежание взрывов в компрессорах необходимо строго следить за техническим состоянием и режимом их работы. Необходимо вести контроль за давлением газа, для чего каждая ступень сжатия имеет показывающий манометр или прибор, автоматически предупреждающий о наличии давления сверх установленной нормы, а в некоторых случаях — при повышении давления автоматически останавливающий двигатель, компрессора.

Помимо манометров и регуляторов давления, на нагнетатель-

ных газовых линиях устанавливают предохранительные клапаны. Предохранительные клапаны устанавливают также на резервуарах (воздухосборниках) или на коллекторах газа.

При работе компрессоров ведут контроль за температурами газа и охлаждающей воды, не допуская превышения их сверх установленной нормы.

При повышении температуры или прекращении подачи воды в межступенчатые холодильники компрессоры должны автоматически останавливаться. Важно установить и выдерживать правильные нормы расхода смазочного масла. В практике наблюдались случаи, когда снижение расхода смазочного масла в 2 раза, не отражаясь на состоянии оборудования, давало уменьшение отложений в трубах в 20—30 раз. Для очистки сжатого воздуха и горючего газа от масла после каждой ступени сжатия устанавливают маслоотделители. Смазка, накопившаяся в маслоотделителе, регулярно выпускается. Удлинение времени между выпусками масла приводит к уменьшению процента уловленной смазки в несколько раз; кроме того, это может привести при толчках давления газа к выбросу масла в цилиндры последних ступеней сжатия компрессора и вызвать аварию.

Очень важным мероприятием является систематическая очистка нагнетательных труб. Очистка труб производится пятипроцентным водным раствором каустической соды. После этого трубопровод тщательно промывают водой под давлением. В наиболее низких точках воздуховодов за компрессором предусматривают устройство дренажных краников и осуществляют регулярный выпуск собирающегося смазочного масла.

Если в воздуховодах обнаружены очаги горения масла, то для предупреждения возможности взрыва необходимо немедленно принять меры к снижению давления в нагнетательном воздухопроводе, открыв вентиль на атмосферной трубе, а после этого остановить компрессоры.

В начальной стадии самовозгорания этот процесс можно погасить, создавая условия для более интенсивной теплоотдачи (например, путем повышения скорости движения воздуха или охлаждением поверхности труб водой и т. п.).

Во избежание сильных разрушений при взрыве воздухосборников их размещают на открытом воздухе, за глухой стеной компрессорной станции.

Неоднократные случаи взрыва имели место при работе кислородных компрессоров, главным образом во влагоотделителях. Основной причиной взрыва является нарушение установленной системы смазки, когда применяют не дистиллированную воду, а мыльную эмульсию со значительным содержанием в ней жиров.

Смазка кислородных компрессоров должна производиться только дистиллированной водой с добавлением не более 10% глицерина.

Тепловое проявление электрической энергии, выражающееся в образовании электрических искр и дуг, чрезмерном перегреве проводников, контактов и отдельных участков электрических сетей при перегрузках и неисправностях электрооборудования, а также в искровых разрядах статического и атмосферного электричества здесь не рассматриваются, так как этим вопросам посвящены специальные пособия.

РАЗДЕЛ III

ОГРАНИЧЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА ПО ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ УСТРОЙСТВАМ

Начавшийся пожар может быстро развиваться, принять большие масштабы и причинить значительный ущерб только в том случае, если для этого будут соответствующие условия. Если же условий для распространения пожара как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении не будет, то огонь не выйдет за пределы первоначально охваченного им участка.

В производственных и складских помещениях почти всегда есть условия для распространения возникшего пожара, но их можно свести до минимума. Однако данные анализа пожаров на промышленных предприятиях и в складах показывают, что этому вопросу все еще не уделяется необходимое внимание. Убытки от пожаров на таких объектах составляют более половины убытков от всех пожаров.

Возникший пожар перерастает в крупный также в тех случаях, когда наряду с благоприятными условиями для распространения огня не принимаются своевременно действенные меры по его ликвидации.

Наиболее характерными условиями, способствующими распространению начавшегося пожара, являются:

скопление большого количества горючих материалов в помещении;

наличие путей, создающих возможность распространения пламени и раскаленных продуктов горения от установки к установке, из помещения в помещение;

появление в процессе пожара внезапных факторов, ускоряющих его развитие.

Наиболее характерными причинами несвоевременных действий по тушению возникшего пожара являются [1]:

позднее обнаружение пожара и задержка сообщения о нем в пожарную часть;

отсутствие или неисправность первичных и станционарных средств пожаротушения;

---

[1] Причины, зависящие от действий пожарных подразделений, здесь не рассматриваются.

незнание обслуживающим персоналом приемов и способов использования средств пожаротушения.

Правильный анализ возможных условий и причин распространения пожаров необходим для разработки решений, которые бы позволяли: ограничивать (без ущерба для производства) количество горючих материалов, находящихся в помещениях; обеспечивать условия для эвакуации материалов и оборудования; создавать препятствия для распространения огня по коммуникациям; предупреждать возможность разрушения аппаратов при взрыве; обеспечивать своевременное обнаружение и тушение пожара. Рассмотрим эти вопросы более подробно.

Глава VII. УМЕНЬШЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Уменьшение количества горючих веществ и материалов в производственных и складских помещениях не только ограничивает возможность распространения пожара, но и снижает вероятность его возникновения. Таким образом, мероприятия, рассматриваемые в данной главе, направлены на снижение пожарной опасности технологического процесса как путем уменьшения вероятности образования горючей среды, так и путем ограничения уже возникшего пожара.

Уменьшить количество горючих веществ и материалов в производственных помещениях и складских зданиях можно: ограничением площади производственных и складских помещений; уменьшением количества сгораемых материалов в строительных конструкциях; ограничением количества обрабатываемых горючих веществ; заменой обращающихся в производстве горючих веществ негорючими; снижением количества сгораемых отходов; уменьшением количества горючих материалов в производственном оборудовании.

§ 1. Ограничение площадей производственных и складских помещений

Наибольшая допускаемая площадь пола между брандмауэрами зависит от категории пожарной опасности размещаемых в здании производства, этажности здания и степени его огнестойкости. Так, например, в соответствии с требованиями Н 102—54 площадь пола между брандмауэрами для производства категории А, размещенных в одноэтажном здании II степени огнестойкости, не должна превышать 4000 $м^2$; для производств категории Б в зданиях I степени огнестойкости площадь пола между брандмауэрами не ограничивается, а для производств категории В в одноэтажном здании V степени огнестойкости площадь пола не должна превышать 1200 $м^2$.

Для складов, где хранятся ценные сгораемые материалы, площадь пола между брандмауэрами уменьшают до 700 $м^2$. Однако и на этой площади может быть сосредоточено очень много ценностей. Поэтому в некоторых случаях ведомственные нормы и правила уменьшают допустимые площади складских помещений. Так, типовые правила пожарной безопасности для предприятий торговли, баз и складов, находящихся на территории РСФСР, предусматривают в необходимых случаях при хранении в складских помещениях большого количества товаро-материальных ценностей ограничение складских площадей в пределах 350—400 $м^2$ путем устройства оштукатуренных перегородок или брандмауэров. Главным управлением государственных материальных резервов при Совете Министров СССР в одноэтажных зданиях складов I, II и III степеней огнестойкости при хранении натурального и синтетического каучука допускается максимальная площадь отсеков между брандмауэрами не более 540 $м^2$.

Таким образом, при разработке проектов противопожарных норм или правил пожарной безопасности, при рассмотрении проектов или пожарно-техническом обследовании промышленных предприятий, баз и складов надо обращать внимание на необходимость ограничения площадей пола между брандмауэрами, учитывая пожароопасные свойства находящихся там материалов, их ценность, не забывая при этом и вопросов экономики.

§ 2. Уменьшение количества горючих материалов в строительных конструкциях

Весьма часто строительные конструкции, особенно в давно построенных зданиях, выполнены из сгораемых материалов. Высохшие от длительной эксплуатации, окрашенные масляной краской, зачастую промасленные или имеющие пустоты деревянные конструкции являются удобными путями развития начавшегося пожара. Охваченные огнем, они по мере выгорания древесины теряют несущую способность и рушатся. Поэтому во вновь проектируемых производственных и складских зданиях, где обрабатываются или хранятся горючие вещества, следует стремиться к минимальному применению сгораемых строительных конструкций, если применение их вообще допустимо по существующим нормам. Так, на территории производственных цехов и установок предприятий нефтяной и химической промышленности строительство зданий и сооружений ниже II степени огнестойкости не допускается.

Во избежание возможности быстрого распространения огня сгораемые конструкции уже построенных производственных и складских зданий следует защищать от возгорания. Защита от возгорания может производиться различными способами: облицовкой, штукатуркой, пропиткой и обмазкой. Даже простейший способ защиты деревянных конструкций — окраска известково-соляными составами — задерживает распространение огня, созда-

вая этим условия для ликвидации пожара первичными средствами пожаротушения или прибывшими пожарными командами.

Применять защиту сгораемых конструкций от возгорания рекомендуется во всех случаях. Если по каким-либо соображениям (сложность, невыгодность в экономическом отношении и т. п.) нельзя применить наиболее эффективные методы защиты, такие, как облицовка, штукатурка, глубокая пропитка и т. п., то следует применять обмазку, окраску, поверхностную пропитку и т. п.

Подробнее эти вопросы излагаются в специальной литературе [1].

В некоторых случаях необходимость защиты сгораемых конструкций от возгорания предусматривается действующими противопожарными правилами и нормами.

Подобные требования целесообразно предусматривать в разрабатываемых правилах пожарной безопасности, а самое главное — обеспечить их неуклонное выполнение.

§ 3. Ограничение количества обрабатываемых горючих веществ и материалов

Для осуществления нормально протекающего технологического процесса производства необходимо иметь определенное количество сырья и полуфабрикатов в аппаратах и у рабочих мест, которое зависит от производительности аппаратов и организации технологического процесса. Естественно, что технологический процесс с периодически действующей аппаратурой при одной и той же производительности будет иметь в цехе значительно больше горючих материалов, чем процесс с непрерывно действующими аппаратами. Так, периодически действующая ректификационная установка для разгонки горючих и легковоспламеняющихся растворов одновременно содержит в аппаратах жидкостей в 2—3 раза больше, чем непрерывно действующая установка такой же производительности. Конвейерный способ окраски изделий методом распыления краски или в окрасочных ваннах потребует значительно меньшего количества лакокрасочного материала в цехе, чем ручная окраска изделий такой же производительности.

Количество сырья и полуфабрикатов, находящихся в производственном помещении, зависит и от организации их транспортировки со склада в цех и к рабочим местам. Если доставка производится вручную и периодически, то, как правило, это приводит к необходимости создания несколько большего запаса материалов, чем при механизированной и непрерывной транспортировке. Следовательно, несовершенные технология и организация производственного процесса, а также слабый контроль за пожарной безо-

---

[1] С. И. Таубкин. Основы огнезащиты целлюлозных материалов. Изд. МКХ РСФСР, 1960.

М. Я. Ройтман. Пожарная профилактика в строительном деле. Изд. МКХ РСФСР, 1961.

пасностью приводят к большому скоплению обрабатываемых горючих веществ в производственных помещениях.

Для ограничения количества обращающихся в производственном помещении горючих веществ необходимо осуществлять следующие мероприятия:

1) в процессе проектирования рекомендовать, где это возможно и экономически целесообразно, разработку технологического процесса по непрерывнодействующей схеме. При этом объемы аппаратов и емкостей с огнеопасными жидкостями и газами принимаются минимальными и строго по расчету. Технологическая схема отрабатывается так, чтобы в ней было минимальное количество мерников, напорных баков, промежуточных емкостей, бункеров и т. п.

Если необходимо иметь некоторый запас сырья, полуфабрикатов или подсобных горючих материалов на отдельных участках непрерывнодействующего процесса, то организуют промежуточные склады, изолированные от основного производственного помещения. При наличии значительного количества или большой емкости напорных баков, мерников сырья и готовой продукции их также располагают изолированно от производственных помещений.

Аппараты и рабочие места в помещении и по этажам размещают с учетом поточности производства, при этом стремятся сократить протяженность коммуникаций и транспортеров с огнеопасными веществами. При разработке проектных материалов учитывают также необходимость разделения брандмауэрами технологических процессов с различной категорией пожарной опасности;

2) в процессе эксплуатации нельзя допускать перегрузки производственных площадей огнеопасными материалами. Для того чтобы сделать заключение о степени загрузки помещения сырьем, полуфабрикатами или готовой продукцией, необходимо знать, какая загрузка в данном случае будет считаться нормальной. Допустимую норму одновременной загрузки помещений устанавливают, исходя из местных условий и обязательно с учетом не только требований технологии, но и пожарной безопасности.

При разработке допустимой нормы одновременной загрузки помещений можно использовать следующие приемы (каждый в отдельности или в сочетании друг с другом):

а) ограничение количества изделий, сырья и полуфабрикатов.

Этот способ применим в том случае, когда обрабатываются крупногабаритные изделия, количество которых легко определить подсчетом. Так, можно ограничить количество вагонов, самолетов и других машин, одновременно находящихся в цехах сборки или окраски; можно ограничить количество кип хлопка-волокна, находящихся в подготовительном отделении прядильных фабрик, и т. д. Максимально допустимое количество таких изделий, установленное совместно администрацией объекта и представителем пожарной охраны, записывается в цеховую технологическую или противопожарную инструкцию и легко может быть проверено;

б) ограничение количества одновременно находящихся в помещении твердых сгораемых материалов по площадям, отводимым для их хранения.

Этот способ может быть применим почти для всех производственных помещений с наличием твердых, затаренных или волокнистых материалов. Сущность его заключается в следующем. Помещение можно считать нормально загруженным, если находящиеся в нем сырье, полуфабрикаты и готовая продукция не будут загромождать проходы и подступы к производственному оборудованию, к средствам пожаротушения, к эвакуационным выходам и т. д. Места возможного хранения (площадки) выделяют нанесением на полу масляной краской резко заметных линий. Ширина проходов и подступов, которые всегда должны быть свободными, принимается в пределах следующих величин[1]:

основные проходы вдоль машин и оборудования должны быть на 0,8 *м* больше ширины применяющихся транспортных средств или габаритов перемещаемых деталей, но не менее 1,5—2,0 *м*;

поперечные проходы должны быть не менее ширины дверей, но не менее 1—1,5 *м*; проходы между выступающими движущимися частями машин и оборудования—не менее 1,5—2 *м*; проходы между машинами и стенами при необходимости кругового обслуживания машин — не менее 0,8—1,0 *м*; проходы к периодически обслуживаемому оборудованию и к одиночным рабочим местам—не менее 0,7—0,8 *м*.

Размещать материалы и изделия вне пределов выделенных площадок нельзя, об этом должна быть сделана соответствующая запись в технологической или цеховой противопожарной инструкции;

в) ограничение по емкости или весу используемых огнеопасных жидкостей и твердых веществ.

Этот способ может быть применим для расходных и цеховых складов, а также для производственных помещений, где находятся лакокрасочные материалы, растворители или легкогорючие твердые вещества у рабочих мест. Предельно допустимое количество огнеопасных жидкостей в цеховых складах и производственных помещениях назначают в зависимости от потребности производства, характера помещения и способа хранения жидкостей. Это количество не должно превышать величин, указанных в табл. 8 НиТУ 108—56.

В производственных помещениях, где по условиям работы у рабочих мест необходимо иметь легковоспламеняющиеся или горючие жидкости (резиновый клей, бензин, керосин, ацетон, лакокрасочные материалы и т. п.), их предельное количество может быть определено в каждом отдельном случае, исходя из местных условий, и должно быть записано в технологическую или противопожарную инструкцию.

---

[1] В соответствии с Н 102—54, НиТУ 133—55, ТУ 01—56 МХП СССР и др.

В некоторых случаях предельный объем огнеопасных жидкостей у рабочих мест определен ведомственными нормами и правилами.

Противопожарная цеховая инструкция должна предусматривать, чтобы после окончания работы посуда с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями убиралась в металлические шкафы или на склад с оборудованными местами для безопасного хранения.

Предельное количество огнеопасных твердых веществ устанавливают в тех же единицах, в каких ведется их производственный учет. Например, древесина ограничивается по объему, так как ее учет ведется в $м^3$, а уголь, карбид кальция, целлулоид, кинопленка, щелочные металлы и т. п.—по весу, так как они учитываются в весовых единицах. Так, по существующим правилам предельная емкость цехового склада карбида кальция устанавливается не более 200 *кг*; в помещении, где происходит сортировка отходов нитроцеллюлозной кинопленки при изготовлении из них целлулоида, общее количество отходов не должно превышать 500 *кг* и т. д. Конкретная запись в инструкции предельных норм, выраженных в весовых или объемных единицах, позволяет вести контроль за ее соблюдением;

г) ограничение количества жидких и твердых огнеопасных веществ и материалов по производительности цеха.

Этот способ весьма часто применяют для установления предельно допустимого количества горючих веществ в цеховых складах и кладовках, а также в производственных помещениях. Сущность его заключается в том, что, исходя из местных условий и особенностей технологического процесса, количество хранимых или одновременно находящихся в помещении горючих материалов устанавливают в пределах суточной, сменной, полусменной или часовой потребности. Так, в правилах пожарной безопасности для окрасочных цехов Министерства авиационной промышленности говорится, что запас растворителей в отделениях промывки не должен превышать полусменной потребности, а при небольшом расходе—не более сменной потребности.

Несмотря на кажущуюся простоту и широкое использование в практике, этот способ все же имеет существенный недостаток, так как проверяющий не всегда может установить действительную потребность производства (чаще всего она устанавливается не документально, а со слов начальника цеха, участка и т. п.). Кроме того, потребность со временем меняется, увеличиваясь по мере роста производительности, что может автоматически привести к узаконенной перегрузке складских и производственных помещений. Этого недостатка можно избежать, если наряду с ограничением количества огнеопасных веществ по производительности цеха указывать конкретно предельную норму (в *кг* или $м^3$), превышать которую нельзя.

Так, в правилах пожарной безопасности и основных технологи-

ческих требованиях при работе с целлулоидом (Министерство местной промышленности РСФСР, 1955 г.) говорится, что в цехах производства целлулоида можно иметь запас легковоспламеняющихся жидкостей, а также целлулоида, полуфабрикатов или готовых изделий в количестве, равном полусменной потребности, но не более 2 *т*.

Требование, изложенное в такой редакции, позволит учесть конкретные условия производства и делает противопожарные нормы или цеховые инструкции более действенными.

Таким образом, ограничение количества одновременно находящихся в производственных помещениях горючих веществ и материалов осуществляется различными путями, но во всех случаях следует стремиться к тому, чтобы требования были конкретными, учитывали особенности данного производства и давали возможность осуществлять контроль за их выполнением. Эти требования должны знать рабочие и служащие.

§ 4. Снижение пожарной опасности обращающихся в производстве веществ и материалов

Практические возможности в этом направлении безграничны. Проблема снижения пожарной опасности используемых в производстве веществ может быть положительно решена только при широком участии ученых, инженерно-технических работников, а также рационализаторов и изобретателей.

Вместе с тем большую помощь могут оказать и работники пожарной охраны, ставя эти вопросы на разрешение перед пожарно-техническими комиссиями и БРИЗами промышленных предприятий.

Снижение пожарной опасности, обращающихся в производстве веществ и материалов, может быть осуществлено, в основном, следующими путями:

а) заменой горючего сырья менее горючим или негорючим;

б) заменой огнеопасных растворителей менее опасными или негорючими;

в) изменением технологии, в результате чего отпадает необходимость применения каких-либо огнеопасных веществ.

Примеров положительного решения указанных вопросов можно привести много. Вот некоторые из них.

Многими промышленными предприятиями потребляется в качестве сырья большое количество различных нитроцеллюлозных материалов Нитроцеллюлоза идет на изготовление кино- и рентгенопленки, целлулоида и служит основой многих лакокрасочных материалов, искусственной кожи, гранитоля и т. п. Целлулоид также используется для изготовления игрушек и предметов галантереи. Повышенная пожарная опасность изделий на основе нитроцеллюлозы (нитроклетчатки) является существенным недостатком этого материала.

Большая скорость горения нитроцеллюлозных материалов

(2 *кг* кинопленки сгорает за 50 сек., а 16 *кг*—за 68 сек.), их способность разлагаться с выделением взрывоопасных и ядовитых газообразных продуктов (нижний предел взрыва 4%; верхний—9%) приводят иногда к большим пожарам и гибели людей. В качестве заменителя нитроклетчатки (целлулоида) при изготовлении пленок и предметов широкого потребления наиболее широко используют ацетилцеллюлозу и синтетические смолы. На их основе вырабатывается кино- и рентгенопленка, некоторые сорта лаков и т. п. Ацетатная кинопленка горит примерно в 14 раз, а разлагается в 16 раз медленнее, чем пленка на нитрооснове.

В ближайшие годы решено полностью отказаться от производства нитроцеллюлозной кинопленки. На предприятиях местной промышленности, изготовляющих бытовые приборы, игрушки и другие предметы широкого потребления, принимаются меры к замене целлулоида и битой кинопленки менее опасными пластмассами.

Многие предприятия и научно-исследовательские учреждения успешно ведут работу по замене пожароопасных растворителей менее опасными. Так, сотрудниками Научно-исследовательского института бывшего Министерства электростанций и электропромышленности в 1953 г. разработаны рецепты водорастворимых электроизоляционных лаков. Такие лаки при изготовлении и употреблении не требуют применения спиртов, ацетона, бензола и подобных им растворителей. Промышленностью освоены водорастворимый бакелитовый лак, водоэмульсионный пропиточный масляно-слюдяной лак № 321, водоэмульсионный масляно-слюдяной лак № 302 и др. Водорастворимые смолы применяют при изготовлении гетинакса, текстолита, изоляционной бумаги и других электроизоляционных материалов.

Промышленные предприятия и стройки расходуют большое количество натуральной, полунатуральной и искусственной олифы для окраски, грунтовки и шпаклевки.

Натуральные и искусственные олифы являются огнеопасными жидкостями. Уменьшение количества используемой натуральной олифы и олифы-оксоль, а также снижение их стоимости и пожароопасности достигается применением так называемых эмульсионных разбавителей. Разбавитель олифы представляет собой смесь воды с небольшим количеством эмульгатора и стабилизатора (отстой воды над известковым тестом). Разбавитель тщательно перемешивается с олифой, образуя устойчивую эмульсию.

По своим свойствам эмульсия не уступает олифе, а в некоторых случаях даже превосходит ее. Экономия олифы при этом составляет 60—75%. Наличие в эмульсии до 75% негорючих веществ резко снижает ее пожарную опасность.

Для склеивания волокнистых материалов, прорезинивания и изготовления искусственных кож обычно применяют резиновый клей, представляющий собой раствор каучука в бензине. Применение легколетучих сортов бензина («калоша») делает технологи-

ческий процесс весьма пожароопасным. На некоторых предприятиях вместо резинового клея стали применять латекс. Латекс представляет собой негорючую полидисперсную суспензию каучука в воде.

Большое количество растворителей, таких, как керосин, бензин, ацетон и т. п., применяется для промывки и обезжиривания деталей, метиловый и этиловый спирты—для сушки.

Иногда вместо легковоспламеняющихся растворителей применяют такие негорючие вещества, как трихлорэтилен (C_2HCl_3) и четыреххлористый углерод (CCl_4). Однако широкого применения хлорорганические растворители не нашли, так как обладают большой летучестью и способностью к разложению (выделяя в присутствии влаги сильно корродирующее вещество HCl, а при воздействии огня — сильное отравляющее вещество фосген). Вместо бензина и керосина для промывки деталей от масла можно использовать водный раствор хромпика ($K_2Cr_2O_7$). На предприятиях радиотехнической, авиационной, машиностроительной промышленности, в авторемонтных мастерских и других предприятиях находят применение выпускаемые химической промышленностью препараты-эмульгаторы ОП (ОП-7; ОП-10). Препараты ОП внешне напоминают масло или мазь темной окраски, со слабым запахом, хорошо растворимы в воде. По своему химическому составу они являются производными полиэтиленгликолевого эфира. Как заменитель бензина при промывке хорошие результаты дает водный раствор ОП-7 с углекислой содой (Na_2CO_3), тринатрийфосфатом (Na_3PO_4) и каустической содой (NaOH). Промывать детали от масла и жира можно также подогретыми водными растворами жидкого стекла и едкой щелочи.

Во многих случаях можно добиться исключения или уменьшения количества применяемого горючего сырья, вспомогательных веществ и растворителей путем изменения технологического процесса. Так, на многих предприятиях вместо обычного способа очистки деталей от масла и жира в легковоспламеняющихся растворителях смонтированы установки для очистки с помощью ультразвука.

Установка представляет собой ванну и генератор, создающий колебания высокой частоты. В ванну погружается подлежащая очистке деталь, и через несколько минут после включения генератора деталь становится чистой.

На некоторых часовых заводах до внедрения ультразвуковых установок детали отпаривались в ванне с вазелином при температуре 110—120° С, затем промывались в двух бензиновых ваннах, сушились и вновь промывались в водном растворе мыла, спирта, аммиака и щавелевой кислоты. После этого детали еще раз промывались в трех ваннах с бензином и сушились. Применение бензина и масел приводило к загрязнению оборудования, помещения и спецодежды рабочих. С внедрением ультразвуковых установок количество применяемого бензина резко сократилось,

производительность труда увеличилась, повысилась культура производства.

Раньше при производстве технического сульгина применялось значительное количество ацетона и гуанидина-нитрата, что делало технологический процесс пожаро- и взрывоопасным. Группа рационализаторов разработала новую технологию производства сульгина, внедрение которой позволило полностью исключить использование огнеопасных растворителей. Там же при производстве пентафена в качестве растворителя применяли большое количество толуола. Рационализаторы предложили изменить технологию производства, в результате чего амид натрия заменен едким натром, а толуол был полностью исключен из технологического процесса производства.

Тиогликолевую кислоту получали ранее при использовании диэтилового эфира. Как известно, диэтиловый эфир является легковоспламеняющейся жидкостью, пары которой образуют взрывоопасные концентрации с воздухом в интервале температур от —45 до —13° С, а температура самовоспламенения его равна 180° С. При использовании эфира нередко возникали вспышки и пожары. Заменой диэтилового эфира дихлорэтаном удалось снизить и стоимость продукции и пожарную опасность процесса.

Приведенные примеры подтверждают широкую возможность снижения пожарной опасности производства этим методом.

§ 5. Уменьшение количества сгораемых отходов производства

Процессы обработки древесины, пластмасс, хлопка, льна, процессы измельчения и размола, очистки и выбойки весьма часто сопровождаются образованием отходов в виде обрезков, стружки, опилок, крошки и пыли. Так, в деревообрабатывающих цехах в отходы уходит от 15 до 25% всей обрабатываемой дервесины. Нередко у рабочих мест, на свободных площадях пола помещений и на территории объектов скапливается значительное количество легкогорючих отходов, производственное оборудование и строительные конструкции покрываются слоем пыли.

Уменьшение количества сгораемых отходов в производственных помещениях достигается: а) применением рациональных методов обработки твердых веществ; б) улавливанием образующихся отходов непосредственно у мест их выделения; в) регулярной уборкой рабочих мест и очисткой всего помещения.

Количество отходов может быть резко уменьшено путем правильного подбора размеров и формы заготовок. Правильный подбор заготовок обеспечивает также значительную экономию материала, на что необходимо обращать внимание БРИЗов и всех работающих в цехах. Отходы выделяются главным образом при обработке материалов строганием, резкой, долблением, фрезерованием, шлифовкой и т. п. Следовательно, во всех случаях, где

это возможно по условиям технологии, целесообразно указанные операции заменять прессованием, выдавливанием, гнутьем, склеиванием и т. п. Когда обычные материалы не поддаются таким методам обработки, следует рекомендовать заменить их, где это возможно, пластмассами.

Если в процессе производства не удается избежать образования горючих отходов, принимают меры к тому, чтобы их своевременно улавливать и удалять из производственного помещения.

Уборка отходов может быть периодической и непрерывной, ручной и механизированной. Естественно, что наиболее эффективным является непрерывный механизированный способ улавливания и уборки отходов. При ручной уборке в цеховой инструкции указывают, через какой промежуток времени она производится, куда складывают отходы и кто за это отвечает.

Из механизированных способов удаления стружки, опилок, костры, пуха и пыли наиболее часто применяют систему аспирации. Местные отсосы аспирационных систем располагают как можно ближе к местам образования отходов и с учетом направления естественного полета выделяющихся частичек.

Улавливание горючих отходов бывает налажено хорошо главным образом тогда, когда предприятие экономически заинтересовано в этом, т. е. когда отходы подвергаются утилизации. Улавливаемые отходы могут использоваться в качестве топлива, химического сырья или для изготовления строительных материалов. В целях удобства транспортировки отходов на другие предприятия их обычно подвергают прессованию в брикеты. Так, например, на заводах, вырабатывающих из органического стекла изделия ширпотреба, около цехов постоянно скапливалось большое количество пожароопасных отходов в виде стружки и пыли.

Брикетирование и утилизация отходов помогли ликвидировать захламленность и дали возможность использовать их при производстве ценных химических продуктов.

На некоторых мебельных фабриках из улавливаемых стружек и опилок стали изготовлять древесно-волокнистые плиты, при этом производственные помещения и территория фабрик очистились от отходов. Древесные отходы используются также гидролизными заводами и заводами сухой перегонки древесины.

Большое значение имеет своевременная уборка помещений. Различают текущую, периодическую и генеральную уборку производственных помещений.

Текущая уборка машин, оборудования и пола помещения осуществляется непрерывно по мере необходимости. Периодическая уборка может осуществляться один раз в смену или в сутки, два раза в месяц или один раз в неделю и т. д., в зависимости от характера производства. Места, подлежащие очистке, и сроки ее осуществления указываются в цеховой противопожарной инструкции.

Генеральная уборка производится в сроки, устанавливаемые приказом по заводу.

Во время генеральной уборки производится тщательная очистка всего производственного оборудования, санитарно-технических устройств и строительных конструкций.

Качество уборки помещений проверяется комиссией с участием общественности и заинтересованных лиц. В состав такой комиссии включается представитель местной пожарной охраны.

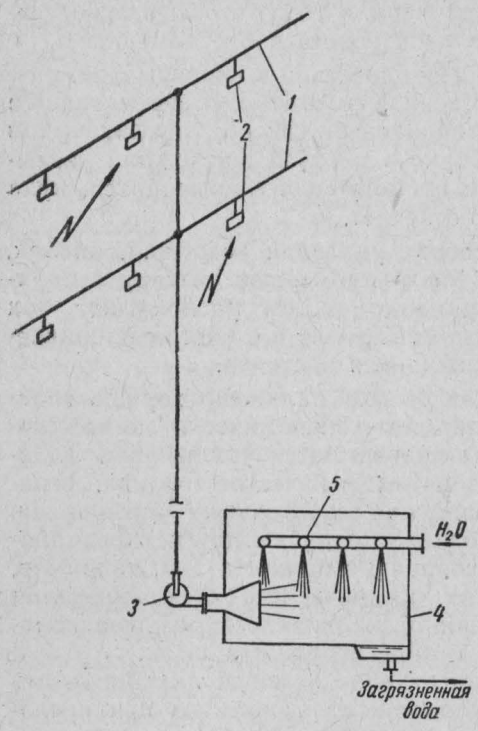


Рис. 61. Схема стационарной пылесосной установки:

1 — трубопроводы в производственных помещениях; 2 — штуцеры для присоединения шлангов со щетками; 3 — вакуум-насос; 4 — смывная камера; 5 — разбрызгиватель.

Нерегулярность и плохое качество уборки могут привести к скоплению значительного количества пыли, отходов, конденсата или излившихся огнеопасных жидкостей. Еще нередки и сейчас случаи, когда слой отложений горючей пыли в труднодоступных для очистки местах и на строительных конструкциях достигает нескольких сантиметров (мукомольные фабрики, комбикормовые заводы, заводы первичной обработки хлопка, льна и т. п.).

Очистку оборудования и строительных конструкций производят ручным или механизированным способом, без взвихрения осевшей пыли. Широкое применение находят сейчас пылесосы промышленного типа. В некоторых случаях (например, на текстильных фабриках, мельничных комбинатах и др.) для очистки помещений и оборудования от пожароопасной пыли применяют пылесосные установки; схема одной из них показана на рис. 61.

§ 6. Уменьшение количества горючих материалов в конструкциях машин и оборудования

Отдельные узлы машин, детали механизмов, а иногда корпуса машин и оборудования выполняют из горючих материалов. Так, на мельницах и крупозаводах почти все зерноочистительные и раз-

мольные машины, а на хлопкоочистительных заводах—волокноотделители и пухоотделители имеют деревянные корпуса. Рукавные всасывающие фильтры имеют деревянный корпус и сгораемые тканевые рукава. Еще можно встретить промышленные предприятия с деревянными самотечными трубами и кожухами норий. На химических предприятиях, где обычная сталь быстро подвергается коррозии, устраивают деревянные воздуховоды, вытяжные шахты, корпуса сушилок и т. п.

Поверхность древесины часто окрашивают или покрывают лаком. Наличие значительного количества высохшей и окрашенной древесины, а также тканей в станках и оборудовании способствует быстрому развитию возникшего пожара, особенно в том случае, когда трубы и кожуха проходят из этажа в этаж, из одного помещения в другое.

Уменьшение количества горючих материалов в конструкциях машин и оборудования может решаться по линии замены древесины металлом и пластмассами, а также по линии защиты легкогорючих материалов от возгорания. Эта работа должна вестись через конструкторов, инженерно-технический персонал цехов, рационализаторов и изобретателей.

В том случае, когда древесина не может быть заменена металлом из-за возможности его коррозии, используют трудносгораемые пластмассы, имеющие высокую химическую стойкость.

Если исключить применение легкогорючих твердых и волокнистых материалов для устройства машин и оборудования не удается, применяют меры защиты их от возгорания.

Глава VIII. ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСЛОВИЙ ДЛЯ ЭВАКУАЦИИ ОГНЕОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ПОЖАРА

В некоторых случаях при возникновении пожара приходится принимать срочные меры к уменьшению количества находящихся в помещении легковоспламеняющихся или горючих жидкостей, горючих газов, а также твердых горючих материалов (сырье, полуфабрикаты, готовая продукция) и эвакуации ценного оборудования. Для этого нужно заблаговременно создать соответствующие условия. Рассмотрим основные из них.

§ 1. Аварийный слив огнеопасных жидкостей

Уменьшение количества легковоспламеняющихся или горючих жидкостей при возникновении пожара достигается путем устройства специальных аварийных сливов или путем перекачки с использованием обычных технологических трубопроводов и емкостей.

а) Устройство аварийных сливов. Вопрос, из каких аппаратов и емкостей и в каких случаях необходимо устраивать аварийные сливы жидкостей, в каждом отдельном случае решает-

ся, исходя из особенностей пожарной опасности процесса и местных условий. Лишь в некоторых случаях необходимость устройства аварийных сливов предусматривается противопожарными правилами и нормами (НиТУ 108—56, ПТУСП 02—62. Государственный комитет совета Министров СССР по топливной промышленности.

Аварийный слив легковоспламеняющихся жидкостей из емкостей и аппаратов, расположенных внутри производственного здания, производят в специально предназначенные для этого подземные или полуподземные резервуары, которые размещаются вне пределов здания, преимущественно со стороны глухой стены, на расстоянии не ближе 1 *м* от нее.

Если же стена, со стороны которой наиболее выгодно разместить аварийный резервуар, имеет проемы, то расстояние принимается не менее 5 *м*.

При устройстве аварийного слива из аппаратов наружных установок нефтеперерабатывающей, коксобензольной, химической и других отраслей промышленности аварийные резервуары размещают в наиболее безопасных местах, на расстоянии не менее 40 *м* от производственных сооружений и установок; при этом должна обеспечиваться возможность слива жидкостей самотеком. Один аварийный резервуар может быть соединен с несколькими аппаратами и емкостями, в этом случае его объем принимается равным не менее 30% суммарного объема соединенных с ним аппаратов и емкостей, но не менее емкости наибольшего из них. Аварийные резервуары делают закрытого типа с дыхательной трубой, выведенной в безопасное место и защищенной огнепреградителем.

С течением времени внутри аварийного резервуара может скапливаться влага, что при сливе высоконагретых жидкостей послужит причиной образования большого давления и разрыва резервуара. Поэтому скапливающаяся вода должна систематически откачиваться. Для более полного удаления воды днище резервуара делают с уклоном.

Чтобы в момент аварийного слива высоконагретых жидкостей избежать возможности взрыва смеси паров с воздухом, во внутренний объем аварийного резервуара подводится водяной пар или какой-либо негорючий газ.

Трубопроводы, по которым осуществляется аварийный слив жидкостей, прокладывают по наиболее короткому направлению, с уклоном в сторону аварийного резервуара. Аварийная задвижка располагается, как правило, вне здания или в первом этаже так, чтобы удобно было подходить к ней. При наличии дистанционного привода задвижку устанавливают вблизи от подлежащего опорожнению аппарата, а пускатели — вблизи от выходов и вне здания. Датчики автоматических систем открывания задвижек устанавливают в зоне возможного горения. Линию аварийного спуска защищают огнепреградителями.

На рис. 62 показана схема аварийного слива из окрасочной ванны с автоматическим датчиком для открывания задвижки.

При аварийном сливе жидкостей в емкостях и аппаратах уве-

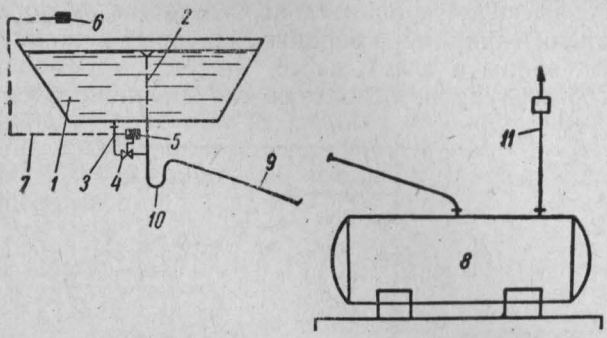


Рис. 62. Схема аварийного слива из окрасочной ванны:

1 — ванна; *2* — переливная труба; *3* — аварийная линия; *4* — аварийная задвижка; *5* — привод задвижки; *6* — датчик; *7* — связь датчика с приводом задвижки; *8* — аварийная емкость; *9* — сливная линия; *10* — гидрозатвор; *11* — дыхательная линия.

личивается объем паровоздушного пространства, возникает опасность больших разрушений при возможных взрывах паровоздушной смеси. Для предотвращения этого целесообразно в момент аварийного слива подавать в аппараты негорючие газы или водяной пар, что не вызовет больших материальных затрат, так как линии инертного газа или водяного пара имеются почти во всех цехах. Подача водяного пара в аппараты, кроме того, несколько увеличит скорость слива и в какой-то мере предохранит корпус от перегрева при пожаре. Схема аварийного слива из аппарата с автоматическим открыванием задвижки и подачей в аппарат водяного пара показана на рис. 63.

Применяют водяной пар также для выдавливания жидкости и для увеличения скорости аварийного слива из аппа-

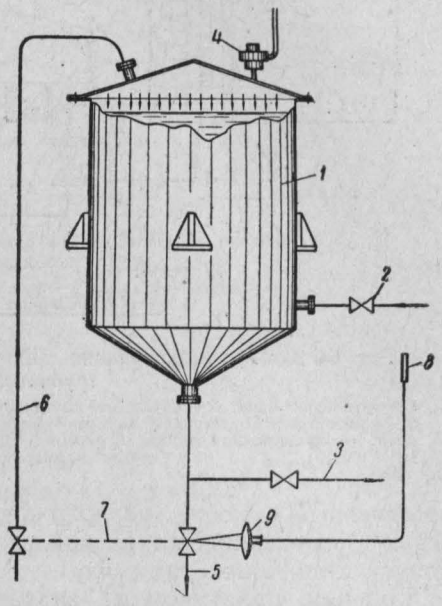


Рис. 63. Система аварийного слива из резервуара с подачей в него водяного пара:

1 — корпус; *2* — наполнительная линия; *3* — расходная линия; *4* — предохранительный клапан со свечой; *5* — линия аварийного слива; *6* — линия водяного пара; *7* — система блокировки задвижек; *8* — датчик привода; *9* — исполнительный орган автоматического открывания аварийной задвижки.

ратов, имеющих длинный змеевик или ряд изогнутых труб. На рис. 64 приводится принципиальная схема соединения паровых линий со змеевиком трубчатой печи и аварийным резервуаром.

В цехах, имеющих сравнительно небольшие емкости с горючими жидкостями (например, мерники, напорные и топливные бачки, закалочные ванны и т. п.), часто не устраивают специальных аварийных резервуаров, используя для аварийного слива произ-

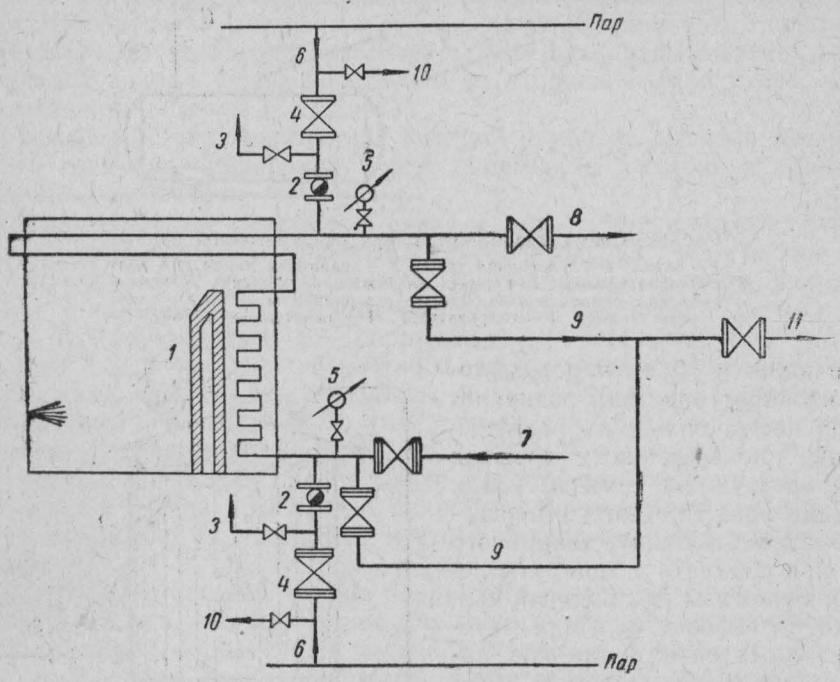


Рис. 64. Схема выдавливания жидкости водяным паром из змеевика трубчатой печи:

1 — трубчатая печь; *2* — обратные клапаны; *3* — контрольные трубки; *4* — задвижки; *5* — манометры; *6* — паровая линия; *7* — подача сырья в печь; *8* — выход сырья из печи; *9* — продувочная линия; *10* — линия спуска конденсата; *11* — линия подачи продукта в аварийную емкость.

водственные емкости, расположенные снаружи здания или в соседних помещениях за глухой стеной. При этом слив жидкостей допускается только самотеком.

Большое практическое значение имеет продолжительность аварийного слива, которая зависит не только от свойств жидкости, но и от диаметра и длины сливной линии. Чем больше диаметр сливной линии, тем быстрее при всех прочих равных условиях осуществится слив, но увеличение диаметра удорожает устройство линий. Поэтому, исходя из условий безопасности (сопротивляемость строительных конструкций, металлических конструкций аппаратов и трубопроводов воздействию температур при пожаре,

пожароопасные свойства жидкости и т. п.) и экономических соображений, время аварийного слива рекомендуется принимать в пределах 10—30 мин.

Задаваясь временем аварийного слива, можно определить величину диаметра линии и, наоборот, зная диаметр линии — определить время слива.

Метод расчета следующий. Из расчетной схемы (рис. 65) видно, что жидкость стекает из емкости *1* в аварийный резервуар *2* по линии *3* диаметром d и длиной l *м*. Напор жидкости в начале слива H_1, а в конце — H_2 *м* вод. ст. Слив осуществляется под слой жидкости.

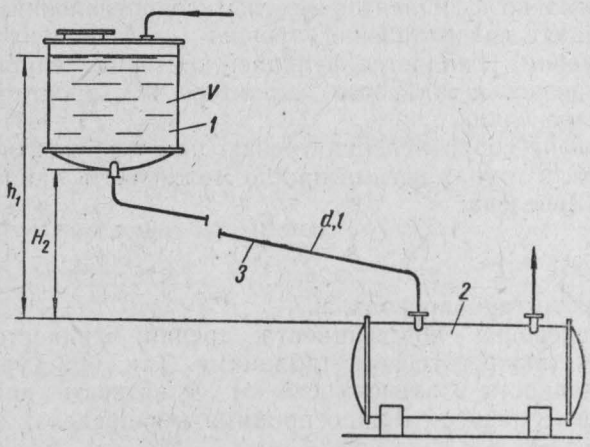


Рис. 65. Расчетная схема устройства для аварийного слива жидкости:

1 — емкость, из которой производится слив; *2* — аварийная емкость; *3* — линия аварийного слива.

Полное время слива жидкости:

$$\tau = \frac{V}{q_{cp}},$$

где: τ — время слива жидкости, сек.;

V — объем жидкости, подлежащей сливу, *м*³;

q_{cp} — средний расход жидкости в трубе при сливе, *м*³/*сек*.

Средний расход жидкости при движении ее по трубе под изменяющимся напором будет равен:

$$q_{cp} = 0{,}5\,(q_{max} + q_{min}),$$

где: q_{max} — расход, соответствующий напору H_1;

q_{min} — расход, соответствующий напору H_2.

Как известно, расход жидкости в зависимости от величины напора определяется по формуле:

$$q = \mu \cdot f \cdot \sqrt{2gH} \ \text{м}^3/\text{сек},$$

где: μ — коэффициент расхода системы;
f — площадь сечения трубы, $м^2$;
g — ускорение силы тяжести;
H — свободный напор, *м.* вод ст.

При истечении в слой жидкости коэффициент расхода равен:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\frac{\lambda \cdot l}{d} + \Sigma \xi}},$$

где: λ — коэффициент линейных потерь от трения при движении жидкости;
$\Sigma\xi$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений.

Коэффициент сопротивления трению (коэффициент линейных потерь от трения) λ является функцией критерия Рейнольдса. т. е. зависит от вязкости жидкости, характера и скорости ее движения и диаметра линии.

Коэффициент сопротивления трению при турбулентном движении жидкости в трубах весьма просто может быть найден по формуле Ф. И. Шевелева:

$$\lambda = \frac{0,21}{d^{0,3}},$$

где d — диаметр трубопровода, *м.*

Для определения коэффициента трения жидкостей можно пользоваться также готовыми таблицами. Так, при турбулентном движении жидкости в зависимости от ее вязкости коэффициент сопротивления трению можно принимать в пределах значений[1], указанных в табл. 8.

Таблица 8

Диаметр трубы, *мм*	Кинематическая вязкость, *см²/сек*	λ
38	0,01–0,02	0,02
	0,02–0,03	0,025
	0,03–0,07	0,03
	0,07–0,10	0,034
50	0,01–0,03	0,02
	0,03–0,05	0,025
	0,05–0,10	0,03
65	0,01–0,03	0,02
	0,03–0,06	0,025
	0,06–0,10	0,03

При диаметрах труб больших, чем указано в таблице, λ лежит в пределах 0,03—0,04.

[1] А. Ф. Виноградов. Хранение и перекачка нефтепродуктов. ГОНТИ, 1949.

Величина местных сопротивлений ξ принимается:

на вход струи при отверстии с острыми краями . . .	1,2—1.78
на колено	1,00
на задвижку	0,05—0,1
на вентиль	0,6—5,0
на выход струи (так же, как и на вход)	1,2—1,78

Пример. Определить время аварийного слива 10 $м^3$ бензола из промежуточной емкости в аварийный резервуар, если известно, что $H_1 = 12$ *м*; $H_2 = 10$ *м*; общая длина аварийной линии 28 *м*, диаметр линии 65 *мм*, линия имеет четыре колена. Температура слива 20° С (см. схему на рис. 65).

Решение. Для определения коэффициента расхода μ найдем λ и $\Sigma\xi$:

а) определяем коэффициент линейных потерь от трения; вязкость бензола при $t = 20°$ С равна $0{,}8 \cdot 10^{-2}$ *г/см · сек* или кинематическая вязкость;

$$\nu = \frac{0{,}8 \cdot 10^{-2}}{\gamma} = \frac{0{,}8 \cdot 10^{-2}}{0{,}8} = 0{,}01 \ см^2/сек.$$

В соответствии с табл. 9 при такой вязкости бензола для трубы диаметром 65 *мм* $\lambda = 0{,}02$;

б) определяем величину местных сопротивлений для системы (вход, четыре колена, задвижка, выход):

$$\Sigma\xi = 1{,}78 + 4 \cdot 1{,}00 + 0{,}1 + 1{,}78 = 7{,}66;$$

в) подставляя найденные значения, определяем:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\frac{\lambda \cdot l}{d} + \Sigma\xi}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{0{,}02 \cdot 28}{0{,}065} + 7{,}66}} = 0{,}248 \approx 0{,}25;$$

г) расход бензола при сливе определяем по формуле:

$$q = \mu \cdot f \cdot \sqrt{2gH};$$

$$f = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 0{,}065^2}{4} = 0{,}0033 \ м^2;$$

$$q_{max} = 0{,}25 \cdot 0{,}0033 \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 12} = 0{,}0127 \ м^3/сек;$$

$$q_{min} = 0{,}25 \cdot 0{,}0033 \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 10} = 0{,}0116 \ м^3/сек.$$

Средний расход:

$$q_{cp} = 0{,}5\,(0{,}0127 + 0{,}0116) = 0{,}0122 \ м^3/сек,$$

д) зная объем сливаемой жидкости ($V = 10$ $м^3$) и средний расход по трубе, найдем время слива:

$$\tau = \frac{V}{q_{cp}} = \frac{10}{0{,}0122} = 820 \text{ сек. или } 13{,}5 \text{ мин.}$$

Таким образом, при данных условиях 10 $м^3$ бензола будет слито в аварийную емкость приблизительно за 14 мин.

б) Перекачка жидкости из опасной зоны в менее опасную. В тех случаях, когда устройство специальных аварийных сливов нецелесообразно, можно предусмотреть возможность перекачки огнеопасных жидкостей из аппаратов и емкостей, расположенных в опасной зоне, в другие емкости, расположенные в менее опасных местах.

При этом никаких дополнительных устройств не требуется, а используются имеющиеся производственные коммуникации и насосы. Такой способ эвакуации содержимого емкости или аппарата при аварии и пожаре, а также при остановке на осмотр и ремонт практикуется как на промышленных предприятиях, так и на складах легковоспламеняющихся и горючих жидкостей [1].

Естественно, этот способ не обеспечивает быстроту слива, так как требует иногда сложных переключений. Существенным недостатком является также то, что свободных емкостей в менее опасной зоне может не оказаться и тогда перекачка окажется невозможной.

§ 2. Аварийный выпуск газов из аппаратов

При возникновении пожара или аварии в некоторых случаях принимают меры не только к аварийному сливу жидкостей, но и к выпуску из аппаратов паров и газов. Аварийный выпуск газов производят по специальным стравливающим линиям, а также через предохранительные клапаны.

Аварийное стравливание связано с необходимостью выпуска наружу большого количества горючих газов. Естественно, что воздушное пространство при этом на значительном расстоянии от стравливающей линии будет загазовано, а концентрация газа на некотором расстоянии от нее будет находиться в пределах взрыва или превышать допустимую по санитарным нормам. Величина радиуса опасной по загазованности зоны будет увеличиваться с уменьшением высоты стравливающей линии над уровнем земли и особенно при стравливании газа в тихую погоду. Если знать закономерность изменения концентрации стравливаемого газа в зависимости от высоты свечи и скорости ветра, можно примерно определить, на каком расстоянии следует ожидать наличия опасных газовоздушных концентраций.

Ориентировочный расчет величины максимальной концентрации газа на уровне земли в зависимости от высоты стравливающей линии и скорости ветра можно произвести по упрощенным формулам П. И. Андреева [2]:

$$C = 0{,}0655 \frac{G}{W(H + \Delta H)^2},$$

где: C — максимальная концентрация газа на уровне земли, *г/м*³;
W — скорость ветра, *м/сек*;
G — количество стравливаемого газа, *г/час*;
H — высота стравливающей линии над уровнем земли, *м*;

---

[1] Примерно такими же способами можно осуществить перекачку сыпучих и измельченных материалов из помещений, где возник пожар, используя для этого самотечные трубы, пневмотранспорт и транспортеры.

[2] П. И. Андреев. Рассеивание в воздухе газов, выбрасываемых промышленными предприятиями. Госстройиздат, 1952.

ΔH — высота подъема струи газа над устьем стравливающей линии (свечи), *м*.

Величина ΔH может быть определена из следующего уравнения:

$$\Delta H = \frac{1,9 \cdot d \cdot W_г}{\varphi \cdot W},$$

где: d — диаметр стравливающей линии, *м*;

$W_г$ — скорость выхода газа из стравливающей линии, *м/сек*;

φ — поправочный коэффициент.

В зависимости от высоты свечи и струи газа $(H+H\Delta)$ величину φ можно принимать по табл. 9.

Таблица 9

$H+\Delta H$	20	60	100
φ	1,15	1,8	1,5

Естественно, что формула П. И. Андреева может дать только примерные результаты, так как она не учитывает всех факторов, влияющих на рассеивание газа (объемный вес и температуру газа, температуру окружающей среды, характер местности и т. п.).

Пример 1. На установке ректификации этан-этиленовой фракции производится аварийное стравливание этилена из аппаратов со скоростью 200 *кг/час* по стравливающей линии диаметром 100 *мм* и высотой 10 *м* от уровня земли. Определить, какая концентрация газа будет на поверхности земли, если известно, что скорость движения ветра равна 2 *м/сек*, а скорость выхода газа из стравливающей линии — 20 *м/сек*. Будет ли концентрация газа представлять пожарную опасность, так как вблизи от места стравливания расположены трубчатые печи с огневыми форсунками?

Решение. Для определения концентрации газа воспользуемся формулой Андреева:

$$C = 0,0655 \frac{G}{W(H+\Delta H)^2} \text{ г/м}^3.$$

В данном случае $G = 200$ *кг/час* $= 200\,000$ *г/час*; $W = 2$ *м/сек*; $H = 10$ *м*

Величину ΔH определим по формуле:

$$\Delta H = \frac{1,9 \cdot d \cdot W_г}{\varphi \cdot W}.$$

В данном случае: $d = 100$ *мм* $= 0,1$ *м*; $W_г = 20$ *м/сек*.

Так как $H + \Delta H$ заведомо будет менее 20 *м*, принимаем $\varphi = 1,15$.

Подставляя известные данные, получим:

$$\Delta H = \frac{1,9 \cdot 0,1 \cdot 20}{2 \cdot 1,15} = 1,65 \text{ м}.$$

Тогда

$$C = 0,0655 \frac{200\,000}{2\,(10+1,65)^2} = 48 \text{ г/м}^3.$$

Нижний предел взрыва этилена в смеси с воздухом равен 35 *г/м*³, следовательно, концентрация газа в момент стравливания этилена при высоте свечи 10 *м*, равная 48 *г/м*³, является горючей и может быть воспламенена форсунками трубчатых печей.

Пример 2. На той же установке, при тех же условиях аварийное стравливание осуществляется через свечу высотой 30 *м*. Определить максимальную концентрацию газа на поверхности земли и сделать заключение о ее пожарной опасности.

Решение. В данном случае: $G = 20$ *кг/час* $= 200\,000$ *г/час*, $W = 2{,}0$ *м/сек*; $d = 100$ *мм* $= 0{,}1$ *м*; $W_Г = 20$ *м/сек*; $H = 30$ *м*.

Так как $H + \Delta H$ будет несколько больше 30 *м*, принимаем согласно данным табл. 10 $\varphi = 1{,}25$.

Тогда:

$$\Delta H = \frac{1{,}9 \cdot d \cdot W_Г}{\varphi W} = \frac{1{,}9 \cdot 0{,}1 \cdot 20}{1{,}25 \cdot 2} \approx 1{,}5.$$

Следовательно,

$$C = 0{,}0655 \frac{G}{W(H+\Delta H)^2} = 0{,}0655 \frac{200\,000}{2(30+1{,}5)^2} = 6{,}6 \text{ г/м}^3.$$

Эта концентрация значительно меньше величины нижнего предела взрыва этилена в смеси с воздухом и пожарной опасности представлять не будет.

Линии для аварийного выпуска газов могут быть самостоятельными для каждого аппарата, но могут и объединяться в общий коллектор. Самостоятельные стравливающие линии и линии от коллекторов выводятся за пределы производственного помещения на 2—3 *м* выше конька крыши наиболее высокого из прилегающих зданий и сооружений (прилегающими считаются здания, расположенные на расстоянии не более 20 *м* от свечи). На нефтеперерабатывающих заводах и заводах органического синтеза свечи для аварийного стравливания газов имеют высоту не менее 30 *м*. Такая высота свечи, как было сказано выше, необходима для того, чтобы выпускаемый газ мог своевременно рассеяться в воздухе и не вызывать взрывов или опасности отравления. При наличии большого количества емкостей и аппаратов, из которых возможно стравливание газа, устраивают специальные цеховые или общезаводские факельные установки для сжигания выбрасываемого газа. Факельная установка состоит из магистральной линии и вертикальной трубы (ствол факела), которая размещается с учетом направления господствующих ветров на расстоянии не ближе 100 *м* от зданий и сооружений с производствами категории А, Б и В, 150 *м* от промежуточных и 500 *м* от сырьевых складов сжиженных газов. Высота ствола факела принимается не менее 25 *м*.

Факельная установка обеспечивает обязательное воспламенение газа путем устройства защищенного от задувания ветром «маяка» (постоянно горящего языка пламени), специально питаемого от другой газовой линии.

Территория вокруг ствола факела ограждается и обозначается предупредительными знаками. На всех газовых линиях индивидуального стравливания и вблизи ствола факела в доступных для осмотра и ремонта местах устанавливают огнепреградители.

§ 3. Эвакуация твердых материалов и оборудования

При возникновении пожара в помещении наряду с действиями по локализации и тушению его принимают меры к эвакуации из опасных мест материалов и оборудования. В первую очередь эвакуации подлежат наиболее пожароопасные и ценные материалы, находящиеся на складах и в цехах.

Эвакуацию осуществляют обслуживающий персонал объекта и лица, участвующие в тушении пожара. Порядок эвакуации материальных ценностей должен быть отражен в противопожарных инструкциях для цехов и складов.

Разрабатывая противопожарную инструкцию для склада, базы или цеха с наличием большого количества сгораемых и ценных материалов, начальник цеха и представитель пожарной охраны указывают в ней, что подлежит эвакуации, в какой последовательности, кто и по каким маршрутам осуществляет эвакуацию, куда и как следует складывать эвакуируемые ценности. Этой же инструкцией определяются ответственные лица за организацию эвакуации и охрану ценностей.

Для того чтобы противопожарную инструкцию не делать слишком объемистой, целесообразно мероприятия по эвакуации материальных ценностей объявлять в виде особой инструкции приказом начальника объекта с указанием сроков ее изучения.

Глава IX. ЗАЩИТА ОТ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ ПО ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ КОММУНИКАЦИЯМ

Возникший пожар нередко распространяется по различным производственным коммуникациям: трубопроводам для транспортировки жидких веществ и газов; аспирационным, рекуперационным и вентиляционным воздуховодам; трубопроводам пневматической транспортировки твердых и волокнистых материалов, самотечным трубам, транспортерам, нориям, системам производственной канализации, лоткам трубопроводов и другим устройствам. Кроме того, пламя может распространяться из одного помещения в другое через отверстия в стенах, где проходят трубопроводы, транспортеры и т. п.[1].

По всем указанным выше коммуникациям пламя может распространяться только при наличии соответствующих условий, а именно:

а) горючей концентрации паров, газов или пылей внутри трубопроводов, воздуховодов, траншей, туннелей и лотков;

б) слоя огнеопасной жидкости в трубах канализации, лотках и траншеях, а также в трубопроводах, работающих неполным сечением;

---

[1] Защита отверстий и проемов рассматривается в пособиях по профилактике в строительном деле.

в) горючих отложений твердых или жидких веществ на поверхности воздуховодов;

г) трубопроводов с газами, способными разлагаться со взрывом под воздействием высоких температур или давлений;

д) конвекционных потоков из раскаленных продуктов горения, перемещающихся по воздуховодам, нориям, через отверстия и др.

Чтобы предотвратить возможность распространения пламени по производственным коммуникациям, применяют различные по характеру действия предохранительные устройства: огнепреградители, гидравлические затворы, сухие затворы, автоматически действующие задвижки, водяные завесы, засыпки, перемычки и т. д.

§ 1. Огнепреградители

Огнепреградителями называют такие защитные устройства, которые свободно пропускают поток паро- или газовоздушной смеси, но не пропускают пламени.

Сущность защитного действия. Применяются различные по своему устройству огнепреградители, но принцип их защитного действия всегда одинаков. Известно, что на скорость горения паро- и газовоздушной смеси большое влияние оказывает величина диаметра трубопровода, в котором находится или перемещается смесь. При уменьшении диаметра трубы до 1 *см* и меньше скорость распространения пламени падает, горение становится неустойчивым и, наконец, совсем прекращается. Это объясняется увеличением тепловых потерь, приходящихся на единицу объема горючей смеси.

Увеличение тепловых потерь ведет к снижению температуры горения и скорости распространения пламени. В трубках малого диаметра скорость горения смесей лежит в пределах 0,1—0,5 *м/сек*, при меньших скоростях наблюдается затухание пламени. Следовательно, уменьшая диаметр трубок или отверстий, через которые проходит взрывоопасная смесь, можно добиться того, что тепловыделение при горении будет меньше теплоотдачи и горение станет невозможным. Именно такие условия и создаются в огнепреградителях. Пламя, распространяясь по взрывоопасной смеси, достигает насадки огнепреградителя и разбивается на очень маленькие струйки, горение в которых прекращается, так как тепловыделение оказывается меньше теплопотерь. Для того чтобы разделить взрывчатую смесь на маленькие объемы, применяют металлические сетки и гофрированные пластины, а также инертные наполнители в виде гравия, рубленой проволоки, минеральной ваты и т. п. Диаметр отверстия трубки огнепреградителя, при котором тепловыделения от горящей смеси будут равны теплопотерям, называется критическим диаметром.

Естественно, что величина критического диаметра отверстия огнепреградителя будет зависеть от характера смеси и ее концентрации. Теоретически наиболее опасными будут стехиометрические

концентрации, так как при горении их выделяется максимальное количество тепла и наблюдаются максимальные скорости горения (в действительности эти концентрации несколько выше стехиометрических).

Расчет огнепреградителей. Величина критического диаметра отверстия огнепреградителя может быть определена не только опытным путем, но и аналитически. Представим, что в трубе с паро- или газовоздушной смесью поставлен огнепреградитель в виде пучка трубок малого диаметра (рис. 66). Очевидно, что при трубках одинакового диаметра пламя легче пройдет по центральным из них, так как боковые трубки будут более интенсивно охлаждаться. Следовательно, расчет нужно вести применительно к центральным трубкам, диаметр которых обозначим $d_{кр}$.

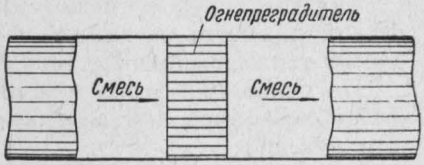


Рис. 66. Трубопровод с огнепреградительной насадкой.

Фронт пламени при горении смеси в трубках обычно имеет форму полусферы, обращенной своей выпуклой частью в сторону движения пламени. Радиус полусферы принимается равным радиусу трубки r. Перемещение фронта пламени и тепловые потоки, возникающие при горении смеси в трубке, показаны на рис. 67. Теплота химической реакции, протекающей во фронте пламени, затрачивается на подогрев исходной горючей смеси, на нагревание получающихся продуктов горения и на теплопотери через стенки трубок.

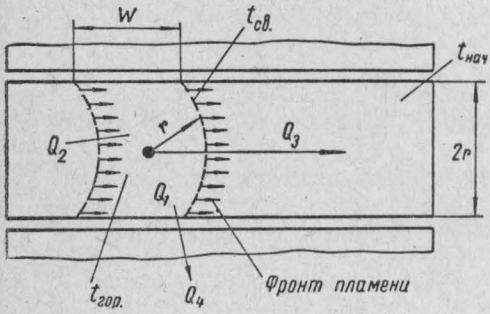


Рис. 67. Схема тепловых потоков в трубке огнепреградителя.

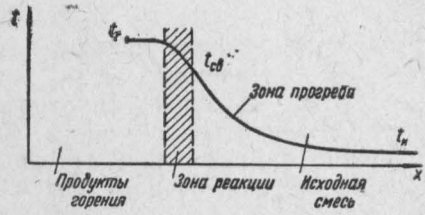


Рис. 68. График изменения температуры в различных зонах трубки при горении газовой смеси.

Изменение температуры в различных зонах трубки при горении газовой смеси показано на рис. 68, из которого видно, что температура в зоне реакции на наружной поверхности полусферы будет соответствовать величине температур самовоспламенения газовой смеси $t_{св}$, а на внутренней поверхности полусферы —

температуре горения газовой смеси $t_г$. В зоне прогрева исходной горючей смеси температура постепенно уменьшается по мере удаления точки от фронта пламени, достигая в пределе величины начальной температуры смеси t_o. Изменение температуры при этом подчиняется закону степенной функции. Протяженность зоны прогрева зависит от многих факторов и главным образом от теплопроводности исходной горючей смеси λ. В зоне продуктов горения температура будет примерно одинакова и численно равна температуре горения смеси $t_г$.

Так как горение смеси происходит в трубках, имеющих критический диаметр, то тепловые потери будут численно равны количеству тепла, выделяющегося при горении.

На основании этого можно написать следующее уравнение теплового баланса при горении смеси за промежуток времени $d\tau$ (см. рис. 67):

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 + Q_4,$$

где: Q_1 — количество тепла, выделяющегося при горении смеси, *ккал*;

Q_2 — количество тепла, расходуемое на нагревание продуктов горения, *ккал*;

Q_3 — количество тепла, расходуемое на нагревание исходной смеси, *ккал*;

Q_4 — количество тепла, теряемое через стенки трубочек, *ккал*.

Раскроем значение величин, входящих в состав уравнения теплового баланса, и найдем критический диаметр трубки огнепреградителя.

а) Количество тепла Q_1, выделяющегося при горении смеси, будет равно:

$$Q_1 = V \cdot q_н \cdot d\tau,$$

где: V — объем исходной смеси, которая сгорает в единицу времени, *м*^{3};

$q_н$ — низшая теплотворная способность смеси, *ккал/м*^{3}.

Объем исходной смеси, которая сгорает в единицу времени, можно определить, зная линейную скорость горения смеси W и площадь поперечного сечения трубки:

$$V = \pi r^2 \cdot W \ м^3/сек.$$

Подставив значение V в формулу для определения Q_1, будем иметь:

$$Q_1 = \pi r^2 \cdot W \cdot q_н \cdot d\tau. \qquad (1)$$

Количество тепла $q_н$, которое выделяется при сгорании единицы объема паровоздушной смеси при стехиометрической концентрации, определяется из следующего уравнения:

$$q_н = k \cdot Q_н \cdot \frac{T_o}{T_{ср}}, \qquad (2)$$

где: k — стехиометрическая концентрация горючей смеси в объемных долях;

$Q_н$ — низшая теплотворная способность чистого газа или паров жидкости в *ккал/нм*^{3};

T_o — 273° К;

$T_{ср}$ — средняя температура горючей смеси, ° К.

Стехиометрическая концентрация может быть определена из реакции горения смеси как отношение количества молекул горючего вещества n к общему числу молекул смеси N, участвовавших в горении, т. е.:

$$k = \frac{n}{N}.$$

Отношение температур $\frac{T_o}{T_{ср}}$ является коэффициентом, учитывающим изменение объема исходной горючей смеси при нагревании, так как табличные значения $Q_н$ даются при нормальных условиях:

$$T_{ср} = 273 + \frac{t_{св} + t_н}{2},$$

где: $t_{св}$ — температура самовоспламенения смеси, ° С;

$t_н$ — начальная температура смеси, ° С.

б) Количество тепла, расходуемое на нагревание продуктов горения Q_2, определится из формулы:

$$Q_2 = V_{п.г} \cdot C_t \cdot (t_г - t_{св})\, d\tau,$$

где: $V_{п.г}$ — объем продуктов горения, *м*^{3}/*сек*;

C_t — теплоемкость продуктов горения, *ккал/м*^{3} *град*;

$t_г$ — температура продуктов горения, равная температуре горения смеси;

$t_{св}$ — температура самовоспламенения смеси.

Объем продуктов горения можно выразить через объем исходной горючей смеси:

$$V_{п.г} = m \cdot V,$$

где m — коэффициент, показывающий, во сколько раз изменился объем продуктов горения против объема начальной смеси.

Подставив это значение в формулу для Q_2, будем иметь:

$$Q_2 = \pi r^2 \cdot W \cdot m \cdot C_t (t_г - t_{св}) \cdot d\tau.$$

Произведение $m \cdot C_t$ можно считать величиной постоянной и равной объемной теплоемкости продуктов горения при нормальных условиях, так как m при повышении температуры газа увеличивается, а C_t примерно на ту же величину уменьшается.

Тогда:

$$Q_2 = \pi r^2 \cdot W \cdot C_p (t_г - t_{св}) \cdot d\tau, \qquad (3)$$

где C_p — теплоемкость продуктов горения при нормальных условиях, *ккал/м*^{3} *град*.

в) Количество тепла Q_3, расходуемое на нагревание исходной смеси можно определить исходя из следующего.

Передача тепла в трубках малого диаметра происходит преимущественно теплопроводностью. Явлением конвекции в данном случае можно пренебречь. Так как температура исходной смеси в направлении радиуса вектора R изменяется, вводится градиент температуры $-\frac{dt}{dR}$, характеризующий интенсивность падения температуры на единицу длины трубки.

Так как тепло передается от зоны горения, имеющей форму полусферы, Q_3 будет равно:

$$Q_3 = S \cdot \lambda \cdot \left(-\frac{dt}{dR}\right) \cdot d\tau = -2\pi r^2 \cdot \lambda \left(\frac{dt}{dR}\right) d\tau, \qquad (4)$$

где: S — площадь поверхности полусферы, равная $2\pi r^2$ в *м*;
λ — теплопроводность исходной смеси при средней температуре, *ккал/м сек град.*

Рассматривая передачу тепла через полусферу при горении смесей, академик А. Соколик приводит следующий вывод:

$$-\lambda\left(\frac{dt}{dR}\right) = \frac{A}{R^2}; \text{ или } -\lambda \cdot dt = A\frac{dR}{R^2}, \qquad (5)$$

где A — постоянная величина.

Чтобы определить величину A, надо проинтегрировать обе части равенства:

$$-\lambda \int dt = A \int \frac{dR}{R^2}, \qquad (6)$$

откуда:

$$-\lambda \cdot t = -\frac{A}{R} + a,$$

Возьмем граничные условия: при $R=r$ температура смеси $t=t_{св}$ следовательно:

$$-\lambda \cdot t_{св} = -\frac{A}{r} + a, \qquad (7)$$

При $R = \sim$ температура смеси $t=t_н$, следовательно $-\lambda t_н = a$.

Подставив найденное значение a в формулу (7), найдем A:

$$-\lambda \cdot t_{св} = -\frac{A}{r} - \lambda \cdot t_н$$

или

$$\lambda(t_{св} - t_н) = \frac{A}{r},$$

откуда:

$$A = \lambda \cdot r(t_{св} - t_н). \qquad (8)$$

Подставив значения A в уравнение (5), будем иметь:

$$-\lambda\left(\frac{dt}{dR}\right)=\frac{\lambda\cdot r\cdot(t_{св}-t_н)}{r^2} \text{ или } \left(-\frac{dt}{dR}\right)=\frac{t_{св}-t_н}{r}. \qquad (9)$$

Для определения Q_3 значение градиента температур подставляем в формулу (4):

$$Q_3=2\pi r^2\cdot\lambda\left(-\frac{dt}{dR}\right)d\tau=2\pi r^2\cdot\lambda\cdot\frac{t_{св}-t_н}{r}\cdot d\tau$$

или

$$Q_3=2\pi r\cdot\lambda(t_{св}-t_н)\,d\tau. \qquad (10)$$

г) Тепловых потерь через стенки трубок Q_4 не будет, так как процесс горения смеси во всех трубках протекает в одних и тех же условиях, и поэтому температурные поля вокруг каждой из них будут одинаковы.

Следовательно: $Q_4=0$.

Найденные значения Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 подставляем в уравнение теплового баланса:

$$\pi r^2\cdot W\cdot q_н\cdot d\tau=\pi r^2\cdot W\cdot C_p(t_г-t_{св})\,d\tau+2\pi r\lambda(t_{св}-t_н)\,d\tau.$$

Сделав соответствующие сокращения и преобразования, получим:

$$r=\frac{2\lambda(t_{св}-t_н)}{W[q_н-C_p(t_г-t_{св})]},$$

но:

$$d_{кр}=2\,r.$$

Тогда:

$$d_{кр}=\frac{4\lambda(t_{св}-t_н)}{W[q_н-C_p(t_г-i_{св})]}.$$

Чтобы огнепреградитель надежно гасил пламя, диаметр его отверстий должен быть несколько меньше критического диаметра, т. е.;

$$d=(0{,}5—0{,}8)\ d_{кр}.$$

Пример. Определить требуемый диаметр отверстия огнепреградителя, установленного на дыхательной линии емкости с бензолом. Известно, что температура бензола в емкости 15° С.

Критический диаметр отверстия огнепреградителя определяем из формулы:

$$d_{кр}=\frac{4\lambda(t_{св}-t_н)}{W[q_н-C_p(t_г-t_{св})]}\ м,$$

где: λ — теплопроводность исходной смеси, *ккал/м сек. град*;

W — скорость горения смеси. В нашем случае скорость горения смеси паров бензола с воздухом принимаем равной 0,3 *м/сек*;

$q_н$ — количество тепла, выделяющееся при горении 1 *м*³ смеси, *ккал/м*³;

$t_н$ — начальная температура смеси. В нашем случае температура смеси будет равна температуре бензола, т. е. 15° С;

$t_{св}$ — температура самовоспламенения паров бензола, равная 625° С;
$t_Г$ — температура горения паров бензола; принимаем ее равной 1550° С;
C_p — теплоемкость продуктов горения, *ккал/м³ град*.

Для определения коэффициента теплопроводности λ и теплотворной способности исходной смеси $q_н$ необходимо знать величину стехиометрической концентрации. Напишем реакцию горения бензола:

$$C_6H_6 + 7{,}5O_2 + 7{,}5 \cdot 3{,}76N_2 = 6CO_2 + 3H_2O + 7{,}5 \cdot 3{,}76N_2,$$

тогда:

$$K = \frac{n}{N} = \frac{1}{1 + 7{,}5 + 7{,}5 \cdot 3{,}76} = 0{,}027 \approx 0{,}03.$$

Коэффициент теплопроводности исходной смеси при ее средней температуре будет равен:

$$\lambda = k \cdot \lambda_б + (1 - k) \cdot \lambda_в.$$

Средняя температура смеси:

$$t_{ср} = \frac{t_{св} + t_н}{2} = \frac{625 + 15}{2} = 320° \text{ С}.$$

Коэффициент теплопроводности при $t_{ср} = 320°$ С:
для паров бензола: $\lambda_б = 0{,}036$ *ккал/м час град* (см. приложение 4);
для воздуха: $\lambda_в = 0{,}040$ *ккал/м час. град*. Следовательно: $\lambda = 0{,}03 \cdot 0{,}036 + 0{,}97 \cdot 0{,}040 \approx 0{,}040$ *ккал/м час град*.

Теплотворную способность паровоздушной смеси определяем по формуле:

$$q_н = k \cdot Q_н \cdot \frac{T_o}{T_{ср}} \text{ ккал/м}^3.$$

Теплотворная способность чистого бензола $Q'_н = 10000$ *ккал/кг* (весовая).

Объемная теплотворная способность:

$$Q_н = Q'_н \gamma \text{ ккал/нм}^3,$$

где γ — объемный вес паров бензола при нормальных условиях:

$$\gamma = \frac{M}{22{,}4} = \frac{78}{22{,}4} = 3{,}49 \text{ кг/м}^3,$$

где: M — молекулярный вес бензола, равный 78.
22,4 — объем, занимаемый одной килограмм-молекулой, *м³*.
Следовательно: $Q_н = 10000 \cdot 3{,}49 = 34\,900$ *ккал/м³*.
Подставляя найденные значения, получим:

$$q_н = 0{,}03 \cdot 34900 \frac{273}{273 + 320} = 490 \text{ ккал/м}^3.$$

Теплоемкость продуктов горения C_p при нормальных условиях принимается равной теплоемкости воздуха, т. е.:

$$C_p = 0{,}24 \text{ ккал/кг град}.$$

Теплоемкость объемная:

$$C_p = 0{,}24 \cdot \gamma_{возд} = 0{,}24 \cdot 1{,}29 = 0{,}31 \text{ ккал/м}^3 \text{ град}.$$

Подставив данные в первоначальную формулу, найдем:

$$d_{кр} = \frac{4 \cdot 0{,}040\,(625 - 15)}{0{,}3 \cdot 3600 \cdot [490 - 0{,}31\,(1550 - 625)]} = 0{,}00043 \text{ м, или } 0{,}43 \text{ мм}.$$

Принимая коэффициент запаса равным 0,7, определяем требуемый диаметр отверстия огнепреградителя:

$$d = 0{,}7 d_{кр} = 0{,}7 \cdot 0{,}43 = 0{,}301 \approx 0{,}3 \text{ мм}.$$

Огнепреградителями обычно защищают такие газовые и паровоздушные линии, в которых по условиям технологии или при нарушении нормального режима работы могут образоваться взрывоопасные концентрации.

Так, огнепреградителями защищаются: дыхательные линии резервуаров, мерников, промежуточных емкостей, напорных баков и подобных им аппаратов с легковоспламеняющимися жидкостями; стравливающие линии и продувочные свечи на аппаратах с газами и ЛВЖ; паровоздушные линии рекуперационных установок, линии, идущие на факел, линии газовой обвязки резервуаров с ЛВЖ и т. п.

К огнепреградителям предъявляются следующие основные требования:

а) насадка огнепреградителя не должна пропускать пламя при всех концентрациях и максимально возможных скоростях горения смесей;

б) огнепреградитель должен быть устойчивым против взрыва, т. е. насадка его не должна разрушаться или терять защитную силу даже при действии взрывной волны;

в) огнепреградитель не должен оказывать большое сопротивление прохождению газовой или паровой фазы.

Надежное гашение пламени достигается правильным выбором величины отверстий или диаметра трубок огнепреградителя и исключением условий, позволяющих потоку найти другие пути, кроме огнегасящей насадки.

Устойчивость против взрыва достигается защитой огнегасящей насадки взрывными предохранительными клапанами.

Малое гидравлическое сопротивление движению потока достигается увеличением площади поперечного сечения огнепреградителя.

Виды огнепреградителей. Многочисленные опыты и многолетняя практика позволили выявить наилучшие типы огнепреградителей. Очень часто применяются огнепреградители с металлическими, латунными или стальными фильтровальными сетками (ГОСТ 2715—44), с количеством отверстий от 144 до 196 на 1 *см*^{2}. Для надежного гашения пламени применяют обычно не одну, а несколько сеток, последовательно установленных на расстоянии примерно 10 *мм* друг от друга, так как одна сетка быстро нагревается и в раскаленном состоянии пропускает пламя (для дыхательных труб резервуаров с бензином огнепреградители должны иметь 4—6 рядов сеток). На рис. 69 показаны огнепреградители, состоящие из горизонтально расположенных металлических сеток (*а*) и с вертикально расположенными сетками (*б*). Количество сеток в вертикальном пакете может быть на одну-две меньше по сравнению с горизонтальным пакетом, так как горючие смеси, проходя через огнепреградитель, вынуждены в данном случае изменять направление своего движения, а это способствует лучшему гашению пламени. Сетчатые огнепреградители при постоянном

наблюдении за состоянием сеток имеют сопротивление прохождению смеси в пределах 20—25 *мм* вод. ст.

Большое распространение получили огнепреградители с галечно-гравийным заполнением.

Внутри корпуса огнепреградителя (рис. 70, *а*) на металлическую сетку насыпается слой чистого гравия с диаметром зерен $3 \div 5 \div 8$ *мм*, высотой 100 *мм* и более. Верхний слой гравия разравнивается и закрепляется сеткой, диаметр отверстий которой

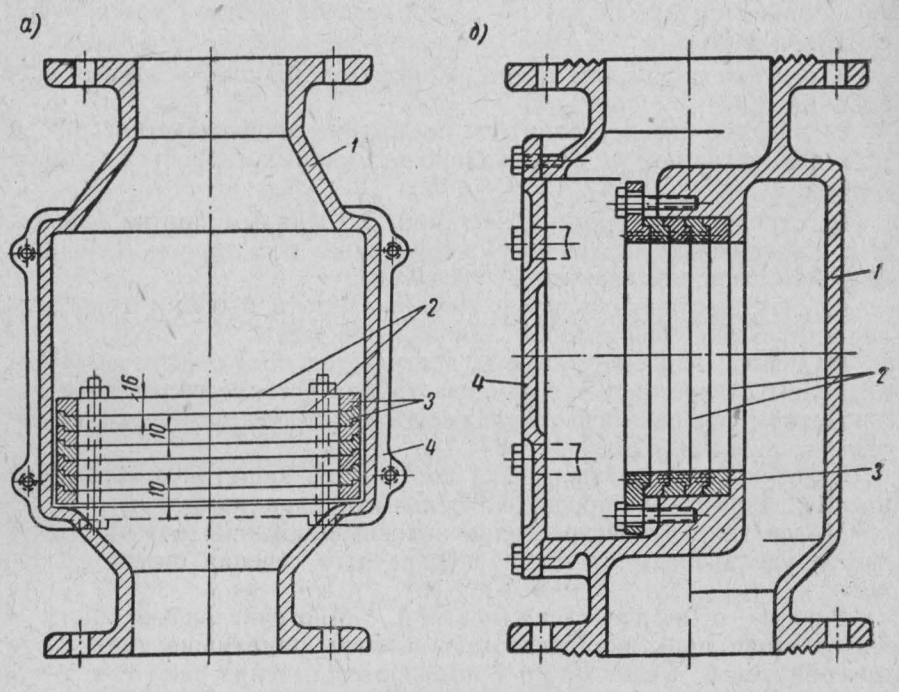


Рис. 69. Огнепреградитель сетчатый:
а — с горизонтальными сетками; *б* — с вертикальными сетками; *1* — корпус; *2* — сетки латунные; *3* — прокладки; *4* — крышка.

несколько меньше диаметра зерен гравия. В огнепреградителе на рис. 70, *б* гравий находится в съемной кассете. Такие огнепреградители надежны в работе и просты по устройству. Испытания гравийных огнепреградителей показали, что 50-миллиметровый слой гравия диаметром в 5—8 *мм* оказался непроницаемым для пламени при всех концентрациях бензино-воздушных смесей. Более крупный гравий (14—16 *мм*) не препятствовал проскоку пламени даже при высоте слоя до 150 *мм*. При больших диаметрах линий (например, линии рекуперационных установок, газовой обвязки резервуаров) применяют гравийные огнепреградители, показанные на рис. 71. В данном случае огнепреградитель состоит из двух дырчатых труб *1*, вставленных одна в другую и заключенных в

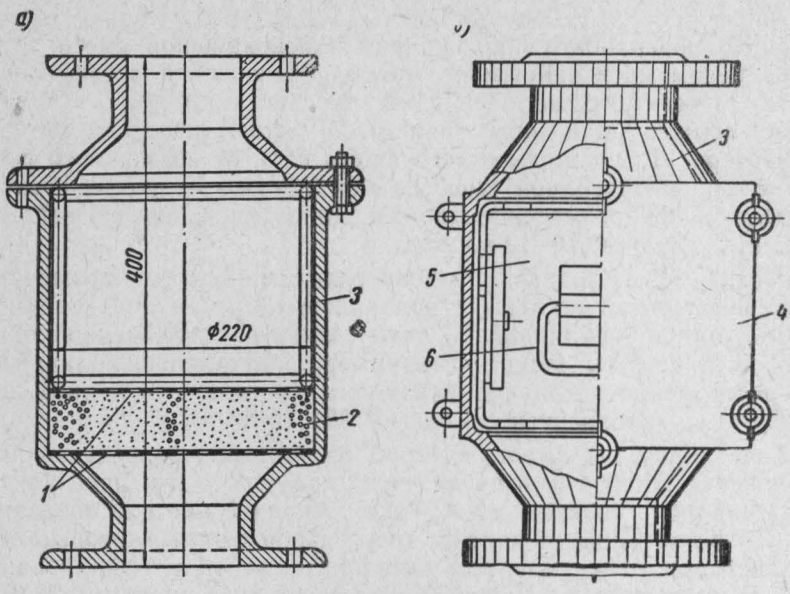


Рис. 70. Огнепреградитель гравийный:

а — гравий засыпан в корпус между двумя сетками; *б* — гравий находится в съемной кассете; *1* — сетки; *2* — гравий; *3* — корпус; *4* — съемная крышка; *5* — кассета; *6* — ручка для вынимания кассеты.

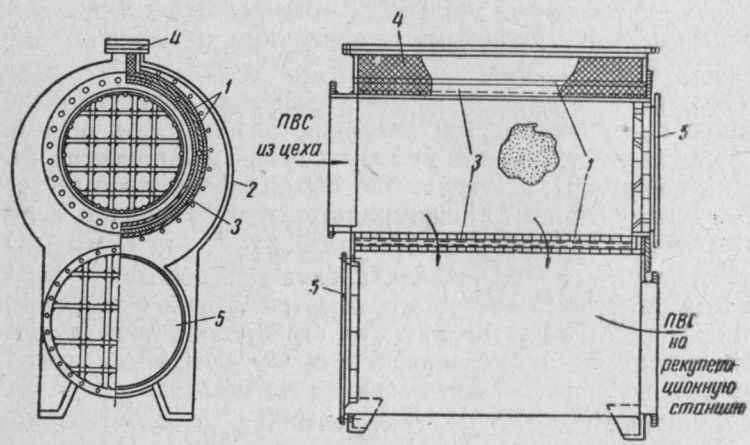


Рис. 71. Огнепреградитель гравийный на линии паровоздушной смеси (ПВС) рекуперационных установок:

1 — трубы дырчатые; *2* — кожух; *3* — гравий; *4* — бункер с гравием; *5* — мембраны.

общий металлический кожух *2*. Кольцевое пространство между трубами заполняется гравием *3* через бункер *4*. Такая конструкция позволяет иметь огнезащитный слой требуемой толщины и большую поверхность прохождения паровоздушной смеси. Чтобы в кольцевом пространстве не могли образоваться незаполненные места (через которые неизбежен проскок пламени), в бункере всегда должен быть запас гравия для автоматического восполнения потерь. Для защиты огнегасящего слоя от возможного разрушения взрывной волной имеются мембранные предохранительные клапаны *5*. Сопротивление прохождению смеси через огнепреградитель составляет 30—40 *мм* вод. ст.

Вместо зерен гравия в огнепреградителях могут применяться также насадки из негорючих волокнистых материалов (например, из стеклянной или шлаковой ваты) или рубленой медной проволоки. Для защиты линий (например, ацетиленовых линий) от распространения детонационной волны принимают колонны высотой 2—4 *м*, заполненные кольцами 35×35 *мм*.

Для защиты дыхательных труб резервуаров с легковоспламеняющимися жидкостями очень часто применяют огнепреградители с круглой фольговой кассетой. Такой огнепреградитель показан на рис. 72. Кассета имеет каналы треугольной формы, которые образовались при одновременном свивании гладкой и гофрированной лент. Высота кассеты 100—150 *мм*. Расстояние между лентами в кассетах для бензиновых резервуаров не превышает 1—2 *мм*, в зависимости от высоты кассеты.

Уход за огнепреградителями. При работе огнепреградителей необходимо учитывать возможность загрязнения насадки твердыми и смолистыми отложениями, а также обледенения ее в холодное время года.

Закупорка отверстий вызывает увеличение сопротивления прохождению смеси, повышение давления в аппаратах и емкостях или образование вакуума в моменты откачки жидкости, что приводит к авариям. Предотвращение таких аварий достигается правильным размещением огнепреградителей на линиях и соответствующим уходом за ними.

Огнепреградители на линиях следует располагать так, чтобы к ним был свободный доступ для осмотра и проверки. Если линия из помещения выходит наружу, то огнепреградитель лучше разместить в пределах помещения. В этом случае за ним легче вести надзор и менее вероятно обледенение насадки.

Для резервуаров с ЛВЖ огнепреградители устанавливают на дыхательных линиях—перед дыхательным и гидравлическим предохранительным клапанами, как показано на рис. 73.

В процессе эксплуатации огнепреградителей за ними ведут систематический надзор. Так, Правилами технической эксплуатации резервуаров (Гостоптехиздат, 1959 г.) предусмотрено, что огневые предохранители должны осматриваться в период положи-

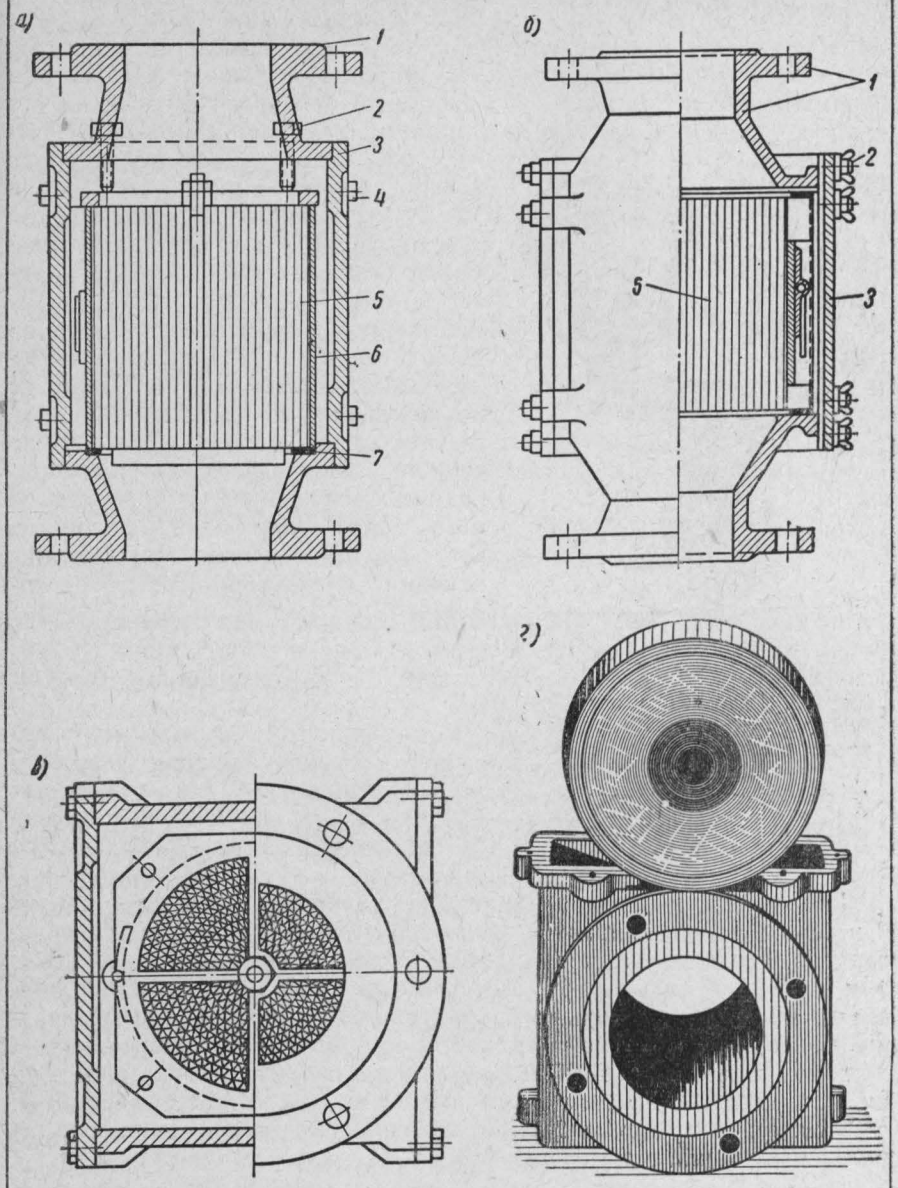


Рис. 72. Огнепреградитель с фольговой кассетой Армавирского завода Главнефтеснаба:

а и *б* — продольные разрезы: *в* — вид сверху; *г* — кассета вынута; *1* — корпус; *2*, *4* — болты; *3* — крышка; *5* — фольговая кассета; *6* — кожух; *7* — прокладка.

тельных температур наружного воздуха не реже одного раза в месяц, а при температуре наружного воздуха ниже нуля—не реже двух раз в месяц. При осмотре проверяют исправность и чистоту насадки, состояние уплотняющих прокладок. Чтобы осмотреть и очистить насадку, не демонтируя самый огнепреградитель, на его корпусе устраивают боковую крышку. Сняв ее, можно вынуть кассету или пакет сеток из корпуса огнепреградителя (см. рис. 70, *б* и 72, *б*). В районах с очень низкой температурой воздуха, где неизбежно обледенение огнепреградителей, иногда разрешается на зимний период снимать с резервуаров дыхательную и защитную арматуру, чтобы избежать возможности повреждения корпуса при наливе и сливе жидкости (но лучше, не снимая защитной арматуры, приподнимать крышку пробоотборного люка, ставя ее на распорку, которую легко снять при возникновении пожара вблизи от резервуара).

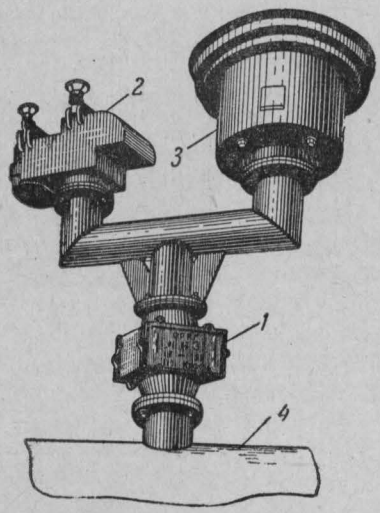


Рис. 73. Размещение огнепреградителя (огневой коробки) на дыхательной линии резервуара с ЛВЖ:

1 — огневая коробка; *2* — дыхательный клапан; *3* — предохранительный клапан (гидравлический); *4* — резервуар.

§ 2. Гидравлические затворы

Гидравлическими затворами называют такие защитные устройства, гашение пламени в которых происходит в момент барботажа газообразной смеси через слой жидкости.

Гидравлический затвор (рис. 74) состоит из корпуса *1* и труб *2* и *3*. В корпус заливается какая-либо жидкость (чаще всего вода) так, что конец трубы *2* оказывается погруженным в нее. Газы или пары, двигаясь по трубе *2*, свободно проходят через слой жидкости, не встречая большого сопротивления. Горящая смесь также проходит через слой жидкости, при этом она интенсивно охлаждается, и пламя гаснет. Чем тоньше струйки потока, тем лучше они перемешиваются с жидкостью и тем интенсивнее охлаждаются. Поэтому труба *2* имеет приспособление в виде прорезей *4* или диска *5* для рассечения потока на более мелкие струйки.

Прекращению горения способствует также и то, что горящая смесь, проходя через гидрозатвор, вызывает испарение жидкости и в результате насыщения ее парами становится негорючей.

Если пламя распространяется по трубе *3*, то в трубу *2* оно не может прорваться, так как, дойдя до слоя жидкости в гидравлическом затворе, оно погаснет.

Основные размеры гидравлического затвора чаще всего принимаются на основании опытных данных.

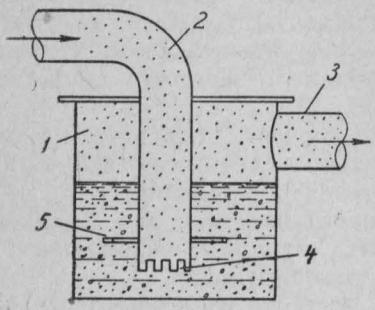


Рис. 74. Схема гидравлического затвора:

1 — корпус; *2* — подводящая труба; *3* — отводящая труба; *4* — прорезы; *5* — диск.

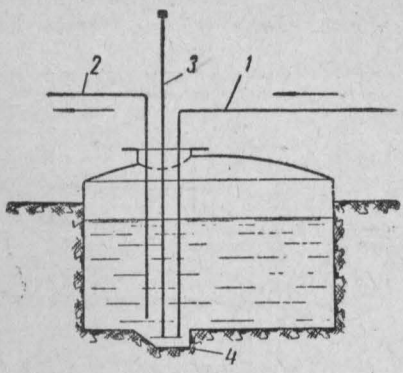


Рис. 75. Гидравлический затвор в виде трубы, опущенной в приямок резервуара:

1 — наполнительная труба; *2* — расходная труба; *3* — зачистная линия; *4* — приямок.

Гидравлические затворы, выполняющие роль огнепреградителей, устанавливают на жидкостных и газовых линиях, на производственной канализации, лотках.

На линиях для транспортировки легковоспламеняющихся жидкостей гидравлические затворы ставят в том случае, если жидкость перемещается периодически, так как в нерабочие моменты она может стекать из трубопровода и во внутреннем объеме его возможно образование горючей паровоздушной смеси. Так, гидравлическими затворами защищают: сливные линии на сливоналивных эстакадах нефтебаз и складов ЛВЖ, трубопроводы аварийного слива жидкостей, переливные линии мерников и резервуаров, наполнительные и расходные линии подземных резервуаров и т. д.

Гидравлические затворы в этом случае могут быть нескольких типов.

При таком расположении труб, как показано на рис. 75, конец наполнительной линии всегда будет заполнен жидкостью и пламя из трубы в резервуар не пройдет.

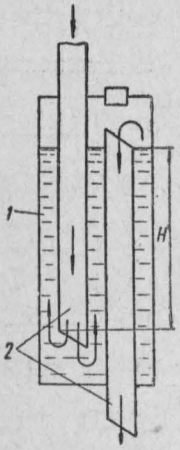


Рис. 76. Гидравлический затвор в виде цилиндра с трубками:

1—корпус, заполненный жидкостью; *2*—трубы; *H*—высота гидравлического затвора.

На рис. 76 показан гидравлический затвор в виде цилиндра небольшого размера. Расположение труб в цилиндре такое, что конец верхней трубы во всех случаях погружен в жид-

кость. Гидравлический затвор этого типа может размещаться как внутри резервуаров, так и вне их.

На рис. 77 показан гидравлический затвор в виде U-образного колена. Наличие постоянного слоя жидкости в колене трубы препятствует распространению пламени. Для очистки от отложений в нижней точке колена имеется отверстие, закрытое пробкой.

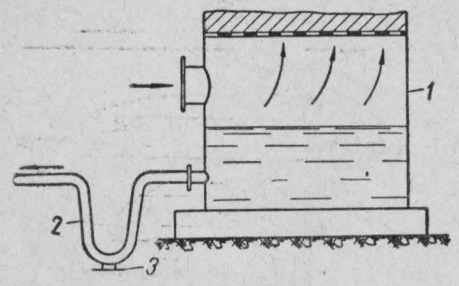


Рис. 77. Гидравлический затвор в виде U-образного колена на линии:

1 — аппарат; 2 — гидравлический затвор на линии; 3 — пробка для очистки затвора.

Рабочей жидкостью всех вышеприведенных огнепреградителей (гидравлических затворов) является тот же продукт, который перемещается по трубопроводам.

Располагать такие огнепреградители следует в местах с положительной температурой, так как при перекачке нерастворимых в воде жидкостей наблюдается скопление воды в гидравлическом затворе и может произойти ее замерзание. Высоту запирающего слоя жидкости устанавливают в зависимости от величины внутреннего давления в аппарате или емкости к концу сли-

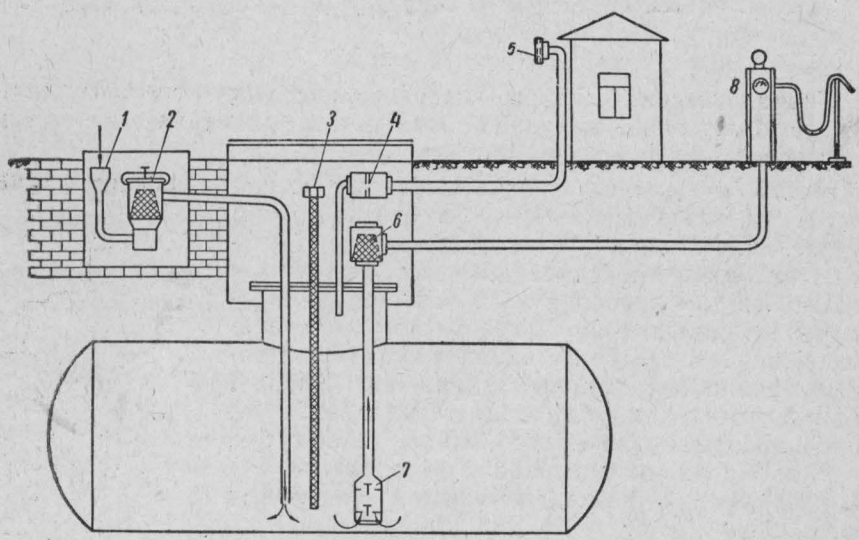


Рис. 78. Хранилище ЛВЖ с огнепреградителями и обратными клапанами на линиях:

1 — сливная воронка; 2 — фильтр (огнепреградитель сетчатый); 3 — труба для измерения уровня с огнезащитной сеткой; 4, 5 — огнепреградители сетчатые на дыхательной линии; 6 — фильтр (огнепреградитель сетчатый) на расходной линии; 7 — обратные клапаны; 8 — раздаточная колонка.

ва. Если давление в аппарате атмосферное, высота запирающего слоя принимается в пределах от 10 до 50 *см*.

Кроме указанных гидравлических затворов, могут применяться приспособления, препятствующие опорожнению трубопровода от

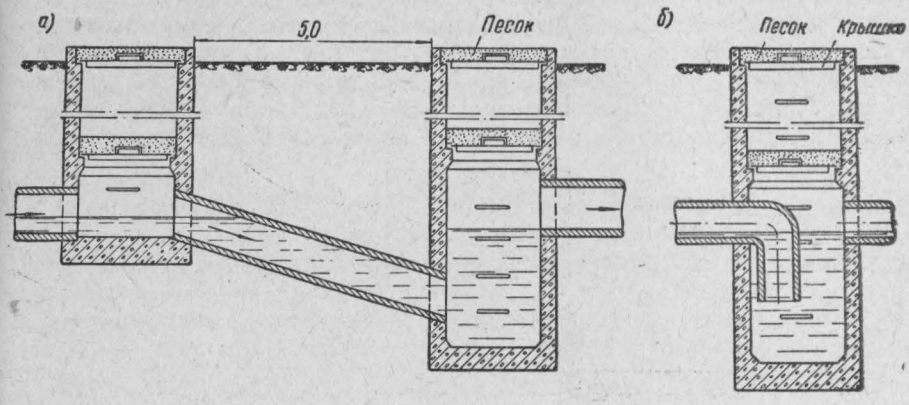


Рис. 79. Гидравлические затворы на линиях производственной канализации:
а — с двумя колодцами; *б* — с загнутой вниз трубой.

жидкости в нерабочие моменты. Такими приспособлениями, в частности, являются обратные клапаны. На рис. 78 показан подземный бензиновый резервуар, на расходной трубе которого в специальной коробке находятся обратные клапаны.

На производственной канализации и лотках гидравлические затворы устанавливают в том случае, если в них попадают огнеопасные жидкости или газы (например, на заводах нефте- газоперерабатывающей и химической промышленности).

Чтобы избежать возможности распространения огня по канализационной системе, устанавливают гидравлические затворы на всех линиях

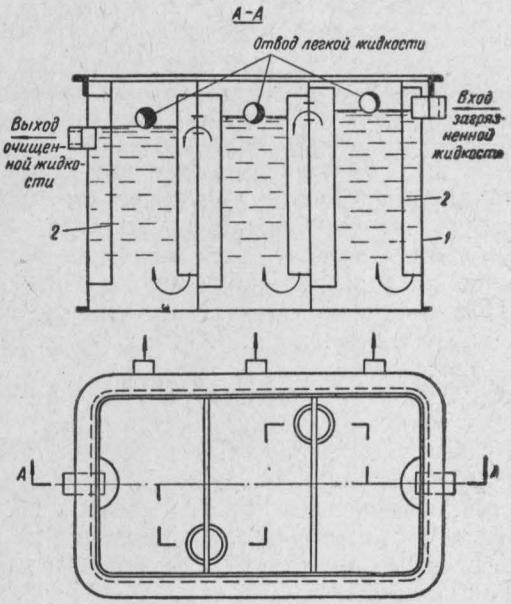


Рис. 80. Цеховой отстойник с гидравлическими затворами:
1 — корпус; *2* — перегородка, создающая гидравлический затвор.

сразу же по выходе из аппаратов, площадок, зданий и сооружений, а также на магистральных линиях через каждые 250 *м*.

На рис. 79, *а* показан гидравлический затвор, представляющий собой совокупность двух канализационных колодцев, расположенных на расстоянии 5 *м* друг от друга, с наклонной трубой между ними, а на рис. 79, *б* показан канализационный колодец с гидравлическим затвором в виде загнутой вниз трубы. В обоих случаях высота запирающего слоя воды должна быть не менее 25 *см*. Колодцы закрываются крышками. Гидравлические затворы на канализационных системах не являются отстойниками или

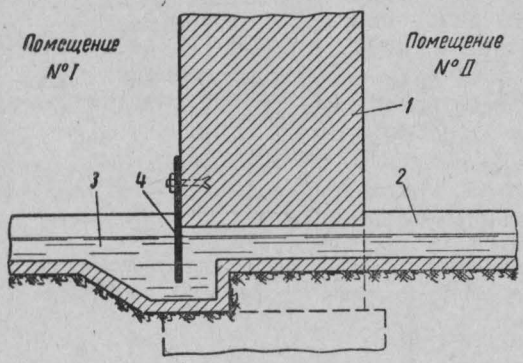


Рис. 81. Гидравлический затвор в лотке сточных вод:

1 — стена; *2* — лоток; *3* — сточная вода; *4* — щиток, создающий гидрозатвор.

ловушками горючих жидкостей, их назначение — только гасить пламя. Для улавливания горючих жидкостей устраиваются специальные отстойники или нефтеловушки. Конструкция цеховых отстойников, один из которых показан на рис. 80, должна предусматривать наличие гидравлических затворов у места ввода загрязненной и выхода очищенной жидкости.

Нефтеловушка также защищается гидравлическими затворами, расположенными на линиях на расстоянии не менее 10 *м* перед и после нее.

Во избежание распространения пламени по разлившейся жидкости в наружных лотках и траншеях через каждые 80 *м* устраивают земляные перемычки длиной не менее 4 *м* с гидравлическими затворами под ними, или же от перемычек делаются отводы в канализацию через гидравлические затворы.

Если лотки сточных вод проходят из одного помещения в другое через глухую стену, устраивают гидравлический затвор, показанный на рис. 81.

На газовых линиях гидравлические затворы, выполняющие роль огнепреградителя, устанавливают только в том случае, если по условиям эксплуатации есть вероятность образования в них газовоздушных смесей (исключая моменты останова и пуска) или

транспортируемый газ способен в определенных условиях к саморазложению. Так, например, гидравлическими затворами защищают газовые линии на участке от газогенераторов низкого давления (работающих на каменном угле, коксе, торфе, сланцах и т. п.) до газгольдеров, линии подачи воздуха в газогенераторы, а также все стационарные и нестационарные линии для транспортировки ацетилена.

В качестве огнегасящей жидкости в гидравлических затворах на газовых линиях чаще всего используется вода, но не исключается применение и других жидкостей, в том числе и огнеопасных.

Постоянный поток газа через гидравлический затвор приводит к потере жидкости за счет испарения и механического уноса частичек; чтобы избежать снижения уровня воды, ее постоянно или периодически добавляют.

Конструкция гидравлических затворов на газовых линиях зависит от величины рабочего давления газа. Различают гидравлические затворы низкого давления (открытые) и высокого давления (закрытые).

Гидравлический затвор низкого давления на газовой линии большой производительности с постоянным питанием его водой показан на рис. 82. В корпусе огнепреградителя *1* находится слой воды *2*. В воду опущен конец подводящей газ трубы *3* на глубину до 50 *см*. По трубе *4* газ уходит из затвора. По трубке *5* в гидравлический затвор постоянно подается небольшое количество воды, избыток которой по трубке *6* уходит в канализацию. Чтобы газ не попал в водяные линии, они в свою очередь также запираются гидравлическими затворами, образующимися в результате погружения в воду концов трубок *5* и *6*.

Гидравлические затворы открытого типа не устанавливают на газовых линиях среднего и высокого давления, так как они были бы слишком высокими.

В этом случае применяют гидравлические затворы высокого давления в закрытом исполнении (рис. 83), отличающиеся от затворов низкого давления тем, что они имеют обратный клапан *5* и предохранительный мембранный клапан *8* на корпусе *1* затвора.

Когда затвор не работает, клапан закрывает подводящую газ трубу, препятствуя попаданию в нее воды, а при работе клапан поднимается и газ, проходя через слой воды затвора, уходит по трубе *6* к потребителю.

Пламя, движущееся по газоподводящей трубе, гаснет в момент прохождения газа через слой воды в затворе. Пламя, движущееся по газоотводящей трубе (обратный удар), вызывает вспышку в газовом объеме затвора, ударная волна давлением на слой воды закрывает обратный клапан на газоподводящей линии и вызывает срабатывание мембранного предохранительного клапа-

на. Схема работы гидравлического затвора высокого давления показана на рис. 84.

При эксплуатации открытых и закрытых гидравлических затворов необходимо наблюдать за тем, чтобы они крепились в

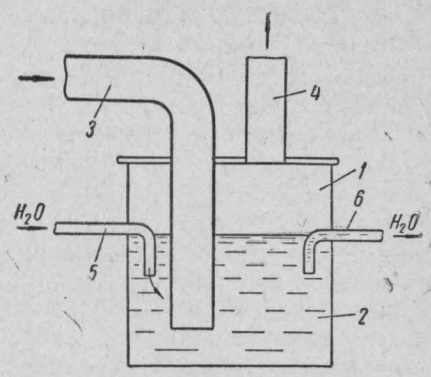


Рис. 82. Схема гидравлического затвора на газовой линии с непрерывной подачей воды:

1 — корпус; *2* — вода; *3* — подводящая труба; *4* — отводящая труба; *5* — линия подачи воды; *6* — линия для удаления избытка воды.

Рис. 83. Гидравлический затвор высокого давления на газовой линии:

1 — корпус; *2* — отверстие для заливки водой; *3*—пробный краник; *4* — подводящая газ труба; *5* — обратный клапан; *6* — расходная труба; *7* — газораспределительные сетки; *8* — мембранный предохранительный клапан.

строго вертикальном положении, чтобы уровень воды в них был не ниже уровня контрольного (пробного) краника. Наливать воду и проверять уровень воды следует при выключенной подаче газа.

Нельзя ставить вместо мембран заглушки. Внутренняя и наружная поверхности гидравлических затворов должны быть защищены от коррозии.

При работе в зимнее время водяные затворы следует размещать в отапливаемых помещениях, а при невозможности этого следует применять труднозамерзающие жидкости, например рас-

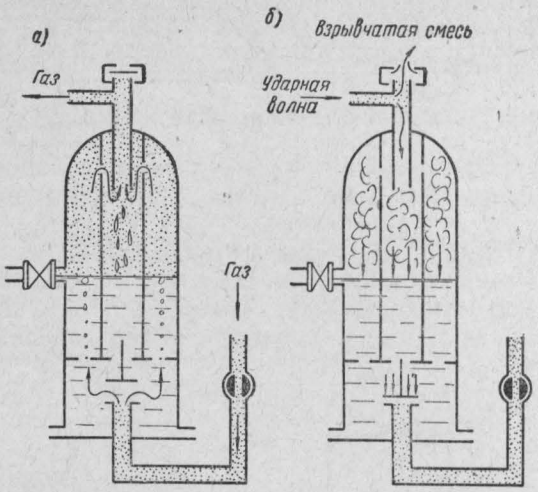


Рис. 84. Схема работы гидравлического затвора высокого давления:

а — нормальный ход газа; *б* — состояние затвора при обратном ударе.

творы этиленгликоля (77-процентный раствор имеет температуру замерзания — 75° С) или глицерина в воде (75-процентный раствор имеет температуру замерзания —38,8° С).

§ 3. Затворы из твердых измельченных материалов

Пламя может распространяться по трубопроводам не только при наличии паро- или газовоздушных смесей, но и в том случае, когда по трубопроводам транспортируются твердые измельченные материалы или сгораемые отходы.

Для предупреждения подобных явлений на трубопроводах монтируют устройства, создающие плотные пробки из транспортируемого материала, т. е. сухие затворы. Сухой затвор исключает на этом участке наличие воздушного пространства и, следовательно, возможность распространения пламени. Сухие затворы чаще всего создаются при помощи шнекового питателя, схема которого показана на рис. 85. Шнековый питатель состоит из бесконечного винта *1*, вращающегося в корпусе *2*. Порошкообразные материалы или отходы поступают в воронку *3* и выходят через патрубок *4*. Чтобы внутренний объем шнека всегда был полностью заполнен материалом, целесообразно снять несколько витков на валу винта перед выходным патрубком, как показано на рисунке.

щающимся шибером плотность закрывания достигается крепящимся к нему небольшим грузиком (рис. 87, *а*) или специальным противовесом, закрепленным снаружи на оси шибера (рис. 87, *б*). В задвижках с падающим шибером (рис. 87, *в*) уплотнение достигается за счет его собственного веса.

Как видно из приведенных схем, в условиях нормальной эксплуатации шиберы всегда стремятся перекрыть сечение трубы, но специальные запорные устройства привода не позволяют им это сделать.

Запорные устройства могут быть весьма разнообразной конструкции, но чаще всего применяются тросики, ленты или шнуры (позволяющие закреплять конец шибера к какой-либо неподвижной конструкции), а также защелки, срабатывающие под действием электромагнита или падающего груза.

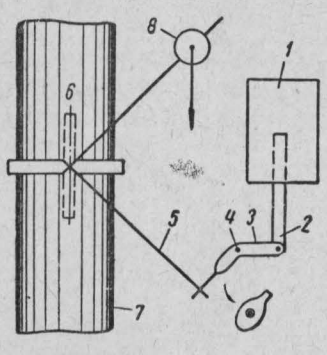


Рис. 88. Схема заслонки, срабатывающей от действия электромагнита:

1—электромагнит; *2* — сердечник; *3* — рычаг; *4* — ось рычага; *5* — рычаг, жестко связанный с заслонкой; *6* — заслонка; *7* — воздуховод; *8* — рычаг с противовесом.

Так, например, при прохождении тока через обмотку электромагнита *1* (рис. 88) сердечник *2* втягивается внутрь катушки и поворачивает рычаг *3* вокруг оси *4*, освобождая тем самым рычаг *5*, связанный жестко с осью задвижки *6* в воздуховоде *7*. Следовательно, шибер задвижки перекрывает отверстие трубы сразу же, как только его освобождает защелка или трос.

Запорные устройства в виде защелок с электромагнитами требуют применения датчиков, дающих возможность при повышении температуры в трубе замкнуть или разомкнуть цепь электромагнита. Для этого могут быть использованы термобаллоны, заполненные газом или жидкостью, биметаллические пластинки (дилатометры) и тепловые реле. Могут быть использованы также термисторы, т. е. полупроводниковые материалы, в сильной степени изменяющие величину омического сопротивления при изменении температуры.

При запорных устройствах типа троса, ленты или шнура в качестве датчиков применяют замки из легкоплавких сплавов (см. рис. 87, *а*, *в*) или звенья из легковоспламеняющихся и быстро сгорающих материалов (например, пороховой шнур, полоски кинопленки и др.).

Автоматически действующие задвижки с датчиками из легкоплавких сплавов хотя и широко применяются, но не являются эффективным защитным средством. Они часто пропускают пламя в результате большой инерционности срабатывания легкоплавкого замка, особенно при его загрязнении отложениями.

Автоматически действующие задвижки со вставками из легковоспламеняющихся материалов (бикфордова шнура, пороховой нити и нитроцеллюлозной кинопленки) также не обеспечивают надежности огнезадержания. После ряда опытов было найдено, что наибольшую эффективность обеспечивает вставка из полистирольной нити [1].

Инженер А. Родэ разработал автоматическую противопожарную задвижку с падающим шибером и датчиком в виде термобаллона с капсюлем и тонкой гофрированной мембраной. Если в месте установки датчика температура повышается, то воздух, находящийся в термобаллоне и капиллярной трубке, расширяясь, давит на мембрану, и она замыкает контакты электрической цепи, в которую включен электромагнит через дополнительное реле. Схема электропривода задвижки показана на рис. 89. При прохождении тока через электромагнит защелка освобождает шибер, и он под действием собственного веса и пружины быстро опускается вниз, перекрывая отверстие трубы. Задвижка при испытаниях срабатывала при достижении 40—50° С в месте установки датчика и полностью исключала возможность проникновения продуктов горения в соседние помещения. Температуру, при которой срабатывает датчик, можно регулировать в пределах от 40 до 150° С. Датчик можно выносить на значительное расстояние от задвижки и устанавливать не только в трубопроводе, но и в помещениях, у мест наиболее вероятного возникновения пожара.

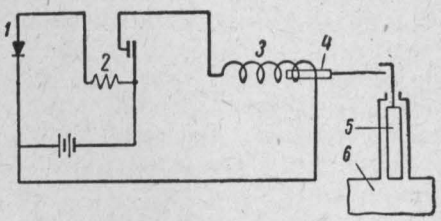


Рис. 89. Схема электропривода задвижки:

1 — датчик; *2* — реле; *3* — электромагнит; *4* — сердечник электромагнита; *5* — заслонка (шибер), перекрывающая воздуховод; *6* — воздуховод.

Все виды рассмотренных выше задвижек автоматического действия устанавливают главным образом в воздуховодах вентиляционных систем.

Естественно, что задвижки с датчиками из легкоплавких сплавов и легкогорючих или размягчающихся вставок не могут быть рекомендованы к применению на линиях для транспортировки взрывоопасных паро-, газо- или пылевоздушных смесей, так как значительное запаздывание во времени срабатывания задвижки при сравнительно большой скорости распространения пламени не обеспечит своевременного перекрывания линии. Выносить же такие датчики на большое расстояние от задвижек не представляется возможным по конструктивным соображениям.

---

[1] Инж. В. Щекотович. Полистироловая вставка для огнезадерживающих клапанов. Журн. «Пожарное дело» № 1, 1960.

Электромагнитный привод позволяет расположить датчики на любом расстоянии от задвижки. Следовательно, такие задвижки способны предотвратить распространение пламени по трубопроводам и при наличии в них горючих концентраций.

Применение задвижек, автоматически срабатывающих при возникновении пожара, не исключает возможности использования задвижек и заслонок ручного действия. Своевременное закрытие ручной задвижки при возникновении опасности предотвратит распространение пламени и продуктов горения по воздуховоду из машины в машину или из помещения в помещение, поэтому пожарным работникам совсем не безразлично, в каких местах располагают такие задвижки. Задвижки, шиберы или заслонки с ручным приводом монтируют на ответвлениях воздуховодов в непосредственной близости от машин и рабочих мест (от которых осуществляется отсос воздуха), около перехода труб из одного помещения в другое, а также перед вентилятором. Задвижки должны располагаться в наиболее доступных местах и не особенно высоко от пола. Если задвижки расположены высоко, их оборудуют дистанционным приводом.

§ 5. Защита воздуховодов от загрязнений поверхности горючими отложениями

В некоторых цехах внутренняя поверхность воздуховодов при длительной эксплуатации загрязняется твердыми или жидкими горючими отложениями: частичками оседающей краски (воздуховоды окрасочных камер в малярных цехах); масляным конденсатом (воздуховоды термических цехов); кристаллическими отложениями смол (воздуховоды цехов по производству и переработке капролактама, фталевого ангидрида и т. п.); волокнистыми частичками (воздуховоды прядильных фабрик, рекуперационных линий заводов резино-технических изделий, искусственной кожи и т. д.).

При вспышке в машине или у рабочего места пламя попадает в воздуховод и распространяется по горючим отложениям в направлении потока воздуха.

Для того чтобы избежать загрязнения поверхности воздуховодов горючими отложениями, применяют различные способы улавливания увлекаемых воздухом твердых и жидких частиц, предохраняют воздуховоды от конденсации и кристаллизации транспортируемых смесей, осуществляют очистку поверхности от горючих отложений.

Очистка воздуха от горючей пыли, волокнистых материалов и отходов производства осуществляется обычно при помощи циклонов и фильтров. Фильтры, как правило, применяются с непрерывным автоматическим удалением улавливаемых частичек.

Чтобы уменьшить возможность отложения твердых горючих частичек на участках до места установки циклонов или фильтров,

трубопроводы делают круглого сечения с гладкой поверхностью, плавными поворотами и без резких изменений диаметров. Скорость движения воздуха принимают такой, чтобы твердые частички все время находились во взвешенном состоянии.

Конденсация и кристаллизация наблюдаются в том случае, когда улавливаются нагретые пары, которые в воздуховодах охлаждаются, или когда паровоздушная смесь с температурой производственных помещений транспортируется в зимнее время по наружным воздуховодам.

Во избежание этого воздуховоды наружные и проходящие по неотапливаемым помещениям защищают негорючей теплоизоляцией. В некоторых случаях паровоздушную смесь подогревают с таким расчетом, чтобы в процессе транспортировки температура ее не снижалась до точки росы.

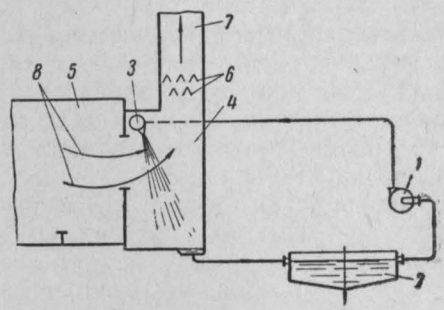


Рис. 90. Схема установки для улавливания частичек краски водяной завесой.

1 — насос; *2* — отстойник; *3* — коллектор с распылительными головками; *4* — боковой карман окрасочной камеры; *5* — окрасочная камера; *6* — жалюзийные решетки; *7* — воздуховод; *8* — воздушные потоки.

Очистку воздуха от частичек краски и масла производят чаще всего путем устройства гидрофильтров, представляющих собой одну или несколько последовательно расположенных водяных завес, сквозь которые просасывается загрязненный воздух. Схема такого устройства показана на рис. 90. Отработанная вода поступает в отстойник-ловушку, где освобождается от краски и вновь используется для создания завесы или спускается в канализацию.

В некоторых случаях для очистки воздуха от частичек краски применяют устройства в виде жалюзийных решеток, отбойных стенок и т. п. Проходя через подобного рода препятствия, воздух неоднократно изменяет направление движения и частички краски, ударяясь о стенки или решетки, прилипают к их поверхности. Однако такие механические устройства менее эффективны по сравнению с гидрофильтрами.

Отсутствие защиты от загрязнений вызывает необходимость производить ручную очистку внутренней поверхности труб от горючих отложений.

Периоды очистки устанавливают, исходя из местных условий. Для удобства очистки воздуховоды делают легкоразборными (отдельные звенья соединяют между собой на фланцах с обычными или откидными болтами) или устраивают люки на расстоянии 4—5 *м* друг от друга. Если отложения присыхают к стенке воздуховода, то перед очисткой их следует распарить, продувая трубы водяным паром. Полученные в результате очистки отходы

следует сразу же удалять из помещения, направляя их на утилизацию или уничтожение.

Нельзя допускать очистку воздуховодов способом выжигания отложений. Если выжигание является единственно возможным способом очистки труб от отложений, то принимают все меры предосторожности: выжигание производят, когда цех не работает, от воздуховодов удаляют все сгораемые материалы, на время выжигания выставляют пожарный пост, держат наготове средства пожаротушения.

§ 6. Защита против растекания излившейся жидкости

При авариях и повреждениях огнеопасная жидкость, выходя из аппаратов и трубопроводов, может растекаться по территории объекта или по полу производственных помещений; может стекать с одной площадки на другую, из верхнего этажа в нижний. При возникновении пожара это может привести к быстрому его распространению.

Мероприятия против растекания жидкостей сводятся к устройству перемычек, порогов, валов, стенок, бортиков и дренажей.

Так, чтобы избежать распространения огня по излившейся жидкости в туннелях, предназначенных для прокладки трубопроводов, через каждые 60 *м* по их длине устраивают пороги, возвышающиеся над уровнем пола туннеля не менее чем на 0,3 *м*.

Нередко трубопроводы с огнеопасными жидкостями прокладывают в каналах или траншеях—открытых и закрытых. При розливе жидкости или наличии взрывоопасной концентрации паров в этих сооружениях возникший пожар может распространиться из одного помещения в другое.

Так, на одном из ликеро-водочных заводов от грозового разряда возник пожар в спиртохранилище. Спирт из склада поступал самотеком в очистной цех главного корпуса завода. Трубопроводы были проложены в подземной траншее соединяющей склад с подвалом главного корпуса, где находилось около 4,5 тыс. декалитров ЛВЖ. Во время тушения пожара в спиртохранилище произошли взрыв и пожар в подвальном помещении главного корпуса и разрушилось междуэтажное перекрытие. Причиной взрыва и пожара в подвале явилось отсутствие в подземной траншее каких-либо устройств, препятствующих распространению жидкости и паров спирта из склада в цех.

Во избежание подобных случаев каналы и траншеи следует разделять глухими перемычками (диафрагмами) из несгораемых материалов в местах вводов их в здание, как этого требуют НиТУ 133—55, а также в местах перехода траншей и каналов из одного помещения в другое, если они разделены брандмауэром.

Состояние указанных диафрагм-перемычек следует периодически проверять. Во всех случаях, где это возможно по условиям эксплуатации, траншеи и каналы с трубопроводами следует засыпать песком.

Принимают меры против растекания жидкостей и внутри производственных помещений. Так, промежуточные площадки, галереи, антресоли, а также все проемы в междуэтажных перекрытиях производственных помещений, предназначенных для хранения или применения легковоспламеняющихся и горючих жидкостей защищают против растекания жидкостей сплошными бортиками высотой не менее 15 *см*.

В дверных проемах таких помещений устраивают пороги или пандусы высотой не менее 15 *см*.

Также принимают меры против растекания огнеопасных жидкостей по территории промышленных объектов и складов. Например, на базисных и расходных складах при хранении огнеопасных жидкостей и сжиженных газов отдельно стоящие резервуары или группа наземных и полуподземных резервуаров подлежат обвалованию.

Высота вала или стенки определяется расчетом, но не может быть менее 1 *м*.

Открытые площадки, на которых размещены группы технологических аппаратов (например, группы дегидраторов, теплообменников, мерников и т. п.) защищают от растекания жидкости барьером по периметру площади. Барьер должен устраиваться на расстоянии не менее 1 *м* от аппаратов и иметь высоту не менее 0,2 *м*. Площадку оборудуют стоками в канализацию через гидравлический затвор.

Растекание излившейся на территорию жидкости может быть ограничено также устройством лотков и желобов.

В некоторых случаях при авариях и в связи с этим при возможной угрозе соседним установкам, объектам и жилым домам для предупреждения растекания жидкости устраивают временные преграды: земляные насыпи (валы), канавы и т. п., используя для этого все имеющиеся в наличии механизированные средства.

Глава X. ЗАЩИТА АППАРАТОВ ОТ РАЗРУШЕНИЙ ПРИ ВОЗМОЖНЫХ ВЗРЫВАХ

При эксплуатации некоторых аппаратов и устройств в них образуются взрывоопасные концентрации паров, газов или пылей, что при появлении источника воспламенения неизбежно вызовет взрыв. Аппараты в результате взрыва часто разрушаются, и разлетающимися деталями или осколками могут быть повреждены соседние аппараты, установки, трубопроводы, электрооборудование, а в некоторых случаях и производственные здания. Разрывы часто сопровождаются пожарами и нередко являются причиной гибели людей. Так как содержимое поврежденных аппаратов и трубопроводов выходит наружу, пожары могут принять большие масштабы.

§ 1. Необходимость и способы защиты аппаратов от разрушения при взрыве

Масштабы возможных разрушений при взрыве в аппарате зависят от многих факторов, основными из которых являются химические свойства вещества, концентрация его в смеси с воздухом, объем аппарата, давление и температура до взрыва.

Практически считают что максимальное давление при взрыве паров и газов без детонации не превышает 10—12 *кГ/см*², а пылей 4—6 *кГ/см*². Давление при взрыве $P_{в\,р}$ можно определить аналитическим путем по следующей формуле:

$$P_{взр} = P_{раб} \cdot \frac{T_{взр}}{T_{нач}} \cdot \frac{m}{n},$$

где: n — количество молекул смеси до взрыва;
m — количество молекул, образовавшихся в результате взрыва.

Температуру продуктов горения при взрыве $T_{взр}$ можно взять из справочников, но можно определить и аналитическим путем, исходя из теплотворной способности $Q_н$, весового состава продуктов горения ΣG_i и их теплоемкости C_i, т. е.:

$$t_{взр} = \frac{Q_н}{\sum C_i G_i}.$$

Количество молекул смеси, участвующих в химической реакции n и образовавшихся в результате химической реакции m, определяют по уравнению горения данного вещества в воздухе.

Образовавшиеся газообразные продукты взрыва в момент расширения при изменении давления от $P_{взр}$ до P_o способны произвести большую работу. Этим и объясняются сильные разрушения при взрыве. Так как расширение газообразных продуктов горения при взрыве носит адиабатический характер, работа A может быть определена по следующей формуле:

$$A = \frac{P_{взр} \cdot V}{k-1}\left[1 - \left(\frac{P_o}{P_{взр}}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right] кГм;$$

где: V — свободный объем аппарата, *м*³;
$P_{взр}$ — давление при взрыве, *кГ/м*²;
P_o — атмосферное давление (давление газа после разрушения аппарата);
k — отношение $\frac{C_p}{C_v}$ (для продуктов горения $k = 1{,}40$).

Тогда мощность при взрыве будет равна:

$$N = \frac{A}{\tau}\ кГм/сек \text{ или } N = \frac{A}{75 \cdot \tau}\ \text{л. с.}$$

Время взрыва τ зависит от скорости горения смеси и от ее объема. Практически можно считать, что время взрыва в среднем будет равно: для газов — 0,1 сек., паров жидкости — 0,2—0,3 сек.; пылей — около 0,5 сек.

Чтобы избежать разрушения аппарата при возможном взрыве и тем самым предохранить соседние аппараты от повреждений, необходимо создать такие условия для своевременного стравливания образующихся продуктов взрыва, при которых в аппарате не может образоваться давление выше установленной нормы.

При взрыве давление нарастает очень быстро, следовательно, так же быстро надо стравливать избыточное давление газов.

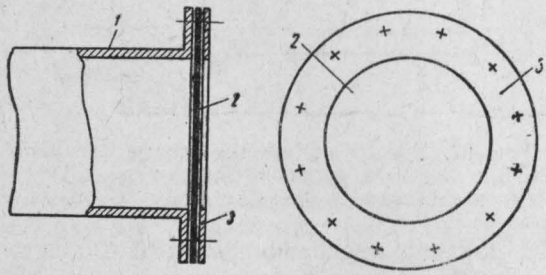


Рис. 91. Схема мембранного предохранительного клапана:

1 — трубопровод; *2* — мембрана; *3* — кольцо для крепления мембраны.

Чтобы при взрыве давление не было выше тех величин, на которые рассчитаны стенки аппарата, применяют предохранительные клапаны мембранного типа или в виде откидных дверец. Наиболее широкое применение нашли мембранные клапаны. Ими защищают аппараты рекуперационных установок, производств, связанных с приготовлением пылевидного топлива и порошковой продукции, котлы, реакторы, газогенераторы и т. п. Так, например, Правилами взрывобезопасности установок для приготовления и сжигания топлив в пылевидном состоянии (Госэнергоиздат, 1957 г.) предусматривается защита мембранными предохранительными клапанами всех аппаратов пылеприготовительных установок, работающих под разрежением или рассчитанных на давление до 4,5 *ата*, для всех топлив, кроме антрацита и полуантрацита.

Схематическое устройство мембранного предохранительного клапана показано на рис. 91. Мембрана может быть медной, алюминиевой, из тонкой жести, бумаги, асбеста, станиоли и пластмасс. Обычно мембрана плотно закрывает отверстие клапана, создавая хорошую герметизацию аппарата, но после того как сработает клапан, содержимое аппарата будет свободно выходить наружу. В этом недостаток мембранного клапана.

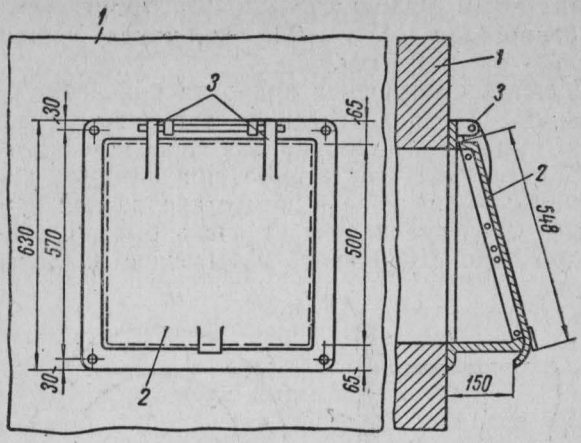


Рис. 92. Предохранительный клапан откидного типа (откидные дверцы):
1 — кладка печи; *2* — откидная дверца; *3* — шарнир.

На рис. 92 показан предохранительный клапан откидного типа. Дверца клапана закрыта и, прижимаясь к раме под действием собственного веса и противовеса, изолирует аппарат от окружающей среды. Выпустив при взрыве избыток газов, дверца снова закрывается. Такой клапан не может обеспечить хорошую герметичность в процессе работы, а при длительной эксплуатации наблюдается иногда «пригорание» клапана; в этом его недостаток.

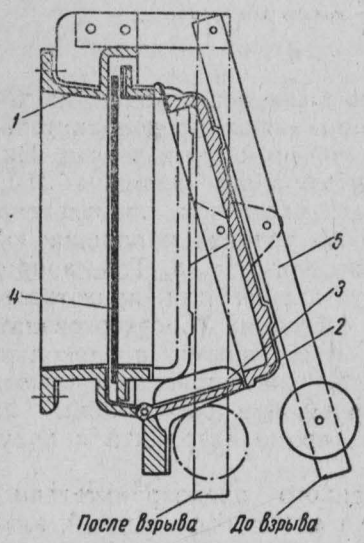


Рис. 93. Совмещенные — мембранный и откидной — клапаны на газовой линии:
1 — газопровод; *2* — откидной клапан; *3* — рычаг, поддерживающий крышку откидного клапана в открытом положении; *4* — мембрана; *5* — рычаг с грузом.

Для того чтобы обеспечить хорошую герметичность системы до срабатывания клапана и не допустить свободного выхода газа после стравливания избыточного давления, применяют комбинированную конструкцию, состоящую из мембраны и откидного клапана (рис. 93).

При наличии исправной мембраны откидной клапан приподнят и закреплен распоркой. В момент срабатывания мембраны распорка падает, освобождая откидной клапан, который после снижения давления закрывает отверстие клапана. Такие комбинированные клапаны часто устанавливают на объектовых газовых линиях.

§ 2. Расчет мембранных предохранительных клапанов

При расчете мембранных клапанов находят общую площадь предохранительных клапанов, их количество, диаметр и толщину мембраны.

Сначала определяют удельную площадь f предохранительного клапана, т. е. площадь, приходящуюся на единицу объема защищаемого аппарата или системы аппаратов.

Давление при взрыве в аппарате не будет выше установленного, если пропускная способность клапана будет больше или равна количеству избыточных газообразных продуктов, образующихся при взрыве в единицу времени.

Следовательно, удельную площадь предохранительного клапана можно найти, определив количество избыточных газов, образующихся при взрыве 1 $м^3$ смеси, и пропускную способность клапана.

Количество избыточных газов, образующихся при взрыве смеси

Объем газообразных продуктов, получающихся при взрыве 1 $м^3$ смеси в аппарате, находят, исходя из химической реакции горения смеси и ее концентрации. При этом следует учитывать начальное давление в аппарате.

Для стехиометрической концентрации при температуре 0° С и давлении 1 *атм* изменение объема продуктов горения по сравнению с первоначальным объемом смеси будет соответствовать отношению количества молекул m, образовавшихся после реакции, к количеству молекул n до реакции.

Так как 1 $м^3$ объема аппарата при наличии рабочего давления, отличающегося от атмосферного, будет содержать фактически большее количество взрывоопасной смеси, то следует внести поправку на давление, равную $\frac{P_{раб}}{P_o}$. Образовавшиеся в результате взрыва газообразные продукты будут нагреты до температуры взрыва. Это также следует учесть введением коэффициента $\frac{T_{взр}}{T_{нач}}$. Таким образом, объем газообразных продуктов, получающихся при взрыве смеси, содержащейся в 1 $м^3$ аппарата, будет равен:

$$V_t = V_o \frac{P_{раб}}{P_o} \cdot \frac{T_{взр}}{T_{нач}} = 1 \cdot \frac{m}{n} \cdot \frac{P_{раб}}{P_o} \cdot \frac{T_{взр}}{T_{нач}} \ м^3 \text{ на } 1 \ м^3 \text{ аппарата.}$$

Избыточное количество продуктов горения, т. е. то количество продуктов взрыва, которое необходимо отвести из каждого $м^3$ объема аппарата, будет равно:

$$\Delta V_t = V_t - 1 \cdot \frac{P_{доп}}{P_o} \ м^3 \text{ на } 1 \ м^3 \text{ объема аппарата,}$$

где $P_{доп}$ — давление в аппарате, при котором должен сработать клапан, принимаемое в следующих пределах:

для аппаратов, работающих при атмосферном давлении и вакууме:

$$P_{доп} = 1{,}1 - 1{,}2 \ кГ/см^2;$$

для аппаратов, работающих под положительным давлением:

$$P_{доп} = 1{,}25 P_{раб}.$$

Пропускная способность предохранительного клапана

Пропускная способность мембранного клапана зависит от его площади и скорости истечения газов через клапан в атмосферу:

$$V_{кл} = f \cdot W,$$

где: $V_{кл}$ — объем газов, проходящих через отверстие клапана, *м³/сек*;
W — скорость истечения газов, *м/сек*.

Скорость истечения через отверстие предохранительного клапана в условиях адиабатического расширения газов определяется по формулам:
если:

$$\frac{P_o}{P_{доп}} \geqslant \nu$$

то:

$$W = \mu \sqrt{\frac{2gk}{k-1} \cdot P_{доп} \cdot V_0^t \left[1 - \left(\frac{P_o}{P_{доп}}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]} \text{ м/сек};$$

если:

$$\frac{P_o}{P_{доп}} \leqslant \nu,$$

то:

$$W = \mu \sqrt{\frac{2gk}{k+1} \cdot P_{доп} \cdot V_o^t} \text{ м/сек},$$

где: k — отношение C_p, к C_v;

V_o^t — удельный объем газа с поправкой на температуру, *м³/кг*;

μ — коэффициент расхода, принимаемый в пределах 0,7 до 0,9.

Примерное значение ν: для одноатомных газов — 0,489; для двухатомных газов — 0,528; для многоатомных газов — 0,548.

Площадь мембранного предохранительного клапана

Пропускная способность клапана должна быть больше или равна количеству избыточных газов, образующихся в единицу времени при взрыве смеси в 1 *м³* объема аппарата, т. е.:

$$f \cdot W = \frac{\Delta V_t}{\tau},$$

где τ — время взрыва (см. стр. 179).

Следовательно, минимальная величина удельной площади предохранительного мембранного клапана будет равна:

$$f = \frac{\Delta V_t}{\tau \cdot W} \text{ м}^2 \text{ на 1 м}^3 \text{ объема аппарата.}$$

Действительная площадь F предохранительного клапана для аппарата:

$$F = f \cdot V_{ап} \text{ м}^2,$$

где $V_{ап}$ — объем защищаемого аппарата, *м³*.

Количество мембранных предохранительных клапанов и их диаметр

Найденная площадь предохранительного клапана F может быть такой, что потребует устройства на аппарате не одного, а нескольких предохранительных клапанов.

Размеры предохранительных клапанов принимают конструктивно, исходя из удобства их размещения и особенностей аппарата. Клапаны диаметром более 1 *м* не применяются.

Во всех случаях допускается замена одного клапана несколькими, расположенными около защищаемого участка, суммарным сечением не менее площади заменяемого клапана.

Если клапаны принимаются одинакового размера, тогда:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi \cdot n}} \text{ м},$$

где: n — количество предохранительных клапанов;
d — диаметр клапанов, *м*.

Толщина мембраны

Предохранительный клапан выполнит свою роль только в том случае, если будет правильно выбрана толщина мембраны. В некоторых случаях толщина мембраны принимается на основании опытных данных, но она может быть определена и расчетом. Определение толщины мембраны производится из предположения, что ее разрушение происходит в результате разрыва или среза.

Работу мембран исследовал доцент И. Г. Рубинштейн. Им были выведены приближенные уравнения поверхности деформированной мембраны и уравнения нормальных напряжений (как радиальных, так и меридиальных) для любой точки мембраны.

Для практического пользования И. Г. Рубинштейном предложена следующая формула:

$$\delta = K \cdot P_{доп} \cdot d \cdot 10^{-3},$$

где: δ — толщина мембраны, *см*;
$P_{доп}$ — давление, при котором мембрана должна сработать, *кг/см²*;
d — диаметр мембраны, *см*;
K — коэффициент для алюминиевых мембран, равен 0,33 ÷ 0,38; для медных — 0,15—0,18.

При расчете мембран на срез их края в местах крепления делают более тонкими, а середину утолщенной.

§ 3. Требования к установке мембранных предохранительных клапанов

Мембранные предохранительные клапаны размещают в верхней части аппаратов, концентрируя их у мест наиболее вероятных повреждений. На трубопроводах предохранительные клапаны устанавливают главным образом вблизи от местных сопротивлений, т. е. на поворотах, тупиках, около аппаратов и т. п. Схема размещения мембранных клапанов на линии для транспортировки паровоздушных или газовоздушных смесей показана на рис. 94.

Размещение мембранных клапанов производят с учетом предохранения их от механических повреждений и загрязнения пылью и другими отложениями. В аппаратах и трубопроводах, работающих под вакуумом, для предохранения мембраны от деформации

и разрушения при всасывании устанавливается поддерживающая клапан решетка или сетка.

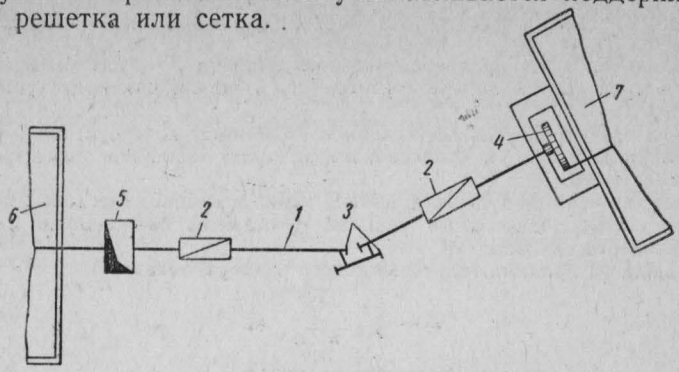


Рис. 94. Схема размещния мембранных предохранительных клапанов на линии паровоздушной смеси рекуперационной установки.

1 — трубопровод; *2* — огнепреградитель с мембранными клапанами; *3* — мембранные клапаны; *4* — вентилятор; *5* — фильтр; *6* — цех; *7* — рекуперационная станция.

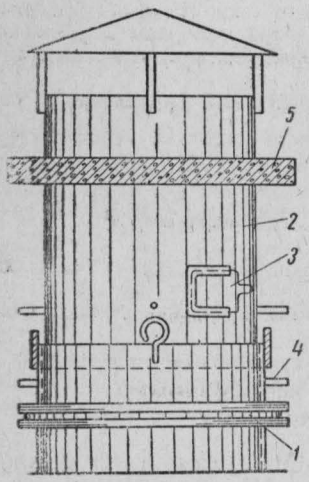


Рис. 95. Отводная труба от мембранного предохранительного клапана:

1 — мембрана; *2* — отводная труба; *3* — смотровое окно; *4* — ручки для подъема подвижного звена; *5* — покрытие.

При размещении клапанов учитывают также, чтобы в момент их срабатывания горячие газы отводились в наиболее безопасную сторону, т. е. в таком направлении, где нет людей, аппаратов, сгораемых материалов и конструкций, в противном случае от предохранительных клапанов устраивают вертикальные отводные трубы для выброса газов за пределы помещения (рис. 95).

Материал мембран подбирают, исходя из химической активности среды в аппарате. Для наружных клапанов применяют мембраны, устойчивые против атмосферных воздействий.

Опыты, проведенные в ЦНИИПО, показали, что для защиты аппаратов при взрыве концентраций, близких к нижнему пределу взрыва, достаточна удельная площадь мембранного клапана 500 $см^2/м^3$ объема; при более высоких концентрациях (близких к стехиометрическим) площадь мембраны должна быть увеличена примерно в два раза [1].

[1] Информационный бюллетень ЦНИИПО № 8 за 1958 г.

Давление паров некоторых жидкостей в *мм* рт. ст.

Температура, °С	Спирт C_2H_5OH $M=46$	Эфир $(C_2H_5)_2O$ $M=74$	Ацетон $(CH_3)_2CO$ $M=58$	Муравьиная кислота $HCOOH$ $M=46$	Уксусная кислота CH_3COOH $M=60$	Бензол C_6H_6 $M=78,04$	Метиловый спирт CH_3OH $M=32$
0	12,70	184,39	63,33	12,0	—	25,31	26,82
10	24,23	286,83	110,32	18,4	5	45,25	50,18
20	44,46	432,78	180,08	31,4	11	75,65	88,67
30	78,52	634,80	280,05	51,6	19	120,24	149,90
40	133,69	907,04	419,35	82,3	30	183 62	260,50
50	219,90	1264,80	608,81	127,2	53	271,37	381,68
60	350,24	1725,01	860,96	191,3	87	390,10	679,93
70	511,15	2304,90	1189,90	280,0	131	547,42	857,16
80	812,91	3022,79	1611,05	399,8	195	751,86	1238,47
90	1189,30	3898,26	2140,82	558	285	1012,75	1741,67
100	1697,55	4953,30	2796,20	762	405	1340,0	2405,15
110	—	—	—	—	566	1744	—
120	—	—	—	—	770	2235	—
130	—	—	—	—	—	2824	—

Температура, °С	Скипидар $C_{10}H_{16}$ $M=136$	Толуол $C_6H_5CH_3$ $M=92$	Этилформиат $C_3H_6O_2$ $M=58$	Сероуглерод CS_2 $M=76,1$	Метилформиат $C_2H_4O_2$ $M=44$	Хлорбензол C_6H_5Cl $M=112,5$
0	2,07	7,2	72,4	127,91	195,0	2,52
10	2,94	13,0	120,3	198,46	309,4	4,86
20	4,45	22,5	192,5	298,03	476,4	8,76
30	6,87	37,4	297,5	434,62	707,9	15,45
40	10,80	59,9	446,7	617,53	1029,0	26,00
50	16,98	92,8	649,4	857,07	1451,0	41,98
60	26,46	139,5	917,9	1164,51	—	65,5
70	40,64	204,1	1266,0	1552,09	—	94,9
80	61,30	291,6	—	2032,55	—	144,75
90	90,61	407,5	—	2619,08	—	208,3
100	131,11	558,3	—	3325,15	—	292,7
110	185,63	751,0	—	—	—	403,7
120	257,21	—	—	—	—	543
130	348,98	—	—	—	—	720

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Коэффициенты объемного расширения сжиженных газов и воды

°C	Газы $\beta \cdot 10^5$				Вода	
	аммиак	хлор	углекислота	сероводород	°C	$\beta \cdot 0^5$
—40	174	153	—	157	10	45
—30	180	158	—	160	20	150
—20	185	165	300	164	30	258
—10	194	175	386	169	40	347
0	204	187	568	175	50	425
10	217	199	704	182	60	498
20	234	212	708	192	70	565
30	257	226	724	206	80	629
40	285	242	—	223	90	691
50	313	250	—	240	100	753
60	338	278	—	261		

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Коэффициенты объемного сжатия жидкостей

Вещество	$t°$	$P_{атм}$	$\beta_{ст} \cdot 10^6$	Вещество	$t°$	$P_{атм}$	$\beta_{ст} \cdot 10^6$
Азотная кислота	20	1—32	338	Хлороформ . . .	20	1—98	94,6
Ацетон	18	1—8	121	CCl_4	20	0—99	91,6
Бензол	14,8	1 - 10	74,7	Этиловый спирт .	20	1—50	112
Вода	20	1—25	49,1	Этиловый эфир .	20	1—50	76
Глицерин	14,8	1—10	22,1	Аммиак	0°	—	111
Касторовое масло	14,8	1—10	47,2	„	20	—	128
				„	40	—	185
Керосин	20	1—15	57,8	„	60	—	262
То же	40	—	63,7	Хлор	20	—	172
„	60	—	69,4	„	40	—	237
Ксилол	10	1—5	74,0	„	60	—	327
Льняное масло .	15	1—10	51,8	Углекислота . .	0	—	824
Метиловый спирт	0	1—500	79,8	„ . .	10	—	1333
Пентан	20	1—29	142	Нефтяные газы .	—	—	450
Сероуглерод . .	15,6	8—35	87	Смазочное масло	—	—	45,4
Толуол	18	1—8	86				

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Физические свойства горючих газов и паров жидкостей [1]

t, °C	$\lambda \cdot 10^3$, *ккал/м · час · град*	$\mu \cdot 10^6$, *кг сек/м²*	P_r	$\upsilon \cdot 10^6$, *м²/сек*	C_p, *ккал/кг · град*	$\frac{C_p}{C_V}$	$a \cdot 10^2$, *м²/час*	γ, *кг/м³*
Водород (H_2)								
0	148	0,852	0,688	93	3,3904	1,410	48,6	0,0890

[1] Теплофизические свойства веществ. Справочник Госэнергоиздат, 1956.

t, °C	$\lambda \cdot 10^3$, ккал/м · час · град	$\mu \cdot 10^6$, кг сек/м²	P_r	$\nu \cdot 10^6$, м²/сек	C_p, ккал/кг · град	$\frac{C_p}{C_V}$	$a \cdot 10^2$, м²/час	γ, кг/м³
100	189	1,05	0,677	157	3,4509	1,398	83,4	0,0657
200	227	1,23	0,666	233	3,4643	1,396	126	0,0519
300	264	1,41	0,655	323	3,4712	1,395	178	0,0428
400	299	1,57	0,644	423	3,4826	1,394	236	0,0364
500	333	1,72	0,640	534	3,5020	1,390	300	0,0317
600	367	1,87	0,635	656	3,5298	1,387	370	0,0281
700	398	2,01	0,637	785	3,5660	1,381	443	0,0252
800	430	2,15	0,638	924	3,6101	1,375	523	0,0228
900	461	2,28	0,640	1070	3,6572	1,369	603	0,0209
1000	491	2,42	0,644	1230	3,7063	1,361	688	0,0192
Метан (CH_4)								
0	26,4	1,06	0,734	14,5	0,5172	1,314	7,13	0,7168
100	40,0	1,35	0,698	25,1	0,5848	1,268	13,0	0,525
200	54,8	1,62	0,700	38,2	0,6704	1,225	19,8	0,414
300	70,8	1,87	0,707	53,5	0,7584	1,193	27,3	0,342
400	87,7	2,11	0,717	71,0	0,8430	1,171	35,8	0,291
500	105	2,34	0,726	90,8	0,9210	1,155	45,1	0,253
600	124	2,57	0,726	113,0	0,9919	1,141	55,8	0,224
Этан (C_2H_6)								
0	16,3	0,877	0,746	6,41	0,3934	1,202	3,09	1,342
100	27,4	1,16	0,738	11,6	0,4938	1,154	5,64	0,983
200	40,8	1,44	0,741	18,2	0,5947	1,124	8,85	0,776
300	56,2	1,71	0,736	26,2	0,6854	1,105	12,8	0,640
400	73,5	1,97	0,726	35,6	0,7676	1,095	17,5	0,545
500	92,8	2,24	0,715	46,4	0,8405	1,085	23,3	0,474
600	114,0	2,50	0,701	58,5	0,9045	1,077	30,1	0,420
Пропан (C_3H_8)								
0	13,1	0,765	0,762	3,81	0,3701	1,138	1,80	1,967
100	22,6	1,02	0,768	6,94	0,4817	1,102	3,26	1,44
200	34,5	1,27	0,763	10,9	0,5871	1,083	5,17	1,14
300	48,3	1,51	0,748	15,8	0,6770	1,070	7,61	0,939
400	64,3	1,75	0,727	21,6	0,7550	1,062	10,7	0,799
500	82,2	1,98	0,700	28,2	0,8237	1,057	14,4	0,694
600	102,0	2,22	0,678	35,6	0,8831	1,053	18,8	0,616
Аммиак (NH_3)								
0	18,1	0,954	0,908	12,2	0,488	1,31	4,81	0,771
100	29,2	1,33	0,852	23,2	0,530	1,28	9,78	0,564
200	42,0	1,70	0,818	38,0	0,573	1,26	16,5	0,445
300	56,3	2,10	0,812	56,4	0,617	1,24	24,8	0,368
400	72,2	2,48	0,796	78,7	0,656	1,22	35,1	0,313
500	89,1	2,87	0,793	105	0,697	1,20	47,0	0,272
600	107,0	3,26	0,792	134	0,736	1,19	60,9	0,241

t, °C	$\lambda \cdot 10^3$, ккал/м · час · град	$\mu \cdot 10^6$, кг сек/м²	P_r	$\nu \cdot 10^6$, м²/сек	C_p, ккал/кг · град	$\frac{C_p}{C_V}$	$a \cdot 10^2$, м²/час	γ, кг/м³
700	127	3,67	0,791	168	0,775	1,18	75,8	0,217
800	147	4,06	0,793	205	0,813	1,17	92,7	0,196
900	169	4 5	0.798	247	0,849	1,16	111	0.179
1000	191	4,88	0,800	291	0,886	1,15	131	0,165
Ацетон (C_3H_6O)								
0	8,36	0,70	0,886	—	0.300	1,130	—	—
100	14,9	0,96	0.840	5,07	0,367	1,103	2,18	1,87
200	23,1	1,23	0.806	8,22	0,427	1,086	3,68	1,47
300	33,2	1,50	0,774	12,1	0.483	1,076	5,64	1,22
400	44,8	1,77	0,743	16,9	0,534	1,067	8,15	1,03
500	58,0	2,04	0,720	22.3	0,580	1,062	11,1	0,901
600	72,8	2,32	0,695	28,3	0,618	1,059	14,7	0,799
Бензол (C_6H_6)								
0	7,93	0,712	0,716	—	0,2253	1,127	—	—
100	14,9	0,735	0,554	3,74	0,3189	1,086	1,84	2,55
200	24,2	1,233	0,719	5,99	0,4003	1,067	3,01	2,01
300	35,8	1,493	0,688	8,80	0.4673	1,057	4,62	1,66
400	49,5	1,754	0 652	12,1	0.5213	1,050	6,74	1,41
500	65,7	2,015	0,614	15,9	0,5659	1,047	9,44	1,23
600	82,8	2,275	0,585	20,4	0,6029	1,044	12,6	1,09
Толуол (C_7H_8)								
0	11,10	0,674	0,748	—	0,246	1,097	—	—
100	—	0,903	—	—	0,337	1,068	—	—
200	—	1,123	—	4,65	0,418	1,054	—	2,38
300	—	1,35	—	6,75	0,489	1,045	—	1,96
400	—	1,57	—	9.23	0,548	1,040	—	1,667
500	—	1,78	—	12,0	0.598	1,036	—	1,45
600	—	2,00	—	15,3	0,638	1,034	—	1,28
Циклогексан (C_6H_{12})								
0	8,36	0,651	0,718	—	0,2614	1,100	—	—
100	15,6	0,864	0,768	3,075	0,3933	1,064	1.44	2,75
200	25,1	1,071	0,769	4,84	0.5110	1,049	2,26	2,17
300	36,8	1,275	0.749	7,00	0.6128	1,040	3,35	1,79
400	50,6	1,476	0,723	9,50	0,7018	1,033	4,74	1,52
500	68,2	1,635	0,656	12,4	0.7753	1,030	6.67	1,32
600	85,5	1,870	0,646	15,7	0,8365	1,027	8,74	1,17
Четыреххлористый углерод (CCl_4)								
0	5,15	0.942	0.802	—	0,1242	1,116	—	—
100	7,51	1,255	0,828	2,45	0,1404	1,101	1,06	5,02

t, °C	$\lambda \cdot 10^3$, *ккал/м · час · град*	$\mu \cdot 10^6$, *кг сек/м²*	P_r	$\nu \cdot 10^6$, *м²/сек*	C_p, *ккал/кг · град*	$\frac{C_p}{C_V}$	$a \cdot 10^2$, *м²/час*	γ, *кг/м³*
200	10,0	1,56	0,816	3,86	0,1482	1,095	1,70	3,97
300	12,6	1,86	0,796	5,59	0,1530	1,092	2,52	3,275
400	15,3	2,16	0,776	7,64	0,1562	1,090	3,51	2,79
500	18,2	2,45	0,758	9,96	0,1593	1,088	4,72	2,42
600	21,1	2,74	0,741	12,6	0,1614	1,087	6,08	2,15
Этилацетат ($C_4H_8O_2$)								
0	7,79	0,705	0,892	—	0,279	1,088	—	—
100	14.3	0,966	0,832	5,16	0,350	1,069	1,42	2,88
200	22,6	1,23	0,798	8,32	0,416	1,056	2,39	2,27
300	32,9	1,49	0,765	12,2	0,479	1,049	3,67	1,87
400	44,9	1,74	0,738	16,9	0,539	1.043	5.21	1,60
500	58,6	2,01	0,723	22,4	0,597	1,038	7,06	1.39
600	74,7	2,28	0,703	28,5	0,652	1,035	9,31	1,23
Бутан (C_8H_{10})								
0	11,4	0,697	0,821	2 63	0,3802	1,097	1,16	2,593
100	20,2	0,944	0,798	4,87	0,4842	1,075	2,20	1,90
200	31,4	1,19	0,784	7,78	0,5865	1,061	3,57	1,50
300	44,6	1,43	0,761	11,3	0,6721	1,052	5.37	1.24
400	60.0	1,67	0,734	15,6	0,7474	1,046	7,64	1.05
500	77.6	1,91	0.706	20,5	0,8131	1,043	10,4	0,916
600	97,2	2,15	0,679	26,1	0,8704	1,040	13,7	0,812
Пентан (C_5H_{12})								
0	10,6	0,648	0,821	—	0.3805	1,077	—	—
100	18.9	0,882	0,796	3,67	0,4836	1,060	1,66	2,355
200	29.3	1,11	0,781	5,90	0,5846	1,049	2,69	1,86
300	41.8	1,35	0,763	8,62	0,6686	1,042	4,08	1,54
400	56.3	1,58	0,735	11,8	0,7422	1,037	5,81	1.31
500	72,8	1,81	0,708	15,6	0,8066	1,035	7,96	1,14
600	91,2	2,05	0,684	19,9	0,8623	1,031	10,5	1,01
Гексан (C_6H_{14})								
0	9,66	0,602	0,841	—	0,3827	1,063	—	—
100	17.4	0,831	0,814	2,89	0,4832	1,050	12,8	2.813
200	27,5	1,06	0,796	4,68	0.5837	1,040	21,2	2,220
300	39,5	1,29	0,769	6,92	0,6666	1,035	32,4	1,833
400	53,7	1,52	0,738	9,60	0,7389	1,031	46,6	1,560
500	69.8	1,76	0,732	12,7	0,822	1,029	62,7	1,355
600	88,2	1,99	0,682	16,2	0,8567	1,027	85,7	1,202
Гептан (C_7H_{16})								
0	9,20	0.550	0,812	—	0,3846	1,053	—	—
100	16,6	1,764	0,784	2,28	0,4824	1,042	10,5	3,27

t, °C	$\lambda \cdot 10^3$, *ккал/м · час · град*	$\mu \cdot 10^6$, *кг сек/м²*	P_r	$\nu \cdot 10^6$, *м²/сек*	C_p, *ккал/кг · град*	$\frac{C_p}{C_V}$	$a \cdot 10^2$, *м²/час*	γ, *кг/м³*
200	26,2	0,981	0,771	3,72	0,5830	1,035	17,4	2,58
300	37,6	1,20	0,749	5,51	0,6651	1,030	26,6	2,13
400	51,1	1,42	0,722	7,68	0,7364	1,027	38,4	1,81
500	66,5	1,64	0,695	10,1	0,7991	1,025	52,6	1,58
600	84,0	1,87	0,670	13,0	0,8526	1,023	70,4	1,40
Октан (C_8H_{18})								
0	8,4	0,503	0,816	—	0,3856	1,046	—	—
100	15,2	0,692	0,776	1,82	0,4827	1,037	8,46	3,73
200	23,9	0,882	0,759	2,94	0,5825	1,030	13,9	2,945
300	34,4	1,07	0,729	4,32	0,6640	1,026	21,3	2,43
400	46,7	1,26	0,700	5,96	0,7346	1,023	30,7	2,07
500	60,7	1,46	0,677	7,88	0,7968	1,022	42,3	1,80
600	76,7	1,65	0,646	10,1	0,8496	1,020	56,8	1,59
Метиловый спирт (CH_4O)								
0	11,0	0,901	0,984	—	0,341	1,22	—	—
100	18,8	1,25	0,962	11,7	0,412	1,18	4,36	1,047
200	28,3	1,60	0,946	19,0	0,4765	1,15	7,19	0,827
300	39,4	1,95	0,934	28,1	0,536	1,13	10,8	0,682
400	52,0	2,30	0,924	39,0	0,591	1,12	15,2	0,580
500	66,0	2,66	0,914	51,7	0,643	1,11	20,3	0,505
600	81,3	3,02	0,906	66,2	0,693	1,10	26,3	0,446
Этиловый спирт (C_2H_6O)								
0	11,1	0,800	0,811	—	0,320	1,16	—	—
100	19,8	1,10	0,796	7,21	0,403	1,12	3,26	1,49
200	30,2	1,40	0,786	11,7	0,480	1,10	5,34	1,18
300	43,0	1,70	0,777	17,2	0,554	1,08	7,96	0,974
400	57,4	2,01	0,769	23,8	0,624	1,08	11,1	0,828
500	73,8	2,31	0,763	31,5	0,691	1,07	14,8	0,720
600	92,4	2,62	0,757	40,2	0,756	1,06	19,1	0,639
Пропиловый спирт (C_3H_8O)								
0	9,91	0,731	0,800	—	0,307	1,12	—	—
100	17,5	0,998	0,793	5,02	0,395	1,09	2,27	1,96
200	27,2	1,26	0,788	8,08	0,479	1,07	3,68	1,54
300	38,7	1,53	0,784	11,8	0,560	1,06	5,43	1,27
400	52,1	1,80	0,779	16,3	0,638	1,05	7,54	1,08
500	67,3	2,07	0,777	21,5	0,713	1,05	10,0	0,943
600	84,4	2,34	0,773	27,5	0,788	1,04	12,8	0,836
Бутиловый спирт ($C_4H_{10}O$)								
0	9,51	0,673	0,753	—	0,301	1,097	—	—
100	16,8	0,913	0,753	—	0,394	1,073	—	—

t, °C	$\lambda \cdot 10^3$, *ккал/м · час · град*	$\mu \cdot 10^6$, *кг сек/м²*	P_r	$\nu \cdot 10^6$, *м²/сек*	C_p, *ккал/кг · град*	$\frac{C_p}{C_V}$	$a \cdot 10^2$, *м²/час*	γ, *кг/м³*
200	26,1	1,15	0,753	6,06	0,483	1,058	2,89	1,87
300	37,2	1,39	0,753	8,87	0,569	1,049	4,24	1,54
400	50,0	1,63	0,753	12,2	0,654	1,042	5,84	1,31
500	64,6	1,86	0,753	16,0	0,736	1,037	7,68	1,14
600	81,0	2,10	0,753	20,4	0,818	1,033	9,80	1,01
Амиловый спирт ($C_5H_{12}O$)								
0	9,30	0,632	0,714	—	0,297	1,08	—	—
100	16,4	0,852	0,718	—	0,392	1,06	—	—
200	25.4	1,07	0,721	4,71	0,484	1,05	2,35	2,230
300	36,1	1,29	0,724	6,86	0,575	1,04	3,41	1,840
400	48,4	1,50	0,726	9,39	0,664	1,03	4,65	1,567
500	62,4	1,71	0,728	12,3	0,750	1,03	6,11	1,362
600	78,1	1,93	0,731	15,6	0,836	1,03	7,74	1,207
Диэтиловый эфир ($C_4H_{10}O$)								
0	11,2	0,699	0,766	—	0,344	1,084	—	—
100	19,6	0,946	0,748	3,83	0,440	1,065	1,844	2,42
200	30,3	1,19	0,736	6,12	0,531	1,053	2,990	1,91
300	43,0	1,43	0,727	8,92	0,618	1,045	4,42	1,57
400	57,9	1,68	0,720	12,2	0,703	1,039	6,14	1,34
500	74,3	1.92	0,714	16,1	0,782	1,036	8,14	1,17
600	93,0	2,16	0,716	20,5	0,862	1,032	10,4	1,03
Воздух								
0	21,0	1,75	0,707	13,3	0,240	1,400	6,76	1,293
100	27,6	2,23	0,688	23,0	0,241	1,397	12,1	0,946
200	33,8	2,65	0,680	43,8	0.245	1,390	18,4	0,747
300	39.6	3,03	0,674	48,2	0,250	1,378	25,7	0,616
400	44,8	3,37	0,678	63,0	0,255	1,366	33,5	0,524
500	49,4	3,69	0,687	79,3	0,261	1,357	41,5	0,456
600	53,6	3,99	0,699	96,8	0,266	1,345	49,9	0,404
700	57,7	4,26	0,706	115,0	0,271	1,337	58,7	0,363
800	61,7	4,52	0,713	135,0	0.276	1,330	68,2	0,328
900	65,6	4,76	0,717	155,0	0,280	1,325	77,8	0,301
1000	69,4	5,00	0,719	178,0	0,283	1,320	88,8	0,276

ЛИТЕРАТУРА

Противопожарные нормы строительного проектирования промышленных предприятий и населенных мест (Н 102—54), Госстрой СССР, 1959.

Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий (Н 101—54). Государственный комитет СМ СССР по делам строительства, 1954.

Нормы и технические условия проектирования производственных зданий промышленных предприятий (НиТУ 133—55). Государственный Комитет СМ СССР по делам строительства, 1956.

Правила устройства и безопасности эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Госгортехиздат, 1961.

Противопожарные нормы и технические условия строительного проектирования заводов синтетического каучука и синтетического спирта. Госхимиздат, 1959.

Правила и нормы по технике безопасности, пожарной безопасности и производственной санитарии для фильморемонтных мастерских и фильмохранилищ контор и отделений по прокату кинофильмов. Рекламфильм, 1956.

Правила технической эксплуатации резервуаров. Гостоптехиздат, 1959.

Правила пожарной безопасности и основные технологические требования при работе с целлулоидом. Министерство местной промышленности, 1955.

Типовые правила пожарной безопасности для промышленных предприятий. ГУПО, 1954.

Правила взрывобезопасности установок для приготовления и сжигания топлив в пылевидном состоянии. Госэнергоиздат, 1957.

О рационализаторской и изобретательской работе в области пожарной охраны. Изд. МКХ РСФСР, 1959.

ЦНИИПО. Информационный бюллетень № 8 (26). 116. ЦНИИПО. Информационный бюллетень № 11, 1957.

Тидеман Б. Г. и Сциборский Д. Б. Химия горения. Изд. Наркомхоз РСФСР, 1940.

Глизманенко Д. Л., Евсеев Г. Б. Газовая сварка и резка металлов. Машгиз, 1954.

Ройзен И. С. Техника безопасности и противопожарная техника в химической промышленности. Госхимиздат, 1951.

Алексеев М. В., Смирнов В. М. Пожарная профилактика в технологических процессах, связанных с обращением горючих и легковоспламеняющихся жидкостей. Изд. МКХ РСФСР, 1955.

Алексеев М. В. Причины образования горючей среды в производствах с наличием жидкостей и газов. Изд. ВШ МВД РСФСР, 1961.

Годжелло М. Г. Взрывы промышленных пылей и их предупреждение. Изд. МКХ РСФСР, 1952.

Машины и аппараты химических производств, под редакцией проф. И. И. Чернобыльского. Машгиз, 1959.

Пектемиров Г. А. Справочник инженера и техника нефтебаз. Гостоптехиздат, 1954.

Алексеев М. В. Предупреждение пожаров от теплового проявления механической энергии. Изд. ВШ МВД РСФСР, 1961.

Любимов Б. В. Специальные лакокрасочные покрытия в машиностроении. Машгиз, 1959.

Френкель Н. З. Гидравлика. Госэнергоиздат, 1956.

Чередниченко А. Н. Пожарная профилактика при первичной обработке льна. Изд. МКХ РСФСР, 1958.

Гинтервальд Э. Состав для обезжиривания деталей. Журн. «Пожарное дело» № 3, 1950.

Щекотович В. Полистироловая вставка для огнезадерживающих клапанов. Журн. «Пожарное дело» № 1, 1960.

Пчелинцев В. Автоматические противопожарные заслонки. Журн. «Пожарное дело» № 6. 1955.

Жданов С. Автоматическое тушение пожаров в вентиляционных установках. Журн. «Пожарное дело» № 6, 1956.

Соловьев Н. В., Ермилов П. И., Стрельчук Н. А. Основы техники безопасности и противопожарной техники в химической промышленности. Госхимиздат, 1960.

Фалькевич А. С. и Акучкин Н. П. Прочность и ремонт резервуаров и трубопроводов. Гостоптехиздат, 1955.

Пранулис М. Ф. Техника безопасности на нефтяных и газовых заводах. Гостоптехиздат, 1955.

Булгаков Н. В. Пожарная безопасность сельскохозяйственных машин при уборке урожаев. Изд. МКХ РСФСР, 1959.

Предупреждение взрывов, пожаров и техника безопасности в химической, нефтеперерабатывающей и других отраслях промышленности. ГОСИНТИ, 1961.

Охрана химических предприятий от пожаров и взрывов. НИИ ТЭХИМ, 1961.

Демидов П. Г. Горение и свойства горючих веществ. Изд. МКХ РСФСР, 1962.

Ройтман М. Я. Пожарная профилактика в строительном деле. Изд. МКХ РСФСР.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3

Раздел I

ГОРЮЧАЯ СРЕДА В ПРОИЗВОДСТВАХ С ОГНЕОПАСНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

Глава I. **Образование горючих концентраций внутри аппаратов** . . 6

§ 1. Аппараты с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями 6
§ 2. Аппараты с горючими газами 14
§ 3. Аппараты с огнеопасными пылями 15
§ 4. Аппараты, работающие под разрежением 17
§ 5. Образование горючих концентраций в периоды пуска и остановки аппаратов 19

Глава II. **Выход паров и газов наружу при нормальном состоянии аппаратов и трубопроводов** 25

§ 1. Испарение жидкостей из открытых аппаратов и при разливе . 25
§ 2. Выход паров через дыхательные трубы аппаратов . . . 30
§ 3. Выход паров и газов из герметических аппаратов и трубопроводов, работающих под давлением 33
§ 4. Требования, направленные на уменьшение количества выделяющихся паров и газов, и контроль за состоянием воздуха помещений 35

Глава III. **Выход огнеопасных веществ наружу при повреждении аппаратов. Причины повреждения аппаратов** 40

§ 1. Определение количества жидкостей и газов, выходящих наружу при повреждении аппаратов 40

А. Механические воздействия на материал аппаратов . . . 43
§ 2. Завышенные против нормы давления в аппаратах . . 43
§ 3. Воздействие нагрузок динамического характера . . . 60
§ 4. Температурные напряжения. Изменение свойств металлов под действием температур 63

Б. Повреждения в результате химического износа материала аппаратов 73
§ 5. Виды коррозии и характер коррозийных разрушений . . 73
§ 6. Химическая коррозия 74
§ 7. Электрохимическая коррозия 77
§ 8. Способы защиты от коррозии 79

Глава IV. **Некоторые рекомендации по определению категории пожарной опасности производственных помещений** 85

Раздел II

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ

Глава V. **Тепловое проявление химических реакций** 88

§ 1. Открытый огонь 89

§ 2. Газообразные продукты горения 91

§ 3. Искры при работе топок и двигателей 93

§ 4. Экзотермические реакции химических веществ . . . 99

Глава VI. **Тепловое проявление механической энергии** . . . 103

§ 1. Искры при ударах твердых тел 104

§ 2. Разогрев тел при трении 113

§ 3. Разогрев веществ при адиабатическом сжатии . . . 121

Раздел III

ОГРАНИЧЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА ПО ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ УСТРОЙСТВАМ

Глава VII **Уменьшение количества горючих веществ и материалов в производственных помещениях** 127

§ 1. Ограничение площадей производственных и складских помещений 127

§ 2. Уменьшение количества горючих материалов в строительных конструкциях 128

§ 3. Ограничение количества обрабатываемых горючих веществ и материалов 129

§ 4. Снижение пожарной опасности обращающихся в производстве веществ и материалов 133

§ 5. Уменьшение количества сгораемых отходов производства . 136

§ 6. Уменьшение количества горючих материалов в конструкциях машин и оборудования 138

Глава VIII. **Обеспечение условий для эвакуации огнеопасных веществ при возникновении пожара** 139

§ 1. Аварийный слив огнеопасных жидкостей 139

§ 2. Аварийный выпуск газов из аппаратов 146

§ 3. Эвакуация твердых материалов и оборудования . . . 149

Глава IX. **Защита от распространения пламени по производственным коммуникациям** 149

§ 1. Огнепреградители 150

§ 2. Гидравлические затворы 162

§ 3. Затворы из твердых измельченных материалов . . . 169

§ 4. Автоматически действующие задвижки 171

§ 5. Защита воздуховодов от загрязнений поверхности горючими отложениями 174

§ 6. Защита против растекания излившейся жидкости . . . 176

Глава X. **Защита аппаратов от разрушений при возможных взрывах** . 177

§ 1. Необходимость и способы защиты аппаратов от разрушения при взрыве 178

§ 2. Расчет мембранных предохранительных клапанов . . 181

§ 3. Требования к установке мембранных предохранительных клапанов 183

Приложения 185

Литература 192

Михаил Васильевич Алексеев

Предупреждение пожаров от технологических причин

Редактор *Ф. В. Обухов*
Редактор издательства *М. И. Рачевская*
Техн. редактор *Н. П. Салазков* Корректор *З. Н. Гласко*

Сдано в набор 17/XII 1962 г. Подписано к печати 23/VII 1963 г.
Формат бум. 60 × 90¹/₁₆ Печ. л. 12 25 Уч.-изд. л. 12,5
Л62649 Изд. № 1481 Тираж 9500 Цена 59 коп. Заказ 3446

Издательство Министерства коммунального хозяйства РСФСР
Москва, К-12, Ипатьевский пер., 14

Типография Изд-ва Министерства коммунального хозяйства РСФСР,
Москва, Е-398, ул. Плющева, 22

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
29	1 снизу	бензол	бензин
41	9 снизу	$\frac{P_o}{P_{раб}} > \gamma$	$\frac{P_o}{P_{раб}} > \nu$
41	7 снизу	$\frac{P_o}{P_{раб}} \leqslant \gamma$	$\frac{P_o}{P_{раб}} \leqslant \nu$

Заказ 3446