

УДК 614.841.44

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Адамян В.Л., Сергеева Г.А., Забитов А.Ш., Масявра А.А.

*Донской государственной технической университет (ДГТУ), Ростов-на-Дону,  
e-mail: V1a1345@yandex.ru*

В нефтехимической промышленности обстановка с пожарами является сложной и нестабильной. Устаревшая техника и аппаратура на нефтеперерабатывающих заводах не позволяет в полную мощь перерабатывать поступающее на заводы сырье. На вводимых в строй новых технологических линиях также не исключается возможность развития пожара, причиной которого могут служить разные факторы. Для локализации пожаров требуется расчет силы и средств, выполняемый в следующих случаях: при введении расчетного количества стволов в зону пожара; при определении масштабов пожара; при разработке тактики тушения пожара; при сравнительном анализе методов тушения пожаров; при оценке действий руководителя тушения пожара. Приводится расчет сил и средств при тушении пожара, возникшего при хранения бензина авиационного неэтилированного, маркировкой по октановому числу 70 в резервуаре понтонной конструкции РВС-2000. Определено необходимое количество техники для охлаждения горящего и соседних резервуаров, количество генераторов пены средней кратности (ГПС) на тушение горящего резервуара. Рассчитано количество отделений основного назначения При задействовании 15 и более отделений пожару присваивается 5-я категория.

**Ключевые слова:** технологические линии, пожарная безопасность, резервуар, бензин, отделение, генератор пены, термит, пирофорные отложения

## FIRE SAFETY OF CHEMICAL AND TECHNOLOGICAL PROCESSES

Adamyan V.L., Sergeeva G.A., Zabitov A.Sh., Masyavra A.A.

*Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don, e-mail: V1a1345@yandex.ru*

In the petrochemical industry, the fire situation is complex and unstable. Outdated machinery and equipment at oil refineries do not allow the full processing of raw materials supplied to the plants. The possibility of developing a fire, which can be caused by various factors, is also not ruled out on the new technological lines being commissioned. To localize fires, the calculation of force and means is required, performed in the following cases: when entering the estimated number of barrels in the fire zone; when determining the extent of a fire; when developing fire-fighting tactics; in a comparative analysis of methods of extinguishing fires; when evaluating the actions of the fire extinguishing Manager. The calculation of forces and means for extinguishing a fire that arose during the storage of unleaded aviation gasoline by marking with an octane number of 70 in the tank of the pontoon structure RVS-2000 is given. The required number of main-purpose fire engines for cooling the burning and neighboring tanks, the number of medium-sized foam generators (GPS) for extinguishing the burning tank was determined. The number of main-purpose compartments is calculated. When 15 or more compartments are activated, the fire is assigned the 5th category.

**Keywords:** technological lines, fire safety, tank, gasoline, compartment, foam generator, termite, pyrophoric deposits

Решая задачи, определенные Федеральным Законом «О пожарной безопасности», на всех предприятиях нефтехимической промышленности предпринимаются меры по улучшению обстановки с пожарами [1–3]. Изменяющееся экономическое положение требует изыскивать новые подходы к решению вопросов противопожарной защиты объектов и предприятий различных форм собственности, укрепления материально-технической базы противопожарной службы, сохранение штатной численности подразделений государственной противопожарной службы (ГПС).

Вместе с тем в нефтехимической промышленности обстановка с пожарами остается сложной и нестабильной. Устаревшая техника и аппаратура на нефтеперерабатывающих заводах не позволяет в полную мощь перерабатывать поступаю-

щее на заводы сырье. В этой связи, например, проведение нефтепровода Восточная Сибирь – Тихий океан планируется завершить строительством самого крупного в России нефтеперерабатывающего завода (НПЗ), который будет соответствовать нормам развитых экономик мира. В основу всех процессов будут положены современные технологические разработки [4]. И тем не менее не исключается возможность развития пожара, причиной которого могут служить разные факторы.

Обычно причинами возникновения пожаров на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях являются [5]:

- проведение работ с открытым огнем;
- проведением работ, сопровождающихся появлением искры;
- статическое электричество;
- пирофорные отложения.

Для локализации пожаров требуется расчет числа пожарных и техники, принимающих участие в ликвидации огня.

### Материалы и методы исследования

Для примера приведем расчет сил и средств при тушении пожара, возникшего при хранении бензина авиационного неэтилированного, маркировкой по октановому числу 70 в резервуаре понтонной конструкции РВС-2000. Плотность бензина составляет  $\rho = 750 \text{ кг/м}^3$ , удельная массовая скорость выгорания равна  $v_M^{уд} = 0,053 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$ .

В зоне возможного теплового воздействия находятся 3 резервуара.

Исходные данные для расчёта: два РВС-2000 и два – РВС-1000 нормативная интенсивность подачи раствора пенообразователя на тушение нефти и нефтепродуктов с  $T_{кип.} = 28^\circ\text{C}$  и ниже и ГЖ, нагретых выше  $T_{всп.}, I_{тр} = 0,08 \text{ л/(м}^2 \cdot \text{с)}$ ;

нормативная интенсивность подачи воды на охлаждение горящего резервуара стволами от передвижной пожарной техники  $I_{охл.}^r = 0,8 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}$ ;

нормативная интенсивность подачи воды на охлаждение соседних резервуаров стволами от передвижной пожарной техники  $I_{охл.}^r = 0,3 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}$ ;

расчётное время тушения равно 15 мин.  
Геометрические характеристики РВС-1000:  
высота – 9 м;  
диаметр – 12 м;  
площадь зеркала горячего – 120 м<sup>2</sup>;  
периметр – 39 м.

Геометрические характеристики РВС-2000:  
высота – 12 м;  
диаметр – 15 м;  
площадь зеркала горячего – 181 м<sup>2</sup>;  
периметр – 48 м.

### Результаты исследования и их обсуждение

Определяем время свободного развития пожара [6]

$$T_{св.р.} = T_{обн.} + T_{сооб.} + T_{сб.} + T_{сл.} + T_{бр.} \quad (1)$$

где  $T_{св.р.}$  – время свободного развития пожара на момент прибытия подразделения;

$T_{обн.}$  – время развития пожара с момента его возникновения до момента его обнаружения (5 мин);

$T_{сооб.}$  – время сообщения о пожаре в пожарную охрану (если телефон находится в другом помещении  $T_{сооб.} = 2$  мин);

$T_{сб.} = 1$  мин – время сбора личного состава по тревоге;

$T_{сл.}$  – время следования пожарного подразделения (2 мин на 1 км пути);

$T_{бр.}$  – время боевого развертывания (5 мин).

$$T_{св.р.} = 5 + 2 + 1 + 4 + 5 = 17 \text{ мин.}$$

Уровень бензина, на который опустится при горении за 18 мин, определяем по формуле

$$\Delta h = \frac{m}{\rho \cdot S} = \frac{v_M^{уд} \cdot T_{св.р.} \cdot S}{\rho \cdot S} = \frac{v_M^{уд} \cdot T_{св.р.}}{\rho}, \quad (2)$$

где  $S$  – площадь зеркала жидкости.

$$\Delta h = \frac{0,053 \cdot 17 \cdot 60}{750} = 0,0720 \text{ м} = 7,2 \text{ см.}$$

Определяем требуемое количество стволов РС-70 с насадками 19 мм на охлаждение горящего резервуара

$$N_{ств.}^{охл.гор.} = \frac{P_p \cdot I_{тр.}}{q_{ств.}}, \quad (3)$$

где  $P_p = 39$  м – периметр резервуара;  
 $q_{ств.} = 7,4$  л/с при давлении 0,4 МПа – расход ствола;

$$N_{ств.}^{охл.гор.} = \frac{48 \cdot 0,8}{7,4} = 5,2 \text{ шт.}$$

Принимаем 6 стволов РС-70 с диаметром насадка 19 мм на охлаждение горящего резервуара.

Находим соседние резервуары, имеющие разрывы с горящим резервуаром до двух нормативных разрывов. Под нормативным разрывом предполагается 1,5 диаметра из числа находящихся в группе.

$$r = 1,5 \cdot 15 = 22,5 \text{ м.}$$

Определяем количество стволов на охлаждение соседнего резервуаров РВС-2000:

$$N_{ств.}^{охл.сосед.} = \frac{0,5 \cdot P_{p/c} \cdot I_{тр/c}}{q_{ств.}}, \quad (4)$$

где  $P_{p/c} = 48$  м – периметр соседнего резервуара;

$$N_{ств.}^{охл.сосед.} = \frac{0,5 \cdot 48 \cdot 0,3}{7,4} = 0,93 \text{ шт.}$$

Принимаем 2 ствола РС-70 с диаметром насадка 19 мм на охлаждение соседнего резервуара РВС-2000 с периметром 48 м.

Определяем количество стволов на охлаждение соседних резервуаров РВС-1000:

$$N_{ств.}^{охл.сосед.} = \frac{0,5 \cdot 39 \cdot 0,3}{7,4} = 0,8 \text{ шт.}$$

Принимаем по 2 ствола РС-70 с диаметром насадка 19 мм на охлаждение двух соседних резервуаров РВС-1000 с периметром 39 м.

Из тактических соображений принимаем на охлаждение РВС-2000 семь РС-70, на охлаждение двух соседних РВС-1000 четыре РС-70 (по два на каждый резервуар и три РСК-50 на защиту л/с.

Определяем общее количество стволов на охлаждение:

$$N_{\text{ств}}^{\text{общ.охл.сосел.}} = 6 + 2 + 4 + 3 = 15 \text{ стволов.}$$

4. Определяем количество генераторов пены средней кратности (ГПС), необходимые для тушения горящего резервуара:

$$N_{\text{гпс}} = \frac{S_{\text{зер.}} \cdot I_{\text{тр.}}}{q_{\text{ств}}}, \quad (5)$$

где  $S_{\text{зер.}}$  – площадь зеркала резервуара;

$I_{\text{тр.}} = 0,08 \frac{\text{л}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$  – требуемая интенсивность подачи раствора для ЛВЖ;  $q_{\text{ств}} = 6 \text{ л}$  – расход 4–6%-ного раствора пенообразователя типа ПО-1Д из ГПС-600.

$$N_{\text{гпс}} = \frac{181 \cdot 0,08}{6} = 2,4 \text{ шт.} \quad (6)$$

Принимаем на тушение горящего резервуара 3 пеногенератора ГПС-600.

5. Определяем требуемое количество пенообразователя:

$$W_{\text{по}} = N_{\text{гпс}} \cdot q_{\text{ств.ПО}} \cdot \tau_p \cdot 60 \cdot K_3, \quad (7)$$

где  $q_{\text{ств.ПО}} = 0,36 \text{ л}$  – расход ствола по пене для одного ГПС-600;

$\tau_p = 15 \text{ мин}$  – расчетное время тушения;

$K_3 = 3$  – коэффициент запаса пенообразователя.

$$W_{\text{по}} = 3 \cdot 0,36 \cdot 15 \cdot 60 \cdot 3 = 2916 \text{ л.}$$

6. Определяем общий фактический расход воды

$$Q_{\text{вод.}} = Q_{\text{охл.}} + Q_{\text{гпс}}, \quad (8)$$

$$Q_{\text{охл.г.р.,с.р.}} = 7 \cdot 7,4 + 4 \cdot 7,4 + 3 \cdot 3,5 = 91,9 \text{ л/с.}$$

Расход ствола ГПС-600 по воде составляет 5,64 л/с.

$$Q_{\text{гпс.}} = 3 \cdot 5,64 = 16,9 \text{ л/с,}$$

$$Q_{\text{общ.}} = 91,9 + 16,92 = 108,8 \text{ л/с.}$$

Объект должен быть обеспечен водой для тушения данного пожара и использования всех рассчитанных приборов.

7. Определяем необходимое количество воды для проведения пенной атаки и охлаждения горящего и соседних резервуаров:

$$W_{\text{в}}^{\text{туш}} = N_{\text{гпс}}^T \cdot q_{\text{ств}}^{\text{по}} \cdot (\tau_n \cdot 60) \cdot K_3, \quad (9)$$

$$W_{\text{вод.охл.гор.рез.}} = N_{\text{ств}} \cdot q_{\text{ств}}^{\text{по}} \cdot (\tau_n \cdot 60) \cdot K_3, \quad (10)$$

где  $N_{\text{гпс}}^T$  – количество пеногенераторов;  
 $q_{\text{ств}}^{\text{по}}$  – расход воды (в растворе) одного ГПС, л/с.;

$\tau_n$  – нормативное время тушения пожара, мин,  
 $V_{\text{в}}$  – необходимый объем воды, л;

$$W_{\text{в}}^{\text{общ}} = V_{\text{в}}^{\text{туш}} + V_{\text{в}}^{\text{охл}}, \quad (11)$$

$$W_{\text{вод.охл.гор.рез.}} = N_{\text{гор.}}^{\text{ств}} \cdot q_{\text{ств.}} \cdot 15 \cdot 60 \cdot 3 =$$

$$= 6 \cdot 7,4 \cdot 15 \cdot 60 \cdot 3 = 119,9 \text{ м}^3,$$

$$W_{\text{вод.охл.сос.рез.}} = N_{\text{охл.сос.РВС}}^{\text{ств}} \cdot q_{\text{ств.}} \cdot 15 \cdot 60 \cdot 3 =$$

$$= 6 \cdot 7,4 \cdot 15 \cdot 60 \cdot 3 = 119,9 \text{ м}^3,$$

$$W_{\text{вод.охл.заш.техн.}} = N_{\text{тех.без.}}^{\text{ств}} \cdot q_{\text{ств.}} \cdot 60 \cdot 45 =$$

$$= 3 \cdot 3,5 \cdot 60 \cdot 45 = 28,3 \text{ м}^3,$$

$$W_{\text{вод.}}^{\text{туш.}} = N_{\text{гпс.}}^{\text{ств}} \cdot q_{\text{ств.}} \cdot 60 \cdot T \cdot K_3 =$$

$$= 3 \cdot 5,64 \cdot 60 \cdot 15 \cdot 3 = 45,7 \text{ м}^3,$$

$$W_{\text{в}}^{\text{общ.}} = 119,9 + 119,9 + 28,3 + 45,7 = 313,8 \text{ м}^3.$$

Для тушения пожара в одном резервуаре РВС-2000 необходимо 313,8 м<sup>3</sup> воды.

8. Определяем требуемое количество техники для подачи огнетушащих веществ на тушение пожара:

$$N_{\text{ПА}} = \frac{Q_{\text{ф}}^{\text{туш.}}}{0,8 \cdot Q_{\text{нас.}}}, \quad (12)$$

где  $N_{\text{ПА}}$  – количество пожарных автомобилей основного назначения;

$Q_{\text{ф}}^{\text{туш.}}$  – фактический расход на тушение от приборов ГПС-600;

$Q_{\text{нас.}}$  – производительность пожарного насоса;  
0,8 – коэффициент износа насоса.

$$N_{\text{ПА}} = \frac{16,9}{0,8 \cdot 40} = 1 \text{ пожарный автомобиль}$$

9. Определяем необходимое количество техники на охлаждение горящего и соседних резервуаров:

$$N_{\text{ПА}} = \frac{Q_{\text{ф}}^{\text{общ.}}}{0,8 \cdot Q_{\text{нас.}}}, \quad (13)$$

$$N_{\text{ПА}} = \frac{Q_{\text{ф}}^{\text{охл.+т.,с.р.}}}{0,8 \cdot Q_{\text{нас.}}},$$

$$N_{\text{ПА}} = \frac{91,9}{0,8 \cdot 40} = 3 \text{ пожарных автомобиля.}$$

Таким образом, для охлаждения резервуаров и тушения пожара в резервуаре РВС-2000 с понтонной конструкцией необходимо 4 – АЦ, 1 – АЛ.

10. Определяем необходимое количество пожарных для ведения оперативно-тактических действий на пожаре.

Общая численность личного состава определяется по формуле

$$N_{\text{л.с.}}^{\text{общ.}} = N_{\text{л.с.}}^{\text{туш.}} \cdot N_{\text{ств.}}^{\text{туш.}} + N_{\text{л.с.}}^{\text{защ.}} \cdot N_{\text{ств.}}^{\text{защ.}} + N_{\text{л.с.}}^{\text{охл.}} \cdot N_{\text{ств.}}^{\text{охл.}},$$

где  $N_{\text{л.с.}}^{\text{туш.}}$  – количество работающих на тушение;

$N_{\text{ств.}}^{\text{туш.}}$  – количество стволов, поданных на тушение пожара;

$N_{\text{л.с.}}^{\text{защ.}}$  – количество работающих на защите;

$N_{\text{ств.}}^{\text{защ.}}$  – количество стволов, работающих на защите объекта;

$N_{\text{л.с.}}^{\text{охл.}}$  – количество работающих на охлаждение;

$N_{\text{ств.}}^{\text{охл.}}$  – количество стволов, работающих на охлаждение соседних резервуаров.

$$N_{\text{л.с.}}^{\text{общ.}} = 5 \cdot 3 + 3 \cdot 3 + 14 \cdot 3 = 66 \text{ человек.}$$

11. Определяем

$$N_{\text{отд.}} = \frac{N_{\text{л.с.}}}{4}, \quad (14)$$

где  $N_{\text{л.с.}}$  – требуемая численность личного состава;

4 – среднее количество личного состава, выезжающего на автоцистернах.

$$N_{\text{отд.}} = \frac{66}{4} = 17 \text{ отделений.}$$

При задействовании 15 и более отделений пожару присваивается 5-я категория.

### Выводы

1. Время свободного развития пожара составляет 17 мин.

2. Общее количество стволов, необходимых для охлаждения резервуаров составляет 14 штук.

3. Объект должен быть обеспечен водой для тушения данного пожара и использования всех рассчитанных приборов. Общее количество воды на тушение пожара и охлаждение резервуаров составляет 313,8 м<sup>3</sup>.

4. Требуемый объем пенообразователя  $W_{\text{по}} = 2916$  л.

5. Для охлаждения одного горящего резервуара (РВС-2000) и трех соседних резервуаров (одного РВС-2000, двух РВС-1000) и тушения пожара в резервуаре РВС-2000 понтонной конструкции для хранения бензина необходимо пожарных автомобилей основного назначения: 4 – АЦ, 1 – АЛ.

### Список литературы

1. Адамян В.Л. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. СПб.: Издательство «Лань», 2018. 176 с.

2. Адамян В.Л. Снижение пожарной и промышленной опасности технологических процессов // Перспективы науки. 2015. № 10. С. 72–74.

3. Информация об авариях на опасных производственных объектах // Официальный сайт Ростехнадзор [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gosnadzor.ru> (дата обращения: 22.01.2020).

4. Энергетика. Нефть и газ. Сайт для поставщиков. [Электронный ресурс]. URL: <https://energybase.ru/news/articles/oil-pipeline-eastern-siberia-pacific-ocean-brought-to-maximum-capacity-2019-11-27> (дата обращения: 22.01.2020).

5. Сучков В.П. Развитие пожара в нефтехранилищах нефтепродуктов // Пожарное дело 1994. № 11. 376 с.

6. Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках. М.: ГУГПС – ВНИИПО-МИПБ, 1999. 82 с.