

УДК 621.3

А.Е. БАСМАНОВ, канд. техн. наук

*Академия гражданской защиты Украины*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ НАГРЕВА РЕЗЕРВУАРА С НЕФТЕПРОДУКТОМ ДЛЯ АНАЛИЗА ПОЖАРНОЙ СИТУАЦИИ**

Проведено сравнение детерминированной и стохастической моделей нагрева резервуара с нефтепродуктом на примере анализа пожарной ситуации в резервуарном парке с нефтью. Указанные модели используются для оценки времени, в течение которого необходимо начать охлаждение негорящих резервуаров.

**Постановка проблемы.** Тушение пожара в резервуарном парке нефтепродуктов всегда связано с угрозой воспламенения или взрыва других резервуаров и дальнейшим каскадным распространением пожара. Поэтому первоочередной задачей пожарных подразделений является охлаждение горящих и соседних с ними резервуаров. Статистика показывает, что наиболее часто взрывы происходят в резервуарах с нефтью. В условиях недостатка сил и средств, особенно на начальной стадии пожара, важно правильно выбрать резервуары, которые подлежат охлаждению. Сделать это можно еще на этапе разработки плана пожаротушения в резервуарном парке.

**Анализ публикаций.** В [1, 2] построена детерминированная модель нагрева резервуара под действием излучения от факела горящего резервуара. При этом предполагается, что факел имеет постоянную форму и температуру. Для случая случайных нормально распределенных пульсаций формы и температуры факела в [3] показано, что температура нагреваемого резервуара приближенно может быть описана нормальным процессом.

**Постановка задачи и ее решение.** Оценим предельное время ввода сил для охлаждения резервуаров, исходя из моделей, приведенных в [1, 2, 3]. При разработке плана пожаротушения в резервуарном парке необходимо учитывать риски нескольких типов. Первый тип риска связан с угрозой деформации сухой стенки горящего резервуара. Такая деформация, хотя и не представляет собой угрозы, поскольку нефтепродукт продолжает удерживаться смоченной частью стенки, но существенно затрудняет в дальнейшем подачу пены для тушения.

Другой тип риска связан с возможностью взрыва соседнего резервуара или возникновения факельного горения паров на дыхательных клапанах. Из последних двух явлений, несомненно, большую опасность представляет взрыв паровоздушной смеси.

Еще один тип риска связан с воспламенением (взрывом) паров нефтепродукта, вышедших из резервуара и скопившихся рядом с ним. Источником зажигания для них, по-прежнему, будут служить нагретые металлические конструкции. Но такое воспламенение (взрыв) возможно только при полном штиле. Даже небольшой ветер будет сносить пары нефтепродукта, не давая им скапливаться в одном месте.

Нижний температурный предел распространения пламени составляет для нефти около 10-15 °С, а верхний – 60-80 °С [4]. Это означает, что в летнее время (частично также весной и осенью) концентрация паров в газовом пространстве резервуара будет взрывоопасной. Зимой, только остывшая нефть будет выходить из взрывоопасных пределов. Горячая нефть, залитая в резервуар, будет создавать взрывоопасные концентрации даже зимой. Поэтому основной опасностью будет взрыв паровоздушной смеси в негорящем резервуаре. Источником воспламенения для нее может служить нагретая стенка резервуара. Необходимо рассматривать возможность факельного горения на дыхательной арматуре или взрыва паров в наружном пространстве нет, поскольку источником воспламенения во всех этих случаях являются нагретые металлические части резервуара. Нефть обычно содержит подстилающий слой воды или взвешенные ее капли, поэтому приходится учитывать угрозу вскипания нефти при прогреве ее в глубину. Эксперименты показывают, что вскипание происходит через 45-60 минут после начала горения [5]. Фактически, единственной мерой против вскипания является оперативность действий при тушении пожара.

Деформация сухой стенки, как и нагрев соседнего резервуара до температуры самовоспламенения требуют меньшего времени, чем прогрев нефтепродукта в глубину. Следовательно, для резервуарной группы с нефтью в краткосрочной перспективе необходимо рассматривать следующие риски:

- взрыв паровоздушной смеси в газовом пространстве негорящего резервуара;
- деформация сухой стенки горящего резервуара.

Рассмотрим в качестве примера пожар в группе из четырех резервуаров РВС-20000 (диаметр 40 м, высота 18 м) – рис. 1. Расстояние между резервуарами 30 м (0,75 диаметра), между резервуаром и обвалованием – 6 м. Пусть горящий резервуар заполнен нефтью до уровня 9 м, а соседние – до уровня 15 м. Будем полагать, что ветра нет, температура окружающего воздуха и начальная температура резервуаров 10 °С, температура самовоспламенения паров нефти 280 °С [4]. Ввиду отсутствия ветра, резервуары 2 и 3 находятся в одинаковых условиях, и под соседним резервуаром будем понимать любой из них.

Пусть охлаждение отсутствует. Детерминированная модель нагрева [1, 2] показывает, что сухая стенка и крыша достигнута ее через 12 минут. После этого их температура, медленно возрастая, приближается к 300 °С.

Небольшое изменение температуры самовоспламенения приводит к значительному изменению времени ее достижения. Например, температура 290 °С будет достигнута через 16 минут после начала пожара, а 300 °С – через 25 минут. На этом примере видна ограниченность детерминированной модели: небольшие изменения параметров (точные значения которых, в действительности, неизвестны) могут приводить к значительному разбросу результатов.

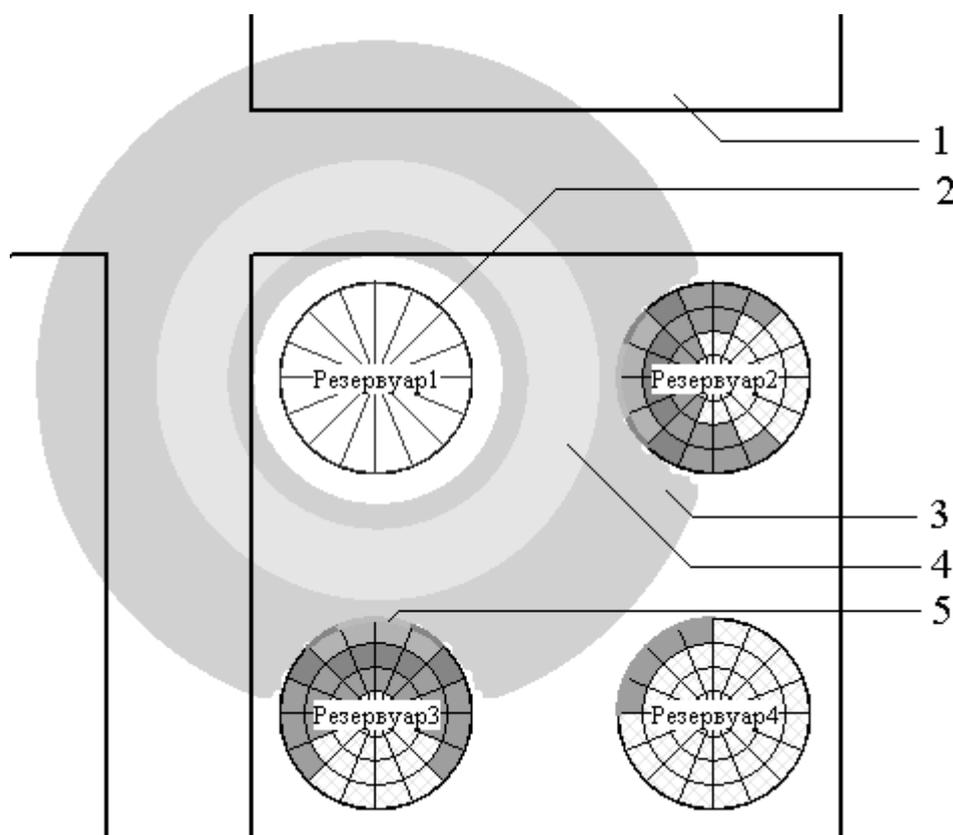


Рисунок 1 – Пожарная ситуация в резервуарной группе РВС-20000 с нефтью через 10 минут после начала пожара: 1 – соседние резервуарные группы; 2 – горящий резервуар; 3 – тепловой поток  $q = 4,2 \div 7 \text{ кВт/м}^2$ ; 4 – тепловой поток  $q = 7 \div 8,5 \text{ кВт/м}^2$ ; 5 – стенка резервуара, нагревающаяся до опасной температуры

В данной ситуации следует применять стохастическую модель [3]. Расчеты показывают, что вероятность достижения стенкой температуры самовоспламенения изменяется от 0,1 до 0,85 на интервале от 7 до 20 минут. При этом через 12 минут вероятность будет равна 0,5. Это не означает того, что при  $t = 12$  мин в половине случаев температура будет

больше или равна критической. Это говорит о том, что на интервале времени  $(0, 12)$  она, хотя бы однажды, пересечет критический уровень, затем, возможно, опустившись ниже его. Практически, это означает, что к этому моменту в 50% уже может произойти взрыв паровоздушной смеси. Поэтому охлаждение требуется уже через 5-7 минут. Изменение температуры самовоспламенения теперь не оказывает такого влияния как в детерминированной модели: вероятность достижения  $290\text{ }^{\circ}\text{C}$  через 12 минут составляет 0,45, а через 20 минут – 0,83. Для  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  эти вероятности составляют соответственно 0,37 и 0,77 соответственно.

Пусть горящий резервуар охлаждается по всему периметру тремя лафетными стволами, начинающими свою работу через 2 минуты после начала пожара. В соответствии с детерминированной моделью сухая стенка не достигает температуры самовоспламенения: через 30 минут она приближается к  $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Это означает, что угрозы взрыва паровоздушной смеси нет. Стохастическая же модель показывает, что вероятность достижения температуры самовоспламенения изменится от 0,1 для 8 минут после начала пожара до 0,82 для 30 минут. Температура в  $290\text{ }^{\circ}\text{C}$  также вполне достижима: вероятность ее достижения составляет 0,1 через 9 минут и 0,75 через 30 минут. Учитывая последствия (угроза человеческой жизни и материальные потери), к которым приводит взрыв паровоздушной смеси в резервуаре, его угрозой пренебрегать нельзя. Таким образом, резервуары 2 и 3 также требуют охлаждения.

**Выводы.** Быстрый рост температуры, и значительное превышение ею критического значения приводит к тому, что стохастическая и детерминированная модели дают практически одинаковые результаты. Если же температура возрастает медленно, незначительно превосходя критическое значение, или не достигая его, то стохастическая модель более точно описывает возникающую ситуацию. Она позволяет показать уровень риска и принять решение о необходимости тех или иных мер.

Анализ пожарной ситуации имеет смысл начинать с более простой детерминированной модели. Затем, если окажется, что в некоторые моменты температура резервуара близка к критической (разность не превосходит 30 градусов) или характеризуется медленным изменением в окрестности критического значения, то следует перейти к стохастической модели. В противном случае, различие между моделями будет незначительным.

Перспективы дальнейших исследований связаны выбором оптимальной позиции стволов для охлаждения горящего и соседних резервуаров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Влияние пожара на резервуар с нефтепродуктом // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Сб. научных трудов – Харьков: ХНАДУ, 2005. – Вып. 29. – С. 131-133.
2. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Оценка пожарной опасности резервуара с нефтепродуктом при его нагреве от пламени соседнего горящего резервуара // Радиоэлектроника и информатика. – Харьков: ХНУРЭ, 2005. № 2. – С. 110-112.
3. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Влияние случайных пульсаций пламени на нагрев резервуара при пожаре // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: Фолио, 2005. – Вып. 18. – С. 3-8.
4. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. изд.: в 2 книгах; кн. 1 / Баратов А.Н., Корольченко А.Я., Кравчук Г.Н. и др. – М.: Химия, 1990. – 496 с.
5. Демидов П.Г., Шандыба В.А., Щеглов П.П. Горение и свойства горючих веществ. – М: Химия, 1973. – 248 с.