

АЛГОРИТМ ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАССТАНОВКИ СТВОЛОВ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОЖАРА В РЕЗЕРВУАРНОМ ПАРКЕ

Абрамов Ю.А., д.т.н., профессор, Академия гражданской защиты Украины
Басманов А.Е., к.т.н., докторант, Академия гражданской защиты Украины

Резервуарные парки являются основным местом хранения нефтепродуктов при их транспортировке и переработке. Скопление больших объемов легковоспламеняющихся жидкостей на относительно небольшой площади приводит к повышенной пожарной опасности. При возникновении пожара особую угрозу представляет его каскадное распространение. Первостепенной задачей пожарных подразделений является локализация пожара.

При выборе резервуаров, которые в первую очередь подлежат охлаждению, и выборе позиций для пожарных стволов необходимо считаться с основными опасностями, возникающими при пожаре в резервуарном парке: деформации стенок горящего резервуара и достижением металлическими конструкциями соседнего резервуара температуры самовоспламенения. Деформация стенок горящего резервуара затрудняет подачу пены и, следовательно, увеличивает время тушения пожара. Если в негорящем резервуаре концентрация паров в газовом пространстве лежит во взрывоопасных пределах, то нагрев стальных конструкций до температуры самовоспламенения приведет к его взрыву. Если концентрация превосходит верхний концентрационный предел распространения пламени, то возникнет факельное горение дыхательных клапанах. Очевидно, что во втором случае пожар ликвидируется быстрее и проще, а ущерб оказывается меньшим.

Перечисленные опасности не являются равноценными. В связи с этим возникает необходимость введения единого числового показателя, характеризующего эффективность выбранного плана локализации пожара. В качестве такого показателя будем рассматривать ожидаемый ущерб от пожара. Ущерб U , причиняемый горением одного резервуара, связан с выгоранием нефтепродукта, расходом воды и огнетушащих средств, т.е. пропорционален длительности пожара t . В случае горения нескольких резервуаров ущерб будет пропорционален сумме времени горения каждого резервуара:

$$U \sim \sum_{k=1}^n t_k,$$

где t_k – продолжительность пожара в резервуаре k . Продолжительность пожара и ущерб являются, вообще говоря, случайными величинами. Поэтому ниже, говоря о времени и ущербе, будем подразумевать их средние значения.

Пусть в группе из n одинаковых резервуаров горит один резервуар. Стохастические модели тепловых процессов при пожаре в резервуарном

парке, построенные в [1], позволяют оценить вероятности перечисленных выше опасностей. Оценим ожидаемые потери, соответствующие некоторой расстановке стволов. Для этого предположим, что среднее время для тушения резервуара данного типа при данных погодных условиях составляет \bar{t} при отсутствии деформации стенок и образования «карманов», и $\bar{t} + \Delta t$ при их наличии. Если p_0 – вероятность деформации сухой стенки, то ожидаемый ущерб от пожара в этом резервуаре:

$$U_0 \sim (\bar{t} + \Delta t)p_0 + \bar{t}(1 - p_0) = \bar{t} + p_0\Delta t.$$

Кроме того, горение резервуара создает угрозу соседним резервуарам. Вероятности достижения температуры самовоспламенения негорящими резервуарами зависят от длительности t пожара в горящем резервуаре. Таким образом, в случае деформации стенки горящего резервуара и увеличения длительности пожара вероятности будут равны $p_1(\bar{t} + \Delta t)$, $p_2(\bar{t} + \Delta t)$, ..., $p_{n-1}(\bar{t} + \Delta t)$, а при отсутствии деформаций – $p_1(\bar{t})$, $p_2(\bar{t})$, ..., $p_{n-1}(\bar{t})$. Тогда ожидаемый ущерб от пожара в k -ом резервуаре составляет:

$$U_k \sim \bar{s}p_k(\bar{t})(1 - p_0) + \bar{s}p_k(\bar{t} + \Delta t)p_0 = \bar{s}[p_k(\bar{t})(1 - p_0) + p_k(\bar{t} + \Delta t)p_0],$$

где \bar{s} – среднее время тушения пожара в резервуаре данного типа. Это время усреднено как по случаю с деформацией стенки, так и без нее. Для простоты будем полагать, что $\bar{s} = \bar{t} + p_0\Delta t$. Тогда полный ущерб U от пожара в резервуарной группе может быть представлен в виде:

$$U \sim \bar{t}(1 + \delta p_0) \left(1 + (1 - p_0) \sum_{k=1}^{n-1} p_k(\bar{t}) + p_0 \sum_{k=1}^{n-1} p_k(\bar{t}(1 + \delta)) \right), \quad (1)$$

где $\delta = \Delta t/\bar{t}$ – относительное увеличение продолжительности пожара при деформации стенки и образовании «карманов» в горящем резервуаре. В действительности, воспламенение (или взрыв) в негорящем резервуаре увеличивает вероятности достижения температуры самовоспламенения другими резервуарами, а, следовательно, и ожидаемый ущерб в (1). Но, с целью упрощения, мы будем пренебрегать такими эффектами.

Для характеристики того или иного варианта размещения стволов вместо ожидаемого ущерба U из (1), удобнее использовать безразмерную величину u :

$$u = (1 + \delta p_0) \left(1 + (1 - p_0) \sum_{k=1}^{n-1} p_k(\bar{t}) + p_0 \sum_{k=1}^{n-1} p_k(\bar{t}(1 + \delta)) \right), \quad (2)$$

которую будем называть безразмерным ущербом. При этом реальный ущерб от пожара U будет пропорционален безразмерному ущербу u .

Для практического применения (2) важен параметр δ , характеризующий относительное увеличение продолжительности пожара при возникновении сложностей с подачей огнетушащих средств, вызванных деформацией стальных конструкций горящего резервуара. Оценим этот параметр, исходя из статистических данных [2], где проанализированы действия пожарных подразделений для ликвидации горения в «карманах». В 42% случаев пожары, при которых возникали «карманы», были ликвидированы путем увеличения интенсивности подачи огнетушащих средств. Интенсивность подачи воды на охлаждение превосходила нормативное в 2-3,5 раза, огнетушащих средств – в 2,5-4 раза. Продолжительность пенной атаки составляла от 30 до 120 минут (в среднем около 75 минут), при нормативной 10-15 минут. Еще в 17% пожаров проводились работы по вырезанию отверстий с помощью газовых резаков. Время, затрачиваемое на эти работы, составляло 60-90 минут. В 20% случаев пожар заканчивался только после полного выгоранием нефтепродукта. В остальных случаях проводилась откачка нефтепродукта или закачка нефтепродукта (воды). Обобщая приведенные данные, можно сделать вывод о том, что наличие «карманов» приводит к увеличению времени, затраченного на тушение, примерно на 75 минут.

Для тех же резервуаров в [2] приведены данные по продолжительности пожаров. Средняя их продолжительность составляет около 6 часов. Сопоставляя полученные данные, можно сделать вывод о том, что наличие «карманов» в горящем резервуаре увеличивает продолжительность пожара на 20-25%. Таким образом, $\delta \approx 0,2 - 0,25$.

Таким образом, для сравнения эффективностей вариантов размещения стволов достаточно сравнить соответствующие им безразмерные ущербы. При этом имеет значение не сама величина безразмерного ущерба u или ее изменение Δu при переходе от одного варианта к другому, а относительное изменение $\Delta u/u$.

Литература

1. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Оценка параметров распределения температуры сухой стенки резервуара при пожаре // Науковий вісник будівництва. Зб. наук. праць. – Харків: ХДТУБА, 2005, вип. 34. – С. 167-172.
2. Тушение нефти и нефтепродуктов: Пособие / Безродный И.Ф., Гилетич А.Н., Меркулов В.А. и др. – М.: ВНИИПО, 1996. – 216 с.