

П 1:35

П 46

архив

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ



МОСКВА 1965

П.1135
П46

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

СБОРНИК РАБОТ ФАКУЛЬТЕТА ИНЖЕНЕРОВ
ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ И БЕЗОПАСНОСТИ
ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ МООН РСФСР

Выпуск 4



ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ

Москва — 1965

ЧИТАЛЬНЫЙ ЗАЛ

78987

В сборнике изложены вопросы пожарной безопасности новых производств химической промышленности, результаты исследований по обоснованию противопожарных требований для химических предприятий нового типа, характеристика пожарной опасности ряда веществ и материалов, некоторые данные по определению параметров развития и тушения пожаров фрезерного торфа и др.

Сборник рассчитан на начальствующий состав пожарной охраны, пожарно-технические учебные заведения и ИТР, занимающихся проектированием и эксплуатацией предприятий химической промышленности.

Составитель Ф. В. Обухов

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Выпуск 4

Тем. план 1965 г. № 210

Стройиздат

Москва, Третьяковский проезд, д. 1

Редактор издательства З. П. Злобина

Технический редактор Н. К. Боровнев

Корректор И. В. Бошнякович

Сдано в набор 22/II—1965 г.

Подписано к печати 16/IV—1965 г.

Т—04064.

Бумага 60×90¹/₁₆ = 3,75 бум. л. 7,5 печ. л. (7,2 уч.-изд. л.) Тираж 8 000 экз.

Изд. № А.VII-8958

Зак. № 690

Цена 36 коп.

Владимирская типография Главполиграфпрома
Государственного комитета Совета Министров СССР по печати
Гор. Владимир, ул. Б. Ременники, д. 18-б

ПРЕДИСЛОВИЕ

Производство новых химических веществ и материалов, как правило, связано с повышенной пожарной опасностью. Опасными в пожарном отношении являются не только применяемое сырье, полуфабрикаты и готовая продукция, которые, как правило, считаются легковоспламеняющимися веществами, но и технологические процессы, которые связаны с нагревом веществ до высоких температур и обработкой их под высоким давлением или вакуумом.

В настоящее время проектные организации разрабатывают совершенно новые принципы проектирования крупных химических предприятий. Существующие противопожарные и строительные нормы в ряде случаев не отвечают требованиям, предъявляемым к новым конструктивно-планировочным решениям. Поэтому важным направлением научно-исследовательской работы, проводимой в настоящее время факультетом противопожарной техники и безопасности Высшей школы МООП РСФСР, является обоснование противопожарных требований, предъявляемых предприятиям химической промышленности в процессе их проектирования.

Некоторые выводы и рекомендации, полученные факультетом в этом отношении и одобренные УПО МООП РСФСР, предлагаются для экспериментального проектирования в данном сборнике.

Публикуемые статьи не претендуют на исчерпывающее изложение всех вопросов, связанных с пожарной безопасностью рассматриваемых производств. Однако некоторые рекомендации, изложенные в сборнике, должны учитываться при проектировании и эксплуатации предприятий химической промышленности.

М. Я. РОЙТМАН, А. С. ТУРКОВ,
Н. Т. СКИТЕВ, А. С. ПИВОВАРОВ

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ПРЕДПРИЯТИЙ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Проектирование и эксплуатация современных предприятий химической промышленности показали, что существующие принципы противопожарного нормирования в строительном деле не удовлетворяют требованиям пожарной безопасности. В связи с этим Управление пожарной охраны МООП РСФСР поставило перед инженерным факультетом ВШ МООП задачу по обоснованию ряда нормативов по проектированию предприятий химической промышленности. Аналогичная задача была поставлена перед факультетом Гипрогазтоппромом и ЦНИИПромзданий.

Некоторые результаты исследовательских работ по решению поставленных перед факультетом задач публикуются в этой статье.

Эти предложения обсуждались работниками пожарной охраны и проектных институтов и рекомендованы для экспериментального проектирования химических предприятий.

ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ ОТСЕКИ

Здания и открытые установки с производствами категорий А и Б

В основу нормирования площади противопожарных отсеков положено пять основных принципов. Суть этих принципов сводится к следующему.

Площадь противопожарного отсека $F_{от}$ должна быть такой, чтобы обеспечивалось успешное тушение пожара наличными силами и средствами тушения в течение заранее обусловленного, допустимого времени.

Размеры противопожарного отсека не должны превышать величин, установленных для обеспечения безопасной эвакуации людей.

Площадь противопожарного отсека и соотношение его размеров в производствах, относимых по пожарной опасности к категориям А и Б, должны быть такими, чтобы обеспечивалось размещение вышибных панелей в ограждающих конструкциях зданий.

Планировка противопожарных отсеков должна учитывать возможность блокировки различных по пожарной опасности и функциональному назначению производственных процессов при принятии необходимых мер противопожарной защиты. Кроме этого учитывается возможность блокировки производственных процессов, требующих различных средств тушения.

Площадь противопожарного отсека должна быть такой, чтобы площадь факела пламени при пожаре не была бы причиной его распространения на смежные здания и сооружения.

Существенное значение при определении площади отсеков имеет допустимое время тушения.

Принято считать, что за максимально допустимое время тушения следует принимать наименьший предел огнестойкости несущей строительной конструкции здания. Такими элементами чаще всего являются покрытия или перекрытия в современных зданиях, предел огнестойкости которых равен 60 мин. С обрушением покрытия или перекрытия, как правило, связано разрушение технологического оборудования. В этом случае пожар приносит наибольший ущерб. Чтобы потушить пожар до обрушения конструкций, соблюдают следующее условие:

$$\tau_{\text{туш}} \leq \frac{P}{K_0}, \quad (1)$$

где $\tau_{\text{туш}}$ — продолжительность тушения с момента возникновения пожара в мин;

P — наименьший предел огнестойкости несущей конструкции в мин;

K_0 — коэффициент безопасности, равный 1,1.

Из неравенства (1) выведена формула для определения площади противопожарных отсеков. Применительно к производствам, относимым по пожарной опасности к категориям А и Б, эта формула имеет следующий вид:

$$F_{\text{от}} = \frac{\left(\frac{P}{K_0} - \Delta\tau_0 \right) Q}{\beta I \tau_{\text{н}}}, \quad (2)$$

где $\Delta\tau_0$ — время свободного горения до начала активного тушения в мин;

Q — гарантированный расход средств тушения в л/сек;

β — коэффициент объемности, представляющий отношение площади поверхности горения к площади пола;

I — оптимальная интенсивность средств тушения в л/сек · м²;

τ_n — нормативное время тушения при данной интенсивности в мин.

Для выяснения значений величин в формуле (2) были проанализированы пожары открытых и закрытых производственных установок.

Применительно к условиям пожаров открытых установок был проанализирован целый ряд пожаров нефтеперерабатывающих заводов.

На основе анализов пожаров установлено, что они являются, как правило, следствием аварий и охватывают большие площади в результате разлива жидкостей из производственной аппаратуры.

Площадь пожаров по числу случаев распределяется следующим образом (в m^2): 50—500 — 20%; 500—1000 — 26%; 1000—1500 — 12%; 1500—2000 — 12%; 2000—3000 — 9%; 3000—4000 — 9%; более 4000 — 12%.

Приведенные данные показывают, что в большинстве случаев приходится тушить пожары открытых установок на площадях, требующих значительных расходов средств тушения. При этом тушение достигается при вполне определенной интенсивности подачи огнегасительных средств.

Анализ пожаров открытых установок показал, что основными средствами тушения являются пена и вода.

Применение средств тушения на пожарах открытых установок характеризуется следующими данными: потушено водой — 73%; попытка потушить пеной не привела к успеху и пенные стволы снимались с позиций — 15%; потушено пеной и водой — 9%; потушено пеной — 3%.

Приведенные данные говорят о том, что пожары открытых установок можно тушить водой. Расход воды на тушение пожаров открытых установок находится в прямой зависимости от площади пожара и удовлетворительно выражается формулой (3):

$$Q = IF_n, \quad (3)$$

где F_n — площадь поверхности горения в m^2 .

Обработка статистических данных Q и F_n в уравнении (3) способом наименьших квадратов показала, что коэффициент пропорциональности I , представляющий собой интенсивность подачи воды на тушение, равен 0,0625 л/сек \cdot m^2 .

Данной интенсивности подачи воды соответствует вполне определенное время тушения, которое именуется в последующем как нормативное τ_n . При обработке статистических данных о тушении пожаров открытых установок нормативное время тушения определялось для каждого пожара по зависимости

$$\tau_n = \frac{\tau_{\text{туш}} Q}{IF_n}, \quad (4)$$

где $\tau_{\text{туш}}$ — общее время тушения с момента локализации пожара до момента его ликвидации в мин.

Средняя величина нормативного времени тушения из рассмотренных пожаров открытых установок оказалась равной 20 мин.

Время свободного горения $\Delta\tau_0$ с начала возникновения пожара до начала тушения пожара оказалось равным 30 мин.

Для закрытых зданий и сооружений с производствами, относимыми по пожарной опасности к категориям А и Б, удалось установить зависимость между интенсивностью подачи воды и

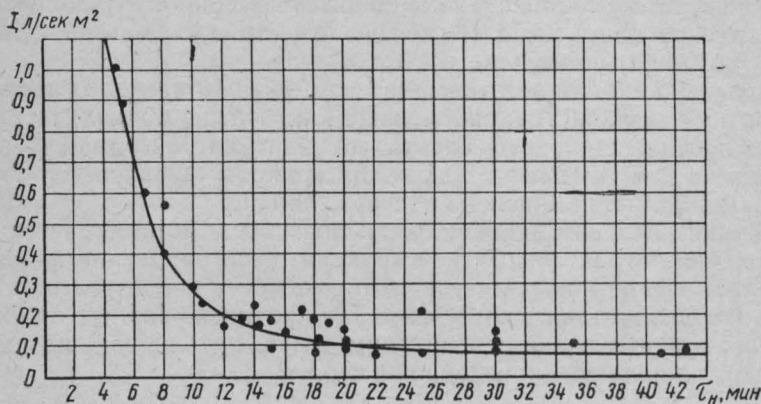


Рис. 1. Зависимость между интенсивностью подачи воды и нормативным временем тушения

нормативным временем тушения. Эта зависимость выражается формулой (5) и представлена на рис. 1.

$$I = \frac{27}{\tau_n^{2,11}} + 0,06. \quad (5)$$

Математическая обработка статистических данных показала, что для тушения пожара в зданиях расчетная интенсивность подачи воды составляет около 0,1 л/сек·м² при нормативном времени тушения τ_n , равном 20 мин. При этом время от начала возникновения пожара до его локализации $\Delta\tau_0$ также равно 30 мин.

Данные для определения площади отсеков при тушении водой открытых и закрытых установок, в которых размещаются производства, относимые по пожарной опасности к категориям А и Б, сведены в табл. 1.

Данные, приведенные в табл. 1, применимы к условиям тушения привозными средствами. При тушении стационарными средствами время до начала тушения $\Delta\tau_0 = 10$ мин.

Таблица 1

Вид установки	I в л/сек·м ²	τ_n в мин	$\Delta\tau_0$ в мин	β	K
Открытая	0,0625	20	30	1,0	1,1
Закрытая	0,10	20	30	1	1,1

В тех случаях, когда тушение осуществляется небольшим количеством машин (в пределах 4—5), время до начала тушения можно принимать равным 20 мин.

Применительно к указанным данным площадь противопожарных отсеков для зданий II степени огнестойкости, вычисленная по формуле (2), приведена в табл. 2.

Если в зданиях или этажерках наименьший предел огнестойкости несущих конструкций меньше или больше 60 мин, то площадь противопожарного отсека должна быть соответственно увеличена или уменьшена. В каждом конкретном случае эта площадь может быть вычислена по формуле (2).

В многоэтажных зданиях часть сил и средств расходуется на охлаждение строительных конструкций, на ограничение пожара или на тушение новых очагов, которые могут появиться на этажах. В соответствии с этим площадь противопожарных отсеков в многоэтажных зданиях необходимо уменьшать на 25% по сравнению с площадью, приведенной в табл. 2.

Таблица 2

Гарантированный расход воды для целей тушения в л/сек	Наибольшая допустимая площадь противопожарных отсеков в одноэтажных зданиях в м ²			
	в открытых установках		в зданиях	
	при стационарных средствах тушения	при нестационарных средствах тушения	при стационарных средствах тушения	при нестационарных средствах тушения
20	720	560	450	350
40	1 440	1 100	900	700
60	2 200	1 200	1 350	750
80	2 900	1 600	1 800	1 000
100	3 600	2 000	2 250	1 250
120	4 350	2 400	2 700	1 500
140	5 000	2 800	3 150	1 750
160	5 800	3 200	3 600	2 000
180	6 500	3 600	4 000	2 250
200	7 200	4 000	4 500	2 500
220	8 000	4 400	5 000	2 750
240	8 700	4 800	5 400	3 000
260	9 400	5 200	5 900	3 250
280	10 000	5 600	6 300	3 500
300	10 800	6 000	6 800	3 750

Примечание. Наименьший предел огнестойкости несущих конструкций для всех данных принимается равным 60 мин.

Существенное влияние на величину противопожарных отсеков оказывает величина удельной загрузки горючими веществами производственных зданий или открытых установок. Особое значение приобретает определение площади отсеков тогда, когда удельная загрузка незначительна или когда заведомо приняты меры к ее существенному уменьшению в условиях пожара. Такими мерами могут быть различного рода устройства по эвакуации жидкостей или по ограничению их разлива в случае пожара.

При проектировании цехов с небольшой удельной загрузкой горючими веществами (до 10 кг/м^2), а также в том случае, если предусмотрены меры по эвакуации жидкостей или ограничению их разлива, площади противопожарных отсеков могут быть увеличены. При определении размеров противопожарных отсеков рекомендуется исходить из предельно допустимых расстояний от рабочего места до эвакуационных выходов.

Площади противопожарных отсеков могут быть существенно увеличены, если применять в качестве огнегасительного средства пену.

При тушении пеной данные для расчета площади противопожарных отсеков приведены в табл. 3.

Таблица 3 *

Род нефтепродукта, обращающегося в производстве, и его температура вспышки	I в л/сек·м ²	
	Химическая пена	Воздушно-механическая пена
Бензин, лигроин, бензол, толуол, легкая нефть и другие нефтепродукты, 28° С	0,75	1,25
Керосин, дизельное топливо и т. п., от 28 до 45° С	0,5	1,5
Масла, мазуты, тяжелые нефти и т. п., выше 45° С	0,3	1

* Данные получены экспериментально применительно к тушению пожаров в резервуарах. В последующем они должны уточняться применительно к производственным зданиям и сооружениям.

При тушении пеной нормативное время тушения принимается равным 10 мин для химической и 5 мин — для воздушно-механической пены. Время свободного горения, т. е. время от начала тушения, при котором обеспечивается необходимая интенсивность подачи пены, при ее расходах до 200 л/сек, принимается 20 мин, а свыше 200 л/сек — 30 мин. При наличии стационарных

установок для тушения пеной время свободного горения принимается равным 10 мин.

Площадь противопожарных отсеков для закрытых и открытых установок II степени огнестойкости с размещением в них производств категории А и Б, вычисленная по формуле (2), при тушении пеной приведена в табл. 4.

Под гарантированным расходом средств тушения подразумеваются такие средства, которые могут быть поданы на проектируемый объект, исходя из того, какая пожарная охрана предусмотрена на объекте и исходя из возможностей пожарных команд, обслуживающих этот объект. Радиус обслуживания объектов категорий А и Б определяется по СНиП.

Величина гарантированных расходов, обеспечиваемых привозными средствами тушения, определяется по согласованию с соответствующими управлениями пожарной охраны. При этом учитывают, что одна пожарная машина может подать 14 л/сек воды или 100 л/сек пены.

Количество машин в областном городе определяется по согласованию с органами Госпожнадзора. Для предварительных расчетов можно принять, что областной город может обеспечить

Таблица 4

Наименьший предел огнестойкости несущей конструкции в мин	Температура вспышки ЛВЖ или ГЖ в °С	Гарантированный расход пены в л/сек		Наибольшая допустимая площадь противопожарных отсеков в одноэтажных зданиях	
		химическая	воздушно-механическая	при стационарных средствах тушения	при нестационарных средствах тушения
60	До 28	200	200	1 450	930
		300	300	1 800	1 000
		610	610	3 600	2 000
		930	930	5 400	3 000
		1 220	1 220	7 200	4 000
60	28—45	200	250	1 800	1 000
		410	510	3 600	2 000
		620	760	5 400	3 000
		810	1 020	7 200	4 000
		1 220	1 220	9 000	5 000
60	45—120	120	200	1 800	1 000
		240	410	3 600	2 000
		370	620	5 400	3 000
		490	820	7 200	4 000
		610	1 020	9 000	5 000
		730	1 220	10 800	6 000

одновременную работу 10 пожарных машин с расходом воды 140—150 л/сек или 1000 л/сек пены.

При проектировании стационарных установок по тушению гарантированные расходы принимаются в соответствии с данными, предусмотренными проектным заданием.

Выбор системы тушения объекта (стационарными или привозными средствами) определяется технико-экономическим расчетом с учетом реальных возможностей.

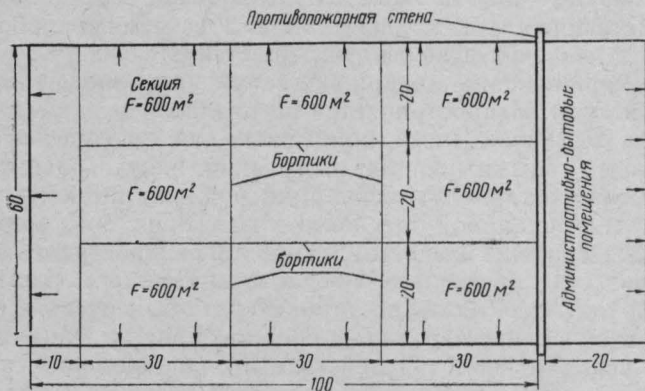


Рис. 2. Схема членения здания на отсеки и секции (расстояния даны в м)

Для тушения пожара и ограничения его распространения в пределах отсека желательно выделить противопожарные секции. Площадь противопожарных секций в производственных помещениях определяют из условия успешного тушения пожара первыми прибывшими пожарными машинами. Предварительные расчеты показывают, что площадь секций не должна превышать 600 м^2 . Для разделения противопожарного отсека на секции применяются противопожарные перегородки, бортики, обваловки, диафрагмы и т. п.

Кроме этого, в пределах противопожарного отсека противопожарными преградами выделяются производственные процессы, различные по пожарной опасности, функциональному назначению, применяемым средствам тушения, технологическому оборудованию и др.

Общая принципиальная схема членения здания противопожарными стенами и бортиками приведена на рис. 2.

Кроме противопожарных стен противопожарные отсеки могут быть разделены между собой объемными элементами в виде разделительных зон, противопожарных коридоров, водяных зон и т. п.

Конструктивные решения противопожарных преград требуют специального рассмотрения. Здесь укажем лишь, что противопожарные преграды должны удовлетворять следующим специальным требованиям: невозгораемости, огнестойкости, устойчивости при обрушении и взрывах, газо- и дымонепроницаемости и надежному ограничению распространения пожара.

Здания с производствами категории В

При определении площади противопожарных отсеков для производственных или складских зданий, связанных с обращением твердых горючих веществ, учитывается следующее.

При возникновении пожара в зданиях с производствами категорий А и Б он распространяется по разлитой жидкости со скоростью до 20 м/мин. Части, прибывшие для тушения, имеют дело со значительными площадями горения, иногда равными площади противопожарного отсека. При пожарах в производствах, относимых по пожарной опасности к категории В (с применением твердых горючих веществ), скорость распространения огня, как правило, не превышает 1—2 м/мин. Пожар можно начать тушить до того, как он распространится на весь отсек.

Расчетное количество сил и средств при тушении твердых горючих веществ вводят в действие не одновременно, а постепенно, т. е. по мере прибытия пожарных частей в соответствии с расписанием привлечения сил и средств для тушения в данном гарнизоне.

Порядок прибытия частей по дополнительным вызовам обуславливает поэтапное введение сил и средств для тушения крупных пожаров.

Производства, относимые по пожарной опасности к категории В, могут размещаться в зданиях III, IV и V степеней огнестойкости. Элементы этих зданий сами представляют горючий материал, требующий значительных огнегасительных средств для тушения.

Поверхность горения твердых горючих веществ может значительно превышать площадь пола, на которой размещены эти горючие вещества. Последняя особенность весьма характерна для складских помещений со штабельным или стеллажным хранением веществ.

Для учета некоторых особенностей динамики развития и тушения пожаров в производствах с обращением твердых горючих веществ при определении площади отсеков было проанализировано тушение пятидесяти крупных пожаров в производственных и складских зданиях областных и краевых центров. Анализ этих пожаров показал, что в среднем тушение первыми прибывшими частями начинали через 15 мин со средним расходом воды 20 л/сек. Нарастивание сил с суммарным расходом воды порядка 50—60 л/сек наблюдалось через 30 мин с момента возникновения.

пожара. Последующее увеличение расхода воды сверх 60 л/сек наблюдалось через 47—50 мин.

Учитывая современное рациональное размещение пожарных частей и совершенствование их боеготовности, рекомендуется для определения площади противопожарных отсеков принимать двухэтапное тушение.

На первом этапе подается 20 л/сек воды через 15 мин с начала возникновения пожара в течение 15 мин. Второй этап тушения начинается через 30 мин с начала возникновения пожара с расходом воды, который определяется возможностями гарнизона пожарной охраны и расчетом необходимых сил и средств.

Интенсивность средств тушения (главным образом воды) и нормативное время тушения могут быть приняты по данным ЦНИИПО*, а именно:

для резины, каучука и изделий из них $I=0,14 \text{ л/сек} \cdot \text{м}^2$, $\tau_n=10 \text{ мин}$;

для других твердых горючих материалов $I=0,08 \text{ л/сек} \cdot \text{м}^2$, $\tau_n=10 \text{ мин}$.

Необходимо отметить, что эти данные хорошо согласуются с данными, полученными на реальных пожарах.

На первом этапе может быть потушена следующая площадь:

$$F_1 = \frac{Q_1 \tau_1}{I \tau_n} = \frac{20 \cdot 15}{0,08 \cdot 10} = 375 \text{ м}^2,$$

где Q_1 и τ_1 — соответственно расход и время тушения на первом этапе.

С учетом указанной поправки площадь противопожарных отсеков может быть определена по следующей формуле:

$$F_{\text{отс}} = \frac{\left(\frac{П}{К} - 30 \right) Q_2}{\beta I \tau_n} + \frac{F_1}{\beta}, \quad (6)$$

где Q_2 — расход воды на втором этапе тушения в л/сек;
 $П$ — предел огнестойкости.

Различная степень огнестойкости зданий, а также различные способы хранения веществ учитываются введением коэффициента β . Уже отмечалось, что при пожарах в зданиях с твердыми горючими веществами поверхность горения может значительно превышать площадь пола.

Принимается, что в производственных зданиях II степени огнестойкости поверхность горения $F_{\text{гор}}$ равна площади пола F_n , т. е. для этих условий

$$\beta = F_{\text{гор}} : F_n = 1.$$

* В. Т. Монахов. Справочные данные по горению, развитию и тушению пожаров. Изд. ВШ МООН РСФСР, 1964.

В зданиях III степени огнестойкости может быть открытое горение сгораемого покрытия здания, площадь горения которого также принимается равной площади пола. В этом случае

$$\beta = F_{\text{гор}} : F_{\text{п}} = 2.$$

В зданиях IV и V степеней огнестойкости может быть горение стен и перегородок, в этом случае отношение поверхности горения к площади пола еще больше увеличивается:

$$\beta = F_{\text{гор}} : F_{\text{п}} = 2,75.$$

Значения коэффициента β , вычисленные для типовых вариантов планировки штабелей и стеллажей складских зданий различной степени огнестойкости, приведены в табл. 5.

Таблица 5

Способ складирования материальных ценностей	Степень огнестойкости здания	Значение β при высоте штабелей и стеллажей в м				
		2	2,5	3	3,5	4
Штабеля	I—II	0,92	1,15	1,4	1,62	1,84
	III	1,92	2,15	2,4	2,62	2,84
	IV—V	2,64	2,87	3,13	3,34	3,56
Стеллажи	I—II	1,33	1,67	2	2,33	2,67
	III	2,33	2,67	3	3,33	3,67
	IV—V	3,1	3,44	3,78	4,1	4,44

Данные о площади противопожарных отсеков, вычисленные по формуле (6) для производственных зданий с учетом их степени огнестойкости и гарантированных расходов воды для тушения, приведены в табл. 6.

При определении площади противопожарных отсеков для складских зданий со штабельным или стеллажным хранением горючих веществ нужно учитывать, что при пожаре интенсивность горения в них будет больше, чем в обычных производственных зданиях, а следовательно и воды для тушения понадобится больше. Кроме того, необходимо учитывать особенности тушения в складских зданиях, в которых температура горения высока, помещения задымлены, оконные проемы отсутствуют. Ствольщики вследствие этого вынуждены работать между стеллажами и штабелями, что сковывает их действия и маневренность стволов. Эти обстоятельства приводят к тому, что значительная часть воды проливается. Поэтому в формулу (6) наряду с коэффициентом объемности вводится коэффициент условий работы $\alpha = 1,5$. С учетом этого обстоятельства формула для определения площади отсеков для складских зданий имеет следующий вид:

$$F_{\text{отс}} = \frac{\left(\frac{\Pi}{K} - 30\right) Q}{\alpha \beta I \tau_{\text{н}}} + \frac{F_1}{\alpha \beta}. \quad (7)$$

Степень огнестой- кости здания	Минимальный предел огнестойкости в мин	Гарантированный расход воды в л/сек	Площадь противопо- жарного отсека в м²
I—II	60	20	1000
		40	1625
		60	2200
		80	2875
		100	3500
		150	5000
		200	6600
		300	9775
III	45	20	375
		40	570
		60	750
		80	940
		100	1130
		150	1600
		200	2100
		300	3000
IV—V	45	20	275
		40	400
		60	550
		80	680
		100	820
		150	1150
		200	1450
		300	2140

Значения коэффициента β принимаются по данным таблицы 5.

В соответствии с этим площади отсеков, вычисленные для складов по формуле (7), в зависимости от степени огнестойкости зданий, высоты штабелей и гарантированных расходов воды приведены в табл. 7.

Данные, приведенные в таблицах 6 и 7, справедливы для случаев, когда в производстве обращаются твердые горючие вещества, интенсивность средств тушения для которых не превышает $0,08 \text{ л/сек} \cdot \text{м}^2$. При складировании каучуков, резины и резино-технических изделий площади отсеков должны быть соответственно уменьшены. Величина отсеков в этом случае определяется по расчету или ориентировочно она должна быть уменьшена на 40%.

В тех случаях, когда наименьший предел огнестойкости конструкций производственных или складских зданий отличается от данных, приведенных в таблицах 6 и 7, к расчету вносятся соответствующие поправки.

Таблица 7

Степень огнестойкости здания	Минимальный предел огнестойкости в мин	Гарантированный расход в л/сек	Площадь противопожарного отсека в м ²			
			штабеля с высотой		стеллажи с высотой	
			до 3 м	свыше 3 м	до 3 м	свыше 3 м
I—II	60	20	480	360	325	250
		40	780	585	545	410
		60	1070	815	750	565
		80	1380	945	965	725
		100	1680	1270	1170	890
		200	3180	2400	2200	1675
III	45	20	210	175	167	135
		40	310	265	250	210
		60	410	350	340	280
		80	520	440	420	340
		100	620	530	500	415
		200	1140	970	925	760
IV—V	45	20	150	140	132	110
		40	240	210	200	170
		60	320	280	270	225
		80	400	350	335	280
		100	480	420	390	340
		200	880	770	700	620

Существенное значение при определении площади отсеков приобретает учет автоматических средств тушения (спринклерных и дренчерных систем).

Статистика тушения в США в производственных зданиях показывает, что 66,2% всех пожаров на спринклеризованных объектах были полностью потушены спринклерами, 29,8% пожаров спринклерами локализовано до прибытия пожарных команд.

Число пожаров, при которых спринклерная система не выполнила своего назначения, составляет всего лишь 4%. Интересно заметить, что интенсивность тушения от спринклерных головок составляла в среднем около 0,1 л/сек · м².

В складских зданиях с повышенной удельной загрузкой горючими материалами отмечалось, что в 14,5% неудовлетворительно сработала спринклерная система на складах хлопка, в 9,4% на складах табака. Эти данные подтверждают эффективную работу спринклерных систем и целесообразность их внедрения. При этом, однако, следует учитывать, что на эффективность действия спринклерных систем существенное влияние оказывает высота помещений и скорость горения складываемых веществ.

Так, например, в зданиях с высотой этажа более 8—10 м и при складировании таких веществ, как киноплёнка на горючей основе, фотоплёнка, целлулоид и т. п., площади отсеков необходимо принимать в соответствии с данными таблиц 6 и 7.

Некоторые вещества, как, например, каучук, при горении плавятся и растекаются. В этом случае площади отсеков должны ограничиваться, но могут быть увеличены по сравнению с данными, приведенными в табл. 7. В остальных случаях при наличии автоматических средств тушения площадь противопожарных отсеков может быть увеличена вдвое.

Эвакуационные пути и выходы

В современных предприятиях химической промышленности площадь пола, приходящаяся на одного работающего, как правило, превышает 75 м^2 .

При этих условиях обеспечивается движение людей с расчетной скоростью движения по горизонтали v , равной 60 м/мин , а по лестницам вниз до 30 м/мин . В связи с этим можно пересмотреть некоторые нормативы по определению протяженности эвакуационных путей.

В этих условиях большое значение приобретает вопрос о допустимой продолжительности эвакуации людей из производственных зданий.

Как известно, эвакуация людей при пожаре проходит, как правило, в неблагоприятных условиях (в условиях воздействия продуктов горения, высоких температур, задымления зданий и т. п.). Поэтому эвакуация людей должна быть закончена до того, как возникнут опасные для человека воздействия.

В 1964 г. УПО МООП РСФСР были проведены опыты в г. Иванове и в г. Балакове Саратовской области.

В г. Иванове сжигались угары в производственном здании площадью 170 м^2 и высотой 5 м . Площадь, занимаемая угарами, составляла 15 м^2 , или $8,8\%$ от площади пола. Характер изменения температуры на этом пожаре представлен на рис. 3. В г. Балакове сжигался корд на площади 60 м^2 в производственном здании площадью 680 м^2 , что тоже составляло $8,8\%$ от площади пола. Характер изменения температуры на этих опытах представлен на рис. 4.

Опыты повторялись несколько раз, при этом характер изменения температуры во времени оставался практически постоянным.

Как видно из графиков, при сжигании угаров температура через 1 мин уже превышала 100°C , при сжигании корда средняя температура в цехе через 1 мин составляла 80°C , а через 2 мин 120°C .

Характерно отметить, что при возникновении пожара на сравнительно небольшой площади температура быстро выровнялась по всей длине здания.

Так, например, объем опытного помещения в г. Балакове составлял 5500 м^3 , существенного же перепада температуры по длине здания на одном уровне не наблюдалось.

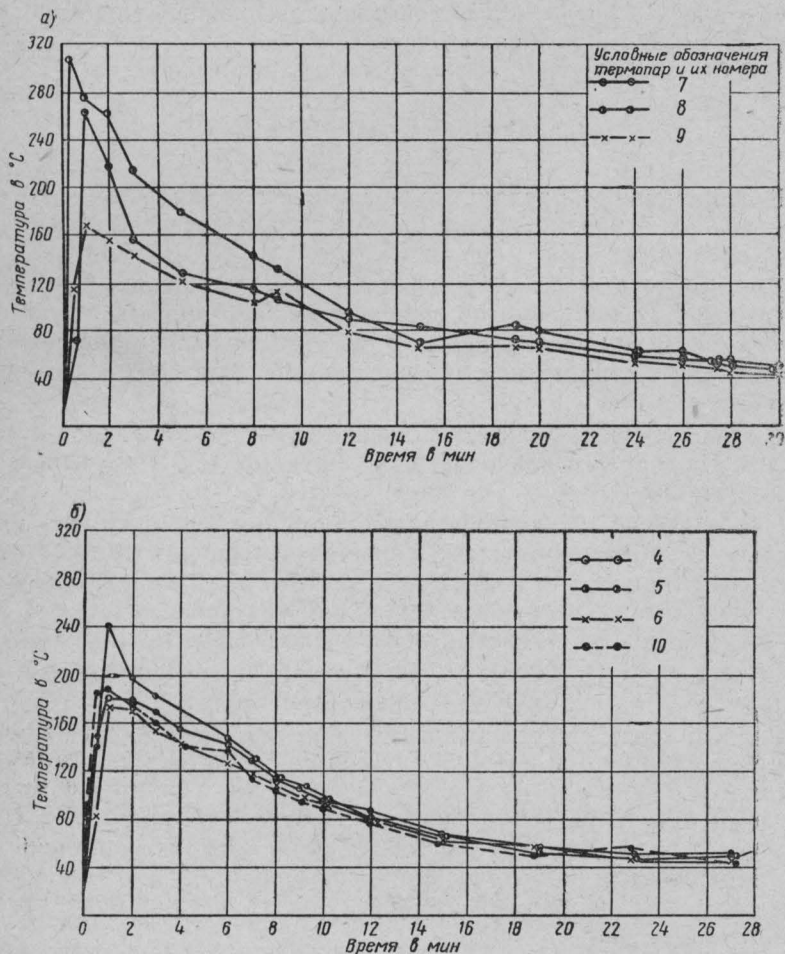


Рис. 3. График изменения температуры на опытном пожаре при сжигании угаров на расстоянии
а — 1,5 м от пола; б — 2 м от перекрытия

Кроме того, температура в опытном помещении в результате быстрого перемещения конвективных потоков (около 30 м/мин) оказалась более высокой в части здания, противоположной очагу пожара. Расчеты подтвердили, что в тех производственных зданиях, в которых обращаются твердые горючие вещества,

опасная для жизни человека температура (60—70° С) может наступить в течение 1 мин. При этом установлено, что температура и скорость ее нарастания зависят от весовой скорости выгорания веществ, их теплоты горения, объема помещения и условий воздухообмена.

Вместе с тем измерения концентраций в начальной стадии развития пожара показали, что они не представляют опасности

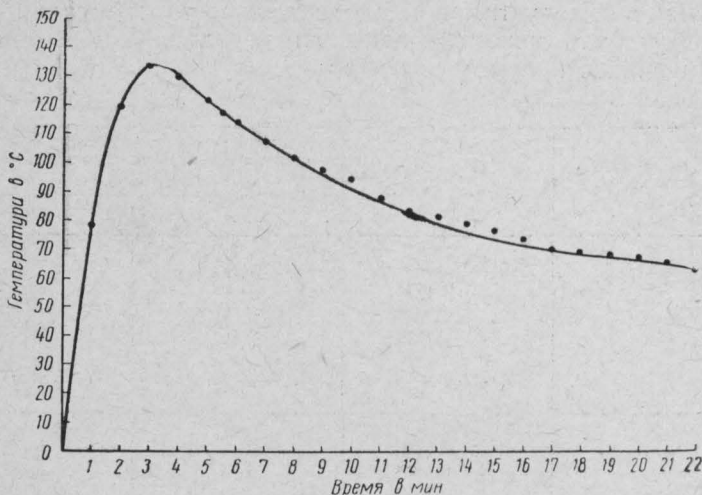


Рис. 4. График изменения средней температуры на опытном пожаре при сжигании корда

для жизни человека. Существенное задымление здания наступало лишь через 6—8 мин после начала пожара.

В связи с этим можно сделать вывод, что в начальной стадии развития пожара опасным для жизни человека является высокая температура.

Для определения допустимой продолжительности эвакуации людей из производственных зданий с применением легковоспламеняющихся и горючих жидкостей и твердых веществ рекомендуется следующая формула, полученная на основании уравнения теплового баланса:

$$\tau_{\text{доп}} = \frac{V_{\text{пом}} C (t_{\text{доп}} - t_{\text{н}})}{\mu Q f n},$$

где $\tau_{\text{доп}}$ — допустимая продолжительность эвакуации в мин;
 $V_{\text{пом}}$ — объем помещения в м³;
 C — удельная теплоемкость воздуха в ккал/м³·град;
 $t_{\text{доп}}$ — максимально допустимая для пребывания человека температура в °С;

- t_n — начальная температура воздуха в производственном помещении в $^{\circ}\text{C}$;
 μ — коэффициент, учитывающий потери тепла на нагрев конструкций;
 Q — теплота сгорания горючих веществ в ккал/кг ;
 f — поверхность горения горючих веществ в м^2 ;
 n — весовая скорость выгорания в $\text{кг/м}^2 \cdot \text{мин}$.

Данные о допустимой продолжительности эвакуации, которые могут быть рекомендованы для предприятий химической промышленности, приведены в табл. 8.

Таблица 8

Категория производства по пожарной опасности	Объем здания или помещения в м^3	Допустимое время эвакуации при ограничении площади разлива жидкости при пожарах до	
		50 м^2	100 м^2
А	До 30 000	0,6	0,3
	40 000	0,8	0,4
	50 000	1	0,5
	60 000	1,2	0,6
	70 000		
	и выше	1,25	0,7
Б и В	До 15 000	1	0,5
	30 000	1,6	0,8
	40 000	2	1,2
	70 000		
	и выше	2	2

Разлив жидкостей из производственных емкостей и сосудов ограничивается устройством бортиков и поддонов высотой, достаточной для вмещения полного объема хранящейся в аппаратах жидкости. При групповом размещении сосудов, аппаратов и емкостей с горючими или легковоспламеняющимися жидкостями или сжиженными газами допускаются общие поддоны. Края поддонов должны выходить за периметр емкостей или аппаратов не менее чем на 0,5 м.

В том случае, если площадь разлива жидкости превышает 100 м^2 , допустимая продолжительность эвакуации пропорционально уменьшается. Если не приняты необходимые меры для ограничения разлива жидкости при пожаре или аварии, допустимая протяженность эвакуационных путей для категории А принимается не более 25 м, а для категорий Б и В не более 50 м независимо от объема здания.

В тех случаях, когда в цехах со встроенными этажерками применяются пары и газы с удельным весом тяжелее воздуха, эвакуационные выходы с каждой площадки этажерки должны

предусматриваться непосредственно наружу или в лестничную клетку.

Для обеспечения безопасной эвакуации людей и успешной работы пожарных подразделений каждое многоэтажное здание или здание с многоярусными этажерками внутри должны иметь не менее двух закрытых лестниц, расстояние между которыми определяется в зависимости от допустимой продолжительности эвакуации. Одна закрытая лестница допускается в тех случаях, когда наибольшая протяженность эвакуационного пути до нее

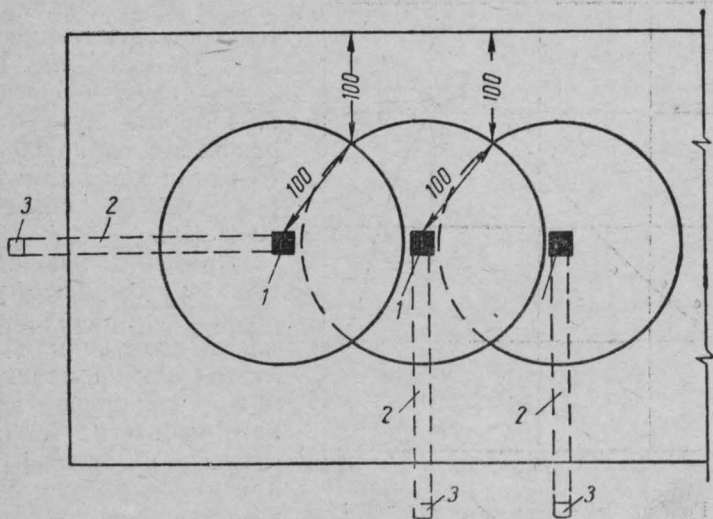


Рис. 5. Схема размещения безопасных помещений

1 — помещения безопасности; 2 — эвакуационные туннели; 3 — эвакуационный выход (расстояния даны в м)

не превышает 50 м. При этом второй выход допускается на наружную пожарную лестницу.

Данные табл. 8 не распространяются на производства, в которых обращаются вещества, выделяющие при пожаре отравляющие вещества.

При невозможности соблюдения норм (табл. 8) внутри производственных зданий (категории В) рекомендуется предусматривать помещения безопасности (спасательные островки) с выходом наружу через подземные туннели. Помещения безопасности (рис. 5) должны иметь противодымную защиту, а их конструкции должны обладать достаточной прочностью, чтобы выдерживать нагрузки от падающих обломков.

При определении допустимой продолжительности эвакуации людей из производственных этажерок исходили из того, что чело-

веку более всего угрожает пламя, которое с большой скоростью распространяется по разлившейся жидкости. Установлено, что скорость распространения пламени по поверхности жидкости зависит от ее температуры. Наибольшая скорость распространения пламени наблюдалась тогда, когда жидкость нагрета до температуры вспышки (рис. 6).

Опытами, проведенными ВШ МООП, установлено, что скорость распространения пламени по поверхности жидкости достигает 40 м/мин. Примени-

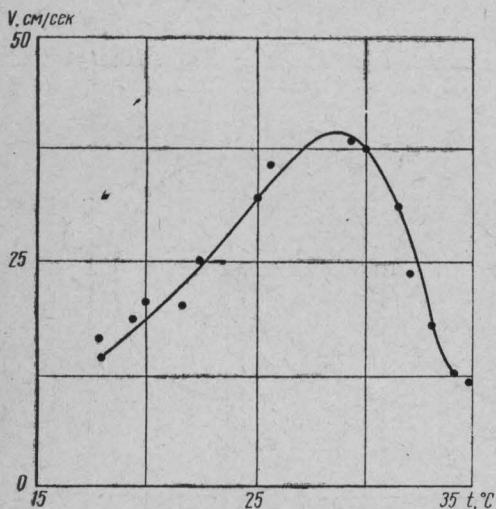


Рис. 6. График изменения скорости распространения факела пламени по поверхности жидкости в зависимости от температуры ее нагрева

тельно к этим условиям допустимая продолжительность эвакуации принята равной 1 мин. В течение 1 мин человек может пройти путь по горизонтали около 60 м, в то время как пламя продвигается со скоростью 40 м/мин.

Применительно к этажеркам и открытым установкам продолжительность эвакуации вычисляется как время движения от наиболее удаленного рабочего места до лестничной клетки или, при их отсутствии, от наиболее удаленного рабочего места до выхода за пределы установки или в безопасное смежное помещение.

Безопасным помещением именуется такое, в котором не размещаются производственные процессы, относимые по пожарной опасности к категориям А, Б и В, имеющее непосредственный выход наружу или в лестничную клетку и размещено в здании не ниже II степени огнестойкости.

Из многоярусных этажерок эвакуация людей должна, как правило, осуществляться через лестничные клетки. Расстояние между лестничными клетками рекомендуется принимать не более 100 м. Если при этом расстояние от наиболее удаленного рабочего места по линии свободных проходов до закрытой лестницы превышает 60 м, то рекомендуется предусматривать дополнительные выходы на наружные пожарные лестницы (на рис. 7 показано стрелками).

Производственные этажерки должны иметь не менее двух эвакуационных выходов. Этажерки, имеющие один выход в лест-

ническую клетку, могут иметь второй выход на открытую лестницу, если расстояние от любой точки этажерки до лестничной клетки не превышает 50 м.

Допускается эвакуация по открытым лестницам при высоте этажерок не более 12 м, причем расстояние от рабочего места до открытой лестницы не должно превышать указанных величин:

высота этажерок	3	6	9	12
допустимое расстояние до открытой лестницы по линии свободных проходов в м	48	36	24	12

Примечание. Длина пути по лестнице принята равной ее удвоенной высоте.

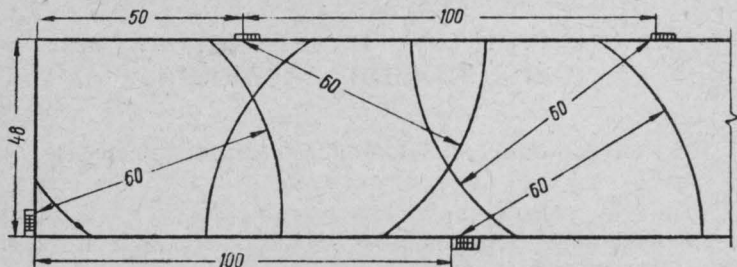


Рис. 7. Схема размещения лестниц в многоярусных этажерках (расстояния даны в м)

Суммарная ширина лестниц и проходов для массовых потоков определяется из расчета 100 человек на 1 м ширины эвакуационного пути. Для установок с незначительным количеством эвакуирующихся ширина дверей, лестниц и других эвакуационных путей определяется по минимально допустимым размерам согласно существующим нормам.

Требования к конструктивно планировочным решениям эвакуационных путей и выходов предъявляются в соответствии с данными СНиП II-A.5-62 и СНиП II-M.2-62.

ЛИТЕРАТУРА

- Беляев С. В. Эвакуация зданий массового назначения. Изд. Всесоюзной Академии архитектуры, 1938.
 Демидов П. Г. Горение и свойства горючих веществ. М., Изд. МХ РСФСР, 1962.
 Ройтман М. Я. Пожарная профилактика в строительном деле. Изд. МХ, 1961.
 Ходаков В. Ф. Устройство и расчет спринклерных и дренчерных установок. Изд. ВШ МООП РСФСР, 1964.

Г. А. ГУЛЯЕВ,
руководитель работы доцент М. В. АЛЕКСЕЕВ

ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПРИ ТЕРМОКОНТАКТНОМ ПИРОЛИЗЕ МАЛОСЕРНИСТОГО МАЗУТА В РЕАКТОРЕ С ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ

Краткое описание технологического процесса

В последние годы в зарубежных странах и в СССР уделяется большое внимание газификации жидкого топлива и особенно мазута, смолы и т. п.

Пиролиз жидкого топлива является перспективным для промышленности, ибо он позволяет использовать для газификации отходы нефтепереработки, а также получать дополнительно ароматические и олефиновые углеводороды для быстро растущей химической промышленности.

В настоящее время разработаны установки непрерывного термоконтантного пиролиза мазута (рис. 8) и сланцевой смолы в реакторе с подвижным твердым теплоносителем.

Исходное сырье по трубопроводу из сырьевой емкости *Е-1* (*Е-3*) с помощью насосов *Н-4* (*Н-3*) с температурой 60°C через фильтр *Ф-1* (*Ф-2*) и подогреватель сырья *Т-1*, в котором мазут нагревается до 300°C , подается в сырьевые форсунки реактора *Р-1* (*Р-2*).

В зоне пиролиза мазут, распыленный паром, попадает на разогретый теплоноситель, поступающий по переточным щелям из зоны регенерации реактора.

Соприкасаясь с теплоносителем, разогретым до 750°C , в качестве которого используется измельченный шамот (или иной материал), сырье подвергается пиролизу, при этом образуется пиролизный газ, газовый бензин, пиролизат и кокс.

Кокс отлагается на теплоносителе, остальные же продукты пиролиза и отработанный в форсунках пар выводятся по газоотводу из реактора на охлаждение и конденсацию в аппаратах *Х-1* и *Е-2* и разделение в аппаратах *Е-4*, *Е-5* и *Е-6*. Газ газодувками *Г-1*, *Г-2*, *Г-3*, *Г-4* через *Г-5* подается к потребителю. Вода из

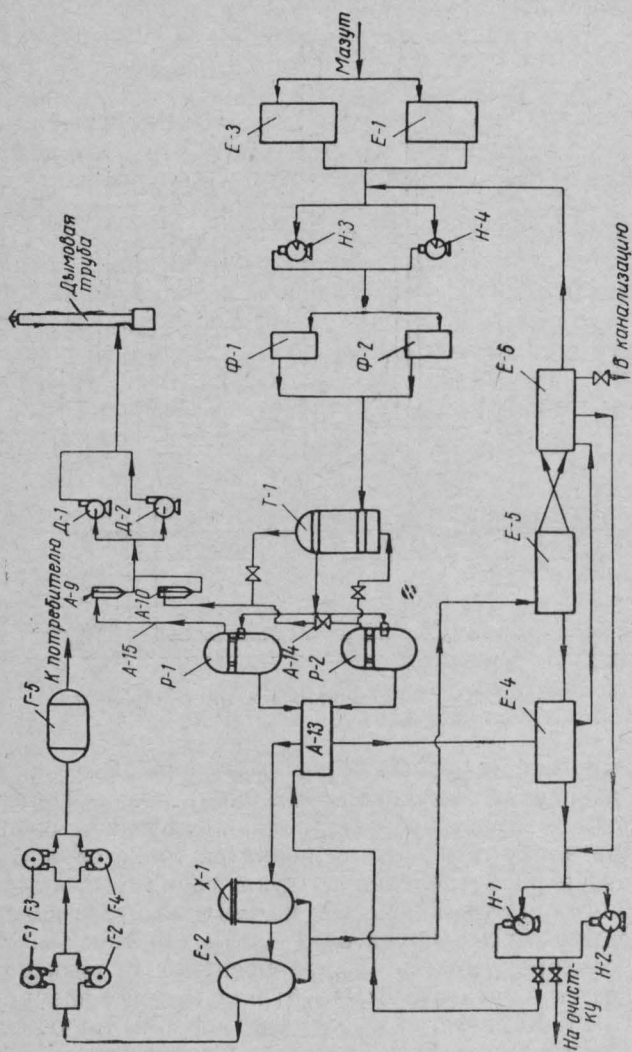


Рис. 8. Принципиальная схема установки термokonтактного пиролиза мазута

отстойников *Е-4*, *Е-6* насосами *Н-1*, *Н-2* подается в коллектор *А-13* на охлаждение газа.

Основным технологическим аппаратом установки является реактор *Р-1* (*Р-2*), который представляет собой вертикальную печь с зоной пиролиза и зоной регенерации. Принципиальное устройство реактора показано на рис. 9.

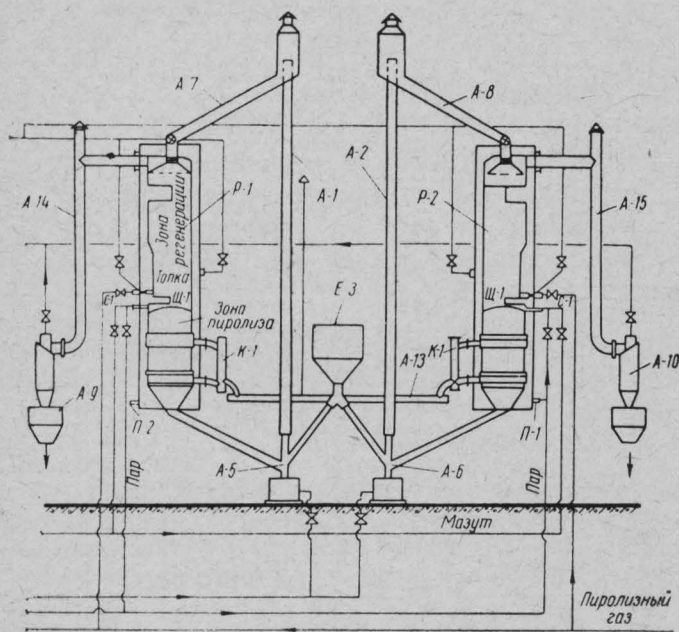


Рис. 9. Схема печей для термоконтактного пиролиза

Зоны между собой разобщаются «нейтральной зоной» *Щ-1*, в которой находятся переточные щели. В зону регенерации встроена топка, которая работает в период пуска и разогрева реактора. При нормальной работе реактора топка служит только для подачи и распределения воздуха, вводимого в реактор с целью выжигания отложившегося на теплоносителе кокса.

Теплоноситель циркулирует следующим образом. Из зоны пиролиза реактора *Р-1* (*Р-2*) теплоноситель с температурой 600°C опускается в питатель *А-5* (*А-6*) и подается в пневмоподъемник *А-1* (*А-2*). Количество выводимого из зоны пиролиза теплоносителя контролируется по сопротивлению системы пневмотранспорта. В пневмоподъемнике теплоноситель подхватывается пневмоагентом, нагретым до 500°C , и подается в сепаратор *А-7* (*А-8*), в котором в результате резкого снижения скорости потока теплоноситель падает вниз (в качестве теплоносителя используется шамот размером частиц равным 5 мм, удельным ве-

сом равным 2100 кг/м^3 и насыпным весом равным 1300 кг/м^3), а пневмоагент выводится в атмосферу. Далее теплоноситель из сепаратора А-7 (А-8) опускается в зону регенерации реактора Р-1 (Р-2).

Дымовые продукты выходят из зоны регенерации реактора Р-1 (Р-2) по дымовому стояку А-14 (А-15), проходят через циклоны А-9 (А-10) и дымососом выбрасываются в трубу с температурой не выше 350°C .

В зоне регенерации навстречу опускающемуся теплоносителю подается нагретый воздух. При этом кокс выгорает, нагревая теплоноситель до 750°C . Нагретый теплоноситель по переточным щелям опускается в зону пиролиза, где и происходит газификация (пиролиз) жидкого сырья (мазута, смолы и др.). Образовавшиеся пары и газы через коллектор А-13 направляются на охлаждение. Закоксованный теплоноситель поступает в приемники А-5 (А-6) пневмоподъемника. В бункере Е-3 находится свежий теплоноситель.

Аппараты реакторного блока располагаются на открытой площадке. Блок реакторов по степени пожарной опасности относится к производствам категории Г, так как работа реакторов связана с огнем.

Анализ пожарной опасности технологического процесса

Пожарная опасность реакторного блока установки определяется большим количеством нагретого нефтепродукта (мазут, смолы и т. п.), пиролизного газа в аппаратах и транспортных линиях, высокими температурами нагрева (в реакторе $600\text{—}750^\circ \text{C}$, в пневмотранспортной системе 500°C , в подогревателе 300°C), а также наличием воздуха в зоне регенерации и пневмотранспортной системе.

Ввиду того что в литературе отсутствуют данные о пожароопасных свойствах веществ, обращающихся в производстве термомоноконтального пиролиза мазута, автором работы были проведены некоторые исследования и расчеты по определению этих свойств.

Результаты этой работы приведены в табл. 9.

Пожарная опасность производства в значительной степени увеличивается в результате того, что зона регенерации теплоносителя в реакторе и зона пиролиза сырья разделены между собой только переточными щелями.

Внутри аппаратов и трубопроводов реакторного блока при нормальной работе технологического оборудования взрывоопасные концентрации образоваться не могут, так как в зоне регенерации происходит выжигание кокса и разогрев твердого теплоносителя; в зоне пиролиза отсутствует газопаровоздушная среда. Однако при авариях и повреждениях горючая среда может обра-

Таблица 9

Наименование веществ	Удельный вес	Температура вспышки в °С	Температура самовоспламенения в °С	Пределы взрываемости			
				температурные в °С		концентрационные в %	
				нижний	верхний	нижний	верхний
Пиролизат	0,9	27	245	27	66	Не определены	
Газовый бензин	0,8	-45	235	-45	20	—	—
Пиролизный газ	—	—	—	—	—	3,65	21
Мазут марки:							
М-20	0,935	80	380	124	145	—	—
М-40	0,9488	100	385	138	155	—	—
М-60	0,9512	110	390	—	—	—	—
М-80	0,9572	120	420	143	170	—	—
М-100	—	125	425	—	—	—	—

зоваться как внутри аппаратов реакторного блока, так и при выходе наружу пиролизного газа, сырья и пиролизата.

Основными причинами образования горючей среды, а следовательно, и причинами возможных пожаров и взрывов является повышение давления в аппаратах реакторного блока, в частности в реакторе, подогревателе и газосборнике.

Давление в подогревателе *T-1* (см. рис. 8) может повышаться в результате поступления сырья на подогрев с повышенной влажностью. В трубном пространстве подогревателя циркулирует сырье, в межтрубном пространстве — дымовые газы, идущие из зоны регенерации реактора с температурой свыше 500°С.

Быстрое вскипание воды в сырье образует пар, который повышает давление в системе.

Как показывают расчеты, давление в подогревателе может повышаться до 50—60 кг/см² при попадании с сырьем воды в количестве 10 кг. Естественно, что такие нагрузки могут разрушить стенки аппарата и сырье может выйти в зону разогретых дымовых газов.

Давление в зоне пиролиза может возрасти при увеличенной подаче мазута и соответственного увеличения паров и газов. Последнее обстоятельство создает опасность прорыва пирогаза в зону регенерации.

Весьма опасным является повышение давления в результате прекращения работы газодувок *Г-1*, *Г-2*, *Г-3*, *Г-4*. При этом газы из реактора не отводятся, а получающийся пирогаз может прорваться в зону регенерации. Эта же причина может вызвать повышение давления и в газосборнике *A-13* (рис. 8).

Давление в газосборнике конденсаторе-холодильнике *X-1* и газопроводах, отходящих от них, может повышаться при оста-

новке насоса, подающего воду на охлаждение и конденсацию пирогаза, ибо повышение давления газов пропорционально повышению их абсолютной температуры.

Отсутствие охлаждения в газосборнике и поступление в него пиролизного газа с температурой около 600°C может привести к значительным температурным деформациям и к авариям.

Образование горючей среды в реакторе может вызываться прекращением циркуляции теплоносителя. При этом через переточные щели поток катализатора уменьшится, и пирогаз может прорваться в зону регенерации, где, смешиваясь с подаваемым воздухом на выжигание кокса из теплоносителя, будет интенсивно гореть.

Воздух для выжигания кокса из теплоносителя при нормальном режиме работы подается в таком количестве, чтобы он мог полностью очистить частицы шамота от горючих отложений. При уменьшении количества воздуха, подаваемого в регенератор, или при большом отложении кокса на теплоносителе в регенераторе будут происходить процессы неполного горения. Газообразные продукты неполного горения могут привести к взрывам в циклонах, дымососах и дымовых трубах.

В топочном пространстве зоны регенерации реактора могут быть взрывы при неправильном розжиге форсунок и при внезапном обрыве пламени форсунок в процессе разогрева реакторов.

Если вентили неисправны или если они неплотно закрыты (когда печь остановлена), пирогаз может также попасть в топочное пространство.

Пройдя зону пиролиза, теплоноситель с отложившимся на нем коксом через питатель поступает в систему пневмотранспорта. При этом вместе с теплоносителем в пневмотранспортную систему может попадать и парогазовая смесь из зоны пиролиза, образуя в ней взрывоопасную концентрацию. Высокая температура воздуха и теплоносителя (500°C) создает реальную возможность воспламенения парогазовой смеси, так как температура самовоспламенения пиролизата и газового бензина значительно ниже температуры пневмотранспортной среды.

При эксплуатации установки один из реакторов является резервным, газосборник же и дымовой тракт может быть общим для двух или нескольких реакторов и, следовательно, пиролизный газ из рабочего реактора через газосборник может поступить в резервный реактор и создать в нем (в смеси с воздухом) взрывоопасные концентрации.

Пожарная безопасность технологического процесса. При производстве пиролизного газа в реакторах с подвижным теплоносителем необходимо соблюдать следующие основные противопожарные мероприятия.

Для предупреждения образования повышенных давлений в подогревателях необходимо контролировать температуру в них с помощью термпар, которые необходимо устанавливать на ли-

ниях дымовых газов и сырья. Для регулирования температуры на линии дымовых газов надо устанавливать поворотные заслонки. Следует систематически контролировать влажность сырья, которая не должна превышать 2%.

Для контроля за давлением в реакторах и газосборниках необходимо предусматривать автоматическое регулирование основных технологических параметров — температуры и давления — с централизацией приборов контроля и регулирования в операторном помещении. Чтобы пирогаз не попадал из зоны пиролиза в зону регенерации и в пневмотранспортную систему, на его пути необходимо создавать противодавление паром. Чтобы предупредить аварию на установке, необходимо предусматривать автоматическое отключение дутьевых машин и автоматическое закрывание задвижек. Так, при внезапной остановке газодувок должны автоматически закрываться задвижки на линиях, подающих пиролизный газ к потребителю и в топку пневмосистемы.

На торцовых (боковых) стенках газосборника необходимо устанавливать предохранительные клапаны с тем, чтобы они срабатывали при повышении давления сверх установленного технологическим регламентом. В том случае, если работа насоса, подающего воду на охлаждение трубного пространства конденсатор-холодильника, остановлена, в операторное помещение должен подаваться сигнал, т. е. на щите управления должны автоматически загореться сигнальные лампы и должен звонить звонок.

Количество отопительного пирогаза и воздуха, поступающих на смешение в топку реактора, должно поддерживаться в определенном соотношении автоматическим регулятором непосредственно со щита оператора.

Перед пуском реактора и остановкой его надо продувать газосборник и реактор паром. На продувочных свечах необходимо устанавливать огнепреградитель.

Для того чтобы пиролизный газ не попадал в топочное пространство неработающего реактора (если он неисправен или если неплотно закрыты его вентили), необходимо устанавливать на линии пиролизного газа вентиляционную свечу между горелкой и вентилем. Чтобы предупредить взрыв в топочном пространстве реактора во время его пуска, должна строго соблюдаться последовательность операций во время его розжига.

Реакторы следует оборудовать взрывными клапанами, которые должны предупредить разрушение реактора при взрыве в его внутреннем объеме.

На металлических газоотводах и газосборнике необходимо устраивать температурные компенсаторы, а также специальные оросительные системы для охлаждения парогазовой смеси до 90° С.

Резервный (нерабочий) реактор необходимо отключать от работающего специальным гидрозатвором или заглушками.

На дыхательных линиях отстойника, сборника воды и сборника пиролизата и воды следует устанавливать огнепреградители, ибо во внутреннем объеме их образуются взрывоопасные концентрации, так как рабочая температура в них находится между нижним и верхним температурными пределами взрываемости.

Продувочные (сравливающие) линии газодувного отделения должны быть выведены на 2—3 м выше производственного корпуса. На линии должны быть установлены в доступном для осмотра месте огнепреградители.

Противопожарные разрывы между реакторным блоком, отделением конденсации и производственным корпусом, а также между технологическим оборудованием должны соответствовать ПТУСП 02—62*. Так, например, разрыв от реакторного блока до отделения конденсации и производственного корпуса должен быть не менее 15 м, а от отделения конденсации до производственного корпуса — не менее 10 м.

Вокруг площадки отделения конденсации на уровне земли (планировки) следует предусматривать сплошной несгораемый бортик высотой не менее 0,5 м, расположенный от выступающих частей площадки не менее чем на 0,5 м. Такой бортик предупредит разлив горючих жидкостей за пределы площадки отделения конденсации при неисправностях и авариях аппаратов.

Тушить пожары на площадке и в газодувном отделении можно пеной, распыленной водой и водяным паром. Внутрь реакторов можно подавать только водяной пар, но перед подачей пара паровые линии необходимо продуть, чтобы освободить их от конденсата. Высоконагретые аппараты и трубопроводы следует охлаждать распыленной водой.

ЛИТЕРАТУРА

Баратов А. Н., Годжелло М. Г. Пожарная опасность производств, применяющих газы и жидкости. М., Изд. МКХ РСФСР, 1961.

Демидов П. Г. Горение и свойства горючих веществ. М., Изд. МКХ РСФСР, 1961.

Ройтман М. Я. Пожарная профилактика в строительном деле. М., Изд. МКХ РСФСР, 1961.

Шигаков Н. В. Основы производства горючих газов. Госэнергоиздат, 1958.

* Противопожарные технические условия строительного проектирования предприятий нефтегазоперерабатывающей промышленности.

*В. П. КРЯКОВ,
руководитель работы доцент М. В. АЛЕКСЕЕВ*

ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ СЛАНЦА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТВЕРДОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

В настоящее время уделяется большое внимание интенсивному развитию сланцехимической промышленности.

В основу использования сланца положен принцип многостороннего комбинирования процессов термической переработки, дающий возможность наряду с производством газа получать ценное химическое сырье и полупродукты, жидкое топливо и масла, строительные материалы и электроэнергию.

До сих пор сланец перерабатывали в туннельных печах и в газогенераторах.

В настоящее время разработан новый способ термической переработки сланца с использованием твердого теплоносителя. Производительность таких установок составляет 1000 и 2000 т сланца в сутки. Производительность же установок с туннельными печами не превышает 400—450 т в сутки, а с газогенераторами и того меньше.

Новая установка значительно экономичнее установок с генераторами и туннельными печами и позволяет внедрить комплексную автоматизацию. Технологический процесс этой установки следующий.

Из бункера сырого сланца (рис. 10) сланцевая мелочь (фракций 0—10 мм) шнеком сырого сланца подается в аэрофонтанную сушилку 1, откуда дымовыми газами уносится в циклон сухого сланца 2. Дымовые газы из циклона сухого сланца поступают для очистки в центробежный скруббер 3, откуда через дымовую трубу отводятся в атмосферу. Сухой сланец из циклона шнеком 4 подается в печь, питающую реактор 5, сюда же из циклона 6 подается теплоноситель (зола).

Реактор 5, куда поступает сухой сланец и зола, это цилиндрический барабан, вращающийся со скоростью два оборота в минуту. Внутри него и происходит термическое разложение сланца. При вращении реактора смесь теплоносителя и полу-

кокса (продукт перегонки сланца) передвигается к пылеотделительной камере 7 и через вращающуюся горловину реактора сыпается в нее, туда же поступает и образующаяся в реакторе парогазовая смесь.

В пылеотделительной камере смонтированы три последовательно соединенных циклона, через которые проходит парогазовая смесь. Из третьего циклона пылеотделительной камеры 7 парогазовая смесь, очищенная от твердых частичек золы и полукокса, идет в отделение конденсации.

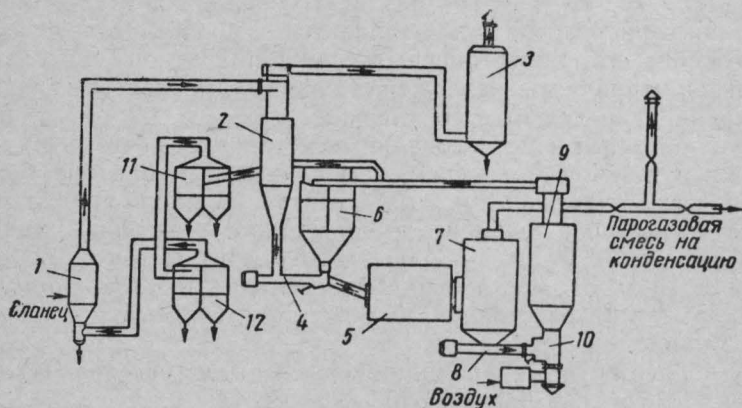


Рис. 10. Принципиальная схема установки термической переработки сланца с использованием твердого теплоносителя

Смесь полукокса и теплоносителя из камеры 7 шнеком полукокса 8 подается в аэрофонтанную топку 9, в которую через топку розжига 10 подается также воздушное дутье. Полукокс, сгорая, нагревает до высокой температуры золу.

Аэросмесь поступает в циклоны теплоносителя 6, из которого необходимый для процесса теплоноситель сыпается в бункер, а избыток золы и топочные газы из циклона поступают в первые зольные циклоны 11, в которых отделяется большая часть золы, затем во вторые зольные циклоны 12, в которых дымовые газы дополнительно очищаются и поступают в нижнюю часть аэрофонтанной сушилки. Зола от циклонов смывается водой и по трубопроводам уносится на золоотвал.

Провал от аэрофонтанной топки пневматически подается в скруббер. Скруббер снабжен аварийным сливным гидрозатвором. Пневмо- и гидрозолоудаление происходит непрерывно.

Циклон теплоносителя имеет байпас для регулирования количества золы-теплоносителя, выпадающей в циклон.

Свойства продуктов, обращающихся в производстве. Сланец — ископаемый горючий материал с высокой зольностью

(60—65%), низким содержанием органического вещества (32—40%) и значительной влажностью (12—16%). Органическая или горючая масса сланца состоит из сложных высокомолекулярных органических соединений. Ее элементарный состав в % примерно следующий: углерод до 77,4; водород до 9,5; азот и хлор до 11,1; сера до 2,0.

Теплота горения органической части сланца достигает 9000 ккал/кг, а рабочего сланца — 3500 ккал/кг.

Обычно сланец не склонен к самовозгоранию. При температуре выше 200°С начинает разлагаться и при длительном воздействии этой температуры начинается самоокисление, разогрев и загорание его. Более опасны в пожарном отношении сланцевая пыль и продукты разложения сланца, имеющие высокое содержание непредельных соединений.

Лабораторными исследованиями установлено, что пыль имеет бо́льшую теплоту горения, чем сланец, так как она богаче органической частью; так, пыль, взятая на расстоянии 3 м от места пересыпки сланца, имеет теплоту горения равную 4655 ккал/кг (а сланец — 3000 ккал/кг); пыль, взятая на расстоянии 10 м от места пересыпки сланца, — 4375 ккал/кг, и пыль, взятая на расстоянии 30 м от места пересыпки сланца, — 3870 ккал/кг.

Наиболее крупные фракции осевшей пыли (53—105 мк) имели теплоту горения равную 5200 ккал/кг.

Нижний предел взрываемости пыли смеси с воздухом равен 46 г/м³ при теплоте горения 4550 ккал/кг; температура самовоспламенения взвешенной в воздухе пыли равна 560°С.

Парогазовая смесь имеет следующий состав в %:

газ (с парами смолы) по объему 70,5; по весу 92,6; пары воды по объему 29,5; по весу 7,4.

Газ имеет следующий состав в %:

CO₂ — 8 (в том числе 0,4 — H₂S); O₂ — 0,0; C_n H_{2n+2} — 32; C_n H_{2n} — 28; N₂ — 3,0; CO — 9,0; H₂ — 20,0.

Углеводородная часть (C_n H_{2n} и C_n H_{2n+2}) имеет следующий состав в %: C₂H₄ — 12,0; C₂H₆ — 9,2; C₃H₆ — 7,6; C₃H₈ — 3,9; C₄H₈ — 4,2; C₄H₁₀ — 1,1; C₅ и выше — 3,1; CH₄ — 16,7.

Парогазовая смесь имеет температуру самовоспламенения, близкую к 500°С. Пределы взрываемости опытным путем не устанавливались. Наиболее близкий по составу сланцевый газ туннельных печей имеет пределы взрываемости от 5 до 20% (по объему).

Сланцевые газы других установок отличаются по составу от сланцевого газа данной установки и диапазон взрываемости их находится в пределах от 5 до 66% (по объему).

В связи с этим был произведен расчет пределов взрываемости газов опытной промышленной установки, исходя из его химического состава. В результате установлено, что газ указан-

ного выше состава имеет пределы взрываемости от 4 до 25% (по объему).

Опыты, проведенные в лаборатории, показали, что давление газоздушных смесей, развиваемое при взрыве, превышает начальное в 6 раз.

Пожарная опасность процесса термической переработки сланца и основные пожарно-профилактические мероприятия. В системе аэрофонтанная сушилка-циклон сухого сланца непрерывно проходит большое количество измельченного сланца фракций от 0 до 10 мм, нагретого до 120—150°С. Мелкие фракции нагреты до более высокой температуры (300—350°С) и находятся в стадии саморазложения.

В реакторе и пылеотделительной камере горючей средой являются сланец, полукокс и парогазовая смесь, нагретые до 480—500°С.

Безопасность работы всей установки достигается надежной герметизацией аппаратуры, исключающей возможность выхода пыли и газа наружу, а также возможностью попадания воздуха в системы: аэрофонтанная сушилка — циклон сухого сланца и реактор — пылеотделительная камера. Однако в практике работы установок герметизация аппаратуры не всегда соблюдается.

Наибольшую опасность представляет прорыв пробки шнека аэрофонтанной топки (шнека полукокса). При этом попадание воздуха из аэрофонтанной топки в пылеотделительную камеру и реактор может привести к сильному взрыву и разрушению основных агрегатов установки. Прорыв пробки шнека возможен при зависании (засорении) тракта теплоносителя от аэрофонтанной топки до циклонов теплоносителя, так как в этом случае значительно повышается давление в аэрофонтанной топке.

Способствует прорыву пробки шнека нарушение режима сланцеподачи и подачи теплоносителя в реактор, что может привести к нарушению герметичности пробки и значительному ослаблению ее.

Серьезную опасность представляет также выход парогазовой смеси через шнек в аэрофонтанную топку, что может иметь место при закрытых задвижках на трубопроводах, отводящих парогазовую смесь в отделение конденсации или на свечу. (На одной из установок прорыв пробки шнека полукокса с последующими взрывами, принесшими значительные разрушения в системе пылеотделения, наблюдался дважды; в другом случае в течение 15 мин произошло 4 взрыва.)

При работе установки особое внимание должно быть обращено на температуру и давление в системе реактора — линии отвода газа на конденсацию, так как при прорыве шнека полукокса на этом участке температура и давление резко повышаются.

Большую опасность представляет выход газа в результате аварии. Газ может загореться или вызвать взрыв в помещении,

Опасность возрастает при отсутствии устройств, автоматически поддерживающих давление в системе при прорыве горючего и дымовых газов, а также при повреждении вентиляторов, так как снижение давления в этом случае и подсос воздуха в систему приведут к неизбежному взрыву.

Потому при падении давления следует остановить всю систему и принять меры к тому, чтобы поддержать в ней необходимое избыточное давление.

К нарушению режима работы установки приводит нарушение подачи сланца. Поэтому должна быть обеспечена равномерная и бесперебойная подача сланца.

По этой же причине опасно нарушение установленного технологической инструкцией перепада давления в различных точках системы. Наличие таких нарушений указывает на аварийное состояние установки, при этом следует определить причину нарушения режима и немедленно принять меры к ее устранению.

Повышение температуры в циклонах теплоносителя и зольных циклонах указывает на переход в них очага горения. Это нарушение может произойти при избытке дутья, при сильной балластировке аэрофонтанной топки и плохом выводе провала, при неисправностях завихрителя, при поступлении крупного сланца и др.

Значительный перепад давлений в аэрофонтанной топке (60—80 мм вод. ст.) характеризует накопление полукокса и теплоносителя в топке (перебалластировка топки) или накопление провала.

Для ликвидации этого необходимо разгрузить провал и при возможности увеличить дутье.

Резкие колебания давления в топочной системе также характеризуют или накопление провала, или перебалластировку топки; и то и другое вызывается поступлением крупного сланца.

При работе установки могут быть и другие нарушения режима работы, однако они незначительно повышают пожарную опасность установки.

Для обеспечения безопасной эксплуатации установки режим ее работы должен постоянно контролироваться по показаниям измерительных приборов, при этом отклонения от установленного режима (температуры, давления, расхода сланца, выхода продуктов перегонки и др.) должны устраняться немедленно. Причины нарушений режима работы необходимо брать на учет для анализа работы установки и разработки профилактических мероприятий.

Исходя из анализа пожарной опасности установки, следует, что помещения, в которых размещены аппараты с газами (реактор и пылеотделительная камера), по пожарной опасности необходимо относить к категории А. В этих аппаратах содержится газ с нижним пределом взрываемости 4% (по объему), причем количество газа достаточно для образования взрывоопас-

ной концентрации в объеме всего производственного помещения, а температура газа несколько ниже температуры его самовоспламенения.

По классификации ПУЭ указанные помещения должны быть отнесены к классу В-Iа.

ЛИТЕРАТУРА

Вопросы техники и экономики промышленного полукоксования горючих сланцев. Сб., вып. 1. Гостехиздат, 1959—1961.

Смирнов В. М. Автоматика и пожарная безопасность технологических процессов. М., Изд. МҚХ РСФСР, 1962.

В. Л. ЖУРАВЛЕВ,
руководитель работы доцент М. В. АЛЕКСЕЕВ

ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ ЦЕХА ГИДРИРОВАНИЯ АНИЛИНА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КАПРОЛАКТАМА ИЗ АНИЛИНА

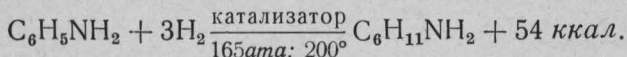
В последние годы в Советском Союзе расширяется производство капроновых волокон, сырьем для которых служит смола — капролактама.

Процесс производства капролактама из анилина — новый и мало изученный процесс. Необходимо отметить, что процесс производства капролактама на всех стадиях весьма пожароопасен.

Производство капролактама характеризуется наличием большого количества горючих и легковоспламеняющихся жидкостей, таких как циклогексилламин, циклогексиланон, циклогексиланол, циклогексан, анилин, а также использованием водорода под большим давлением. Кроме того, в производстве капролактама обращаются кислоты и щелочи, которые способствуют коррозии аппаратов и трубопроводов. Значительный интерес представляет начальная стадия производства капролактама — процесс гидрирования анилина.

Процесс гидрирования анилина производится в контактном аппарате 1 (рис. 11) в паровой фазе, под давлением 165 атм и при температуре 180—200°С на кобальтовом катализаторе.

Процесс идет по следующей реакции:



Анилин со склада подается насосом 2 в напорный бак 3 и от него дозирующими насосами 4 под давлением равным 165 атм подается в испаритель 5. Перед входом в испаритель анилин смешивается с гидрирующим газом, состоящим из свежего, циркулирующего и обратного водорода. Свежий водород при поступлении в цех проходит блок очистки 6 (от примесей), подогреватели 7 и с температурой 190—200°С поступает в линию циркулирующего газа. Полученная смесь газов проходит через ряд теплообменников 8, отбирая тепло от полученной при реак-

ции смеси и, нагреваясь до температуры 120—150° С, поступает вместе с анилином в испаритель 5.

В испарителе анилин испаряется, пары его смешиваются с водородом, а полученная смесь перегревается до температуры реакции (180—200° С) и через отделитель неиспарившегося анилина 9 поступает в контактный трубчатый аппарат 1, заполненный катализатором.

Из контактного аппарата выходит смесь паров циклогексиламина с водородом. После охлаждения в теплообменниках 8, а затем в холодильниках 10 жидкий циклогексиламин отделяется от газа в отделителе 11 и поступает в емкость 12, откуда самотеком отводится (по мере наполнения) в другой цех для дальнейшей переработки. Оставшийся водород (имея давление порядка 158—160 атм) поступает к циркуляционному компрессору 13 и после повышения давления до 165 атм подается через маслоотделитель 14 на повторный цикл. Реакция идет с большим избытком водорода (молекулярное отношение водорода к анилину 300:1). Избыток водорода постоянно циркулирует в системе. Чтобы загрязнение циркулирующего водорода не превышало установленной величины, часть его регулярно сбрасывается на факел (около 790 м³/ч).

Из сказанного вытекает, что процесс гидрирования анилина по пожарной опасности относится к категории А. Из обращающихся продуктов кроме анилина и водорода заслуживает внимания мало изученная в пожарном отношении жидкость — циклогексиламин.

Циклогексиламин (C₆H₁₁NH₂) — бесцветная жидкость с резким специфическим запахом. Удельный вес ее при 20° С равен 0,865 кг/л, молекулярный вес — 99,17; температура кипения при нормальных условиях — 134,5° С; теплота горения — 964 ккал/моль.

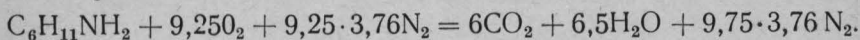
Автором опытным путем были определены нижний и верхний температурные пределы воспламенения паров циклогексиламина (НТПВ и ВТПВ), причем НТПВ = 17° С, ВТПВ = 42° С, а температура самовоспламенения $t_{\text{св}} = 390^\circ \text{С}$.

Нижний и верхний концентрационные пределы взрываемости паров жидкости (НПВ и ВПВ) в смеси с воздухом были определены расчетом, причем

$$\text{НПВ} = \frac{100}{4,76(A-1)+1} \%;$$

$$\text{ВПВ} = \frac{4 \cdot 100}{4,76 \cdot A + 4} \%,$$

где А — число атомов кислорода, потребных для сжигания одной молекулы циклогексиламина. Значение А определяется из реакции горения:



Следовательно, $A = 18,5$, тогда

$$\text{НПВ} = \frac{100}{4,76(18,5 - 1) + 1} = 1,18\%;$$

$$\text{ВПВ} = \frac{400}{4,76 \cdot 18,5 + 4} = 4,35\%.$$

Взрывоопасные концентрации внутри всех аппаратов процесса гидрирования анилина при их нормальной работе отсутствуют, за исключением емкости 12 с готовым циклогексиламином. В этой емкости имеется паровоздушное пространство, и температура жидкости (20°C) находится между нижним (17°C) и верхним (42°C) пределами воспламенения.

Взрывоопасные концентрации могут возникнуть в контактном аппарате и аппаратах очистки водорода во время их остановки для замены катализатора. Поэтому при замене катализатора необходимо тщательно продувать аппараты азотом, а лучше всего весь процесс замены катализатора вести под защитой азота.

В помещении компрессорного отделения при нормальной работе аппаратов и вентиляции не может быть взрывоопасной концентрации, но во время аварий такие концентрации могут образовываться.

Процесс гидрирования анилина проходит в тяжелых условиях. Нарушение установленного режима работы связано с образованием повышенных давлений, температурных напряжений и динамических нагрузок, на которые аппараты не рассчитаны. Давление может повышаться при увеличении подачи анилина в контактный аппарат. При этом будет больше выделяться тепла (реакция экзотермическая), что приведет к увеличению температуры в контактном аппарате, а следовательно, и увеличению давления во всей системе. Следовательно, контроль за расходом анилина является также и мерой пожарной безопасности.

Тепло, выделяющееся в результате реакции в контактном аппарате, отводится за счет испарения воды, находящейся под давлением между трубками с катализатором.

Давление пара (а следовательно, и необходимая для реакции температура) автоматически поддерживается регулятором сброса пара, уровень воды в контактном аппарате автоматически регулируется регулятором уровня воды. Необходимо лишь тщательно следить за состоянием этих автоматических регуляторов.

Давление в системе может повыситься и в результате падения неиспарившегося анилина в контактный аппарат.

Анилин осмаливает катализатор, в результате чего резко повышается сопротивление контактного аппарата, что ведет к повышению давления в системе. Защитой против этого служит отделитель анилина 9, из которого неиспарившийся анилин автоматически сбрасывается.

Следует, однако, иметь в виду, что спускная труба отделителя чаще всего осмаливается смолкой и автомат сброса отказывает в работе. Для предотвращения такого состояния трубу отвода анилина следует снабдить паровой рубашкой и обеспечить такие условия, чтобы температура внутри рубашки была выше температуры плавления смолки ($225-250^{\circ}\text{C}$).

Контактный аппарат представляет собой кожухотрубный теплообменник, выполненный без температурных компенсаторов; при этом имеется в виду, что в период нормальной работы разность температуры стенок трубок и стенки аппарата не должна превышать 20°C . При такой разности температур температурные напряжения будут незначительны и они компенсируются длиной трубок (7600 мм).

Опасность возникновения больших температурных напряжений возникает в период пуска аппарата в работу. Проектом предусматривается разогревать аппарат до температуры реакции острым паром, впускаемым в межтрубное пространство, с последующей заливкой рубашки горячей водой. Такой разогрев аппарата имеет существенные недостатки: во-первых, нагрев паром при таких размерах аппарата и высокой температуре теплоносителя вызывает образование местных температурных напряжений; во-вторых, в результате конденсации пара наблюдаются гидравлические удары и вибрация аппарата, что отрицательно сказывается на состоянии соединений и арматуры.

Целесообразно аппарат разогревать не водяным паром, а горячей водой и водородом. Аппарат можно вводить в работу следующим способом: заливается вода ($t=50-70^{\circ}\text{C}$), через трубное пространство пропускается горячий водород. В этом случае аппарат работает как теплообменник и горячим водородом разогревается до температуры реакции. После этого в аппарат подается смесь водорода с анилином и начинается процесс реакции. Такой способ характеризуется плавным повышением температуры и отсутствием температурных напряжений.

Динамические нагрузки, на которые аппарат не рассчитан, могут возникнуть в результате сильной вибрации аппаратов, расположенных на цокольном этаже компрессорного отделения.

Циркуляционные компрессоры приводятся во вращение от мощных электродвигателей ($N=182\text{ кВт}$) и имеют маховики (для равномерности вращения) диаметром около трех метров. Хотя компрессоры установлены на обособленных фундаментах, все же их значительные вибрационные нагрузки передаются площадке и аппаратам. Особенно подвержен этой вибрации аппарат очистки водорода от сероводорода, который расположен близко к компрессорам. Кроме того, здесь возможны и местные температурные напряжения. Таким образом, в процессе гидрирования анилина могут быть повреждены аппараты и трубопроводы, а также блоки очистки и подогрева водорода.

Авария аппаратов и трубопроводов с наличием в них водорода под высоким давлением будет сопровождаться выходом в помещение большого количества газа и быстрым нарастанием концентрации до взрывоопасных пределов. Практически этот промежуток времени (от начала аварии до образования общеобъемной взрывоопасной концентрации) может быть настолько мал, что обслуживающий персонал не успеет принять меры к ликвидации этого явления.

Это можно подтвердить следующим примером. Допустим, что в помещении компрессорной станции произошла авария трубопровода с водородом; диаметр трубопровода — 150 мм, давление — 165 атм, температура — 150°С.

Объем производственного помещения

$$V_{\text{п}} = 48 \cdot 15 \cdot 15,6 = 11\,200 \text{ м}^3.$$

В помещении имеется приточно-вытяжная вентиляция с кратностью воздухообмена $n=6$ и аварийная вентиляция с кратностью воздухообмена $n_{\text{ав}}=6$.

Геометрический объем системы, заполненной водородом, $V_{\text{в}} = 12,58 \text{ м}^3$.

Подпитка свежим водородом системы составляет $\approx 790 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Можно считать, что во время аварии весь водород из системы выйдет в цех, т. е. это составит

$$V_{\text{г}} = 12,58 \cdot 165 = 2075 \text{ м}^3.$$

При этом максимально возможная концентрация водорода в воздухе помещения при неработающей вентиляции будет равна

$$C_{\text{макс}} = \frac{2075}{11\,200} 100 = 18,5\%.$$

Эта концентрация намного превышает нижний предел взрыва водорода (4%). Сопоставим время полного истечения водорода с временем достижения взрывоопасной концентрации.

Истечение водорода будет происходить со скоростью звука

$$v = \frac{P_2}{P_1} = \frac{1}{165} = 0,006;$$

$v_{\text{кр}} = 0,528$ (для двухатомных газов), следовательно, $v < v_{\text{кр}}$, поэтому для подсчета скорости истечения водорода воспользуемся формулой

$$\omega = 3,38 \sqrt{RT} \text{ м/сек},$$

где R — универсальная газовая постоянная;

T — температура газа.

$$R = \frac{848}{M} = \frac{848}{2} = 424; T = 273 + 150 = 423^\circ\text{С},$$

M — молекулярный вес водорода,

тогда

$$w = 3,38 \sqrt{423 \cdot 424} = 1432 \text{ м/сек.}$$

При этом расход водорода составит

$$Q = Fw,$$

где F — площадь сечения трубопровода, через который истекает водород.

$$Q_{сек} = 0,785 \times 0,15^2 \times 1432 = 25,4 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Время полного истечения водорода из системы

$$\tau_1 = \frac{V_r}{Q_{сек}} = \frac{2075}{25,4} = 81,5 \text{ сек.}$$

Время достижения взрывоопасной концентрации составит

$$\tau = \frac{Q_{мин}}{Q_{сек}} = \frac{11\,200 \cdot 0,04}{25,4} = 17,6 \text{ сек.}$$

Подпитку водородом в расчет можно не принимать, так как за время, равное 17,6 сек, объем подпитки по сравнению с объемом выходящего из системы водорода будет незначителен

$$V_{п} = \frac{790 \cdot 17,6}{3600} = 3,9 \text{ м}^3.$$

Вентиляция, работающая во время аварии, не может сильно увеличить время образования взрывоопасной концентрации, так как она может выбросить в 1 сек следующее количество воздуха:

$$V_{воз} = \frac{11\,200 \cdot 6}{3600} = \frac{11\,200 \cdot 6}{3500} = 18,6 \text{ м}^3.$$

Предположим, что в среднем (в продолжение 17,6 сек) вместе с воздухом выбрасывается 2% водорода, что составит

$$18,6 \cdot 0,02 = 0,36 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Интенсивность поступления водорода при этом будет равна:

$$Q_{сек} = 25,4 - 0,36 \approx 25 \text{ м}^3/\text{сек.},$$

а время образования взрывоопасной концентрации составит

$$\tau = \frac{11\,200 \cdot 0,04}{25} = 18 \text{ сек.}$$

Аварийную вентиляцию в расчет принимать также не следует, если она не имеет автоматического включения. В настоящее время во время аварии защитой от образования взрывоопасной концентрации в цехе служит автоматическая задвижка с электроприводом, установленная на трубопроводе с водородом при вводе его в цех. В случае аварии нажатием пусковой

кнопки на пульте управления задвижка может быть закрыта, и водород в цех подаваться не будет. Но из приведенного расчета видно, что перекрытие линии задвижкой у входа в цех не предотвратит образования взрывоопасной концентрации во время аварии, так как их создает водород, выходящий из аппаратов и трубопроводов, находящихся в цехе. Несколько снижает пожарную опасность процесса использование не чистого водорода, а азотноводородной смеси (70% водорода и 30% азота).

Известно, что примесь инертных газов в таком количестве слабо влияет на изменение нижнего предела взрыва, так как в этом случае кислорода воздуха вполне достаточно.

$$Q_{сек} = \frac{25,4 \cdot 70}{100} = 17,8 \text{ м}^3/\text{сек}$$

и

$$\tau = \frac{11\,200 \cdot 0,04}{17,8} = 25,2 \text{ сек.}$$

Таким образом, при работе на азотно-водородной смеси время образования взрывоопасной концентрации при аварии увеличивается, но опасность не исключается. Для того чтобы в помещении не образовывались взрывоопасные концентрации, необходимо тщательно следить за состоянием аппаратов и трубопроводов, проверять их прочность и герметичность.

Целесообразно также установить автоматически действующие перекрывные клапаны на газопроводах системы, связав их с сигнализаторами горючих газов (СГГ) в производственных помещениях. В этом случае газопроводы будут надежно отключаться при достижении в цехе концентрации, соответствующей 20% от нижнего предела взрыва газа в смеси с воздухом.

Автоматически действующие клапаны следует размещать так, чтобы при выходе газа из аварийного участка в помещении не могла образоваться взрывоопасная концентрация.

При эксплуатации установки жидкость может попасть в цилиндры компрессора. В компрессор 13 (см. рис. 12) может попасть циклогексиламин при переполнении отделителя 11. Чтобы этого не произошло, устанавливается надежная защита. Из отделителя циклогексиламин автоматически сбрасывается до уровня, соответствующего 20% от объема отделителя. При превышении этого уровня жидкости оператор получает тревожный сигнал, а при достижении жидкостью 80% от объема отделителя автоматически отключаются насосы подачи анилина и прекращается процесс.

Более опасным является попадание жидкости из холодильника 15 в компрессор. Холодильник является аппаратом периодического действия, через который компрессор работает «на себя» в случае непредвиденного повышения давления в системе. При этом вместе с водородом в конденсатор могут попасть па-

ры циклогексиламина, которые, конденсируясь, осадут на стенках трубок. Циклогексиламин обладает сильной коррозионной активностью. Следовательно, он способствует разъеданию трубок и попаданию в них воды в периоды, когда конденсатор не работает.

При работе компрессора на циркуляцию через конденсатор жидкость, скопившаяся в трубках, выдавливается в компрессор и вызывает аварию. Необходимо следить за состоянием трубок конденсатора и не включать его в работу без соответствующей проверки.

Пожарная опасность цеха гидрирования анилина увеличивается еще и потому, что в процессе производства могут появиться источники воспламенения. В практике наблюдалось загорание водорода, выходящего через неплотности сальников термокаманов контактного аппарата.

Можно предположить, что загорание произошло от разряда статического электричества при выходе газа в смеси с парами жидкости через малое отверстие. При движении газов в трубе с большой скоростью и особенно при истечении через малые отверстия создается большая разность потенциалов между струей газа и корпусом. При разряде образуется искра, которая воспламеняет водород.

Такое же явление можно наблюдать и при пропуске газа через неплотности фланцевых соединений трубопроводов.

Хотя трубопроводы, как правило, заземлены, все же не исключена возможность при утечке газа через фланцевые соединения возникновения искры и воспламенения водорода.

Следовательно, необходим тщательный контроль за состоянием трубопроводов, фланцевых соединений и сальников.

Анализ показывает, что производственные помещения цеха относятся по пожарной опасности к категории А, а по ПУЭ — к классу В-1а.

ЛИТЕРАТУРА

Алексеев М. В. Предупреждение пожаров от технологических причин. М., Изд. МХ РСФСР, 1963.

Баратов А. Н., Годжелло М. Г. Пожарная опасность производств, применяющих газы и жидкости. М., Изд. МХ РСФСР, 1961.

Иоффе Н. К. Основы производства водорода. Гостехиздат, 1960.

Теплофизические свойства веществ. Справочник. Госэнергоиздат, 1956.

А. В. БРАГИН,
руководитель работы доцент М. В. АЛЕКСЕЕВ

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЦЕХОВ ПРОРЕЗИНИВАНИЯ ТКАНЕЙ

Распространенной отраслью химической промышленности является производство резиновых изделий и, в частности, прорезинивание тканей. Этот вид производства связан с повышенной пожарной опасностью. Кроме того, многие предприятия по производству резиновых изделий, как правило, построены давно и противопожарная защита во многих случаях не отвечает современным требованиям.

Цехи прорезинивания тканей характеризуются применением резинового клея, являющегося легковоспламеняющейся жидкостью. Клей чаще изготавливается из бутадиенового каучука, растворенного в бензине марки «Галоша». Бензин «Галоша» имеет следующие температурные пределы воспламенения: НТПВ — минус 17°C , ВТПВ — плюс 10°C .

Резиновый клей имеет более широкие температурные пределы воспламенения, чем бензин, на котором приготовлен клей. Эта разница в температурных пределах составляет $15\text{--}20^{\circ}\text{C}$. Температурные пределы воспламенения клея, имеющего соотношение 1:3, составляют: НТПВ — минус 30°C , ВТПВ — плюс 18°C . Очевидно понижение нижнего температурного предела взрываемости и повышение верхнего температурного предела объясняется адсорбцией каучуком более тяжелых фракций бензина и оставлением «на свободе» легких фракций, дающих более низкий нижний температурный предел, чем смесь тяжелых и легких углеводородов, из которых состоит бензин.

Для того чтобы огонь не распространялся по системе вентиляции, предназначенной для удаления паров бензина от машин и рабочих мест, на вновь проектируемых предприятиях предусматривается установка огнепреградительных клапанов ОК-200, разработанных Промстройпроектом. Огнепреградительный клапан ОК-200 действует на принципе перекрывания сечения воздуховода при расплавлении легкоплавкого замка. Вследствие некоторой инерционности легкоплавкий замок может сработать после того, как пламя пройдет через клапан. Целесообраз-

но на всасывающем патрубке над клеенамазочными машинами устанавливать не клапаны ОК-200, а огнепреградители, действующие на принципе щелевой защиты (типа огнепреградителей, устанавливаемых на резервуарах с ЛВЖ).

Для локализации силы взрыва паровоздушной смеси внутри сушильных объемов клеепромазочных машин целесообразно на верхней стенке последней устраивать вышибные проемы в виде откидных дверей. Удельную площадь вышибных проемов для смеси паров бензина и воздуха можно определить по формуле

$$f = \frac{\Delta V_t}{\omega \tau},$$

где f — удельная площадь вышибных проемов в $\text{м}^2/\text{м}^3$ объема;
 ΔV_t — избыточный объем продуктов горения при взрыве 1 м^3 смеси в м^3 ;
 ω — скорость истечения смеси в $\text{м}/\text{сек}$;
 τ — время истечения смеси в сек.

Удельный объем ΔV_t продуктов взрыва определяется по разности объемов газовой смеси до взрыва и после него. Элементарный состав бензина примерно равен: С — 85,1%, Н — 14,9%. Отсюда можно определить количество продуктов сгорания на единицу веса или объема входящих в состав бензина компонентов. Необходимый объем воздуха для сгорания смеси определяется по формуле

$$V_{\text{возд}} = 0,269 \left(\frac{C}{3} + H + \frac{S}{8} - \frac{O}{8} \right) \text{ или}$$

$$V_{\text{возд}} = 0,269 \left(\frac{85,1}{3} + 14,9 \right) = 11,65 \text{ нм}^3.$$

Температуру продуктов взрыва можно определить исходя из величины тепловой энергии при взрыве. Определив температуру взрыва, можно вычислить скорость истечения продуктов сгорания по формуле (имея в виду, что истечение будет происходить с дозвуковой скоростью):

$$\omega = \mu \sqrt{2g \frac{K}{K-1} V_0^t P_{\text{расч}} \left[1 - \frac{P_{\text{нач}}}{P_{\text{расч}}} \right]^{\frac{K-1}{K}}},$$

где μ — коэффициент истечения;
 g — ускорение силы тяжести;
 K — отношение C_p/C_v ;
 V_0^t — удельный объем газа с поправкой на температуру;
 $P_{\text{расч}}$ — давление, при котором сработает клапан;
 $P_{\text{нач}}$ — давление до взрыва.

$$V_0^t = \frac{1}{\gamma_0} \cdot \frac{P_{\text{нач}} T_{\text{взр}}}{P_{\text{расч}} T_0},$$

где T — температура.

Производя расчет, принимаем $P_{\text{разч}} = 1,15 \text{ ата}$ при $\tau = 0,2 \text{ сек}$. Тогда удельная площадь $f = 0,14 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

Удельную площадь ослабленных проемов $f = 0,14 \text{ м}^2/\text{м}^3$ можно принимать не только для объемов сушильных камер клеепромазочных машин, но и для вышибных проемов покрытий небольших по объему помещений с наличием паров бензина, где может образоваться взрывоопасная концентрация.

Наиболее характерными источниками воспламенения в цехах прорезинивания тканей являются искры от разрядов статического электричества, образующегося при работе клеепромазочных машин.

В резиновой промышленности в настоящее время применяются следующие способы снятия зарядов статического электричества с конструкцией работающих клеепромазочных машин: увлажнение воздуха помещения, применение антистатических веществ, ионизация воздуха тепловыми и электрическими нейтрализаторами, заземление электризующихся частей машин и ионизация воздуха радиоактивными нейтрализаторами.

Все вышеперечисленные способы, кроме ионизации воздуха радиоактивными нейтрализаторами, имеют существенные недостатки и вследствие этого не обладают достаточной эффективностью.

В мае 1963 г. на одном из заводов были установлены радиоактивные нейтрализаторы. В результате в течение года на клеепромазочных машинах не было ни одного загорания. Если необходимо осуществлять местное снятие зарядов статического электричества, целесообразно применять радиоактивные препараты, дающие большое количество α -излучений.

α -источники дают плотную ионизацию воздуха на пути, равном примерно 7 см, и их целесообразно использовать на расстоянии 3–6 см от заряженной поверхности. Такой радиоактивностью обладает плутоний 239.

Конструктивно ионизаторы могут быть выполнены в виде подложки из нержавеющей стали, на которую укладываются 34 элемента из PuO_2 . Установка двух комплектов нейтрализаторов на клеепромазочной машине (после намазочного и заднего барабанов) обеспечивает почти полную нейтрализацию зарядов статического электричества.

Однако снятие зарядов статического электричества с клеепромазочных машин еще не является достаточной профилактикой от появления искр. На ряде заводов возникали пожары и взрывы в результате разрядов статического электричества, которые скапливались на теле работающих. При относительно малой влажности воздуха и при передвижении по асфальту или линолеуму на теле человека могут возникать электрические заряды. Электрическая емкость человека в резиновых галошах, измеренная опытным путем, колеблется от 300 до 800 мкф. Если предположить, что человек, обладающий емкостью около

500 мкф, является носителем заряда напряжением около 2000 в, то при этом энергия искрового разряда будет примерно 0,005 вт/сек. Это в несколько раз превышает минимальные значения энергии искры, необходимой для воспламенения паров бензина. На заводах резиновой промышленности на теле работающих у намазочных машин был измерен электрический потенциал, который достигал 2000 в. При неблагоприятных условиях он может быть в пределах 5÷15 кв. В таких случаях при приближении рабочих к металлическим заземленным деталям машин возникают искровые разряды.

Против накопления зарядов статического электричества на теле человека в цехах прорезинивания тканей необходимо использовать обувь на токопроводящей резине. Для этого следует рекомендовать резины, изготовленные по следующему рецепту (в весовых частях): каучук СКМС-2—100; сера — 2; цинковые белила — 5; стеарин — 2; сажа ацетиленовая — 155; дибутилфталат — 20.

Удельное сопротивление такой резины составляет 814 ом.

ЛИТЕРАТУРА

Годжелло М. Г. и др. Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости. Справочник. МХ РСФСР, 1956.

Староба И., Шиморда И. Статическое электричество в промышленности. Госэнергоиздат, 1960.

Черкасов В. Н. Молниезащита взрывоопасных зданий и сооружений. Высшая школа МОП РСФСР, 1964.

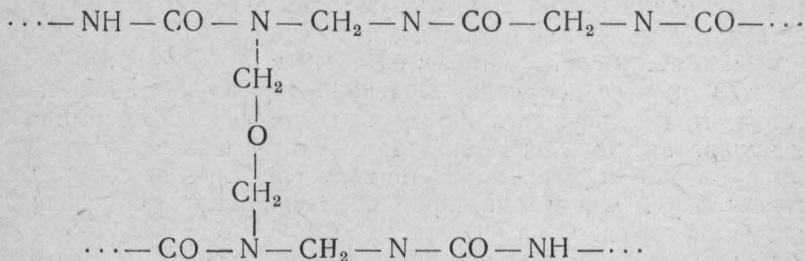
И. Е. КИСЕЛЕВ,
руководитель работы канд. техн. наук А. Г. ИСПРАВНИКОВА

ПОЖАРНАЯ ПРОФИЛАКТИКА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МИПОРЫ

Разновидностью пластических масс, производство которых получило в настоящее время значительное развитие, является мипора (ипорка, пиатерм). Мипора представляет собой отвержденную пену, изготовляемую на основе мочевино-формальдегидной смолы и специального пенообразователя.

Она имеет незначительный объемный вес (15—20 кг/м³), низкую теплопроводность (равную теплопроводности пробки), хорошие звукоизоляционные свойства, а также обладает хорошей тепло- и морозостойкостью. Благодаря этим качествам мипора широко используется как теплоизоляционный материал в строительстве рефрижераторов, холодильников, в вагоно- и судостроении.

Сущность технологического процесса производства мипоры заключается в том, что в специальных варочных котлах (реакторах) из мочевины и формальдегида (применяемого в виде 37%-ного водного раствора) в результате реакции поликонденсации получается мочевино-формальдегидная смола (полимер):



Кроме мочевины и формальдегида в качестве вспомогательного сырья для производства мипоры применяются глицерин, резерцин, технический контакт Петрова, едкий натрий и кислоты (ортофосфорная, уксусная, щавелевая и др.). Глицерин прибавляется в смолу для придания блокам мипоры эластичности. Ре-

резерцин вводится в пенообразователь в качестве катализатора при соединении пенообразователя со смолой. Кроме того, резерцин способствует сохранению пенистой структуры массы. Технический контакт Петрова применяется в качестве пенообразователя при получении блоков мипоры. Кислоты (ортофосфорная и щавелевая) добавляют для отверждения смолы в пене. Едкий натрий и щавелевая кислота применяются для создания рН среды при реакции поликонденсации. В производство мипоры входят следующие производственные операции: синтез полимера (варка смолы), получение пеномассы, отверждение блоков мипоры, сушка блоков, выстаивание блоков и упаковка.

Пожароопасные свойства сырья и вспомогательных материалов. Мочевина $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ — кристаллическое трудногорючее вещество с температурой плавления 135°C ; температура самовоспламенения 790°C .

Формалин — водный раствор формальдегида (CHON). Раствор содержит 37—40% формальдегида, 51—56% воды и 7—12% метилового спирта (ингибитора процесса полимеризации CHON). Температура воспламенения 40%-ного водного раствора CHON равна 435°C , температура вспышки — 67°C , температурные пределы взрываемости: НТПВ — 62°C , ВТПВ — 80°C .

Глицерин $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$ — прозрачная жидкость; плотность паров по воздуху равна 3,2. Температура самовоспламенения — 393°C , температура вспышки — $176,5^\circ\text{C}$.

Резерцин $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2$ — кристаллическое горючее вещество с удельным весом равным $1,27 \text{ г/см}^3$ и температурой вспышки равной $127,2^\circ\text{C}$.

Муравьиная кислота НСOОН — бесцветная прозрачная жидкость с температурой самовоспламенения равной 100°C и температурой вспышки паров равной 69°C .

Другие вещества, применяемые в производстве мипоры: щавелевая кислота (COОН—COОН), ортофосфорная кислота (H_3PO_4), едкий натрий, контакт Петрова — пожарной опасности не представляют, так как являются негорючими.

Синтез полимера. Наиболее опасным в пожарном отношении является процесс получения мочевино-формальдегидной смолы (варка смолы), осуществляемый в отделении синтеза. Основными аппаратами отделения синтеза являются реакторы, снабженные рубашкой и мешалкой. Аппарат соединяется с обратным конденсатором для отвода паров, образующихся при нагреве реакционной смеси.

После загрузки основных компонентов реактор обогревается паром до 85°C . При этой температуре подача пара прекращается и дальнейший разогрев смеси до 95°C происходит за счет экзотермии реакции. Чтобы не допустить саморазогрева смеси выше 95°C , в рубашку аппарата подается вода на охлаждение. Давление в реакторе, создаваемое за счет упругости паров формалина, не превышает 1 атм. В период первоначального нагрева в

реакторе создается взрывоопасная концентрация (температурные пределы взрываемости для формалина от 62 до 80°С).

Чтобы избежать образования опасных концентраций в реакторе после загрузки формалина, мочевины и глицерина, создается вакуум при помощи вакуум-насоса. Затем включается подача воды в конденсатор и пар подается в рубашку реактора. Варка смолы может сопровождаться повышением давлений, что может привести к нарушению герметичности системы и выходу (а в некоторых случаях — выбросу) продуктов реакции в производственное помещение.

Повышенные давления образуются при нарушении температурного режима работы аппарата, а также при нарушении режима конденсации паров, отводимых из аппарата, или в результате подогрева аппарата при выключенном обратном конденсаторе.

Выше отмечалось, что реакционная смесь в аппарате нагревается до 85°С. Дальнейший рост температуры до рабочей (95—100°С) происходит за счет экзотермической реакции. Если тепло своевременно не отводить (прекращается подача воды в рубашку или прекращается подача воды с завышенной начальной температурой), то в реакторе может вскипать реакционная смесь и расти давление.

Нарушение режима конденсации паров в обратном конденсаторе может быть связано с сильным загрязнением теплообменной поверхности, образованием пробок полимера в трубках конденсатора, а также с прекращением подачи воды на охлаждение.

Во избежание образования повышенных давлений необходимо автоматически регулировать температурный режим варки смолы. Для регулирования температуры в реакторе используют автоматический регулирующий мост МСР-1-01, воздействующий на электромагнитные клапаны, установленные на линиях подачи пара и воды. Вода в обратном конденсаторе регулируется регулятором прямого действия РПД. Наряду с автоматическим регулированием температуры на линиях подачи пара и воды рекомендуется иметь вентили ручного действия (если неисправна производственная автоматика). Необходимо также иметь автоматическую блокировку подачи пара в рубашку реактора и песка воды на охлаждение в обратный конденсатор. Предлагаемая схема блокировки показана на рис. 12. Чтобы реакторы не разрушались от избыточных давлений, их необходимо оборудовать предохранительными клапанами.

Пожарная опасность отделения синтеза определяется также наличием мерников с глицерином и формалином, сборников для разбавления смолы, а также емкостей для раствора смолы. Внутри емкостей опасные концентрации отсутствуют, так как температура горючих жидкостей, находящихся в них, ниже температуры вспышки ($t_{всп}$ глицерина равна 176,5°С; $t_{всп}$ формалина равна 67°С).

Выход горючих жидкостей из емкостей в производственное помещение возможен при их переполнении, а также при наличии неплотностей в них. Образованию неплотностей способствует коррозия стенок аппаратов и трубопроводов.

Уровень жидкостей в мерниках с глицерином и формалином контролируется и регулируется электронными индикаторами

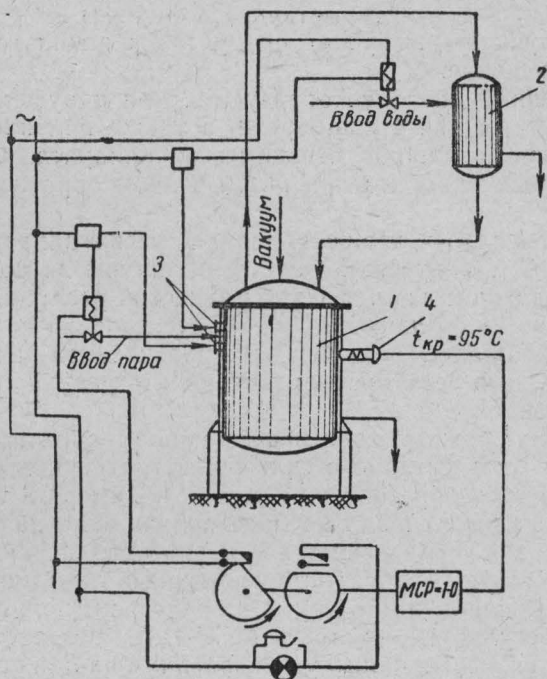


Рис. 12. Схема автоматической блокировки пуска воды и пара

1 — реактор; 2 — конденсатор-холодильник; 3 — мембранный датчик давления; 4 — термометр сопротивления

уровня ЭИУ-1 в комплекте с электронными потенциометрами ПСР-1-01, контакты которых отключают насосы при достижении в емкостях заданного уровня. Мерники оборудуют переливными трубами (без установки на них вентилей и задвижек) на высоте, соответствующей максимально допустимому уровню жидкостей с диаметром несколько большим, чем диаметр наполнительной линии.

С целью снижения пожарной опасности отделения синтеза для дозирования глицерина и формалина в реакторы рекомендуется применять вместо мерников обычного типа автоматические счетчики-дозаторы. Применение автоматических дозаторов

уменьшает общее количество горючих жидкостей в отделении синтеза.

Материал аппаратов и трубопроводов этого отделения должен соответствовать характеру среды.

Средствами тушения в отделении синтеза являются: вода, воздушно-механическая пена, инертный газ. Для тушения небольших количеств разлитых жидкостей применяют песок, кошмы, покрывала.

По пожарной опасности это отделение относится к категории Б. Электрооборудование необходимо выполнять в соответствии с требованиями ПУЭ, предъявляемыми к классу помещений П-1.

Получение пеномассы и отверждение блоков мипоры осуществляется в отделении розлива пеномассы в вертикальном пеносбивателе.

Предварительно готовится раствор пенообразователя, состоящий из контакта Петрова, ортофосфорной кислоты, воды и резерцина. Раствор подается из мерника в пеносбиватель. В пеносбиватель поступает также смола, полученная в отделении синтеза. Загруженная смесь вспенивается сжатым воздухом, при этом образуется пеномасса.

Влажность пеномассы равняется 40%, содержание свободного формальдегида — 8%, что составляет 4,14 кг формальдегида на каждый 1 м³ мипоры. Полученная пеномасса поступает на розлив с температурой 30°С и затем на отверждение.

Отверждение пеномассы осуществляется в отделении отверждения в течение 2,5 ч. При этом пеномасса движется по прямой ленте конвейера, заключенного в камеру отверждения (камера выполняется в виде металлического кожуха). Температура в камере поддерживается в пределах 18—20°С.

Розлив пеномассы и ее отверждение сопровождаются выделением формальдегида. Можно считать, что на стадии розлива пеномассы теряется 10% формальдегида, что составляет 0,414 кг на 1 м³ мипоры.

На стадии отверждения выделяется 1,87 кг формальдегида на 1 м³ мипоры. При отверждении пеномассы теряется около 15% влаги.

Операции розлива и отверждения необходимо производить при работе местных отсосов. Конструктивно отсосы должны быть приближены к местам выделения формальдегида.

Пеномасса, а также блоки мипоры, содержащие около 25% влаги, загораются с трудом. Для их воспламенения необходимы мощные источники нагрева.

По пожарной опасности отделение приготовления и розлива пеномассы, а также отделение отверждения блоков относятся к категории В.

После отверждения мипора режется на блоки размером 1030×460—253 мм и подается на подвесных вагонетках в сушильные камеры.

Сушка мипоры производится в непрерывно действующих калориферных сушилках туннельного типа при температуре 30—50°С до влажности не более 12%. Одновременно сушится 3470 блоков мипоры, что составляет 417 м³. При сушке из мипоры выделяется весь оставшийся свободный формальдегид (1,87 кг/м³ мипоры). Высушенная мипора поступает в камеру выстаивания (для выравнивания влажности), в которых блоки выдерживаются при 20—22°С в течение трех суток и далее подается в отделение упаковки.

Пожарная опасность процессов сушки, выравнивания и упаковки мипоры определяется наличием значительного количества горючего материала в производственных помещениях.

Мипора представляет собой мелкопористую массу белого цвета с объемным весом 15—20 кг/м³. Температура воспламенения мипоры равна 397°С, температура самовоспламенения равна 540°С. Скорость горения мипоры составляет 12,5 кг/м²·ч; скорость распространения пламени равна 1 м/мин*.

Горение мипоры сопровождается выделением значительного количества тепла (теплота горения мипоры $Q=4163$ ккал/кг). При горении с недостаточным количеством воздуха выделяются газообразные токсичные продукты разложения. Токсичность продуктов разложения определяется наличием небольших количеств окислов азота, фосгена, возможностью выделения паров синильной кислоты.

Расчеты показывают, что количество продуктов разложения, выделяющихся при сгорании 1 кг мипоры (при нормальных условиях), составляет 6,3 м³.

Источниками воспламенения мипоры в производственных цехах может быть открытый огонь при проведении ремонтных работ, неисправность электрооборудования и др.

Эффективным средством тушения мипоры является распыленная вода.

В производственных помещениях необходимо тушить пожар только в кислородно-изолирующих противогазах.

Производственные помещения, в которых осуществляется розлив и отверждение пеномассы, сушка и выстаивание блоков, а также склад готовой продукции по пожарной опасности относятся к категории В.

Электрооборудование должно соответствовать классу помещений П-Па.

Производственные помещения цеха мипоры оборудуются системой приточно-вытяжной вентиляции. Выше отмечалось, что больше всего в производственное помещение выделяется формальдегид, который вызывает сильную коррозию воздуховодов.

* Скорости горения и распространения пламени определялись в лабораторных условиях по методике ЦНИИПО (С. М. Таубкин, А. Н. Баратов, Н. С. Никитина, «Справочник пожарной опасности твердых веществ и материалов», М., Изд. МКХ, 1961).

Для предотвращения коррозии поверхность воздуховодов целесообразно покрывать защитной перхлорвиниловой эмалью марки ХСЭ-26.

При пересечении воздуховодами противопожарных стен необходимо устраивать заслонки с автоматическим управлением.

Если склад готовой продукции сблокирован с производственными помещениями, он должен отделяться от них противопожарными стенами с пределом огнестойкости не менее 4 ч.

Производство мипоры на современных предприятиях, как правило, размещается в одноэтажных бесфонарных зданиях, имеющих в плане большие размеры.

Тушение пожаров и проведение эвакуации в бесфонарных зданиях без достаточного количества устройств для выпуска дыма и снижения температуры может привести к тяжелым последствиям.

В соответствии со СНиПами, в помещениях цеха по площади покрытия должны устраиваться дымовые люки для удаления дыма и снижения температуры в них во время пожара.

Как показали расчеты (исходя из реакции горения мипоры), площадь дымовых люков¹ в производственных помещениях цеха мипоры должна составлять 0,48% от площади пола, а не 0,2%, как принято по нормам (СНиП II-М. 2-62).

ЛИТЕРАТУРА

Архангельский Б. А. Пластические массы. Судпромгиз, 1961.

Гарбар П. И., Растанин И. В. Пластмассы и синтетические смолы в строительстве. Госстройиздат, 1960.

Дарковский А. К., Зубов А. И. Противопожарная техника на предприятиях химической промышленности. Госхимиздат, 1961.

¹ Метод расчета дается в книге М. Я. Ройтмана «Дымовые взрывные люки», М., Изд. ВШ МООП РСФСР, 1964.

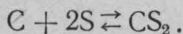
Ю. М. ГЕРШТЕЙН,
руководитель работы канд. техн. наук А. Г. ИСПРАВНИКОВА

ПОЖАРНАЯ ПРОФИЛАКТИКА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СЕРОУГЛЕРОДА РЕТОРТНЫМ СПОСОБОМ

Сероуглерод является очень ценным сырьем для ряда важных отраслей промышленности и сельского хозяйства: при производстве вискозного волокна (наиболее распространенного среди химических волокон), резины, ядохимикатов и четыреххлористого углерода.

Сероуглерод широко применяется как растворитель для извлечения жиров и масел из семян.

Сырьем для получения сероуглерода является сера и древесный уголь. Прямой синтез его из этих продуктов осуществляется при 900° С по реакции



Наиболее распространенным в настоящее время является ретортный способ получения сероуглерода, при котором синтез осуществляется в чугунных или стальных сосудах эллипсоидной формы (ретортах), обогреваемых генераторным или природным газом. Процесс производства сероуглерода ретортным методом является пожаро- и взрывоопасным, так как он связан с получением легковоспламеняющейся жидкости (CS_2) и побочных горючих газов (H_2S , COS , CO), а также с применением огневого обогрева основных технологических аппаратов.

Технологический процесс производства сероуглерода по ретортному способу состоит из следующих основных стадий: подготовка сырья (сушка древесного угля и плавление серы); получение парообразного сероуглерода в ретортах (синтез); конденсация паров сероуглерода-сырца; очистка сероуглерода-сырца (выделение сероводорода и серы, ректификация и абсорбция); извлечение серы из отходящих газов.

Технологическая схема производства показана на рис. 13. Исходное сырье (сера и древесный уголь) подается в печное отделение в реторту 3. Древесный уголь предварительно высушивается в осушителе 1 (дымовыми газами или теплом, выделяемым при сгорании части угля) при температуре 500° С. Сера со

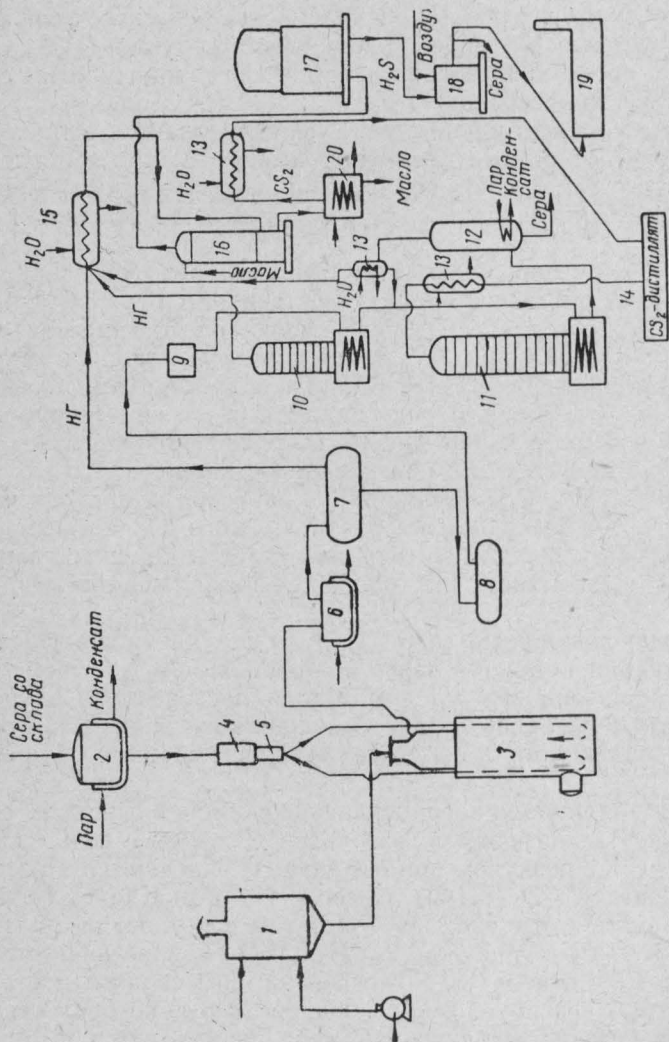


Рис. 13. Принципиальная схема получения сероуглерода ретортным способом

склада подается транспортером в плавильный котел 2, который обогревается паром. В котле сера расплавляется при 130—140°С, затем через кварцевый фильтр 4 и дозатор 5 поступает в реторту 3.

В газификационных каналах реторты, обогреваемой генераторным газом при 900—920°С, сера испаряется. Пары серы проходят снизу вверх через слой раскаленного древесного угля. При этом образуется сероуглерод и побочные продукты (H_2S , COS , CO). Смесь продуктов реакции проходит по газоходу через сероуловитель 6 в конденсатор 7.

Конденсат (сероуглерод-сырец) передавливается водой (при конденсаторах открытого типа) или самотеком (при конденсаторах закрытого типа) поступает в сборник сероуглерода-сырца 8, откуда водой передавливается в расходный бак 9 отделения ректификации.

Сероуглерод-сырец проходит последовательно сероводородо-отделитель 10, ректификационную колонну 11, в верхней части которой выделяются пары сероуглерода, поступающие затем в конденсатор-холодильник 13. Конденсат собирается в емкость сероуглерода-ректификата 14. В нижней части ректификационной колонны 11 по мере отгонки накапливается концентрированный раствор серы в сероуглероде, который периодически отводится в сероотделитель 12, обогреваемый паром.

При 130—135°С CS_2 отгоняется из раствора и, проходя через холодильник 13, возвращается в куб колонны 11. Жидкая сера из нижней части сероотделителя поступает в цементированный котлован, где застывает. Застывшая сера возвращается в производство.

Несконденсированные газы (НГ) из отделения конденсации и ректификации подаются через холодильник 15 в абсорбер 16, орошаемый вазелиновым маслом. Масло, насыщенное CS_2 , подается насосом в десорбер 20, где CS_2 испаряется. Пары CS_2 проходят через конденсатор 3, конденсат стекает в сборник CS_2 -ректификата.

Газы, выходящие из абсорбера, содержащие в основном сероводород (H_2S), поступают в газгольдер 17, затем в печь Клауса 18, где в смеси с воздухом при 500—600°С окисляются в катализаторе-боксите ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) до серы. Из печи Клауса сера подается в приямок, где застывает, а затем поступает в производство. Часть газов, содержащая H_2S , SO_2 и в незначительном количестве CS_2 , отводится из печи в камеры серного цвета 19, где H_2S и SO_2 реагирует с образованием серы, которая оседает на стенках камеры. Полученная сера используется в производстве.

Технология получения сероуглерода осуществляется на трех основных участках: ретортном, дистилляции и регенерации серы.

Ретортный участок, на котором получается CS_2 -сырец, состоит из отделения подготовки древесного угля, печного конден-

саторного и отгонки CS_2 из шлама и сероуглеродсодержащей воды.

Пожарная опасность ретортного участка определяется наличием значительного количества жидкого CS_2 в отделениях конденсации и шламовой отгонки, взрывоопасной парогазовой смеси в ретортах, газоходах и конденсаторах.

В печном отделении имеются открытые источники огня и нагретые до $130^\circ C$ поверхности аппаратов и трубопроводов, обогреваемых паром.

CS_2 — легковоспламеняющаяся жидкость, температура вспышки паров CS_2 равна минус $50^\circ C$, температура самовоспламенения составляет $105^\circ C$; НТПВ равен минус $50^\circ C$, что соответствует объемной концентрации равной 1% и весовой равной 34 мг/л; ВТПВ = $26^\circ C$, что соответствует объемной концентрации равной 50% и весовой равной 1700 мг/л. Теплота сгорания составляет 3352,6 ккал/кг. Сероуглерод — сильный диэлектрик. При перемещении его по трубопроводам образуется статическое электричество значительных потенциалов. Жидкий CS_2 и его пары электризуются даже при трении о воздух.

На ретортном участке находится также значительное количество древесного угля в бункерах и ретортах.

Свежепрокаленный уголь, обладая большой адсорбционной способностью, легко окисляется. Сложенный в большие кучи, такой уголь может самовозгораться. В 1962 г. на складе древесного угля сероуглеродного цеха одного из комбинатов на третий день после доставки угля температура в штабеле высотой до 2 м достигла $32^\circ C$, через неделю $65^\circ C$, а на тринадцатый день уголь загорелся.

Температура самовоспламенения древесного угля колеблется от 170 до $186^\circ C$.

Перед загрузкой в реторту уголь высушивается до содержания влаги не более 1%. Влага удаляется за счет тепла, полученного от сгорания 15% высушиваемого угля. В сушилки подведено воздушное дутье. Температура сушки достигает 500 — $600^\circ C$. Над каждой сушилкой расположен бункер, в который поступает древесный уголь со склада. Если в бункерах скапливается окись углерода при недостаточной подаче кислорода, в них может загореться уголь и привести к взрыву. Поэтому в верхнюю часть сушилок должно подводиться такое количество воздуха, которое необходимо для полного сгорания угля. Подача воздуха регулируется и контролируется краном-переключателем и мембранным показывающим напоромером. Температура сушки регистрируется электронным автоматическим самопишущим потенциометром.

Для обеспечения безопасной работы сушильных аппаратов необходимо автоматически регулировать подачу воздуха в сушилки и аварийную сигнализацию, срабатывающую при нарушениях регулировки.

В отделении сушки угля должны устанавливаться внутренние пожарные краны. По пожарной опасности отделение подготовки древесного угля относится к категории Г.

Печное отделение также представляет большую пожарную опасность. Его основными аппаратами являются реакционные реторты — эллипсоидные чугунные сосуды со сплошным дном. Внутренняя поверхность реторты футерована шамотными плитками. Реторта имеет шесть горелок (типа ГН-2), в которые подается генераторный газ для обогрева реторт.

В печном отделении находится значительное количество расплавленной серы в дозаторах, сифонах, сероуловителях, а также газовой смеси в ретортах, сероуловителях и газоходах.

Сера — твердое вещество с температурой плавления равной $112,8—120^{\circ}\text{C}$ и температурой кипения равной $144,6^{\circ}\text{C}$; температура самовоспламенения серы составляет 205°C ; пыль серы взрывоопасна; $\text{НПВ}=2,3 \text{ г/м}^3$. При сильном трении сера склонна к электризации.

Паро-газовая смесь, образующаяся в ретортах, состоит в основном из CS_2 (82,3% по объему), некоторого количества H_2S , COS и CO . Пределы взрыва этой смеси составляют: $\text{НПВ}=1,17\%$, $\text{ВПВ}=49,3\%$. Опасные концентрации в аппаратах и трубопроводах при нормальном режиме работы исключаются из-за отсутствия в них воздуха.

Падение давления в системе как явление, которое связано с подсосом воздуха через неплотности, представляет большую опасность.

При нормальном режиме работы давление в реторте составляет $100—150 \text{ мм вод. ст.}$ ($0,01—0,015 \text{ атм.}$).

Давление в системе колеблется главным образом от состава древесного угля и его влажности. При подаче недостаточно обожженного угля с завышенной влажностью наблюдается больший выход газов (H_2S и COS) и рост давления. Давление падает при остановке реторт. Когда прекращается подача серы в реторту, ее «выжимают», т.е. отводят из нее остальную газовую смесь. При этом в реторте, а также на участке газохода до сероуловителя создается разрежение порядка $5÷10 \text{ мм вод. ст.}$

Давление в ретортах при отсутствии подачи серы падает из-за принудительного отвода продуктов неполного сгорания зоны горения, которые поглощаются расплавленной серой в сероуловителе. Разрежение растет по мере прокаливании угля и «выжимания» реторты. Чтобы остановить рост вакуума, обычно открывают верхнюю часть реторты (вскрывают шлем). При этом, как правило, наблюдается вспышка «невыжатой» газовой смеси.

Опасной в пожарном отношении является очистка сжатым воздухом каскадных ванн реторт с газификационными каналами. Продувать реторту, загруженную углем во избежание ее взрыва, не допускается. (В 1961 г. на одном из заводов при про-

дудке каскадов реторты сжатым воздухом произошел взрыв, при котором большая часть горящего древесного угля была разбросана в радиусе до 10 м.)

Опасной операцией является штанговка реторт и чистка газоходов. Штанговку производят железным прутом через специальные отверстия или через открытые загрузочные люки реторт при образовании в них «козлов» (уплотнения от слежавшейся мелочи древесного угля и скопления шлака или его зависания).

При штанговке рабочий может замкнуть штангой троллейные провода электротельфера, проходящие над ретортной. Поэтому на заводах, оснащенных электротельферами, троллейные провода перед штанговкой необходимо обесточивать.

Газоход обычно чистят одновременно с чисткой реторты, и если не принять надлежащих мер, может произойти сильная вспышка газов. Во избежание этого перед чисткой газохода его следует охлаждать водой, для чего через люк газохода со стороны реторты подают воду, поступающую в конденсатор. К очистке газохода приступают после его охлаждения.

Аварийное состояние при работе реторт может быть вызвано прогаром их стенок от высоких температур. Небольшие утечки газовой смеси через неплотности в стенках реторты при наличии горящих горелок обычно не приводят к взрыву, так как выходящие газы сгорают в камере обогрева. Прогар реторт, сопровождающийся, как правило, выходом большого количества паров сероуглерода, может привести к большой аварии и взрыву.

Прогар реторт вызывается главным образом нарушением температурного режима, сроков профилактического осмотра, а также нарушением во время очистки реторт.

Чтобы предохранить реторты от прогара, необходимо автоматически регулировать температуру в них и в камере сгорания. Подача газа и воздуха к горелкам печей автоматически регулируется струйными регуляторами. Запись показателей осуществляется через поплавковые дифманометры самопишущими электрическими приборами. Температура в печи по зонам контролируется по показаниям термопар, подключенным к самопишущим потенциометрам.

Реторты необходимо оборудовать автоматическим сигнализатором падения давления с тем, чтобы своевременно отключать газ, поступающий на обогрев, и сырье в реторту при выходе газовой смеси в момент прогара. Необходима также автоматическая сигнализация о создании опасного вакуума при остановке реторты.

Материал реторт, применяемых в сероуглеродном производстве, имеет существенное значение. Чугунные реторты выдерживают меньший срок службы и быстрее прогорают по сравнению со стальными, работающими в равных условиях. Опыт работы сероуглеродных заводов в ГДР показал, что срок службы чу-

гунных реторт составляет 8—10 месяцев, а стальных — 18—20 месяцев. Замена чугунных реторт стальными обеспечила бы не только более безопасные условия работы, но и определенный экономический эффект.

Все приборы контроля и регулирования, находящиеся в печном отделении, не следует устанавливать в щитовых камерах без подачи в них чистого воздуха, как это практикуется на сероуглеродных заводах. Опыт эксплуатации приборов КИП в печном отделении показал, что газовая среда и температурный режим в помещении отрицательно влияют на работу регулирующих, записывающих и показывающих приборов. Поэтому приборы контроля и регулирования печного отделения необходимо размещать в изолированном помещении.

Пожарная опасность печного отделения определяется тем, как могут выходить газы в производственное помещение через неплотности газоходов. Образованию неплотностей способствуют коррозия материала газоходов от действия CS_2 и H_2S (усиленной коррозии подвергаются фланцевые соединения), а также повышенные давления.

Давление в газоходе повышается при застывании серы в сероуловителе вследствие прекращения обогрева. Сероуловитель выполняет роль гидрозатвора и редуцирующего устройства между ретортой и конденсатором, поэтому в процессе работы необходимо осуществлять постоянный контроль за обогревом сероуловителей.

Выходящие газы будут самовоспламеняться, так как они нагреты от 130 до 600°С.

Расчеты показывают, что опасные концентрации местного характера могут наблюдаться при выходе газовой смеси в момент вскрытия реторты или газохода после их охлаждения.

Источниками воспламенения в печном отделении являются: открытое пламя горелок в печах, нагретые до высокой температуры поверхности газоходов от реторт до сероуловителей (в некоторых случаях температура поверхности газоходов может достигать 500°С и выше); нагретые до 130°С поверхности рубашек парового обогрева газоходов и сероуловителей; разряды статического электричества, образующиеся при движении газовой смеси по газоходам.

Наиболее опасным является пламя, вырывающееся из реторты при ее вскрытии. Чтобы предупредить появление пламени при открывании крышки реторты, целесообразно верхнюю часть реторты (внутри по окружности шлема) оборудовать перфорированным трубопроводом для подачи инертного газа. В печном отделении необходим постоянный контроль за состоянием термоизоляции фланцевых соединений газоходов и надежным заземлением технологического оборудования.

В зарубежной и отечественной практике сероуглеродного производства для защиты от коррозии аппаратов и трубопрово-

дов, как правило, их оцинковывают либо выполняют из нержавеющей стали.

В настоящее время применяют и другие более эффективные средства защиты аппаратов и трубопроводов (покрывают эпоксидными смолами).

Противопожарные двери в производственных цехах, устойчивые против коррозии, можно выполнить из листового винипласта (поверх термоизоляции) с окраской наружной поверхности его огнезащитной атмосфероустойчивой краской ПХВО-А или лаком ХСЛ.

Для тушения печное отделение необходимо оборудовать внутренними пожарными кранами. По пожарной опасности это отделение относится к производствам категории Г.

Отделение конденсации ретортного участка также представляет большую пожарную опасность, особенно в том случае, если в этом отделении установлены конденсаторы открытого типа, т. е. конденсаторы барботажные.

Барботажные конденсаторы — металлические емкости ($1,5 \text{ м}^3$) овальной формы с плоской крышкой. На крышке имеется скруббер с инертной насадкой. В конденсаторе постоянно находится слой воды, через который барботирует смесь газов, идущая от реторты. Для измерения уровня сконденсированного CS_2 устроен карман.

Вместе с CS_2 на дне конденсатора остается шлам, содержащий 35—40% CS_2 . Шлам удаляют периодически вручную через карманы в шламоприемник, соединенный со шламовым коллектором, объединяющим все конденсаторы.

В сливных стаканах конденсаторов образуются опасные концентрации паров CS_2 . Барботажный слой воды в открытом конденсаторе насыщен CS_2 , который постоянно испаряется в производственное помещение. В одном таком конденсаторе накапливается более 560 кг CS_2 . В производственном помещении при одновременной работе 14—15 реторт будет находиться до 8 т CS_2 .

Аппараты подвергаются сильной коррозии, вызываемой действием H_2S . Коррозия усиливается от воды, которая постоянно находится в них. На одном из сероуглеродных заводов 50% конденсаторов барботажного типа на четвертом году эксплуатации вышли из строя из-за коррозии днищ. Измерения показали, что сталь (Ст. 3, Ст. 5), из которой были выполнены конденсаторы, корродирует в сероуглеродной и сероводородной среде (при наличии влаги) со скоростью 2 мм в год.

Конденсаторы барботажного типа очень чувствительны к изменению давления в газовой системе, что обуславливает возможность выброса CS_2 в помещение при повышении давления в системе (при работе реторт на угле, содержащем значительное количество влаги, при образовании газовых пробок в индивидуальных газопроводах, а также при попадании конденсата из ру-

башки обогрева в газоход на участке от сероуловителя до конденсатора).

На сероуглеродных заводах, как правило, осуществляется лишь визуальное наблюдение за режимом конденсации. Для контроля за давлением газовой смеси на входе в конденсатор и в самом конденсаторе устанавливают стеклянные двухтрубные жидкостные манометры. При повышении давления в газовой системе выше нормального (75—80 мм. вод. ст.) жидкостные манометры часто выходят из строя. Вместо жидкостных манометров целесообразно устанавливать герметические мембранные датчики. Для этой цели следует использовать чувствительные пневмоэлектроконтактные датчики типа П-1 (нормаль МП 60—61), применяемые в машиностроении для контроля линейных размеров. Электроконтакты необходимо защищать от взрывоопасной и агрессивной среды эластичным кожухом-сильфоном из антикоррозийного материала.

Чтобы предохранить конденсаторы от давления выше допустимого, применяют гидрозатворы, сбрасывающие на свечу излишки газов.

Для обеспечения пожарной безопасности отделения конденсации конденсаторы барботажного типа необходимо заменять вертикальными кожухотрубчатыми теплообменниками конструкции НИИХиммаша. Конструкция теплообменника исключает накопление жидкого CS_2 в помещении, так как конденсирующийся CS_2 — сырец, который сразу же отводится на склад сырца. Кроме того, отсутствие воды в конденсационном объеме уменьшает коррозию.

Замена барботажных конденсаторов кожухотрубчатыми теплообменниками дает значительную экономию и позволит ликвидировать опасные в пожарном отношении системы отгонки CS_2 из шлама и сероуглеродосодержащей воды.

Отделение конденсации, шламовой отгонки и сероуглеродсодержащей воды по пожарной опасности относится к категории А.

По ПУЭ отделение конденсации, оборудованное конденсаторами открытого типа, следует отнести к взрывоопасным помещениям класса В-1, так как взрывоопасные концентрации местного характера образуются в помещении при нормальном ведении технологического процесса; при наличии же закрытых кожухотрубчатых конденсаторов — к классу помещений В-1а (взрывоопасные концентрации образуются только при авариях).

Наиболее эффективным средством тушения сероуглерода является тонкораспыленная вода. Поэтому внутренние пожарные краны в производственных помещениях следует оборудовать стволами-распылителями.

Регенерация серы из отходящих газов является важным участком сероуглеродного производства. При производстве CS_2 по ретортному способу значительное количество серы расходу-

ется на образование побочных газообразных продуктов. Примерно можно считать, что на 1 т полученного по ретортному способу CS_2 образуется до 100 кг отходящих газов, имеющих в своем составе (по объему) 50—65% H_2S , 10—15% CS_2 и COS . При отсутствии регенерации серы большое количество ее будет выброшено с отходящими газами.

Участок регенерации серы из отходящих газов является пожаро- и взрывоопасным. Пожарная опасность этого участка в значительной степени определяется тем, что сера неполностью извлекается из отходящих газов. Неполное извлечение серы из отходящих газов приводит к повышенному выходу H_2S после печей в камеры серного цвета и, в результате этого, к взрывам.

При выдерживании оптимального режима в печах Клауса (соотношение газ — воздух) в камерах серного цвета взрывоопасные концентрации не образуется. Однако при пуске и остановке печей возможен проскок газов через катализатор (боксит), имеющий недостаточную температуру для окисления H_2S до серы. В этом случае выход H_2S в камеры увеличивается. В результате могут образоваться взрывоопасные смеси. В отходящих после конденсации газах остается CS_2 , который может попасть в печи Клауса. При понижении требуемой температуры в печи неоокислившийся сероуглерод ($\text{CS}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{S}_2$) вместе с другими газами может поступать в камеры серного цвета.

Наличие CS_2 в газовой смеси после печей Клауса увеличивает опасность взрывов в камерах, так как газовая смесь на выходе из печей нагрета до 200°C , т. е. выше температуры самовоспламенения CS_2 равной 105°C .

Для того чтобы локализовать взрывы и ослабить разрушения в камерах серного цвета, в них должны предусматривать ослабленные проемы. Взрывы, происходившие в камерах серного цвета сероуглеродных заводов и сопровождавшиеся разрушениями, дают основание сделать вывод, что принятая площадь вышибных проемов в камерах недостаточна для срабатывания продуктов взрыва.

Произведенный расчет реакции горения H_2S показал, что удельная площадь ослабленных проемов для камер серного цвета должна составлять $0,248 \text{ м}^2$ на 1 м^3 объема камеры. Следовательно, для предупреждения разрушений во время взрывов необходимо увеличить площадь вышибных отверстий до требуемой. Если нельзя их увеличить, то часть покрытия камер необходимо выполнять легкообсыпаемыми.

По пожарной опасности участок регенерации серы относится к производствам категории А. По ПУЭ этот участок относится к взрывоопасным наружным установкам класса В-1г. Для снижения пожарной опасности и повышения экономичности конверсию серы из отходящих газов целесообразно осуществлять двухступенчатым способом окисления H_2S . Этот способ позволит регенерировать до 90% серы, содержащейся в газах, сведет

до минимума содержание H_2S в газах после конверсии и исключит возможность взрывов.

По данным Всесоюзного научно-исследовательского института искусственного волокна, этот способ является наиболее рациональным для крупных производств, так как позволяет повысить процент регенерации серы.

ЛИТЕРАТУРА

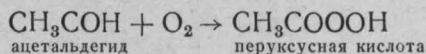
Алексеев М. В. Предупреждение пожаров от технологических причин. М., Изд. МКХ РСФСР, 1963.

Смуров В. С., Аранович Б. С. Техника безопасности в сероуглеродном производстве. Госхимиздат, 1960.

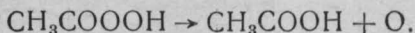
ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ ПРОЦЕССА ОКИСЛЕНИЯ АЦЕТАЛЬДЕГИДА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ УКСУСНОЙ КИСЛОТЫ

Уксусную кислоту можно получать уксусным брожением спиртовых жидкостей, действием концентрированной серной кислоты на нитрометан, окислением ацетальдегида и другими способами. Из всех этих способов в практике чаще всего получают уксусную кислоту окислением ацетальдегида техническим кислородом в присутствии катализатора — ацетата марганца.

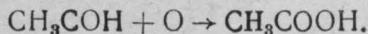
В процессе окисления ацетальдегид превращается в перуксусную кислоту



Перуксусная кислота — неустойчивое соединение. Она разлагается с выделением атомарного кислорода и образованием уксусной кислоты



Атомарный кислород, выделяющийся при разложении, окисляет вторую молекулу ацетальдегида и образует уксусную кислоту



Разложение перуксусной кислоты одновременно ведет к образованию побочных продуктов: метанола, формальдегида, муравьиной кислоты и метилацетата.

Ацетальдегид (уксусный альдегид) — легкая летучая жидкость с резким запахом, хорошо растворим в воде, спирте и многих других органических веществах. Температура кипения уксусного альдегида равна 20,8° С, температура плавления — минус 122,6° С, удельный вес — 0,780.

Перуксусная кислота — жидкость (температура плавления 0,1° С). Сравнительно устойчива при температуре 15—20° С; при нагревании обладает способностью взрываться. Она является слабой кислотой. При длительном действии воды дает уксусную кислоту и перекись водорода.

Параметры пожароопасных свойств веществ, образующихся в процессе получения уксусной кислоты, приведены в табл. 10.

Ацетальдегид окисляется техническим кислородом в окислительной колонне при температуре 65—75° С и давлении 2 *ати*.

Ацетальдегид, предварительно смешанный с катализаторным раствором (ацетат марганца с уксусной кислотой), подается в нижнюю часть окислительной колонны. Технический кислород поступает под давлением 4 *ати* и распределяется в шести царгах окислительной колонны. Ацетальдегид окисляется под защитой азота.

Таблица 10

Наименование вещества	Химическая формула	Температура вспышки в °С	Температура самовоспламенения в °С	Температурные пределы воспламенения в °С		Концентрационные пределы воспламенения в %	
				нижний	верхний	нижний	верхний
Ацетальдегид	CH ₃ СОН	—27	156	—27	+6	4	57
Уксусная кислота . . .	CH ₃ СООН	+38	500	+32	60	3,1	12
Метилацетат	CH ₃ СООСН ₃	—15	470	—15	11	3,6	14
Метанол	CH ₃ ОН	+8	400	—	—	5,5	36,5
Формальдегид	НСОН	—	430	—	—	7	73
Муравьиная кислота . .	НСООН	+69	600	69	—	—	—
Ацетальдегидно - катализаторная шихта . . .	—	—	—	—	—	4	56,9*
Дистиллят, поступающий в колонну предварительной ректификации	—	—	—	—	—	3,5	17*
Паровая смесь, выходящая из колонны разгонки легколетучей фракции	—	—	—	—	—	4,5	26*

* Величины определены расчетным путем.

Из расширителя окислительной колонны парогазовая смесь с температурой 65° С и давлением 1,8 *ати* поступает в конденсатор, в котором конденсируются легколетучие компоненты и пары уксусной кислоты, увлекаемые азотом. Уксусная кислота — сырец, собираемая в нижней части окислительной колонны, подается в ректификационную колонну на предварительное разделение кислоты от катализатора и высококипящих компонентов.

При этом разделении получают техническую уксусную кислоту, которая затем в специальных аппаратах подвергается химической очистке 17%-ным раствором перманганата калия при температуре 50° С.

После химической очистки ее подают на последовательно действующие ректификационные колонны и получают уксусную кислоту с концентрацией равной 98,5%.

Пожарная опасность окисления ацетальдегида состоит в следующем.

В окислительной колонне в результате окисления ацетальдегида перуксусная кислота может накапливаться из-за нарушения температурного режима процесса, неравномерной подачи катализаторного раствора в колонну или из-за несоответствия состава этого раствора установленной рецептуре. В кислородопроводе могут образоваться взрывоопасные концентрации парогазовой смеси, попадающие из окислительной колонны. Создание такой концентрации происходит тогда, когда кислород подается под давлением менее 2 атм.

Взрывоопасная концентрация может образоваться и в свободном пространстве окислительной колонны в результате уменьшения подачи азота или прекращения подачи.

В результате появления неплотностей, особенно во фланцевых соединениях частей аппаратуры, парогазовая смесь или жидкая фаза будет выходить в производственное помещение и в смеси с воздухом образовывать взрывоопасные смеси.

Неплотности могут появиться в результате коррозионного действия реакционной массы на материал стенок аппаратуры, а также в результате повышения давления, возникающего при уменьшении сечения трубопроводов или их закупорке. Уменьшение сечения трубопроводов или их закупорка могут иметь место в результате отложений продуктов окисления или кристаллизации уксусной кислоты (температура замерзания ее равна 16,5°С), которая вызывается усиленным охлаждением того участка трубопровода, в котором нарушена теплоизоляция.

Чтобы обеспечить пожарную безопасность процесса окисления ацетальдегида, необходимо строго соблюдать температурный режим работы окислительной колонны, установленный технологической картой, и не допускать повышения температуры (выше 65—75°С).

Необходимо вести постоянный контроль за смешением ацетальдегидно-катализаторной шихты и подачей ее в окислительную колонну, за подачей кислорода и азота, за составом катализаторного раствора (3,5%-ного ацетата марганца в 75%-ной уксусной кислоте).

На линии подачи технического кислорода в окислительную колонну необходимо требовать установки обратных клапанов, препятствующих попаданию парогазовой смеси в кислородопроводы.

Следует предусматривать автоматическое отключение подачи продукта в колонну одновременно с прекращением подачи азота или с уменьшением его подачи.

ЛИТЕРАТУРА

Вольфкович С. И. и др. Общая химическая технология, т. II. Госхимиздат, 1959.

Демидов П. Г. Горение и свойства горючих веществ. М., Изд. МХХ РСФСР, 1963.

Баратов А. Н., Годжелло М. Г. Пожарная опасность производств, применяющих жидкости и газы. М., Изд. МХХ РСФСР, 1961.

Батурин В. В. Вентиляция. Госстройиздат, 1959.

А. С. ФЕСЕНКО,
руководитель работы инж. А. Н. САВУШКИНА

ПОЖАРНАЯ ПРОФИЛАКТИКА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФОРМАЛЬДЕГИДА

Среди производства синтетических смол и пластмасс значительное место отводится получению пластмассы и синтетических смол на основе формальдегида.

В настоящее время в промышленности формальдегид получается, главным образом, методом каталитического окисления, метилового спирта (метанола) под разрежением или под небольшим избыточным давлением (0,5—0,7 атм). Технологическая схема производства при разрежении показана на рис. 14.

Метиловый спирт (метанол) центробежными насосами накачивается со склада в мерник 1, где разбавляется умягченной водой до концентрации $\frac{\text{вода}}{\text{метанол}} = \frac{70\%}{30\%}$ с целью создания стандартных условий для каталитического окисления. Водно-метанольная смесь самотеком поступает через фильтры 2 и подогреватель 3 в спиртоиспаритель 4, снабженный барботером для воздуха.

Спирт в спиртоиспарителе поддерживается все время на одинаковом уровне ($h=800$ мм) путем подачи его в количестве 1170—1440 кг/ч на 1500 м³/ч воздуха.

Спиртовоздушная смесь образуется путем барботажа воздуха через слой спирта ($h=800$ мм). Воздух предварительно очищается на воздухоочистке и подается в спиртоиспаритель к барботеру воздуходувкой.

Спирт в спиртоиспарителе испаряется при разрежении равном 140 мм рт. ст. и температуре 45—48°С в токе предварительного очищения воздуха. Температура в спиртоиспарителе 4 поддерживается путем регулирования количества горячей воды, рециркулирующей через контактный аппарат 6.

Образующаяся в спиртоиспарителе спиртовоздушная смесь дополнительно подогревается в подогревателе 5 до температуры реакции и поступает в контактный аппарат 6 из красной меди.

Контактная масса (катализатор) представляет собой металлическое серебро, нанесенное на пемзу в количестве 35—40%.

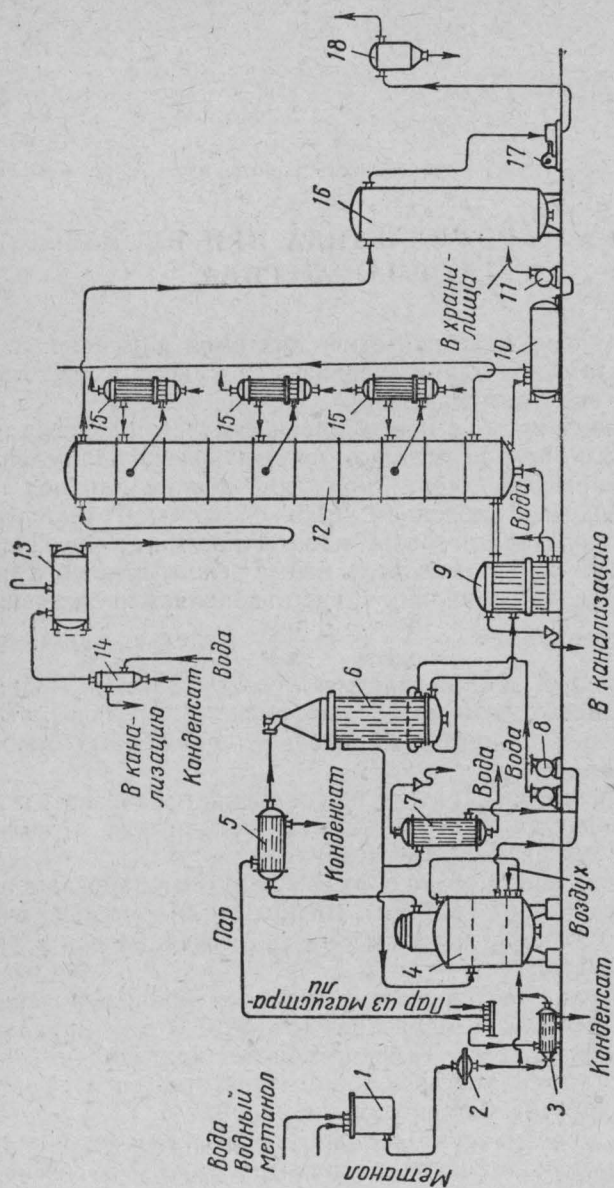
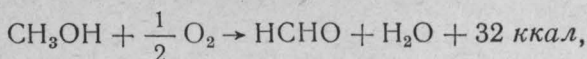


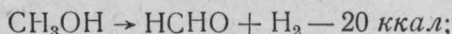
Рис. 14. Принципиальная схема получения формальдегида

В контактном аппарате проходят следующие реакции:

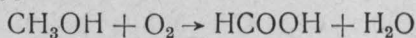
1) окисление метилового спирта



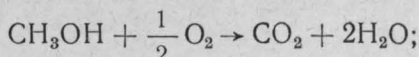
с одновременным его дегидрированием



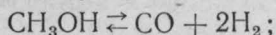
2) более глубокое окисление метилового спирта с частичным образованием муравьиной кислоты



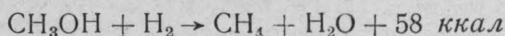
и двуокиси углерода



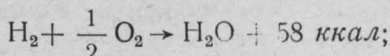
3) частичное дегидрирование спирта с образованием СО



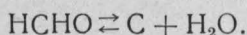
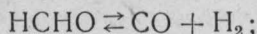
4) водород, выделившийся в результате реакций (1) и (3) частично восстанавливает метиловый спирт до метана



и частично окисляется кислородом с образованием воды



5) под действием высокой температуры может происходить частичное разложение формальдегида по реакциям



Образующиеся контактные газы имеют следующий состав (в % по объему): формальдегид — 20,8; пары воды — 15,6; пары спирта и продуктов побочных реакций — 13,2; неконденсирующиеся газы — 50,4; в том числе: CO_2 — $1,5 \div 2$; CO — $0,1 \div 0,15$; CH_4 — $0,15 \div 0,5$; H_2 — $9 \div 11$; N_2 — $36 \div 38$; прочие — 0,05.

Температура в контактном аппарате поддерживается в пределах 650—750°С; разрежение — в пределах 120—140 мм рт. ст.

Образующиеся в контактном аппарате пары и газы с температурой 500—550°С проходят подконтактный холодильник, в котором охлаждаются до 110—120°С водой, циркулирующей через спиртоиспаритель.

Газы из подконтактного холодильника проходят барботажно-циркуляционный холодильник 9, охлаждаются до температуры 40°С и поступают в поглотительную систему, состоящую из скруббера 12 и холодильников 15.

Контактные газы барботируют через слой жидкости в межтрубном пространстве холодильника 9, и большая часть формаль-

дегида и метилового спирта поглощается жидкостью, в результате укрепляется формалин, стекающий из скруббера 12. Скруббер 12 тарельчатого типа орошают конденсатом из напорной коробки 13. Орошение регулируют таким образом, чтобы обеспечить содержание формальдегида (37—40%) в формалине.

Абсорбция проходит в скруббере 12, в котором газы поднимаются снизу вверх и орошаются конденсатом. Формалин, накапливающийся в сборнике 10, из него центробежным насосом направляется в хранилище или в железнодорожные цистерны.

Неконденсирующиеся газы, не поглощенные в скруббере, через рессивер 16 и вакуум-насос 17 выбрасываются через маслоотделитель 18 в атмосферу. Отходящие газы выходят в следующем составе (не более, в %): CO_2 — 5; CO — 1; O_2 — 1; CH_4 — 1; H_2 — 16—23.

Пожарная опасность производства формалина определяется физико-химическими и пожароопасными свойствами веществ, обращающихся в производстве.

Как видно из схемы технологического процесса, при производстве формальдегида применяют спирт метиловый (метанол) CH_3OH . Это бесцветная ЛВЖ, удельный вес ее $0,791 \text{ г/см}^3$, в воде растворяется в любых отношениях, $t_{\text{кип}} = 64,7^\circ \text{C}$; $t_{\text{плав}} = -97,8^\circ \text{C}$; $t_{\text{всп}} = 7^\circ \text{C}$; $t_{\text{св}} = 400^\circ \text{C}$; теплотворная способность — 7500 ккал/кг . С воздухом образует взрывоопасные смеси: НПВ=5,5% (НПВ=73 мг/л при $t=20^\circ \text{C}$), ВПВ=36,5% (486 мг/л), НТПВ=7°С, ВТПВ=39°С.

Пары метанола тяжелее воздуха ($D = \frac{M}{29} = \frac{32}{29} = 1,1$) и при утечках из аппаратов они находятся в нижних частях помещений, образуя местные взрывоопасные смеси.

Метиловый спирт — сильный яд. Отравления возможны при вдыхании паров, всасывании через кожу и главным образом при проникании в организм. Небольшое количество метилового спирта (20—30 г), попавшее в организм, вызывает тяжелое отравление.

Предельно допустимая концентрация паров метанола в воздухе рабочих помещений по санитарным нормам — $0,05 \text{ мг/л}$.

Формальдегид CH_2O — бесцветный газ с резким запахом, плотность по воздуху составляет $1,04 \text{ г/см}^3$. Очень легко растворяется в спиртах и в воде. С воздухом образует взрывоопасные смеси: НПВ=7% (73 мг/л); ВПВ=73% (90 мг/л); $t_{\text{всп}} = 54,5^\circ$ (НТПВ=54,5°С); (ВТПВ=93°С); $t_{\text{св}} = 430^\circ \text{C}$.

Мономерный газообразный формальдегид обладает резким запахом, при незначительных концентрациях сильно раздражает слизистые оболочки глаз и носоглотки (конъюнктивит, бронхит). При высоких концентрациях формальдегида в воздухе может произойти омертвление слизистых оболочек и гнойное воспаление легких.

Предельно допустимая концентрация в воздухе рабочих помещений по санитарным нормам — $0,001 \text{ мг/л}$.

Формалин технический — 40%-ный раствор формальдегида в воде — бесцветная жидкость с резким удушливым запахом. В качестве стабилизатора содержит от 8 до 12% метанола. Плотность паров по воздуху — $1,09 \text{ г/см}^3$. Температура вспышки формалина колеблется в пределах от 57 до 85°C . Пары формалина с воздухом образуют взрывоопасные смеси — НПВ=5%. Температура самовоспламенения формалина составляет 370°C . При выходе формалина через неплотности он, испаряясь, оставляет налет пареоформа на поверхностях аппаратов и труб. Пареоформ на воздухе разлагается с образованием формальдегида, который с воздухом образует взрывоопасные смеси — НПВ=7%, ВПВ=73%.

При производстве формальдегида применяются контактные газы в следующем составе в %: H_2 — 16—23; CO_2 — до 5; CO — до 1; O_2 — до 1; CH_4 — до 1.

Кроме того, при производстве формальдегида применяются водород ($t_{\text{св}} = 510^\circ \text{C}$), НПВ=4%, ВПВ=75%; окись углерода ($t_{\text{св}} = 610^\circ \text{C}$, НПВ=12,5%, ВПВ=75%); метан ($t_{\text{св}} = 537^\circ \text{C}$, НПВ=4,9%, ВПВ=16%).

Выхлопные газы, состоящие в основном из водорода, обладают теплотворной способностью равной 500 ккал/нм^3 .

Следовательно, производство формальдегида является пожаро-взрывоопасным, так как в технологическом процессе применяется значительное количество ЛВЖ — метилового спирта, а также при этом производстве получают взрывоопасные контактные газы, формальдегид, формалин.

Наибольшую пожарную опасность представляют спиртоиспарительное и контактное отделения.

Пожарная опасность отделения спиртоиспарителей определяется наличием в аппаратах и трубопроводах значительного количества метилового спирта (около 15 м^3).

Данные пожароопасных свойств веществ, обращающихся в производстве, и условия ведения технологических операций позволяют сделать вывод о том, что при нормальных условиях работы основных аппаратов цеха в них не может образоваться горючая среда.

Все аппараты закрыты и работают при температуре выше ВТПВ.

Взрывоопасные концентрации могут образовываться внутри аппаратов во время их пуска, остановки, а также при нарушении технологического процесса.

В период пуска аппарата метиловый спирт в нем находится при температуре окружающей среды равной $20\text{—}25^\circ \text{C}$. Эта температура лежит в интервале температурных пределов взрываемости: НТПВ= 7°C , ВТПВ= 139°C .

Образование взрывоопасной концентрации в результате нарушения технологического процесса наиболее вероятно в спиртоиспарителе при обеднении спиртовоздушной смеси. Причинами этого могут быть: снижение температуры, уменьшение концентрации метанола в водно-метанольном растворе, снижение уровня спирта в спиртоиспарителе.

Произведенными расчетами установлено, что в производственном помещении могут образовываться местные взрывоопасные концентрации, главным образом у люков для взятия проб, у фланцевых соединений, крышек и т. п. Кроме того, вероятнее всего они могут образовываться в том случае, если нарушена герметичность аппаратов у трубопроводов, если не работает вентиляция, а также если во время аварии произошел розлив жидкости.

Нарушение герметичности аппаратов и трубопроводов может быть при их механическом повреждении, износе и при образовании повышенных давлений.

Давление в аппаратах и трубопроводах может повыситься при образовании «пробок» пароформа. Чаще всего пробки образуются в трубопроводах на участке после контактного аппарата и в аппаратах поглотительной системы, если контактные газы будут переохлаждены в подконтактном холодильнике (ниже $110-120^{\circ}\text{C}$).

Характерными источниками воспламенения являются искры статического электричества и искры механического происхождения.

Воспламенение горючей среды в контактных аппаратах может происходить потому, что рабочая температура в них поддерживается до 750°C , а температура самовоспламенения паров спирта до 400°C .

Распространению огня внутри технологической системы может способствовать отсутствие огнепреградителя на газовой линии спиртоиспаритель — контактный аппарат.

В качестве основных пожарно-профилактических мероприятий для спиртоиспарительного отделения рекомендуются следующие.

Пропаривать водяным паром аппараты и трубопроводы, а также продувать их инертными или дымовыми газами перед пуском и остановкой. Полностью сливать огнеопасные жидкости из аппаратов и коммуникаций, надежно отключать их при ремонте.

Следить за герметичностью аппаратов, трубопроводов, фланцевых соединений, вентилях, задвижек и т. д.

Контролировать температуру, следить за концентрацией и уровнем спирта в спиртоиспарителе и не допускать образования в нем обедненной смеси паров метанола с воздухом.

Заземлять все аппараты и трубопроводы.

Все электрооборудование должно быть взрывозащищенного исполнения в соответствии с категорией пожароопасности помещения (2Б).

Для контроля концентрации взрывоопасной смеси в рабочем помещении должны быть установлены газоанализаторы (например, СГГ-2).

На газовой линии между спиртоиспарителем и контактным аппаратом должен быть установлен огнепреградитель с критическим диаметром $d_{кр} = 0,1$ мм.

Пожарная опасность контактного отделения обуславливается наличием в аппаратах значительного количества взрывоопасной спиртовоздушной смеси и контактных газов. Контактный аппарат состоит из верхней конусной части (собственно контактного аппарата) и «цилиндрического» подконтактного холодильника. Контактный аппарат работает под вакуумом равным 120—140 мм рт. ст., температура в зоне контактирования — 650—750° С, температура газов на выходе из аппарата — 125—130° С.

Взрывоопасные концентрации внутри контактного аппарата могут образовываться при подсосе в него воздуха. Количество подсасываемого воздуха определяется по формуле

$$V = \mu f \sqrt{\frac{2gH}{\gamma}} \cdot \frac{T}{T_0} \text{ м}^3/\text{сек},$$

где V — объем подсасываемого воздуха в $\text{м}^3/\text{сек}$;
 μ — коэффициент расхода, равный для воздуха 0,6—0,75;
 f — сечение неплотностей в м^2 ;
 H — разрежение в мм рт. ст.;
 γ — удельный вес воздуха;
 T — температура воздуха в °К.

Причиной взрыва контактного аппарата может также послужить поступление на контактную массу спиртовоздушной смеси с малым содержанием в ней паров метилового спирта (причины объединения спиртовоздушной смеси указаны для спиртоиспарительного отделения).

Взрывоопасная концентрация в помещении может образоваться по тем же причинам, которые указаны для спиртоиспарительного отделения.

Источниками воспламенения в контактном отделении являются те же, что и источники воспламенения спиртоиспарительного отделения.

Пожарно-профилактические мероприятия для контактного отделения в основном аналогичны пожарно-профилактическим мероприятиям для спиртоиспарительного отделения. Кроме того, необходимо тщательно следить за герметичностью контактного аппарата и коммуникацией. Перед пуском их в работу испытывать на герметичность (опрессовывать) в сроки и по правилам Госгортехнадзора.

Во время работы необходимо контролировать герметичность (автоматически) дифманометрами.

Не допускать поступления на контактную массу обедненной спиртовоздушной смеси, для чего автоматическими приборами контролировать температуру, следить за концентрацией и уровнем спирта. Целесообразно регулировать подачу воздуха в зависимости от температуры в спиртоиспарителе автоматическими регуляторами.

Не допускать переохлаждения контактных газов в подконтактном холодильнике во избежание закупорки трубопроводов и образования в них повышенных давлений.

Следить за герметичностью теплообменников.

Так как в контактном отделении применяются газы, НПВ которых ниже 10%, по степени пожарной опасности его следует отнести к категории А.

Контактное отделение должно быть изолировано от других отделений или оно должно размещаться на открытых площадках. Отделение абсорбции (поглотительную систему) необходимо размещать на открытой площадке.

Огнестойкость здания цеха должна быть не ниже II степени.

Все отделения цеха, за исключением воздуходувок, должны быть оборудованы механической приточно-вытяжной вентиляцией. В спиртоприемном, спиртоиспарительном отделениях должна быть предусмотрена аварийная вентиляция с кратностью воздухообмена не менее 12. Покрытие должно быть легкообрабатываемым. Как показал теоретический расчет, площадь ослабленных проемов должна быть не менее $0,1 \text{ м}^2$ на 1 м^3 объема помещения.

Важным мероприятием является резервирование работы насосов. Так как процесс получения формальдегида является процессом непрерывным, то остановка, например, метанольных насосов, охлаждающих водяные насосы, и остановка вентиляторов может привести к нарушению технологического процесса и к взрыву. Поэтому должны быть предусмотрены резервные насосы и двигатели к ним. Они должны включаться автоматически.

Пары метилового спирта, а также спирт и формальдегид являются очень токсичными, поэтому при тушении пожара необходимо соблюдать меры техники безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

Налбандян Т. А., Ениколопян Р. И. Формальдегид — материал для пластмасс. Изд. АН СССР, 1959.

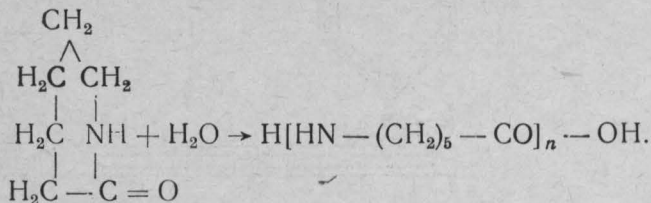
Петров Г. С., Левин А. Н. Термореактивные смолы и пластмассы. М., Госхимиздат, 1959.

Шайбер И. Химия и технология искусственных смол. М., Госхимиздат, 1959.

В. А. НЕДИЛЯ,
руководитель работы инж. А. Н. САВУШКИНА

ПОЖАРНАЯ ПРОФИЛАКТИКА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛИАМИДНЫХ СМОЛ И ПЛЕНОК

Полиамидная смола — один из новых видов химической продукции, относится к термопластическим пластикам; применяется в машиностроении, в нефтяной промышленности для изготовления ответственных деталей для бурильных машин и в других отраслях народного хозяйства. Получают ее полимеризацией циклических мономеров — лактамов, но чаще всего полимеризацией капролактама. Полимеризация идет по схеме:



Полиамидные пленки и клеи являются продуктом переработки полиамидной смолы.

Производство полиамидных смол. Сырьем для производства полиамидных смол являются капролактамы, соль АГ и СГ, дистиллированная вода. Схема технологического процесса получения полиамидной смолы показана на рис. 15.

Исходное сырье загружается в растворитель 1 и растворяется дистиллированной водой. Из растворителя раствор перекачивается очищенным азотом в сборники 2.

Сборники снабжены мешалкой и рубашкой для подогрева, в них раствор подогревается до температуры 80°С, после чего перекачивается очищенным азотом в автоклав 3.

Смола варится в автоклавах. Автоклавы оборудованы рубашкой, в которую заливается жидкий высокотемпературный органический теплоноситель — динил (он же даутерм, дифенил). Далее масса равномерно нагревается в течение 4—5 ч до 260°С. Давление в автоклаве поддерживается равным 15 атм за счет испарения воды. По мере испарения воды и повышения температуры увеличивается вязкость массы.

По достижении температуры поликонденсации (для разных смол она различна, но близка к 260°C) давление снижается до атмосферного, после чего расплав выдерживается при постоянной температуре в течение 3—4 ч.

Так как температура автоклава после выгрузки очередной партии колеблется в пределах $230\text{—}260^{\circ}\text{C}$, то поступающий ра-

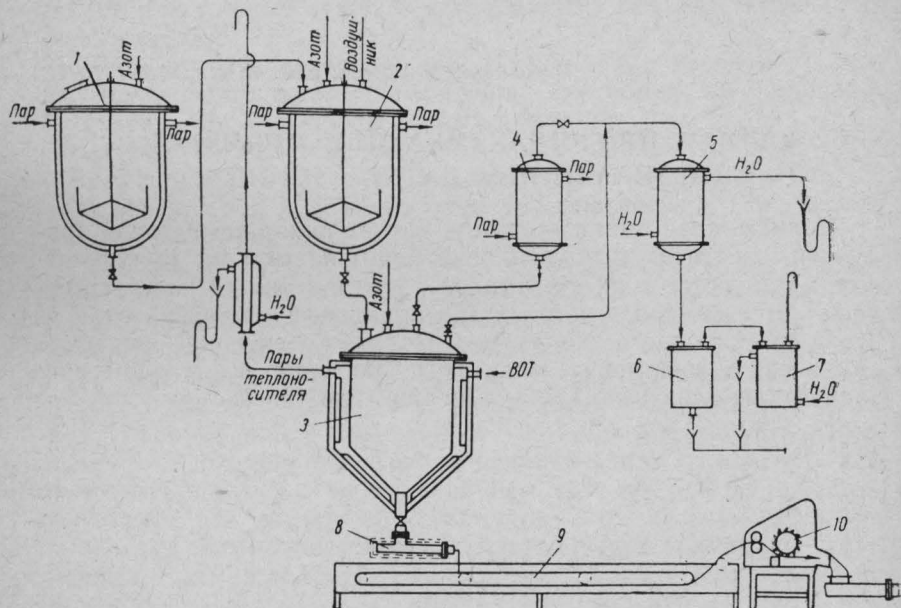


Рис. 15. Принципиальная схема получения полиамидных смол

створ вскипает и образующиеся водяные пары совместно с парами гексаметилендиамина сбрасываются в дефлегматор 4, где $t=105\text{—}110^{\circ}$. При этой температуре пары гексаметилендиамина конденсируются и стекают в автоклав 3, а пары воды из дефлегматора поступают в холодильник 5, конденсируются в нем и через буферный бачок 6 поступают в гидрозатвор 7. Конденсат и охлаждающая вода из гидрозатвора сбрасываются в канализацию.

Выгрузка смолы из автоклава через фильеру производится азотом при давлении 2 атм. Смола продавливается через фильтр 8 и сквозь шесть отверстий фильеры в виде горячих лент поступает в ванну 9 с водой, охлаждается в ней, затем ленты идут на дробильный станок 10, где измельчаются в гранулы.

Производство полиамидной пленки ПК-4. Основное сырье для получения пленки — капролактam, который поступает на производство в виде расплава в хранилище 1 (рис. 16).

В хранилище производится смешение капролактама с пластификатором — изододецимфенолом. Пластификатор поступает со склада в сборник 2, откуда перекачивается азотом через фильтр 3 в мерник 4.

Расплав капролактама непрерывно подается в полимеризационную колонну 7 через фильтр 5 с помощью шестеренчатого насоса 6.

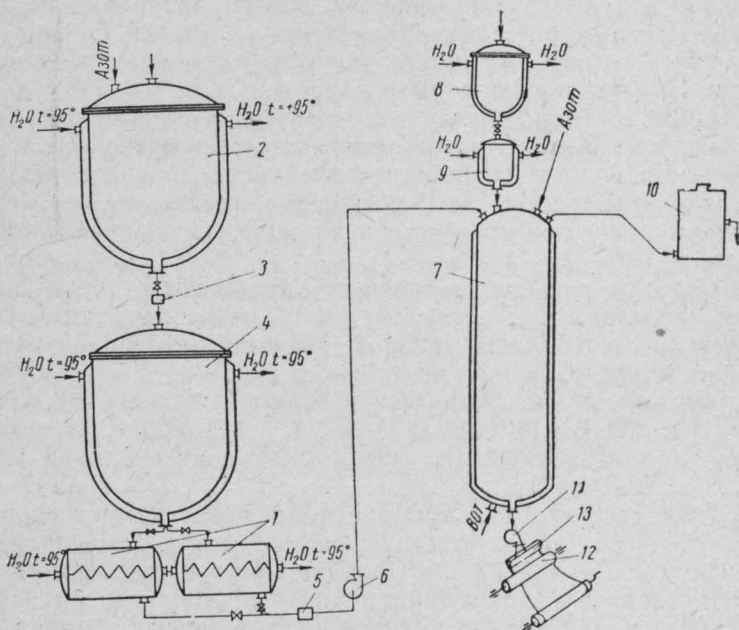


Рис. 16. Принципиальная схема получения пленки ПК-4

В качестве катализатора применяется соль АГ (вещество, получаемое из гексаметилендиамина и адипиновой кислоты), находящаяся в сборнике 8 и мернике 9. Полимеризационная колонна через гидрозатвор 10 соединена с атмосферой.

Полимеризация капролактама производится при $t=265—270^{\circ}\text{C}$ в полимеризационной колонне, обогреваемой через рубашку парами высокотемпературного органического теплоносителя (ВОТ).

Поликапролактam из колонны забирается шестеренчатым насосом 11 и подается через фильеру 13 на отливочный барабан 12, который охлаждается водой. С барабана пленка заправляется в клуппы растяжной машины и с растяжной машины наматывается на бобины.

Пожарная опасность цеха определяется пожароопасными свойствами сырья (соли АГ и СГ, капролактam), обращающего-

ся в производстве, теплоносителя (дифенильная смола) и готовой продукции (полиамидная смола).

Соль АГ и соль СГ (вещества, получаемые из гексаметилендиамина и адипиновой кислоты) представляют собой трудновоспламеняемые белые или слабоокрашенные кристаллические вещества.

Капролактam — белое кристаллическое вещество. По данным ЦНИИПО, температура вспышки паров капролактама равна 260°C , температура самовоспламенения равна 480°C . Пары капролактама в смеси с воздухом образуют взрывоопасные концентрации. Нижний предел взрыва равен $1,84\%$.

Данные о верхнем пределе взрыва еще точно не установлены. Однако, учитывая, что капролактam перед загрузкой его в автоклав растворяют в дистиллированной воде, можно сделать вывод, что пары капролактама, выходящие из автоклава, будут увлажнены и не смогут образовывать взрывоопасную концентрацию.

Серьезную пожарную опасность представляет система обогрева автоклава, осуществляемая высокотемпературным органическим теплоносителем, которым является дифенильная смесь (динил, даутерм).

Динил является органической горючей жидкостью. НТПВ = 115°C ; ВТПВ = 130°C ; $t_{\text{всп}} = 102^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{св}} = 695^{\circ}\text{C}$. С воздухом пары динила образуют взрывоопасные концентрации: НПВ = $1,35\%$; ВПВ = $2,5\%$.

Существенную пожарную опасность представляют «пробки», образующиеся при застывании динила в линии. Температура застывания его равна 12°C . «Пробки» могут привести к разрыву трубопровода с выходом динила в объем помещения. Во избежание образования «пробок» динил целесообразно заменить другим теплоносителем — дитолилметаном $(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4)_2\text{CH}_2$. Его преимущества состоят в том, что он как теплоноситель сохраняет все свойства динила, но он менее опасен в пожарном отношении (температура застывания равна минус 30°C , температура вспышки — не ниже 120°C) и, кроме того, в три раза экономичнее динила.

Полиамидная смола — твердый роговидный продукт светло-желтого цвета.

Автором произведены опыты по определению температуры вспышки и температуры самовоспламенения смолы. Опыты показали, что $t_{\text{всп}} = 278^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{св}} = 292^{\circ}\text{C}$.

При температуре самовоспламенения смола горит интенсивно и сопровождается вскипанием.

Данные о пожароопасных свойствах веществ, обращающихся в этом производстве, и режимы проведения технологического процесса позволяют сделать вывод о том, что при нормальных условиях работы основных аппаратов в них не может образовываться горючая смесь.

Пожарную опасность также представляют капролактамы и динил. Однако в основных аппаратах (растворителе сырья, сборнике и автоклаве) капролактамы находятся в виде водного раствора и не представляют пожарной опасности. Во всех этих аппаратах отсутствует паровоздушный объем. Кроме того, из аппаратов продукт выгружается под давлением азота.

При получении пленки ПК-4 основные аппараты не имеют паровоздушного объема, кроме того, полимеризационная колонка работает под давлением азота, дивинильная смесь в рубашках автоклава и полимеризационной колонны находится под избыточным давлением — все это исключает возможность образования горючей среды в технологических аппаратах производства полиамидных смол и пленки ПК-4 при нормальных условиях работы.

Горючая среда в помещении может образовываться только при неплотностях, повреждениях и авариях.

Причиной повреждения аппаратов и трубопроводов могут быть нарушение температурного режима в процессе варки смолы, которое может привести к повышению давления теплоносителя в системе, образованию неплотностей и выходу теплоносителя в помещение и его загоранию при контакте с электронагревательными элементами.

Кроме того, повышение температуры в реакторе может привести к вскипанию и вспучиванию расплавленной массы смолы, а это, в свою очередь, приведет к заполнению расплавом смолы коммуникационных трубопроводов и предохранительных устройств, к повышению давления в реакторе и его разрыву.

Для того чтобы предупредить повышение давления в обогревательной системе, в ней необходимо устанавливать электроконтактный манометр типа ЭКМ, который сигнализирует предельное повышение давления паров ВОТа и отключает весь электрообогрев.

На рубашках автоклавов необходимо устанавливать предохранительные клапаны и конденсаторы для конденсации паров динила, которые могут проходить через предохранительный клапан.

Причиной повреждения трубопроводов могут быть «пробки», образующиеся при застывании даутерма (температура застывания динила равна 12°С). Чтобы предупредить образование «пробок», автор статьи предлагает заменить динил другим теплоносителем — диталилметаном $(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4)_2\text{CH}_2$. Диталилметан, сохраняя все свойства динила, имеет температуру застывания минус 30°С и в три раза экономичнее динила.

Пожарно-профилактические мероприятия как при производстве полиамидных смол, так и при производстве пленки ПК-4 полностью совпадают, но при производстве пленки в динильной линии предельным должно быть давление равное 0,6 атм.

Кроме того, в процессе полимеризации из колонны выделяются пары капролактама, которые могут быть причиной образования горючей среды в помещении.

Пары капролактама отсасываются вытяжной вентиляцией и направляются в уловитель паров. Однако следует иметь в виду, что при движении паров капролактама по воздуховодам от колонны к уловителю паров на стенках воздуховодов частично отлагаются сконденсировавшиеся пары капролактама в виде белого кристаллического налета. Он может легко загореться и быть причиной распространения огня.

Для профилактики воздуховоды необходимо не реже двух раз в месяц очищать от отложений. Очищать рекомендуется пуском в них пара. Пар расплавляет налет и он стекает в емкость.

Отделение полиамидных смол и пленки ПК-4 по степени пожарной опасности следует отнести к категории В, по ПУЭ-VII-4-3 — к классу П-1.

Тушить смолу и пленку можно распыленными струями воды, а также воздушно-механической пеной.

ЛИТЕРАТУРА

- Архангельский Б. А. Пластические массы. Л., Судпромгиз, 1961.
Вольфович С. И., Роговин З. А. и др. Общая химическая технология. Ч. II. Госхимиздат, 1959.
Петров Г. С., Левин А. Н. Термореактивные смолы и пластические массы. Госхимиздат, 1959.
-

В. С. САУШЕВ, Н. М. БЫЧКОВА,
Н. Г. МАРКОВСКИЙ, М. С. ХОМЕНКО

ТЕМПЕРАТУРА ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЕЩЕСТВ И ИХ ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ

Высокомолекулярные твердые вещества при нагревании изменяют свои физические и химические свойства. Одни вещества от нагревания плавятся и испаряются, другие — разлагаются. Продукты испарения и разложения при определенной концентрации в воздухе могут загораться от высокотемпературного источника воспламенения.

Чтобы правильно оценить пожарную опасность высокомолекулярных твердых веществ, необходимо знать их температуру воспламенения и теплоту сгорания.

На основе этих данных можно правильно проводить пожарно-профилактические мероприятия на производствах, связанных с применением высокомолекулярных веществ.

В технической литературе почти отсутствуют данные о теплоте сгорания и температуре воспламенения высокомолекулярных веществ. В связи с этим авторы предлагают прибор для определения температуры воспламенения высокомолекулярных веществ (рис. 17).

Цилиндрическая печь состоит из кожуха 1, изготовленного из стальной жести, керамической обкладки 2, асбестовой изоляции 3, электронагревательной спирали 4, стального стакана 5 с тиглем 6 из стали, песчаной бани 7, крышки 8 с двумя отверстиями, термодатчики 9 (или дифференциальной термодатчики) с милливольтметром.

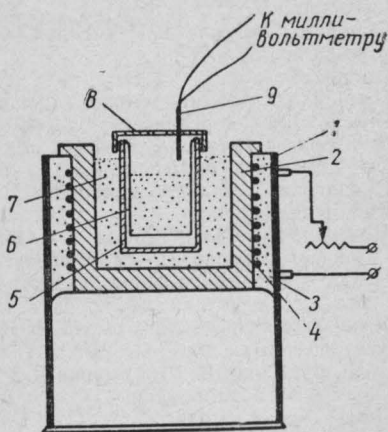


Рис. 17. Схема прибора для определения температуры воспламенения высокомолекулярных веществ

Источником зажигания служила искра, возникающая между изолированными электродами. Эти электроды подключались к высоковольтной катушке индуктора. Индукционная катушка питалась от аккумулятора.

Проводили опыт в следующем порядке. В электрическую сеть включали печь и нагревали ее на 50°C выше предполагаемой температуры воспламенения испытуемого вещества. В стальной стакан опускали тигель с испытываемым веществом и закрывали его крышкой. В одно отверстие крышки вставляли термометр, горячий спай которой должен находиться над испытуемым веществом. Когда вещество нагревали до необходимой температуры, печь отключали от сети и охлаждали вещество вместе с печью. При охлаждении вещества зажигали продукты разложения, выходящие из второго отверстия крышки, с помощью

Таблица 11

Наименование веществ	Температура воспламенения в $^{\circ}\text{C}$
Полистирол гранулированный	265
Полистирол блочный высокопрочный марки № 14	265
Полистирол эмульсионный	280
Полистирол черный высокопрочный (партия ПКН-65)	245
Полистирол желтый блочный (партия 033)	275
Органическое стекло	230
Сополимер марки МСН (основа — этилен и органическое стекло)	180
Поливинилхлорид	210
Поливинилхлоридная смола (крошка)	280
Смола кремнийорганическая (К-40)	330
Винилфлекс (метилаль этилаль поливинилового спирта)	360
Сополимер черный (партия 33)	275
Полиэтилен нестабилизированный (партия 1473/59)	310
Поливинилбутират	200
Мочевино-формальдегидная смола (наполнитель — сульфат-целлюлоза) — аминопласт	260—280
Мелалит (меламино-формальдегидная смола), наполнитель — сульфитная целлюлоза	190—205
Фенолформальдегидная смола К-18-2	320
Крезолоформальдегидная смола (наполнитель — древесная мука, партия 2701, марка К-2-20-21)	150
Лавсан (гранулированный)	310
Полиамидная смола	350
Полиамидная смола марки № 54 ТУ М-318-56	280
Полиамидная смола марки № 68 (партия 129)	340
Смола энант	350
Полиформальдегид ПФА (ацетилованный)	220
Аминоэнантовая кислота	220
Адипиновая кислота	215
Казеин	235
Церезин (оренбургский)	340
Альбумин	225

искры, которую подносили ко второму отверстию через каждые 2—5°С. Вещество поджигают до тех пор, пока время горения его продуктов разложения будет менее 5 сек.

За температуру воспламенения принимают минимальную температуру вещества, при которой его продукты разложения загораются от искры и горят не менее 5 сек.

Результаты опытов по определению температуры воспламенения высокомолекулярных соединений приведены в табл. 11.

Удельная теплота сгорания высокомолекулярных веществ определялась путем сжигания их в калориметрической бомбе СКБ-52 по существующей методике.

Результаты опытов по определению удельной теплоты сгорания высокомолекулярных веществ приведены в табл. 12. За единицу удельной теплоты сгорания в системе СИ принят дж/кг.

Таблица 12

Наименование веществ	Удельная теплота сгорания в дж/кг
Полистирол гранулированный	41145,8·10 ³
Полистирол блочный высокопрочный марки № 14	41388,6·10 ³
Полистирол эмульсионный	41134,5·10 ³
Полистирол черный высокопрочный (партия ПКН-65)	41405,8·10 ³
Полистирол желтый блочный (партия 033)	41379,8·10 ³
Органическое стекло	26796,6·10 ³
Сополимер марки МСН (основа — этилен и органическое стекло)	33549,7·10 ³
Поливинилхлорид	21982,8·10 ³
Поливинилхлоридная смола (крошка)	18873,3·10 ³
Смола кремнийорганическая (К-40)	17261,8·10 ³
Винифлекс (метилэтилальполивинилового спирта)	27051,3·10 ³
Сополимер черный (партия 33)	38484,2·10 ³
Полиэтилен нестабилизированный (партия 1473—59)	44857,8·10 ³
Смесь полиэтилена с полиизобутиленом	47837,1·10 ³
Поливинилбутират	30917,4·10 ³
Мочевина-формальдегидная смола (наполнитель — сульфат-целлюлоза) — аминопласт	19589,2·10 ³
Меламит (меламино-формальдегидная смола), наполнитель сульфитная целлюлоза	16579,3·10 ³
Феноло-формальдегидная смола (наполнитель асбест) марки К-18-58	24507,4·10 ³
Феноло-формальдегидная смола К-18-2	25189,9·10 ³
Крезолоформальдегидная смола (наполнитель древесная мука партии 2701, марки К-2-20-21)	26155,8·10 ³
Лавсан (гранулированный)	23751,3·10 ³
Полиамидная смола марки № 5, ТУ М-318-56	31362,5·10 ³
Полиамидная смола марки № 68 (партия 129)	48770,4·10 ³
Полиформальдегид ПФА (ацетилованный)	17548,6·10 ³
Аминоэнантовая кислота	29225,1·10 ³
Стеклоткань, пропитанная смолой	7065,6·10 ³
Адипиновая кислота	18986,3·10 ³
Волокнит (фенолоальдегидная смола и органический длинноволокнистый наполнитель)	21261,8·10 ³

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 6712—53. Метод определения теплоты сгорания. Стандартгиз, 1961.
Годжелло М. Г. и др. Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости.
Справочник. М., Изд. МХХ РСФСР, 1956.
Таубкин С. И., Баратов А. Н., Никитина Н. С. Справочник
пожароопасности твердых веществ и материалов. М., Изд. МХХ РСФСР, 1961.
-

П. Г. ДЕМИДОВ, Н. М. БЫЧКОВА,
А. М. СТЕПАНОВ, Ю. П. УХАНЕВ

ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ ГОРЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕЕ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

На пожарах основным горючим веществом является, как правило, древесина (конструктивные элементы зданий, мебель, оборудование, доски и т. д.). При горении древесина разлагается в поверхностном слое, поэтому скорость ее горения во многом зависит от ее удельной поверхности, т. е. от отношения ее поверхности к единице ее объема или к единице ее веса. При этом чем выше удельная поверхность древесины, тем больше весовая скорость ее горения. Эта зависимость исследована в лабораторных условиях ранее и представлена в виде графика (рис. 18). Образцы древесины размером $4 \times 4 \times 10$ см сжигались при температуре $15-20^\circ\text{C}$. Данные, полученные при проведении опыта, не отражают действительной скорости горения древесины на пожарах.

На пожарах древесина горит при температуре $700-900^\circ\text{C}$ в зависимости от стадии пожара и установившегося газообмена. Учитывая это, были проведены лабораторные исследования скорости горения древесины в зависимости от ее удельной поверхности и температуры окружающей среды, в условиях, близких к температуре реальных пожаров.

Исследования проводили в два этапа. На первом этапе определяли только зависимость скорости горения древесины от температуры окружающей среды, а на втором определяли скорость горения древесины в зависимости от ее удельной поверхности и температуры окружающей среды.

На первом этапе были использованы образцы древесины (сосны) размером $4 \times 4 \times 10$ см (размер образцов определялся размерами тигельной печи). Их взвешивали на физико-технических весах с точностью до 0,01 г. Для опытов подбирали образцы со средним весом около 60 г. Влажность древесины была 8—10%. После взвешивания устанавливали размер образцов с точностью до 0,1 мм. Образцы сжигали в тигельной печи с внутренним объемом 0,75 л.

Вся установка для определения скорости горения состояла (рис. 19, а) из технических весов 1, тигельной печи 2 и термопары 3.

Скорость горения определяли при температурах 600, 500, 400 и 300° С. Для этого тигельную печь разогревали до заданной температуры при открытой крышке и в нее опускали предварительно взвешенный и измеренный образец древесины.

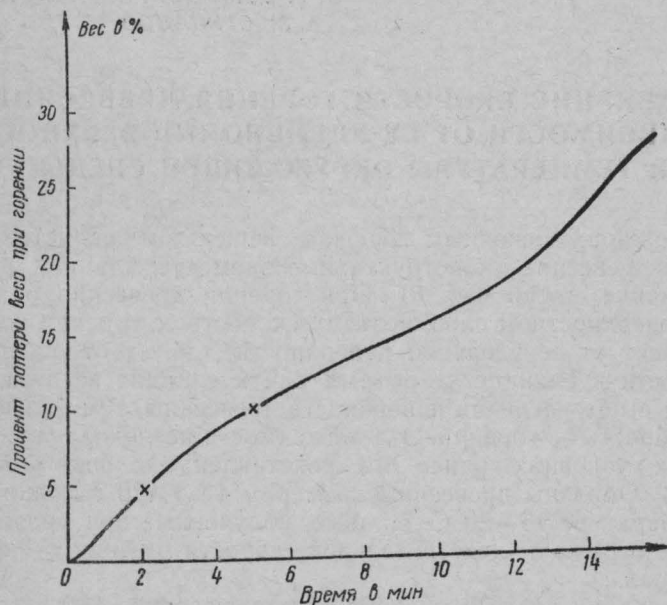


Рис. 18. Характер изменения потери веса древесины при горении в зависимости от времени

Образец, подвешенный на штативе, располагали в середине печи так, чтобы он не соприкасался со стенками печи, и верхний срез образца был на расстоянии 1 см от верха печи. Подвешенный образец древесины поджигали ватой, смоченной бензином. С момента воспламенения образца включали секундомер и фиксировали изменение веса образца. Запись времени горения образца производили после сгорания каждых 5 г древесины. После сгорания 30 г древесины, т. е. после потери 50% веса образца, опыт прекращали, так как на поверхности образца образовывался слой угля и скорость горения древесины постепенно уменьшалась. Интерес же представляли максимальные скорости горения древесины при данной температуре.

Второй этап исследований проводили так же, как и первый, но в другой печи — муфельной. В ней можно было сжигать образцы по размеру большие, чем в тигельной печи и при более

высоких температурах (рис. 19, б). При этом проверяли, не влияют ли стенки печи и некоторое изменение воздухообмена на скорость горения древесины.

В этой связи опыты первоначально проводили при температуре окружающей среды 500°C , а затем уже при температуре 700 и 900°C .

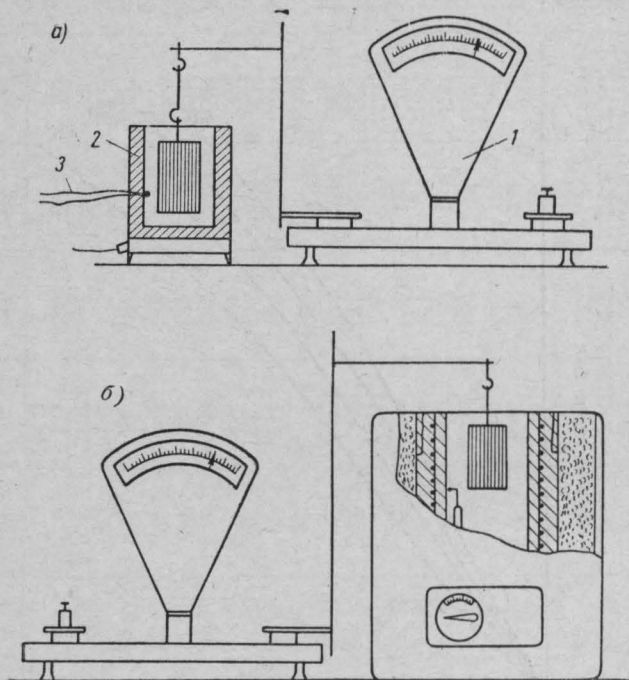


Рис. 19. Схема установки для определения скорости горения древесины

а — в тигельной печи; б — в муфельной печи

Удельную поверхность древесины изменяли сжиганием образцов различных размеров, а именно: $3 \times 3 \times 10 \text{ см}$; $4 \times 4 \times 10 \text{ см}$; $4 \times 8 \times 10 \text{ см}$.

Результаты исследований первого этапа сведены в табл. 13.

Сравнивая данные времени горения образцов древесины, можно видеть, что они отличаются друг от друга незначительно. По результатам опытов построены графики изменения процента потери веса образцов в процессе их горения при принятых в опытах температурах (рис. 20). Сравнивая график на рис. 18 с графиком на рис. 20, можно видеть, что скорость горения древесины сильно увеличивается с ростом температуры окружающей среды.

Кроме того, начиная с температуры равной 400°C и при повышении ее на каждые 100°C потеря в весе составляет примерно одинаковый процент (при одинаковом времени горения). Это свидетельствует о том, что скорость горения изменяется не в связи с изменением скорости химической реакции разложения древесины, а в связи со скоростью передачи тепла древесине через слой угля.

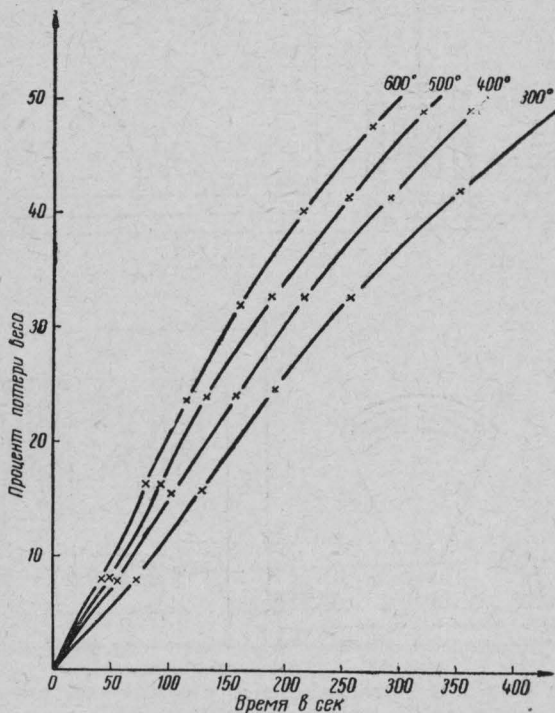


Рис. 20. Характер изменения потери веса древесины при горении в зависимости от температуры окружающей среды

Графики (см. рис. 20) показывают также, что скорость горения древесины уменьшается с увеличением времени горения. Это происходит в результате увеличения слоя угля по мере горения древесины. Наибольшая скорость горения образцов отмечается в начальный период горения в течение 100—150 сек. При этом чем выше температура окружающей среды, тем меньше отрезок прямой. Это говорит о том, что с повышением температуры увеличивается скорость горения древесины и скорость образования слоя угля, который препятствует передаче тепла к разлагающемуся слою древесины. Поэтому с увеличением тем-

Таблица 13

Темпе- ратура печи в °С	Размеры образцов в см			Вес образца в г	Поверх- ность образца в см ²	Время горения древесины в сек						Скорость горения образца в кг/м ² ·ч
						Вес образцов древесины в г						
	a	b	c			5	10	15	20	25	30	
300	3,78	3,46	9,8	60,21	168,3	74	127	180	253	331	443	15,85
	3,895	3,6	9,8	59,82	176,44	74	135	191	271	359	450	15,2
	3,73	3,6	9,14	59,78	160,92	80	137	203	268	354	461	15,3
	—	—	—	59,93	168	76	133	191,3	268	354	461	15,45
400	3,85	3,43	9,92	60,65	170,9	58	108	157	216	289	367	19,5
	3,88	3,66	9,94	59,95	178,4	54	101	157	226	294	341	20,2
	3,91	3,62	9,95	60	178,14	51	98	157	222	294	349	20,3
	3,79	3,53	9,95	60,2	172,42	60	102	153	209	278	358	20,5
	3,86	3,6	10	60,85	176,99	62	113	170	229	305	391	17,9
	3,72	3,52	9,25	60,86	160,08	62	111	169	232	304	390	20,1
	—	—	—	60,4	173	58	105,5	160,7	222	294,7	369,7	19,5
	3,55	3,84	10,1	60,4	176,51	42	83	124	170	222	283	26,25
	3,85	3,81	9,83	60,8	179,93	58	94	143	191	255	322	22,2
	3,47	3,86	9,86	60,9	171,33	53	94	137	190	252	318	22,8
500	3,64	3,91	10,2	59,8	182,49	55	94	139	194	260	329	20,4
	3,71	3,9	9,94	62,2	180,24	56	94	141	204	264	321	21,3
	3,85	3,9	9,84	63	182,56	52	90	136	187	247	316	21,8
	3,9	4	9,9	63	187,62	54	95	139	196	256	321	20,4
	3,45	3,8	9,93	60,5	170,2	50	99	136	183	245	322	20,9
	3,54	3,85	9,89	60,4	173,44	45	99	123	175	235	313	25
	3,81	3,85	9,83	60,8	179,93	58	94	143	191	255	322	21,6
	3,61	3,87	10	60,73	177,54	50	94	146	199	267	336	21,4
	3,6	3,95	8,75	60,87	160,54	46	89	132	187	249	322	25,2
	—	—	—	61,1	176,86	52	94,3	137	190	252	324	22,42
	3,65	3,77	9,97	64,7	175,47	46	81	114	156	206	266	26,6
	3,68	3,93	9,39	65,8	180,03	36	76	116	163	214	278	26
	3,66	3,89	9,94	58,75	178,43	37	73	119	164	228	292	26,4
	—	—	—	62,4	176,5	42	77	116	163	218	292	25,8

пературы окружающей среды время горения древесины с максимальной скоростью сокращается.

Полученные данные (табл. 13) позволяют вычислять удельную скорость горения древесины при различной температуре окружающей среды.

Если потери веса образцов древесины при одинаковом времени горения отнести к их полной поверхности, то получим удельную скорость горения древесины

$$G = \frac{P \cdot 36\,000}{F\tau} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч},$$

где G — удельная скорость горения в $\text{кг/м}^2 \cdot \text{ч}$;

P — вес сгоревшей древесины в кг ;

F — полная поверхность образца древесины в м^2 ;

τ — время горения в ч .

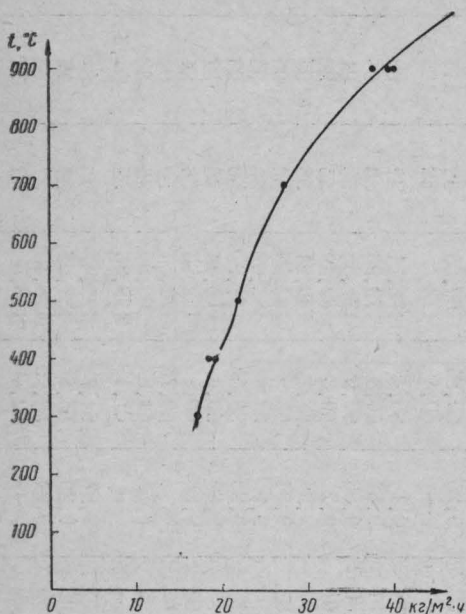
За одинаковое время горения всех образцов древесины следует принять время, когда скорость горения ее максимальная.

При различных температурах окружающей среды это время можно принять равным 100 сек. Вес древесины P , относящийся ко времени горения равному 100 сек, находят путем интерполяции по данным таблицы 13.

По этим данным построен график изменения максимальной удельной скорости горения древесины от температуры окружающей среды (рис. 21).

Как видно из графика, при увеличении температуры окружающей среды с 300°C до 600°C максимальная удельная скорость горения древесины повысилась на $10,35 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$, т. е. в среднем на каждые 100°C — $3,45 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$.

Рис. 21. Изменение максимальной удельной скорости горения древесины в зависимости от температуры окружающей среды



Чтобы видеть как изменяется удельная скорость горения при температуре выше 600°C на разных размерах образцов, были поставлены опыты по сжиганию образцов дре-

Температура печи в °С	Размеры образца в см			Вес образца в г	Площадь поверхности образца в см²	Время горения древесины в сек												Скорость го- рения обра- зца в кг/м²·ч
						Вес образца древесины в г												
	a	b	c			2	4	6	8	10	12	14	16	18	19	20	21	
Образцы 3×3×10 см																		
500	2,85	3,05	10,07	37,15	136,18	—	36	—	82	—	144	—	228	—	—	—	23	
	2,9	2,99	10,07	37,4	135,95	—	46	—	95	—	164	—	240	—	—	—	21,8	
	2,95	3,05	10,6	37,65	138,72	—	44	—	95	—	170	—	255	—	—	—	21,6	
																	22,1	
700	2,9	2,99	10,1	37,4	136,32	—	29	—	66	—	116	—	175	—	—	—	28,4	
	2,96	2,98	10,08	37,7	137,39	—	30	—	68	—	116	—	176	—	—	—	28,2	
																	28,3	
																	40,07	
900	2,92	3,05	10,07	38,05	138,03	—	12	—	33	—	64	—	104	—	—	—	39,8	
	2,84	3,01	11	38,35	145	—	11	—	32	—	61	—	99	—	—	—	39,9	
Образцы 4×4×10 см																		
500	3,93	4	10,4	69,1	199,38	21	37	52	69	85	—	—	—	—	—	—	19,9	
	3,85	3,9	13	69,85	230,27	31	47	64	80	96	—	—	—	—	—	—	16	
700	3,78	3,9	10,3	69,1	187,69	18	29	39	53	67	83	99	—	—	—	—	27,1	
	3,71	3,9	10,8	70,1	193,3	17	27	38	48	60	72	85	—	—	—	—	28	
900	3,76	3,93	9,98	69,33	183,04	12	21	29	40	51	63	75	88	103	111	—	35	
	3,72	3,9	10,1	69,42	183,02	12,5	20	27	36	45	55	64	75	88	100	—	37,4	

Образцы 4×4×10 см

Температура печи в °С	Размеры образца в см			Вес образца	Площадь поверхности образца в см²	Время горения древесины в сек											Скорость горе- ния образца в кг/м²·ч			
						Вес образца древесины в г														
	a	b	c			2	4	6	8	10	12	14	16	18	19	20		21		
500	3,85	3,91	10,02	74,25	185	30	74	135	188	257	320								23,4	
	3,83	3,97	10,06	74	186,4	37	72	117	169	233	311								25,2	
	3,89	3,9	10,07	74,55	186,5	37	70	117	169	247	325								25,2	
700	3,82	3,93	10	75,6	185	40	66	99	139	—	—								29,4	
	3,78	3,95	9,98	76	184,1	49	79	118	164	215									24,9	
900	3,87	3,87	11	75,4	200	16	32	54	81	113	152								41,5	
	3,91	4,03	10,09	75,85	191,7	14	31	54	79	113	148								43	
Образцы 4×8×10 см																				
500	3,99	7,75	9,98	129,55	296,19	—	56	—	123	—	207		331		457		589	20,2		
	3,87	8,02	10,05	127,4	301,05	—	53	—	110	—	189		280		401		521	21,8		
	4	7,73	10	126	296,44	—	57	—	114	—	198		300		421		555	21,4		
	3,93	7,9	10,03	131,4	301,36	—	48	—	100	—	175		283		387		506	24		
700	3,96	7,54	10,3	120,9	256,62	—	53	—	107	—	173		258		353		466	26,6		
	3,88	7,93	9,92	129,2	300,62	—	39	—	88	—	143		206		279		369	26,8		
	3,98	7,59	9,99	128,45	296	—	40	—	87	—	143		210		289		371	27,2		
	3,95	7,67	9,98	127,65	301	—	39	—	84	—	140		215		295		393	27,2		
900	3,87	7,93	9,96	129,15	296,4	—	24	—	56	—	100		249		208		276	36,4		
	3,88	7,95	9,94	128,2	296,86	—	25	—	58	—	102		145		200		273	36,4		
	3,89	7,9	9,91	126	295,14	—	23	—	52	—	90		135		194		248	39,2		

веса с размерами $3 \times 3 \times 10$ см; $4 \times 4 \times 10$ см; $4 \times 8 \times 10$ см в большой печи при температурах 500, 700 и 900° С.

Результаты этих опытов сведены в табл. 14.

Удельная скорость горения образцов $4 \times 4 \times 10$ см при 500° С оказалась равной $21,9 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$ (средняя по пяти образцам), т. е. она мало отличается от удельной скорости горения этого же размера образцов в малой печи ($22,4 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$). Это говорит о том, что скорость горения в большей степени зависит от температуры окружающей среды и в меньшей — от размеров объема печи.

Максимальная удельная скорость горения образцов всех размеров при различной температуре сведена в табл. 15. Данные ее показывают, что при одинаковой температуре удельные скорости горения образцов мало отличаются друг от друга, а при температуре 500° С даже равны. В то же время величины их полной поверхности сильно отличались друг от друга. Так, образцы размером $3 \times 3 \times 10$ см имели среднюю поверхность равную 138 см^2 , образцы размером $4 \times 4 \times 10$ см — 190 см^2 , образцы размером $4 \times 8 \times 10$ см — 298 см^2 . Таким образом, можно принять, что при одинаковом времени горения образцов их удельная скорость горения не зависит от размеров элементов древесины и изменяется в основном от температуры окружающей среды.

Таблица 15

Температура окружающей среды в °С	Удельная скорость горения древесины в $\text{кг/м}^2 \cdot \text{ч}$		
	Размеры образцов древесины в см		
	$3 \times 3 \times 10$	$4 \times 4 \times 10$	$4 \times 8 \times 10$
300	—	17,45	—
400	—	19,7	—
500	22,1	22,4 (21,9)	22,1
700	28,3	27,7	26,9
900	39,9	39,2	37,3

Ранее указывалось, что удельная скорость горения образцов с увеличением времени горения быстро уменьшается. Это явление очень сильно проявляется при высоких температурах окружающей среды. Так, удельная скорость горения образцов древесины размером $4 \times 8 \times 10$ см после выгорания 50 г при температуре 900° С уменьшилась с $37,3 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$ до $8,6 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$. Следовательно, на пожарах даже при постоянной температуре окружающей среды удельная скорость горения древесины на различных участках различна и зависит от времени ее горения.

Выводы

1. Удельная скорость горения образцов древесины не зависит от их размеров, она зависит только от температуры окружающей среды. Следовательно, при одинаковой температуре пожа-

ра бревна и доски горят с одной и той же удельной скоростью горения.

2. На различных участках пожара при одинаковой температуре удельная скорость горения древесины различна; она зависит от времени горения. При круговом развитии пожара на фронте распространения она максимальна, а в центре площади пожара — минимальная.

3. Найденные зависимости скорости горения древесины от температуры показывают, что лабораторным путем можно определять весовую скорость горения твердых веществ на пожаре. Работу в этом направлении необходимо продолжить.

ЛИТЕРАТУРА

Таубкин С. И. Основы огнезащиты целлюлозных материалов. Изд. МКХ РСФСР, 1960.

Сборник ЦНИИПО. Пожарная профилактика и пожаротушение, вып. I. Стройиздат, 1964.

*И. Ф. НЕЙМАНИС,
руководитель работы канд. техн. наук Н. М. ЕВТЮШКИН*

О РЕЗУЛЬТАТАХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАЗВИТИЯ И ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА

Анализ пожаров на торфопредприятиях показывает, что они возникают главным образом на полях добычи фрезерного торфа и в его караванах.

Пожары, возникшие на полях добычи фрезерного торфа при сильном ветре, могут охватывать сотни гектаров. Борьба с ними весьма затруднительна.

В настоящее время основным огнегасительным веществом для тушения торфа является вода. Она имеет большой коэффициент поверхностного натяжения. При температуре 20°C он составляет $72,5 \text{ дин/см}$. Поэтому фрезерный торф очень плохо смачивается водой и при тушении торфа, сложенного в караваны, большая часть воды стекает с них, не давая положительного эффекта. Кроме того, под сильно увлажненным торфом, имеющим вид пульпы, как правило, остаются непотушенные очаги горения, которые спустя несколько часов после тушения вновь начинают гореть.

Для подачи воды к месту пожара применяются коловратные насосы марки НКФ-54, смонтированные на тракторах ДТ-54 или ДТ-55. Максимальная скорость этих тракторов на четвертой передаче составляет $6,2 \text{ км/ч}$.

Практика показала, что для тушения фрезерного торфа при большом ветре пожарной техники, находящейся в полевых гаражах, оказывается недостаточно. Сосредоточение средств и тушение в этих условиях занимают $1\text{—}2 \text{ ч}$. За такое время пожар распространяется на большую часть территории полей торфодобычи.

Основные задачи исследований. Основными параметрами развития торфяных пожаров являются линейная скорость распространения огня в главном направлении, дальность перелета искр, величина центрального угла сектора пожара и скорость выгорания фрезерного торфа с поверхности каравана.

Скорость выгорания фрезерного торфа с поверхности каравана совершенно не изучена. В литературе она принимается как постоянная величина равная $0,18 \text{ кг/м}^2 \text{ мин.}$ Фактически же она изменяется в широких пределах. Поэтому в работе сделана попытка установить эту величину экспериментальным путем.

Вместе с тем целью экспериментальных исследований является изыскание новых, более совершенных средств тушения и разработка рекомендаций по их использованию для тушения на торфопредприятиях.

В качестве нового средства тушения был испытан водный раствор сульфанола НП-1, обладающего гидрофильной полярной группой, обеспечивающей хорошую растворимость в воде, и длинной цепью углеводородного радикала, резко снижающего поверхностное натяжение воды.

В этой связи были определены весовая скорость выгорания фрезерного торфа на поверхности каравана в зависимости от скорости ветра, коэффициент поверхностного натяжения раствора в зависимости от концентрации сульфанола НП-1, линейная скорость смачивания фрезерного торфа раствором сульфанола НП-1 в зависимости от концентрации раствора и влажности торфокрошки и требуемая интенсивность подачи водного раствора сульфанола НП-1 для тушения караванов фрезерного торфа.

В задачу исследований входило также выявление наиболее целесообразных способов подачи огнегасительных веществ для тушения фрезерного торфа на поверхности караванов и глубинных очагов.

Определение весовой скорости выгорания фрезерного торфа на поверхности каравана. Скорость выгорания является отправной величиной для определения основных параметров тушения фрезерного торфа. Зная весовую скорость выгорания, легко определить удельную тепловую нагрузку пожара и теоретически обосновать требуемую интенсивность подачи огнегасительных веществ или, переходя от весовой к линейной скорости выгорания, можно подобрать оптимальный состав огнегасительных веществ и т. д.

Скорость выгорания является функцией многих переменных: скорости ветра, влажности, зольности, степени разложения торфа и др. Из перечисленного существенное значение имеет скорость ветра. Поэтому для упрощения исследований за переменную величину принималась только скорость ветра, значение остальных параметров сохранялось постоянным.

В основу исследований был положен лабораторный способ, позволяющий регулировать скорость воздушного потока в требуемых пределах и обеспечивающий достаточную точность снимаемых показаний.

Для проведения опытов была смонтирована специальная установка, состоящая из десятичных товарных весов. На платформу весов устанавливали металлическое основание размером $1 \times$

×2 м, на котором воспроизводили модель каравана фрезерного торфа размерами в м: шириной основания 0,8, высотой — 0,5 и длиной — 1,5.

Модель каравана закрывали металлическим кожухом из черной кровельной стали размером 0,9×0,7×6 м. Средняя часть кожуха была выполнена съемной для обеспечения доступа к модели каравана. Кожух устанавливали таким образом, чтобы он не касался металлического основания и не влиял на показания весов. К одному концу кожуха присоединяли вентилятор № 7 производительностью 25 000 м³/ч, другой конец оставался открытым.

Скорость воздушного потока регулировали специальной заслонкой. Фактическую скорость воздуха над караваном определяли ручным анемометром чашечного типа марки МС-13, который помещали в открытый конец кожуха.

Так как свободные сечения кожуха при входе в него и в месте установки каравана различны, то, естественно, различна будет и скорость воздуха. Действительную скорость воздуха над караваном определяли из соотношения

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{F_2}{F_1}, \quad \text{откуда}$$
$$v_2 = v_1 \frac{F_1}{F_2} \text{ м/сек,}$$

где v_1 и v_2 — соответственно скорость воздуха при входе в кожух и над караваном в м/сек;

F_1 и F_2 — соответственно площадь полного и свободного сечения кожуха над караваном в м².

Скорость выгорания фрезерного торфа фиксировали при скорости воздушного потока в пределах от 1 до 11 м/сек с интервалом $\Delta v \approx 1,0$ м/сек.

Модель каравана поджигали паяльной лампой и закрывали кожухом.

После того, как устанавливался стационарный режим горения и постоянная скорость потока воздуха, модель каравана взвешивали вместе с основанием и одновременно включали секундомер. Модель взвешивали через каждые 5 мин в течение 0,5 ч.

Для проведения опытов использовали низинный торф с относительной влажностью равной 41,0%, объемным весом равным 320 кг/м³, зольностью равной 7,9% и степенью разложения равной 24%.

Результаты опытных данных приведены в табл. 16.

Весовая скорость выгорания определялась по формуле

$$\lambda = \frac{G_{\text{ср}}}{S \tau} 60,$$

где λ — весовая скорость выгорания в кг/м²·ч;

$G_{\text{ср}}$ — усредненный вес сгоревшей торфокрошки в кг;

Скорость ветра в м/сек	Площадь горения в м ²	Потеря веса сгоревшей торфокрошки в кг через каждые 5 мин						Весовая скорость выгорания в кг/м ² ·ч
		G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	G _{ср}	
1,1	2,69	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,32	1,43
1,95	2,69	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,62	2,76
3,1	2,55	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	4,24
3,9	2,65	1,6	1,2	1,3	1,3	1,2	1,32	5,96
5,17	2,69	2,6	2,3	2,1	2,2	2	2,24	10
6	2,66	3,2	3,2	2,9	2,5	2,3	2,82	12,7
7	2,69	3,5	3,5	3,2	3	3,1	3,24	14,5
8	2,69	3,5	4,8	3	3,1	3,8	3,64	16,25
9,1	2,69	4,1	4	4,5	4	3,7	4,06	18,2
10	2,69	4,5	5,5	4	4	4,1	4,42	19,8
11,1	2,71	4,9	7,2	3,9	6,3	4,5	5,36	23,7

S — площадь поверхности модели каравана в м²;

τ — время одного опыта в мин.

По данным табл. 16 построен график зависимости весовой скорости выгорания торфокрошки от скорости ветра (рис. 22).

Из графика видно, что скорость выгорания торфа меняется в пределах от 1,4 кг/м²·ч при скорости ветра 1 м/сек до 23 кг/м²·ч при скорости ветра 11 м/сек. Если предположить, что линейная

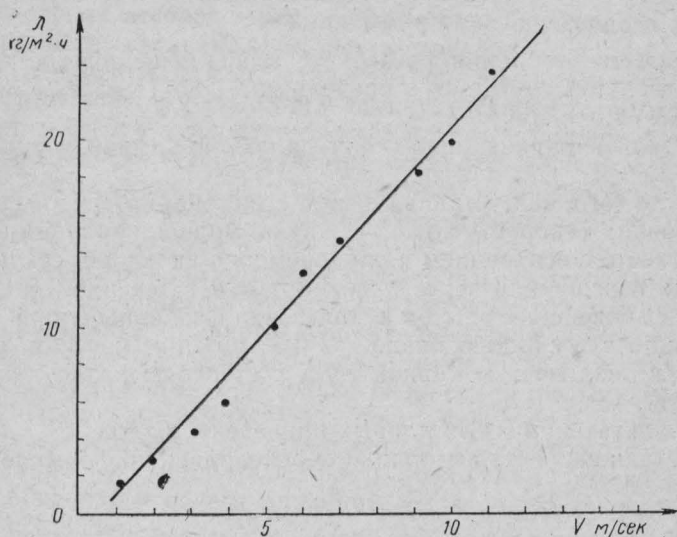


Рис. 22. Зависимость весовой скорости выгорания торфокрошки от скорости ветра

зависимость сохранится и в дальнейшем, то при скорости ветра 20 м/сек весовая скорость выгорания составит 46 кг/м²·ч.

Визуальные наблюдения за процессом горения показали, что переброс искр начинается при скорости ветра 3 м/сек. Дальность переброса при этом составляет порядка 20÷30 см. При скорости ветра 4 м/сек дальность переброса увеличивается до 50 см.

В результате обработки опытных данных получена следующая эмпирическая зависимость:

$$\lambda = 2,19v_v - 1,34,$$

где λ — весовая скорость выгорания торфокрошки в кг/м²·ч;
 v_v — скорость ветра в м/сек.

Определение коэффициента поверхностного натяжения водного раствора сульфанола НП-1 проводилось в лабораторных условиях методом максимального давления в пузырьке, предложенным академиком П. А. Ребиндером *. Результаты опытов сведены в табл. 17.

Таблица 17

Концентрация раствора в %	Разность уровня жидкости в манометре в см				Коэффициент поверхностного натяжения в дин/см
	h_1	h_2	h_3	h_{cp}	
0,1	1,52	1,53	1,52	1,523	30,19
0,2	1,47	1,48	1,47	1,473	29,19
0,3	1,43	1,43	1,43	1,43	28,3
0,4	1,4	1,4	1,41	1,403	27,79
0,5	1,39	1,38	1,38	1,383	27,39
0,6	1,34	1,35	1,35	1,346	26,61
0,7	1,32	1,33	1,33	1,326	26,21
0,8	1,31	1,31	1,32	1,313	26
0,9	1,31	1,31	1,31	1,31	25,95
1	1,36	1,35	1,35	1,353	26,8
2	1,36	1,35	1,36	1,356	26,82
3	1,36	1,36	1,36	1,36	26,9
4	1,35	1,36	1,36	1,356	26,82

Примечание. Плотность жидкости в манометре для всех данных взята равной 0,83 г/см³.

Числовое значение коэффициента поверхностного натяжения определяли по формуле

$$\alpha = \frac{R}{2} \rho gh,$$

где α — коэффициент поверхностного натяжения в дин/см;

R — радиус кривизны поверхностной пленки пузырька в см;

ρ — плотность жидкости в манометре в г/см³;

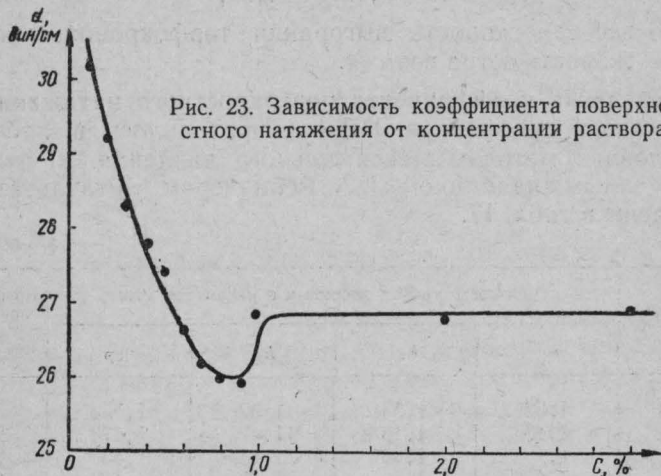
* П. А. Ребиндер. Поверхностно-активные вещества. М., Изд. Знание, 1961.

h — разность уровня жидкости в манометре в см;

g — ускорение силы тяжести в см/сек².

По данным табл. 17 построен график зависимости коэффициента поверхностного натяжения от концентрации раствора (рис. 23).

Из графика видно, что при повышении концентрации раствора от 0,1 до 0,9% коэффициент поверхностного натяжения резко снижается, а при концентрации равной 1% наблюдается его некоторый рост. При дальнейшем повышении концентрации вели-



чина коэффициента поверхностного натяжения практически остается постоянной.

Понижение значения коэффициента поверхностного натяжения на первом участке кривой объясняется ростом количества ориентированных молекул сульфанола в поверхностном мономолекулярном слое. При концентрации раствора равной 0,9% поверхностный слой полностью занят ориентированными молекулами сульфанола. Дальнейшее повышение концентрации частично дезорганизует молекулы, расположенные в поверхностном слое в результате воздействия расположенных ниже молекул сульфанола, что в свою очередь несколько повышает коэффициент поверхностного натяжения. При концентрации 1,0% поверхностный слой приобретает устойчивую структуру, которая практически не меняется при дальнейшем увеличении концентрации сульфанола.

Из сказанного следует, что практическое значение имеют концентрации до 0,9%. Дальнейшее повышение концентрации раствора приводит к излишнему расходу смачивателя и не дает при этом положительного эффекта.

Важное значение имеет правильный выбор оптимального значения концентрации раствора сульфанола, так как завышение

концентрации ведет к удорожанию огнегасительного вещества, а занижение — к ухудшению эффективности тушения. Обосновать оптимальное значение концентрации можно на основании графика (см. рис. 23). Если на этом графике отбросить часть кривой, расположенной ниже постоянного значения α , то точка перегиба будет при концентрациях равных 0,5—0,6%. Эту концентрацию и следует принять за оптимальную при тушении фрезерного торфа в караванах.

Практические опыты по тушению фрезерного торфа, проведенные в 1963 и 1964 гг. на торфопредприятии, полностью подтвердили приведенные данные оптимальной концентрации сульфанола НП-1.

Исследования по определению оптимальной концентрации смачивателей проводились также ЛНИИЛП и ЦНИИПО.

ЦНИИПО МООП РСФСР для тушения твердых горючих материалов (древесины) рекомендует концентрацию сульфанола НП-1 в пределах 0,3—0,5%.

Определение линейной скорости смачивания фрезерного торфа раствором сульфанола НП-1. При тушении фрезерного торфа существенное значение имеет смачивающая способность огнегасительных веществ. Чем больше скорость смачивания, тем лучше эффект тушения и тем меньше фактическое время тушения, а также удельный расход огнегасительных веществ.

Необходимым условием успешного тушения пористых и волокнистых материалов (торф, хлопок, сажа и т. п.) является неравенство

$$v_{\text{см}} > v_{\text{выг}},$$

где $v_{\text{см}}$ и $v_{\text{выг}}$ — соответственно линейные скорости смачивания и выгорания в см/мин.

Это соотношение может быть положено в основу подбора огнегасительных веществ для целого ряда сгораемых материалов.

Скорость смачивания фрезерного торфа зависит не только от числового значения коэффициента поверхностного натяжения, но и от целого ряда других факторов: влажности торфокрошки, вида торфа, степени его разложения, его зольности, толщины смачиваемого слоя и др.

Исследовать влияние всех перечисленных факторов на скорость смачивания фрезерного торфа в данной работе не представляется возможным. Поэтому в качестве переменных величин при исследовании скорости смачивания фрезерного торфа были приняты концентрация раствора и влажность торфокрошки как наиболее существенные. Значение остальных факторов при проведении всех опытов сохранялось постоянным.

Определение скорости смачивания производилось при концентрациях водного раствора сульфанола в пределах 0,1—4,0%. Влажность торфокрошки изменялась в пределах 30—60%, сте-

пень разложения была равна 31 %, зольность — 7,2 %, объемный вес — 390 кг/м³.

Опыты проводились в следующей последовательности. Определяли влажность торфокрошки. После этого торф подсушивали до требуемой влажности. Вес торфа требуемой влажности определяли по формуле

$$P_2 = \frac{P_1(100 - W_1)}{100 - W_2},$$

где P_1, P_2 — соответственно начальный вес торфа и вес при требуемой влажности в г;

W_1, W_2 — соответственно начальная и требуемая относительная влажность торфа в %.

Для сохранения постоянной влажности после подсушки торф помещали в эксикатор.

Раствор необходимой концентрации приготавливали взвешиванием определенного количества сульфанола на аналитических весах и растворением его в 100 мл воды. Приготовленный раствор заливали в химический стакан емкостью 300 мл.

Необходимый вес сульфанола определяли по формуле

$$P_c = \frac{CP_p}{100},$$

где P_c, P_p — соответственно вес сульфанола и раствора в г;

C — требуемая концентрация раствора в %.

Учитывая, что концентрация раствора невелика, вес раствора условно принимали равным весу воды.

Далее в стакан засыпали торфокрошку толщиной слоя в 3,6 см. Время смачивания определяли от момента засыпки торфокрошки до момента появления влаги на поверхности торфокрошки. Скорость смачивания определяли по формуле

$$v_{cm} = \frac{h_c}{\tau_{cm}},$$

где h_c — высота слоя торфокрошки в см;

τ_{cm} — время смачивания в мин.

Для каждой концентрации проводили два опыта. В качестве расчетной скорости смачивателя принимали ее среднее значение двух опытов.

Полученные в лабораторных исследованиях данные при $W = 30\%$ сведены в табл. 18, при $W = 40\%$ — в табл. 19, при $W = 50\%$ — в табл. 20, при $W = 60\%$ — в табл. 21.

По данным таблиц 18—21 построены графики зависимости скорости смачивания торфа от концентрации раствора сульфанола при определенной влажности торфа (рис. 24).

Таблица 18

Концентрация раствора в %	Время смачивания в мин			Скорость смачивания в см/мин
	τ_1	τ_2	τ_{cp}	
0,4	31	31,33	31,17	0,115
0,5	30,33	30,5	30,42	0,118
0,6	27,17	27,5	27,33	0,132
0,7	25,5	26	25,75	0,14
0,8	21,33	21,83	21,58	0,167
0,9	19,17	19,67	19,42	0,185
1	18,33	18,67	18,5	0,194

Таблица 19

Концентрация раствора в %	Время смачивания в мин			Скорость смачивания в см/мин
	τ_1	τ_2	τ_{cp}	
0,4	26,5	26,83	26,67	0,135
0,5	24,33	24	24,17	0,149
0,6	23	23,5	23,25	0,155
0,7	21	18	19,5	0,185
0,8	16,33	17	16,67	0,216
0,9	14	14,33	14,17	0,254
1	12,17	12,5	12,33	0,293

Таблица 20

Концентрация раствора в %	Время смачивания в мин			Скорость смачивания в см/мин
	τ_1	τ_2	τ_{cp}	
0,1	21,75	22	21,87	0,165
0,2	20,5	20,17	20,33	0,177
0,3	19,67	19,83	19,75	0,182
0,4	17,25	17,5	17,37	0,207
0,5	14,75	15,25	15	0,24
0,6	13,74	13,4	13,57	0,265
0,7	12,2	11,79	12	0,3
0,8	11,02	10,28	10,65	0,338
0,9	10	10,17	10,08	0,357
1	9,5	9,17	9,33	0,388

Из рис. 24 видно, что точки располагаются примерно на прямой линии. Следовательно, можно предположить, что зависимость между скоростью смачивания торфа и концентрацией сульфанола является линейной, причем с увеличением концентрации сульфанола и относительной влажности торфокрошки скорость смачивания возрастает.

Тем не менее, очевидно, имеется концентрация, при которой дальнейший рост скорости смачивания прекращается. Подтвер-

Концентрация раствора в %	Время смачивания в мин			Скорость смачивания в см/мин
	τ_1	τ_2	$\tau_{\text{ср}}$	
0,1	0,92	0,93	0,925	3,89
0,2	0,9	0,88	0,89	4,04
0,3	0,9	0,92	0,91	3,96
0,4	0,9	0,9	0,9	4
0,5	0,93	0,9	0,915	3,93
0,6	0,92	0,9	0,91	3,97
0,7	0,86	0,91	0,885	4,06
0,8	0,86	0,88	0,87	4,14
0,9	0,84	0,86	0,85	4,24
1	0,83	0,83	0,83	4,32

дить это можно экспериментальными исследованиями с концентрациями сульфанола выше 4 %.

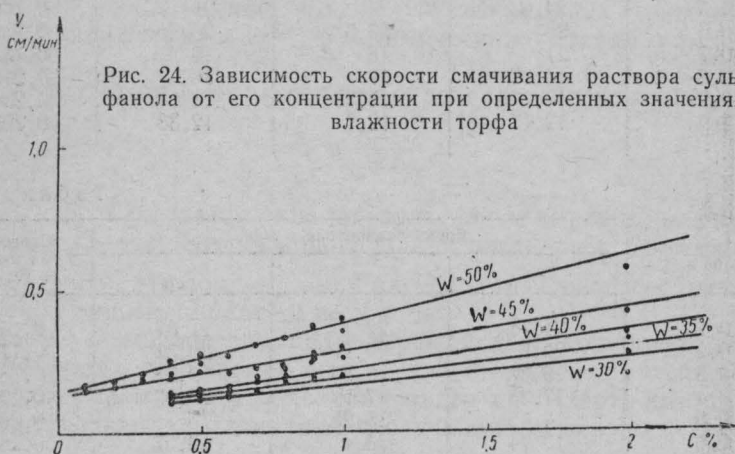


Рис. 24. Зависимость скорости смачивания раствора сульфанола от его концентрации при определенных значениях влажности торфа

Путем обработки опытных данных получена эмпирическая зависимость скорости смачивания торфа от концентрации раствора сульфанола. В общем виде эта зависимость имеет следующий вид:

$$v_{\text{см}} = aC + b,$$

где a и b — постоянные, определяемые опытным путем. Их значения при данной влажности торфокрошки приводятся в табл. 22.

Определение требуемой интенсивности подачи огнегасительных веществ. Опыты по определению требуемой интенсивности подачи огнегасительных веществ проводили непосредственно на складочных единицах, имеющих очаги самовозгорания.

Таблица 22

Опытные постоянные	Относительная влажность торфокрошки в %						
	30	35	40	45	50	55	60
<i>a</i>	0,136	0,238	0,268	0,178	0,266	0,555	0,364
<i>b</i>	0,055	0,0132	0,0102	0,129	0,115	0,602	3,86

Для этого измеряли площадь очага горения и тушили (одним стволом) водой или раствором сульфанола. По секундомеру определяли время тушения.

Требуемую интенсивность определяли как частное от деления расхода огнегасительного вещества в единицу времени ($л/сек$) на площадь горения ($м^2$).

Из 18 опытов 12 проводили на караванах с толщиной слоя золы и горящей торфокрошки равной 30—40 см.

Результаты опытов подтвердили приведенные выше выводы — очаги горения, обработанные 0,6%-ным раствором сульфанола, были ликвидированы. Наблюдение за потушенными очагами велось в течение трех суток. За это время повторное загорание не наблюдалось за исключением весьма запущенных очагов.

Усредненные данные трех опытов в каждой группе приведены в табл. 23.

При тушении стволами А со sprysком равным 19 мм интенсивность была примерно в 3 раза больше, чем при тушении стволами Б. Удельный расход при этом увеличился более чем в 1,5 раза. Это объясняется тем, что при подаче мощных струй вся жидкость не успевает впитываться в торф и часть ее стекает по откосу вниз. При этом понижается коэффициент полезного использования воды и, естественно, растет удельный расход.

Следовательно, применять мощные стволы со sprysками равными 19 мм и более нецелесообразно, так как они увеличивают расход воды и сульфанола.

Исходя из результатов проведенных опытов, в качестве требуемой интенсивности подачи водного раствора сульфанола НП-1 для тушения фрезерного торфа в караванах можно рекомендовать величину равную $0,03 л/м^2 \cdot сек$.

Средства и приемы тушения фрезерного торфа. Для тушения фрезерного торфа предлагается водный раствор сульфанола НП-1.

Экономическую целесообразность внедрения предлагаемого огнегасительного вещества покажем на примере конкретного пожара, происшедшего на торфопредприятии в июне 1963 г.

Суммарный расход средств на тушение торфяного пожара складывается из убытка от сгоревшего торфа, заработной платы

Основные параметры развития пожара и его тушения	Тушение				
	водой		0,6%-ным раствором сульфанола НП-1		
	Компактная струя при диаметре спрыска в мм			Распы- ленная струя	Ствол- игло- фильтр**
	19	19	13	ствол РС-Б	
	Площадь горения в м ²				
	97	96	86	$\frac{140^*}{35}$	1,32
Время тушения в мин . .	21	15	9,8	$\frac{24,8}{1,6}$	0,57
Скорость тушения в м ² /мин	4,72	6,43	8,78	$\frac{5,63}{21,5}$	2,45
Фактическая интенсив- ность в л/м ² ·сек	0,073	0,034	0,099	$\frac{0,025}{0,108}$	2,18
Удельный расход в л/м ² .	87,8	30,2	47,2	$\frac{37,6}{9,83}$	66

* В числителе — данные, полученные при обработке очагов с глубиной прогара равного 30—40 см, в знаменателе — при обработке свежих очагов с глубиной прогара равного 1—3 см.

** Для испытания ствола-иглофильтра искусственно создавали очаги на глубине 1,2 и 1,5 м, что соответствует максимальной глубине возникновения очагов самовозгорания.

рабочих, участвующих в тушении, и стоимости техники, применяемой для тушения.

Убыток от сгоревшего торфа составляет 13 000 руб. При тушении затрачено около 32 400 чел.-ч и около 1 000 тракторо-часов. Стоимость человеко-часа составляет 0,5 руб. Стоимость тракторо-часа — 1,64 руб.

Заработная плата в таком случае составит

$$32\,400 \cdot 0,5 = 16\,200 \text{ руб.}$$

Стоимость техники, занятой в тушении:

$$1000 \cdot 1,64 = 1\,640 \text{ руб.}$$

Таким образом, суммарные расходы составляют

$$13\,000 + 16\,200 + 1\,640 = 30\,840 \text{ руб.}$$

По данным научно-исследовательского института лесного хозяйства производительность труда с применением сульфанола НП-1 при тушении лесных пожаров с торфяным покровом увели-

чивается в 8—10 раз. Примем, что скорость тушения с применением сульфанола возрастет в три раза. Это хорошо согласуется с опытными данными. В этом случае время тушения сократится в три раза и соответственно снизятся суммарные расходы на тушение. Подсчитаем полученную экономию.

$$30\,840 - \frac{30\,840}{3} = 20\,560 \text{ руб.}$$

Из этой суммы следует вычесть стоимость сульфанола.

При глубине фрезерования равного 10 мм удельный теоретический расход для низового торфа составляет $2,43 \text{ л/м}^2$, для верхового — $2,83 \text{ л/м}^2$. Принимаем последнее. Учитывая, что раствор покроет поверхность поля неравномерно, введем коэффициент равный 1,5, повышающий удельный расход. Тогда получим

$$2,83 \cdot 1,5 = 4,25 \text{ л/м}^2.$$

Округленно принимаем $q = 5,0 \text{ л/м}^2$.

Тогда объем раствора для тушения 1 га составит

$$5,0 \cdot 10\,000 = 50\,000 \text{ л/га.}$$

Определим вес сульфанола

$$50\,000 \cdot 0,004 = 200 \text{ кг/га,}$$

отсюда стоимость сульфанола будет

$$200 \cdot 0,64 = 128 \text{ руб/га.}$$

В этом примере площадь пожара составляет 120 га.

Найдем общую стоимость сульфанола

$$128 \cdot 120 = 15\,300 \text{ руб.}$$

Найдем фактическую экономию

$$20\,560 - 15\,300 = 5\,260 \text{ руб., что составляет } 17\%.$$

Приведенный пример показывает экономический эффект применения сульфанола. При массовом производстве сульфанола стоимость его снизится, следовательно, экономический эффект его соответственно возрастет.

Для тушения пожаров на торфопредприятиях в настоящее время в основном применяются коловратные насосы НКФ-54, приводимые в движение от вала отбора мощности. Последнее обстоятельство существенно усложняет его применение, так как коловратные насосы могут быть смонтированы только на тех тракторах, вал отбора мощности которых не используется для привода в действие технологического оборудования, на остальных же тракторах насосы монтируются непосредственно во время пожара, что значительно замедляет наращивание сил и средств на тушение. Кроме того, при заборе воды для герметизации требуется заливка масла.

Перечисленных недостатков лишен шестеренчатый насос марки ИШН-600, который монтируется спереди трактора и приводится в движение непосредственно от коленчатого вала двигателя. Эти насосы могут быть смонтированы на всех тракторах, работающих на торфопредприятии, независимо от занятости вала отбора мощности. Вес насоса — 26 кг, производительность его при напоре 80 м вод. ст. составляет 600 л/мин.

Для доставки воды к месту пожаров могут быть использованы цистерны на гусеничном ходу, применяемые на торфопредприятиях. Емкость такой цистерны — 3 м³.

Глубинные очаги самовозгорания, возникшие в активном слое полукоса, можно тушить стволом-иглофильтром. По устройству он прост. Корпусом ствола служит металлическая труба диаметром 25 мм и длиной 2 м. К нижнему концу приварен конический наконечник, к верхнему — соединительная гайка. В нижней части в шахматном порядке просверлены 4 ряда отверстий диаметром 3—3,5 мм, шаг между рядами — 20 см. Относительный сдвиг отверстий — 60°. Для удобства управления стволом на расстоянии 20—30 см от верхнего конца приварена крестовина.

Техника, применяемая для тушения фрезерного торфа, должна иметь высокую проходимость по бездорожью и достаточную скорость. Этим требованиям не отвечают ни пожарные машины (низкая проходимость), ни тракторы (небольшая скорость).

Машиной, отвечающей указанным требованиям, может быть пожарный танк на базе Т-34, оборудованный цистерной емкостью 12—13 м³ и центробежным насосом ПН-45.

Танк может подавать воду на ходу. Поэтому отпадет необходимость прокладки рукавных линий.

Для тушения фрезерного торфа следует сконструировать два целевидных распылителя подобно тем, которые конструируют к поливочным машинам, обеспечивающих ширину захвата не менее 20 м. Две такие машины могут успешно заменить всю пожарную технику на торфопредприятии и, что самое главное, — ликвидировать пожары в начальной стадии.

Проведенные опыты показали, что при тушении очагов с относительно большой глубиной прогара наилучший эффект достигается применением стволов со sprysком диаметром 13 мм. Горящий слой пробивается механической силой струи до основания, торфяные частицы быстро увлажняются и гаснут.

Следует указать на некоторые особенности тушения. Условием успешного тушения является строгая последовательность обработки очага ствольщиком. Тушение следует начинать с самых низких точек во избежание прикрытия горящих очагов сползающими верхними слоями. Рекомендуются использовать не всю длину струи, а только часть ее (примерно 3—4 м). Это обстоятельство имеет весьма важное значение.

При длине струи более 3—4 м ствольщик не может ее контролировать и вынужден работать вслепую из-за образовавше-

гося дыма, пыли и пара. В этих условиях на тушение очага увеличивается расход огнегасительных веществ.

При тушении очагов с небольшой глубиной прогара (1—3 см) рекомендуется применять распыленные струи, увеличивающие скорость тушения.

Выводы

1. Водный раствор сульфанола НП-1 резко повышает эффективность тушения торфяных пожаров.
2. Глубинные очаги самовозгорания в караванах рекомендуется тушить стволами-иглофильтрами.
3. Для тушения пожаров фрезерного торфа водными растворами сульфанола НП-1 целесообразно применять цистерны большой емкости на шасси высокой проходимости.

ЛИТЕРАТУРА

- Рибиндер П. А. Поверхностно-активные вещества. Изд. Знание, 1961.
Успенский А. К. Выбор вида и нахождение параметров эмпирической формулы. Изд. Московского государственного экономического института, 1960.
-

*Л. И. ЦЫМЛЯКОВ,
руководитель работы канд. техн. наук Н. А. ТАРАСОВ-АГАЛАКОВ*

СТАЦИОНАРНАЯ ОГНЕГАСИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ НОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

При проектировании производства химической промышленности с открытыми площадками и этажерками возникли новые вопросы по обеспечению их пожарной безопасности и созданию условий успешного тушения возможных пожаров.

Пожарная опасность предприятий химической промышленности определяется наличием большого количества легковоспламеняющихся жидкостей, сжиженных газов и их паров, способных в смеси с воздухом образовывать взрывоопасные концентрации; сравнительно высокими рабочими температурами и давлениями в аппаратах и трубопроводах; наличием разветвленной сети трубопроводов различного назначения с фланцевыми соединениями и различной арматуры (вентилей, задвижек, клапанов и т. д.); наличием источников воспламенения (открытый огонь в трубчатых печах, при электрогазосварочных работах и др.).

При размещении оборудования на открытых площадках и этажерках уменьшается возможность образования взрывоопасных концентраций, однако при этом увеличивается возможность распространения пожара как внутри этажерки или установки, так и на соседние сооружения.

Пожарная опасность увеличивается еще и потому, что производственное оборудование в этом случае размещается на близком расстоянии друг от друга. Если при пожаре произойдет взрыв аппарата, то пламя может распространиться в горизонтальной и вертикальной плоскостях на соседние аппараты и воздействовать на несущие конструкции.

Несущими конструкциями этажерок являются сборные железобетонные элементы, а открытых технологических установок — металлические конструкции. Внутренние лестницы, ограждения, площадки для обслуживания технологического оборудования, как правило, выполняются металлическими.

Пожары на этажерках и открытых установках характеризуются быстрым распространением огня и сравнительно небольшой

продолжительностью. Несмотря на это, такие пожары нередко принимают большие размеры.

Причинами пожаров и их быстрого развития являются взрывы, выход нагретых продуктов из производственного оборудования в результате нарушений технологического процесса производства, нагрев аппаратов во время пожара, прогорание фланцев и т. д.

Обычно предусматриваемое на производственных установках паротушение при быстром развитии пожара не достигает своей цели, а организация тушения от гидрантов связана с потерями времени, затрачиваемого на выезд к месту пожара и прокладку рукавных линий.

В то же время задержка подачи огнегасительных средств на тушение и на охлаждение может привести к деформациям конструкций и аппаратуры. Последнее обстоятельство, в свою очередь, может привести к распространению пожара. При значительных размерах установок он может явиться причиной перехода огня на смежные участки и привести к значительному ущербу.

Возрастающие площади отдельных производственных установок при недостаточных величинах противопожарных разрывов заставляют принимать меры к быстрому охлаждению установок и локализации пожара.

Анализ ряда пожаров, происшедших на предприятиях нефтехимической промышленности, показывает, что достаточно эффективное тушение их в большинстве случаев было осуществлено водяными струями. Основное количество стволов подавалось на охлаждение емкостей, аппаратов и строительных конструкций. Тушение пеной не всегда было эффективным.

Это дает основание сделать вывод, что для защиты этажек и открытых установок на предприятиях нефтехимической промышленности целесообразно применять водяные струи из стационарно установленных лафетных стволов.

В разработке защиты этажек и открытых установок одного из объектов автором была принята стационарная огнегасительная установка, представляющая собой устройство специального противопожарного водопровода с установкой лафетных стволов на вышках.

Расположение вышек и параметры водяных струй определены из расчета защиты наиболее удаленной точки внутри этажки и открытой установки и защиты любой из двух смежных этажек и открытых установок двумя водяными струями (рис. 25).

Напор у лафетного ствола диаметром насадка равного 50 мм в соответствии с расчетом составил 65 м вод. ст., расход воды — 70 л/сек. Лафетные стволы установлены на вышках высотой 8 м. Требуемый напор в водопроводной сети — 82 м вод. ст.

Предусматривается устройство насосной станции, повышающей давление только в сети лафетных стволов.

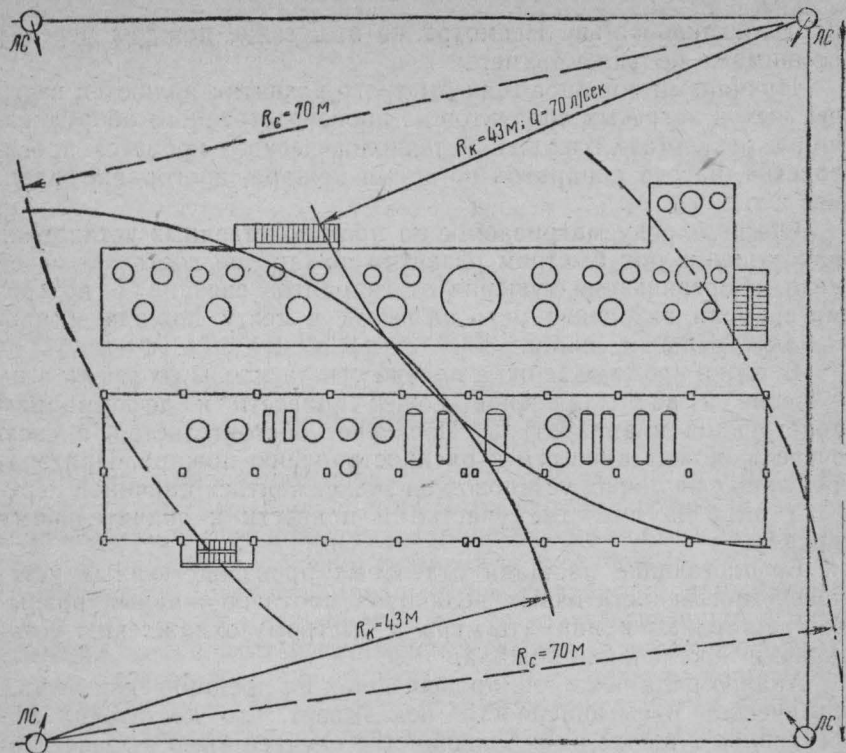


Рис. 25. Схема расположения лафетных стволов и их радиуса действия при тушении открытых установок и этажерок: ЛС — лафетный ствол; R_k — радиус действия компактной струи; R_c — радиус действия сплошной струи

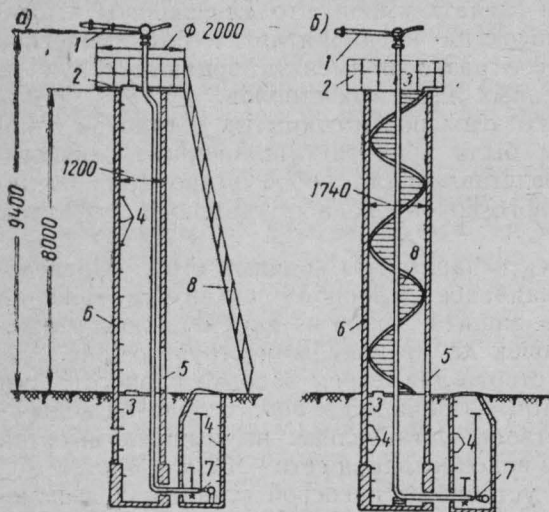


Рис. 26. Схемы вышек с лафетными стволами

а — с наружной лестницей;
 б — с внутренней лестницей;
 1 — лафетный ствол; 2 — площадка для ствольщика;
 3 — люк; 4 — скобы; 5 — дверь;
 6 — железобетонные трубы;
 7 — задвижка для пуска воды; 8 — лестница.

Разработаны два варианта вышек для лафетных стволов. В первом варианте они выполняются из железобетонных труб диаметром 1000 мм.

По второму варианту для обеспечения безопасности ствольщиков предлагается устраивать вышки из железобетонных труб диаметром 1500 мм и с внутренней винтовой лестницей (рис. 26).

Рекомендации по вопросам противопожарного водоснабжения, разработанные автором статьи, могут учитываться при экспериментальном проектировании предприятий химической промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

Алексеев М. В., Смирнов В. М. Профилактика в технологических процессах, связанных с обращением горючих и легковоспламеняющихся жидкостей. М., Изд. МКХ РСФСР, 1955.

Алексеев М. В. Причины образования горючей среды в производствах с наличием жидкостей и газов. М., Изд. ВШ МООП РСФСР, 1961.

Литвин О. Б. Технология синтетических каучуков. Госхимиздат, 1950.

Тарасов-Агалаков Н. А. Основы организации тушения пожаров в населенных пунктах. М., Изд. ВШ МООП РСФСР, 1962.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Ройтман М. Я., Турков А. С., Скитев Н. Т., Пивоваров А. С. Некоторые вопросы противопожарной защиты предприятий химической промышленности	4
Гуляев Г. А. Противопожарные мероприятия при термоконтактном пиролизе малосернистого мазута в реакторе с подвижной насадкой	24
Кряков В. П. Пожарная опасность процесса термической переработки сланца с использованием твердого теплоносителя	32
Журавлев В. Л. Пожарная опасность цеха гидрирования анилина при производстве капролактама из анилина	38
Брагин А. В. Некоторые вопросы пожарной безопасности цехов прорезинивания тканей	47
Киселев И. Е. Пожарная профилактика при производстве мипоры	51
Герштейн Ю. М. Пожарная профилактика при производстве сероуглерода ретортным способом	58
Саушев В. С., Назаров В. В. Пожарная опасность процесса окисления ацетальдегида при получении уксусной кислоты	69
Фесенко А. С. Пожарная профилактика при производстве формальдегида	73
Недилья В. А. Пожарная профилактика при производстве полиамидных смол и пленок	81
Саушев В. С., Бычкова Н. М., Марковский Н. Г., Хоменко М. С. Температура воспламенения высокомолекулярных веществ и их теплота сгорания	87
Демидов П. Г., Бычкова Н. М., Степанов А. М., Уханев Ю. П. Изменение скорости горения древесины в зависимости от ее удельной поверхности и температуры окружающей среды	91
Нейманис И. Ф. О результатах экспериментального исследования параметров развития и тушения пожаров фрезерного торфа	101
Цымляков Л. И. Стационарная огнегасительная установка для нового предприятия химической промышленности	116