

УДК 614.842.615

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТУШЕНИЯ РЕЗЕРВУАРОВ ПОДСЛОЙНЫМ СПОСОБОМ

С. М. Малашенко^{1*}, О. О. Смиловенко², канд. техн. наук, доцент

¹Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, г. Минск

²Государственное учреждение образования «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь, г. Минск

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Поступила в редакцию 13.06.2016
Прошла рецензирование: 25.07.2016

Ключевые слова:

резервуар, пожар, воздушно-механическая огнетушащая пена, подслоный способ тушения нефти и нефтепродуктов, время тушения

АННОТАЦИЯ

Разработан способ подслоного тушения с использованием оперативной врезки в технологический трубопровод резервуара с нефтепродуктом для вертикальных стальных резервуаров объемом 500-5000 тонн, не оборудованных стационарно смонтированными пенопроводами.

Разработана математическая модель и метод имитационного компьютерного моделирования процесса движения пены при подслоном тушении резервуаров, позволяющий исследовать данный процесс с учетом реально существующего дрейфа параметров тушения и прогнозировать время тушения.

Разработана методика выбора режимных параметров тушения. Определены значения режимных параметров тушения, обеспечивающих заданные временные показатели (критерии) тушения для резервуара емкостью 2000 тонн, заполненного бензином

Введение. Тушение пожаров в резервуарах подачей пены сверху на горящую поверхность является продолжительным и затратным. При этом экономические потери растут каждую минуту за счет выгорания нефтепродукта и расхода огнетушащих средств. Задача минимизации времени тушения является актуальной как с точки зрения материальных затрат, так и с точки зрения обеспечения безопасности пожарных расчетов, участвующих в тушении. Усовершенствование и доработка уже существующей технологии подслоного тушения пожаров сможет решить упомянутую выше задачу и сделать производственные объекты безопаснее.

Основная часть. Расчетное время тушения при реализации технологии подслоного тушения пожара в резервуаре с ЛВЖ с помощью устройства для оперативной врезки (далее – УОВИ) может быть определено суммированием времени боевого развертывания системы подслоного тушения и времени от начала подачи пены до полного покрытия ею поверхности ЛВЖ [1].

Время боевого развертывания системы подслоного тушения зависит в основном от субъективного, человеческого фактора – слаженности действий расчета,

подготовленности пожарных и исправности оборудования.

Время прохождения пены через трубопровод, резервуар и по поверхности жидкости зависит от многих факторов, часть из которых является управляемыми, а часть – независимыми. Такие параметры, как интенсивность подачи пены, скорость подачи пены, ее кратность задаются настройкой насосного оборудования, концентрацией пенообразователя и являются управляемыми.

Другие, такие как давление в резервуаре, высота наполнения, температура окружающего воздуха, направление ветра, толщина слоя подтоварной жидкости, вязкость содержимого резервуара носят случайный характер.

Следует отметить, что и независимые, и ранее упомянутые управляемые параметры не являются детерминированными, а изменяются случайным образом в определенных пределах в процессе тушения пожара.

На рисунке 1 приведена структурная схема действующих факторов, причем они разделены на три группы: относящиеся к характеристикам самого резервуара и находящейся в нем жидкости; относящиеся к способу тушения, обеспечиваемые оборудованием; внешние факторы.

* E-mail: 3337044@gmail.com (S. Malashenko)



Рисунок 1 – Факторы, определяющие эффективность подслоного тушения

Более подробно факторы, влияющие на эффективность тушения подслоным способом, рассмотрены в работе [2]. В результате анализа данных факторов определены границы изменения параметров при тушении пожара в резервуаре подслоным способом с помощью устройства оперативной врезки (таблица 1).

Таблица 1 – Границы изменений параметров при тушении пожара в резервуаре подслоным способом с помощью устройства оперативной врезки

№ п/п	Параметр	Обозначение, единицы	Границы изменений
1.	Плотность пены	ρ_f , кг/м ³	0,2...0,5
2.	Толщина слоя пены	h , м	0,03...0,08
3.	Коэффициент разрушения пены	a	0,03...0,049
4.	Расход раствора	Q , л/с	12,0...22,0
5.	Скорость растекания	V_p , мм/с	100...200
6.	Плотность нефтепродукта	ρ_n , кг/м ³	0,76...0,82
7.	Гидравлическое сопротивление	C_x	1,2...1,5
8.	Диаметр пузыря	D , мм	50...100
9.	Высота нефтепродукта	H , м	11,0...11,5

Однако, при выполнении расчетов на базе детерминированных моделей реально существующее явление разброса параметров не принимается во внимание. Это приводит к несоответствию расчетных и фактических выходных показателей процесса. Более эффективно решать такие задачи позволяют вероятностные методы расчета. Для этого построено девятимерное пространство параметров, учитывающее возможное изменение параметров при тушении [3-5].

Анализ значений критериев показывает, что время прохождения пены по трубопроводу изменяется в диапазоне от 0,57 до 2,55 секунды, что составляет 1-3 % от суммарного времени движения пены и весь полученный ряд значений данного критерия является допустимым для принятой при расчете длины трубопровода.

При увеличении расстояния от врезки до резервуара это время будет увеличиваться, достигая, в среднем, 5-8 секунд при врезке на расстоянии до 50 метров от резервуара. Такая ситуация может сложиться при невозможности нормативного (сразу за обвалованием) расположения врезки, например, при позднем обнаружении пожара, совпадении направления ветра с направлением технологического трубопровода либо при частичном обрушении резервуара.

Расчетное время подъема пены в резервуаре составило 5,7... 25,0 секунд. При расчете было учтено изменение плотности нефтепродукта, изменение диаметра струи пены при подъеме в резервуаре, изменение кратности пены и расхода раствора через пеногенератор. При натурном эксперименте на резервуаре РВС-2000, расположенном на территории ОАО «Нафтан», проведена апробация подслоного способа тушения с помощью устройства оперативной врезки и получено суммарное значение времени, включающее в себя время прохождения пены через трубопровод и время подъема пены в резервуаре. При выполнении эксперимента на резервуаре невозможно отделить время нахождения пены в трубопроводе. Суммарное среднее время (по данным эксперимента) составляет около 30 секунд, что соответствует значению, полученному при моделировании.

При изменении температуры окружающего воздуха изменяется плотность и вязкость нефтепродукта. Это изменение, судя по аналитическим формулам, описывающим движение пены на различных этапах, может повлиять на скорость подъема пены, а, следовательно, и на время подъема пены в резервуаре. Однако, диапазон изменения плотности топлива, введенный в модель, полностью охватывает значения плотности бензина при температурах от -40 °С до +40 °С. В работах, посвященных исследованию свойств нефтепродуктов и в нормативных документах на их производство, плотности бензинов, дизельных топлив, керосинов и т.д. не приводятся в детерминированных значениях для каждой марки, а указан диапазон, в котором допустимо изменение плотности [6]. При моделировании не выявлено существенного влияния данного параметра на временные критерии.

Далее был определен диапазон изменения критерия «время растекания пены по поверхности нефтепродукта». Изменяемые параметры: расход огнетушащего средства, кратность пены, коэффициент гидросопротивления и др. При моделировании получены следующие значения критерия 9,7...239,0 секунд. Максимальное время растекания получено при самом неблагоприятном сочетании параметров тушения. Полученные значения критериев сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Разброс значений критериев

№ п/п	Критерий	Минимальное значение, с	Максимальное значение, с
1.	Время движения пены по трубопроводу	0,57	2,55
2.	Время подъема пены в резервуаре	5,7	25,0
3.	Время растекания пены по поверхности нефтепродукта	9,7	239,0

Чтобы обеспечить наибольшую эффективность тушения необходимо минимизировать время. Это сделано путем введения ограничений на критерии и решения обратной задачи (определения оптимальных параметров) в ограниченном пространстве критериев.

На критерии наложены следующие ограничения (таблица 3):

- в 10 % -ном диапазоне от минимальных значений критериев;
- в 25 % -ном диапазоне от минимальных значений критериев;
- в 50 % -ном диапазоне от минимальных значений критериев.

Таблица 3 – Ограничения на критерии

№ п/п	Критерий	10 % - ный диапазон	25 % - ный диапазон	50 % - ный диапазон
1.	Время движения пены по трубопроводу	0,57...0,77	0,57...1,07	0,57...1,56
2.	Время подъема пены в резервуаре	5,7...7,63	5,7...10,52	5,7...15,35
3.	Время растекания пены по поверхности нефтепродукта	9,7...32,63	9,7...67,03	9,7...124,35

Анализ результатов моделирования в приведенных диапазонах критериев показывает, что первый (10 %-ный) и второй (25 %-ный) диапазоны не имеют практического значения, так как суммарное время тушения от 15,97 до 78,62 секунды может быть достигнуто при неоправданно большом расходе огнетушащего средства, высокой интенсивности подачи пены и пенном слое на поверхности нефтепродукта от 100 миллиметров. Наиболее рациональным является третий диапазон. Однако, в него были внесены коррективы, продиктованные следующими соображениями. Влияние времени прохождения пены через технологический трубопровод до резервуара при штатном расстоянии врезки по сравнению с другими критериями незначительно и диапазон изменения этого критерия до 1 секунды допустим. Процесс подъема пены в резервуаре наименее изучен, однако рассчитанное по предложенной математической модели время оказалось близким к экспериментальному (около 25 секунд). Для уменьшения общего времени тушения примем в качестве допустимого время подъема пены до 20 секунд.

Заключение. Таким образом, определяем параметры подслоного тушения при следующих ограничениях на критерии:

- время движения пены в трубопроводе – до 1 секунды;
- время подъема пены в резервуаре – до 20 секунд;
- время растекания пены по поверхности – до 35 секунд.

При моделировании в ограниченном пространстве критериев установлено, что необходимо поддерживать значения управляемых параметров следующими:

- плотность пены – $237,8 \text{ кг/м}^3$, то есть кратность 4,2 (допустимый разброс 3,7...4,6);

- расход пены 20,18 л/с (допустимый разброс 18,5... 21,3 л/с);

- оптимальная толщина слоя пены на поверхности нефтепродукта для тушения 54 мм (допустимый разброс 41... 62 мм).

Данные значения управляемых параметров обеспечивают заданное время тушения с вероятностью 99,9 % при учете разброса остальных параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малашенко, С.М. Математическая модель движения пены при подслоном тушении нефтепродуктов / С.М. Малашенко [и др.] // Сборник трудов XII МНТК «Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации». – 2015. – Курск, Россия. – С. 27–31.
2. Факторы, определяющие эффективность тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах подслоным способом / Малашенко С.М., Смиловенко О.О. // «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация» – 2015. – № 1 (37). – С. 126–133.
3. Малашенко, С.М. Имитационное моделирование процесса движения пены при подслоном тушении / С.М. Малашенко // Вестник Командно-инженерного института. – 2016. – № 1 (23). – С. 85-91.
4. Smilovenko Olga, Zhilinsky Oleg, Skorynin Yury Estimation method for quality of functioning and reliability of technical systems on basic LPτ-sequences // RELCOMEX'89 / Technical University of Wroclaw, Poland.- 1989. – P. 169-174.
5. Смиловенко О.О., Скорынин Ю.В., Джокич В. Выбор параметров трибомеханической системы, имеющей несколько критериев работоспособности // YUTRIB'91: Сб. науч. тр. междунар. конф. (Крагуевац, СФРЮ, 1991 г.).- Крагуевац, 1991.- С. 124-130.
6. Гуреев, А.А. Применение автомобильных бензинов / А.А. Гуреев. – М.: Химия, 1972. – 368с.

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ГАСІННЯ РЕЗЕРВУАРІВ ПІДШАРОВИМ СПОСОБОМ

С.М. Малашенко¹, О.О. Смиловенко², канд. техн. наук, доцент

¹ Установа «Науково-дослідний інститут пожежної безпеки та проблем надзвичайних ситуацій» Міністерства з надзвичайних ситуацій Республіки Білорусь, м. Мінськ

² Державна установа освіти «Командно-інженерний інститут МНС Республіки Білорусь»

КЛЮЧОВІ СЛОВА

резервуар, пожежа, повітряно-механічна вогнегасна піна, підшаровий спосіб гасіння нафти и нафтопродуктів, час гасіння

АНОТАЦІЯ

Розроблено спосіб підшарового гасіння з використанням оперативної врізки в технологічний трубопровід резервуара з нафтопродуктами для вертикальних сталевих резервуарів об'ємом 500-5000 тон, не обладнаних стаціонарно змонтованими пінопроводами.

Розроблено математичну модель і метод імітаційного комп'ютерного моделювання процесу руху піни при підшаровому гасінні резервуарів, що дозволяє досліджувати цей процес з урахуванням зміни параметрів гасіння і прогнозувати його час.

Розроблено методику вибору режимних параметрів гасіння. Визначено значення режимних параметрів гасіння, що забезпечують задані часові показники (критерії) гасіння для резервуара ємністю 2000 тон, заповненого бензином

CHOICE OF RATIONAL PARAMETERS EXTINGUISHING IN THE TANKS BY SUBSURFACE METHOD

C. Malashenko¹, O. Smilovenko², Cand. of Sc. (Eng.), Assoc. Prof.

¹Institution "Research Institute of Fire Safety and Emergencies", Ministry for Emergencies, Republic of Belarus, Minsk

²State Educational Institution "Command and Engineering Institute" Ministry for Emergencies, Republic of Belarus, Minsk

KEYWORDS

tank, fire, air and mechanical fire-extinguishing foam, subsurface extinguishing method of oil and oil products, extinguishing time

ANNOTATION

The subsurface extinguishing method using the operative cut-in integrated device in the industrial pipeline tank with oil products for vertical steel tanks of 500-5000 tons capacity, not equipped with fixed mounted foam wires has been developed.

The mathematical model and computer simulation method of the foam motion during subsurface extinguishing of tanks, which allows to investigate this process taking into account the actually existing drift of the extinguishing parameters and to predict extinguishing time, has been developed.

The method of selection of operating extinguishing parameters has been developed. The values of operating extinguishing parameters, providing specified time indicators (criteria) of the extinguishing tank of 2000 tons capacity, filled with gasoline have been defined.