

В.В. Роевко, А.В. Пряничников, Е.Б. Бондарев
(Академия ГПС МЧС России; e-mail: bondarev018@mail.ru)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ ТУРБИННЫХ МАСЕЛ НА ОБЪЕКТАХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Анализируется целесообразность применения температурно-активированной воды для тушения по турбинным масел на объектах теплоэнергетики с акцентом на отсечение площади пожара и недопущение его распространения на соседние агрегаты путем создания водно-капельных завес.

Ключевые слова: температурно-активированная вода, объекты теплоэнергетики, тушение пожаров.

V.V. Roenko, A.V. Pryanichnikov, E.B. Bondarev
**THE USE OF TEMPERATURE-ACTIVATED WATER
TO EXTINGUISH FIRES OF TURBINE OILS
IN THERMAL POWER ENGINEERING FACILITIES**

Analysis of expediency of application of temperature-activated water to extinguish fires of turbine oils in thermal power engineering facilities with emphasis on cutting off the fire area and prevent its spread to neighbouring units by creating a water droplet curtain.

Key words: temperature-activated water, power plants, firefighting.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 19 июня 2015 г.

Температурно-активированная вода (ТАВ) может быть использована для тушения всех видов горючих веществ при условии, что они не вступают в химическую реакцию с выраженным экзотермическим эффектом и в результате реакции не образуются горючие газы, в том числе ТАВ эффективна для тушения масел, включая турбинные, применяемые на объектах энергетики.

Наиболее эффективно применение ТАВ в замкнутых объёмах, поскольку образуется большой объём паро-капельной смеси, которая, помимо непосредственно тушения пожара, осаждает возникающий дым и пары ядовитых веществ.

Эффективность ТАВ обусловлена размером капель, большинство которых составляет 0,01-10 мкм, а также температурой струи, которая уже на расстоянии 30-50 см от ствола-распылителя составляет 50-60 °С. Таким образом, значительная площадь поверхности капель и достаточно высокая их температура обеспечивают быстрое испарение воды, и как следствие, быстрое понижение температуры в зоне горения, сопровождающееся увеличением объёма пара. Также имеет место эффект инжектирования в очаги пожара капель размером менее 50 мкм, которые долго не осаждаются, что позволяет производить ненаправленное тушение пожара, направляя струи ТАВ в конвективные потоки. Особенно полезна такая возможность при тушении возгораний в транспортных и кабельных тоннелях, завалах и т.д. При этом ТАВ не содержит ядовитых веществ, что позволяет использовать метод в зонах, где могут находиться люди. Возможно применения ТАВ как для поверхностного, так и для объёмного пожаротушения [4].

Высокий уровень противопожарной защиты в общем виде достигается посредством эшелонированной защиты, которая должна обеспечивать:

- предотвращение возгораний;
- обнаружение пожара на ранней стадии;
- как можно более быстрое начало тушения пожара;
- предотвращение дальнейшего распространения пожара.

Для объектов энергетики характерна высокая пожарная нагрузка помещений с генерирующими мощностями. В частности, распространёнными источниками пожара являются масла, маслобаки, трубопроводы, насосы, системы слива, включая аварийное, маслоохладительные турбины, включая маслосистемы гидростатического подъёма ротора турбины.

Инжектирование ТАВ делает систему пожаротушения эффективной вне зависимости от количества источников возгорания: не имеет значения, сколько "тепловых насосов" образуется в помещении, поскольку конвекционные потоки, содержащие ТАВ, будут самостоятельно перераспределяться в зависимости от изменения локальных температур [2]. Аналогичным образом система достаточно эффективна вне зависимости от расположения источника возгорания в защищаемом объёме. Также применение ТАВ предотвращает тление и сопутствующие повторные возгорания: при повышении температуры процесс доставки ТАВ в конкретную точку объёма возобновляется естественным образом.

В настоящее время для тушения пожара турбинного масла применяются различные средства пожаротушения и огнетушащие вещества: воздушно-механическая пена, распылённая вода, газовые и порошковые составы, в том числе и специального назначения [3] (табл. 1).

Таблица 1

Технические средства пожаротушения

Наименование	Огнетушащее средство	Включение	Действие
Спринклерная установка пожаротушения	Вода	Автоматическое	Охлаждение, тушение
Дренчерная установка пожаротушения	Вода	Автоматическое, ручное	Охлаждение, тушение
Газовая установка пожаротушения, в т.ч. и модульного типа	Газ	Автоматическое, ручное	Флегматизация, тушение
Порошковая установка пожаротушения	Порошок (в т.ч. и специального назначения)	Автоматическое, ручное	Флегматизация, тушение
Пожарные краны	Вода	Ручное	Охлаждение, тушение
Наружные гидранты	Вода	Ручное	Охлаждение, тушение
Огнетушители переносные и передвижные	Пена, газ, вода, порошок	Ручное	Охлаждение, тушение, флегматизация

Наиболее универсальным, распространённым и эффективным огнетушащим средством является распылённая вода.

При пожаре крайне важно разделить помещение, в котором произошло возгорание, на зоны, между которыми распространение пожаров невозможно или затруднено. При строительстве планировка рассчитывается с учётом пожарных отсеков (часть зданий, выделяемая противопожарными преградами), внутри больших зданий при тушении пожаров в качестве преград тепловому излучению целесообразно использование водяных завес, которые будут создавать противопожарные разрывы между объектами. Также водяные завесы (экраны) служат для групповой защиты личного состава пожарных подразделений как от теплового излучения, так и для поглощения и удаления из воздуха дыма и токсичных газов.

В качестве стационарных установок пожаротушения целесообразно использовать систему подачи огнетушащего вещества через насадки, расположенные в один ряд – соответствующая завеса будет разделять помещение (например, машинный зал) на пожарные зоны, предотвращая распространение возгорания путём теплового излучения на оборудование и конструкции (рис. 1).



Рис. 1. Завеса из щелевых насадков-распылителей, расположенных в ряд

Важным вопросом для разработки методик пожаротушения с применением ТАВ является научное исследование способов подачи жидкости в зону пожара. В настоящее время для подачи ТАВ из стволов-распылителей используются насадки-распылители в виде "шайбы с острой кромкой", "сопла Лавалея" и "сопла Лавалея с цилиндрической частью" (рис. 2).

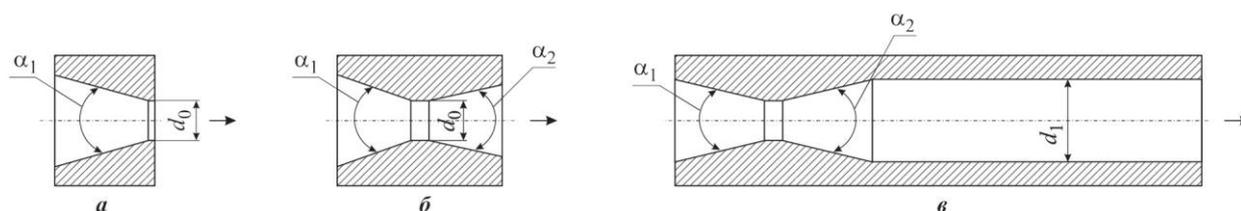


Рис. 2. Конструктивные особенности насадков-распылителей для подачи ТАВ:
a – насадок-распылитель с шайбой с острой кромкой;
б – насадок-распылитель с соплом Лавалья;
в – насадок-распылитель с соплом Лавалья с цилиндрической частью

Эффективность распыления ТАВ можно повысить при использовании насадков-распылителей, использующих эффект Коанда [5], что позволяет раскрыть струю ТАВ на угол вплоть до 180° . Академия ГПС МЧС России совместно со специалистами ООО "Аква-ПиРо-Альянс" провела испытания соответствующих изделий, которые показали возможность полного раскрытия струи на 180° при давлении $2,0 \text{ МПа}$ и температуре $180 \text{ }^\circ\text{C}$ [6], а использование специально разработанного насадка-распылителя к стволу "Пика" (рис. 3) позволяет раскрывать струю и формировать её движение вдоль защищаемых поверхностей, при этом отдача ствола практически отсутствует.

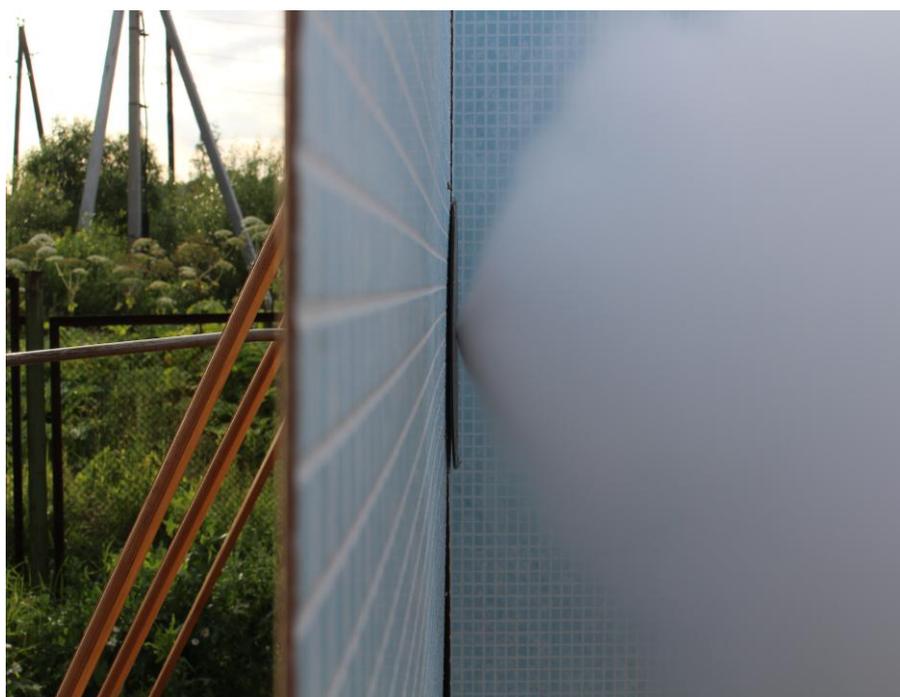


Рис. 3. Раскрытие струи при подаче ТАВ с использованием экспериментального насадка-распылителя

Была проведена экспериментальная работа по определению размера капель ТАВ при температурах $170 \text{ }^\circ\text{C}$ и $200 \text{ }^\circ\text{C}$ для насадков-распылителей в виде шайбы с острой кромкой и сопла Лавалья, включая вариант с соплом Лавалья с цилиндрической частью.

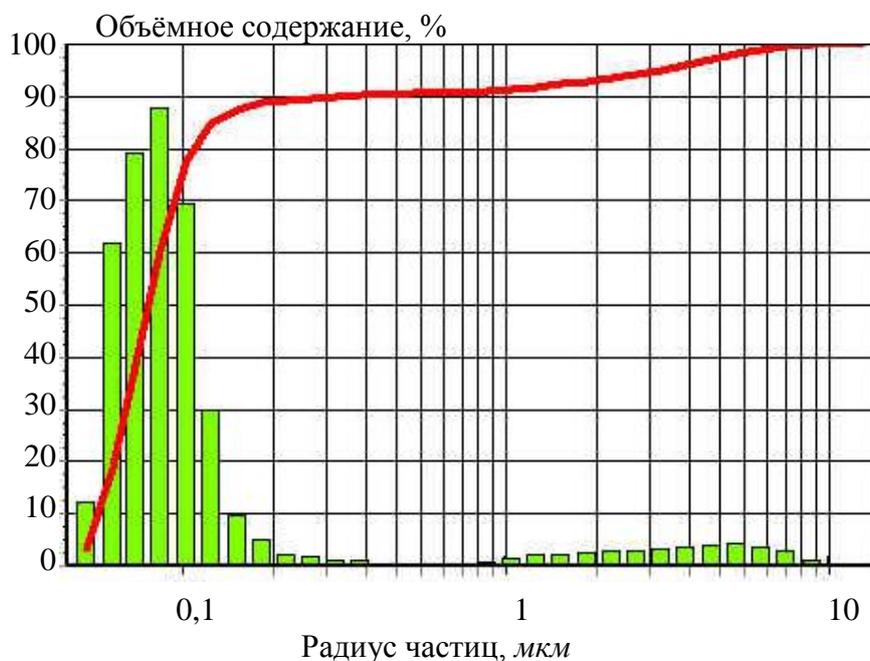


Рис. 4. Распределение капель при подаче ТАВ с использованием насадка-распылителя вида "сопло Лавая" при температуре 170 °С

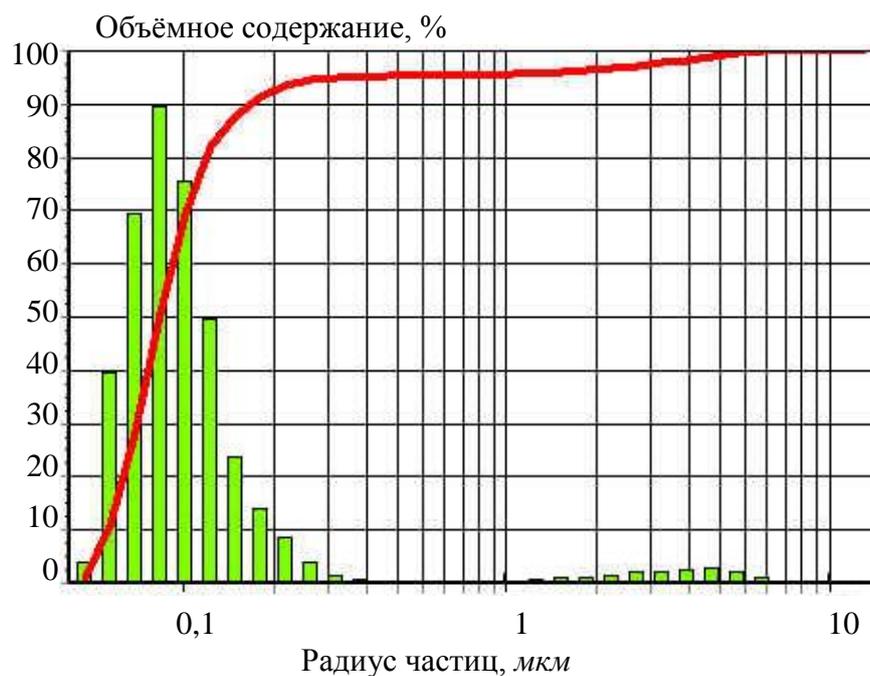


Рис. 5. Распределение капель при подаче ТАВ с использованием насадка-распылителя вида "сопло Лавая" при температуре 200 °С

Таблица 2

Данные для рис. 4, 5

Параметр	Температура воды, °С			
	170		200	
Содержание пара, %	13		19	
Радиус частиц, мкм	0,07	7	0,07	6
$N_{\text{капель}}$	$5,4811 \times 10^{17}$	$5,7421 \times 10^{10}$	$5,4831 \times 10^{17}$	$2,4536 \times 10^{10}$
$\sum S_{\text{капель}}, \text{м}^2$	33750	35,3571	33762,8	11,1

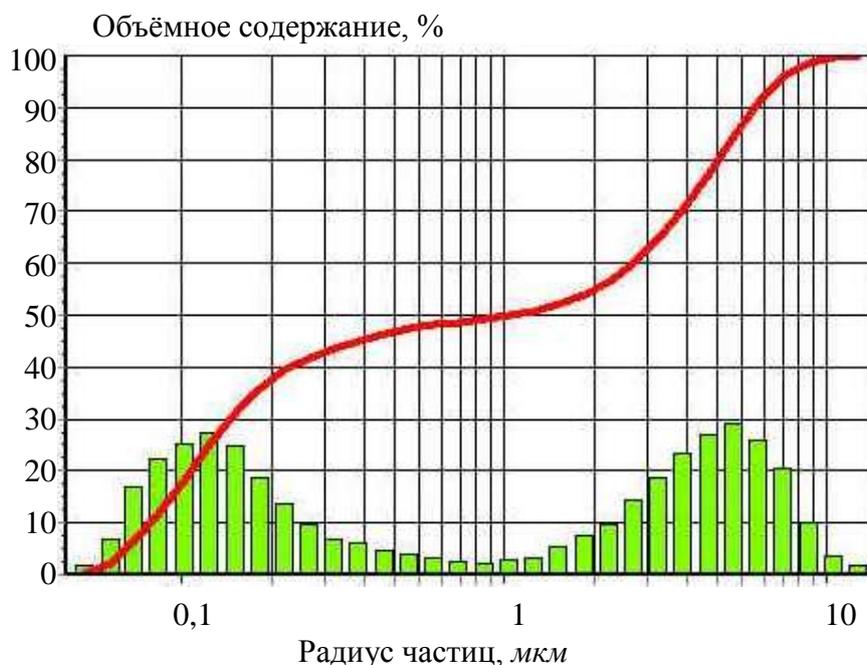


Рис. 6. Распределение капель при подаче ТАВ с использованием насадка-распылителя вида "сопло Лавала с цилиндрической частью" при температуре 170 °C

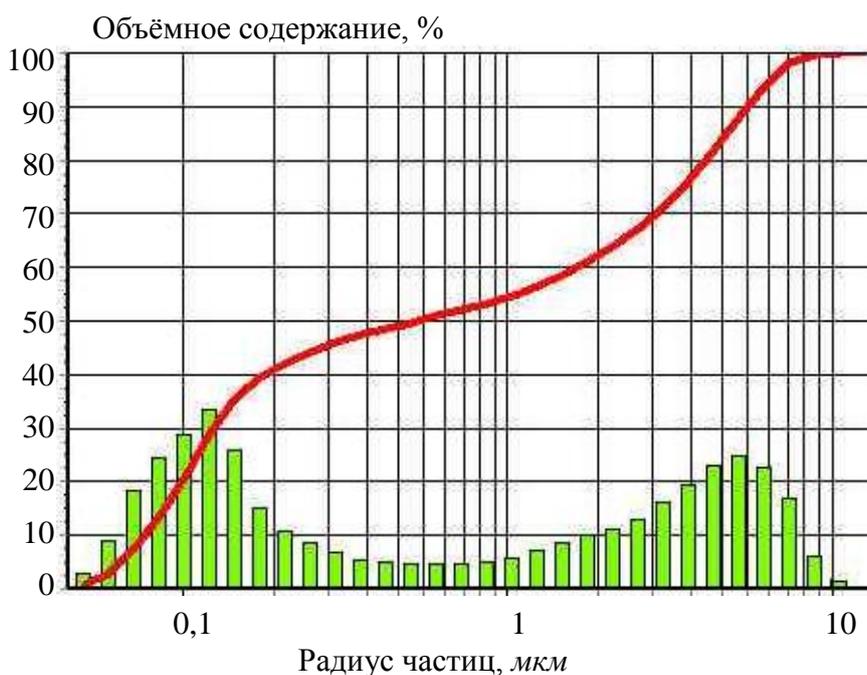


Рис. 7. Распределение капель при подаче ТАВ с использованием насадка-распылителя вида "сопло Лавала с цилиндрической частью" при температуре 200 °C

Таблица 3

Данные для рис. 6, 7

Параметр	Температура воды, °C			
	170		200	
Содержание пара, %	13		19	
Радиус частиц, мкм	0,07	7	0,07	7
$N_{\text{капель}}$	$1,895 \times 10^{16}$	$3,3408 \times 10^{11}$	$1,9922 \times 10^{16}$	$2,784 \times 10^{11}$
$\sum S_{\text{капель}}, м^2$	6882,3	205,7	7235,2	171,4

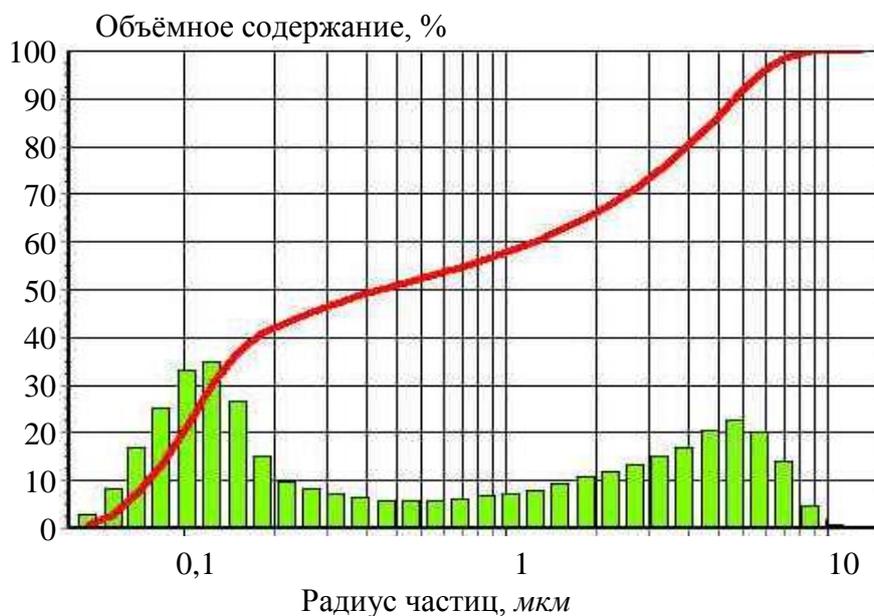


Рис. 8. Распределение капель при подаче ТАВ с использованием насадка-распылителя вида "шайба с острой кромкой" при температуре 170 °С



Рис. 9. Распределение капель при подаче ТАВ с использованием насадка-распылителя вида "шайба с острой кромкой" при температуре 200 °С

Таблица 4

Данные для рис. 8, 9

Параметр	Температура воды, °С			
	170		200	
Содержание пара, %	13		19	
Радиус частиц, мкм	0,17	7	0,17	7
$N_{\text{капель}}$	$2,2352 \cdot 10^{16}$	$2,8536 \cdot 10^{11}$	$2,5267 \cdot 10^{16}$	$2,0184 \cdot 10^{11}$
$\sum S_{\text{капель}}, \text{м}^2$	8117,6	175,7	9176,4	124,2

Из графиков видно, что бимодальное распределение капель ТАВ по размеру зависит от вида применяемой насадки-распылителя: использование сопла Лавалья даёт максимальное соотношение количества частиц малого радиуса (0,07 мкм в среднем) к большому (7 мкм в среднем) – приблизительно на 7 порядков, а использование насадка в виде шайбы с острой кромкой и сопла Лавалья с цилиндрической частью даёт отношение частиц с малым радиусом к частицам с большим – лишь на 5 порядков, то есть отличается в 100 раз.

При этом размеры капель большого диаметра одинаковы для всех используемых в эксперименте насадков-распылителей (7 мкм в среднем), между тем как размер малых капель зависит от вида насадка: для сопел Лавалья в обоих случаях размер малых капель составляет в среднем 0,07 мкм, а для насадка-распылителя в виде шайбы с острой кромкой – 0,17 мкм. Таким образом:

- на распределение размера капель влияет вид насадка-распылителей (процент малых капель получается больше при использовании сопла Лавалья без цилиндрической части);

- на размер капель малого размера влияет вид насадка-распылителя (размер меньше при использовании сопла Лавалья как с цилиндрической частью, так и без него);

- увеличение температуры подаваемой воды даёт некоторый сдвиг в сторону увеличения относительного количества капель с малым радиусом, эффект наиболее выражен для насадка-распылителя в виде сопла Лавалья;

- увеличение температуры ТАВ даёт большее паросодержание в струе.

Особо следует отметить, что ранее распространённое мнение о том, что минимальный размер капель при одинаковой температуре воды может быть получен с использованием насадка-распылителя в виде шайбы с острой кромкой, оказалось неверным.

Предполагаемый механизм явления заключается в конденсации капель из пара после взрывного вскипания внутри "протяжённых" сопел, поскольку конденсированные из пара капли по своим размерам оказываются меньше, чем капли, полученные в результате взрывного вскипания. На данном этапе аналитическое описание процесса одновременного образования капель в результате взрывного вскипания и в результате образования из пара отсутствует (и, исходя из сложности описания турбулентных сред в экстремальных условиях, будет отсутствовать долгое время), а экспериментально отличить конденсированные капли от остальных практически невозможно, поэтому капли не разделяются по происхождению, тем более, что для практических целей тушения пожара происхождение капель не имеет какого-либо значения.

Следовательно, дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку насадков-распылителей, конструкция которых обеспечивает возникновение капель минимального размера не только за счёт взрывного вскипания, но и за счёт конденсации пара за зоной вскипания, что увеличит долю капель с меньшим радиусом и уменьшит средний радиус таких капель, повышая тем самым эффективное воздействие ТАВ.

Дополнительно следует отметить эффективность применения распыления ТАВ для тушения пожара разлитых масел. В стандартных нормативных документах используется понятие "коэффициента разлития", который учитывает свойства различных поверхностей [1]. При отсутствии данных по конкретным материалам и поверхностям коэффициент разлития принимается равным 5 м^{-1} при проливе на обычный грунт, 20 м^{-1} при проливе на спланированное грунтовое покрытие, 150 м^{-1} для бетона и асфальта. Чем более гладкая и менее впитывающая поверхность, тем больше коэффициент растекания. При этом процесс разлития масла на твёрдой поверхности принципиально отличается от разлития на поверхности воды, поскольку масло, имеющее более низкую плотность и гидрофобные свойства, растекается тонкой плёнкой практически неограниченно и с большой скоростью, что создаёт значительный риск распространения пожара. Таким образом, тушение пожара масла обычными струями воды недопустимо, а использование обычной распылённой воды создаёт риск образования луж и потоков воды в результате пролива, поверх которых будет образовываться легко возгораемая масляная плёнка.

Использование же ТАВ в этом случае эффективно, так как из-за малых размеров капель пролив воды ничтожен, а распыление ТАВ по объёму прекращает горение по всей площади возгорания вследствие как отвода тепла, так и сокращения доступа воздуха к горящим материалам.

При этом одновременно и без дополнительных действий происходит защита личного состава пожарных подразделений при подаче стволов с ТАВ этими же стволами, создающими водную завесу, которая также обеспечивает эффективное осаждение и удаление дыма.

В заключение следует отметить отсутствие значительных технических сложностей при подаче ТАВ к очагам возгорания. Целесообразен предварительный монтаж стационарных сухотрубов при строительстве сооружений, к которым, при необходимости, могла бы подключаться автоматическая система пожаротушения или пожарные подразделения. Использование ТАВ для тушения пожара турбинного и других горючих масел в машинных залах энергетической отрасли является наиболее эффективным методом как с точки зрения доступности и стоимости материалов, так и в плане скорейшего тушения пожара и уменьшения рисков распространения загорания. Подача ТАВ возможна от автомобиля или стационарной установки по сухотрубам или гибким рукавам как для поверхностного, так и объёмного пожаротушения. При этом понижается риск поражения личного состава тепловым излучением, а также продуктами горения.

Экспериментальная часть проведённой авторами работы показала целесообразность использования в качестве насадка-распылителя сопла Лавалья. Необходимы дальнейшие исследования с целью определения минимальных температур и давления, что упростит эксплуатацию соответствующих установок.

Литература

1. **Приказ** МЧС России от 14 декабря 2010 г. № 649 "О внесении изменений в приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404".
2. **Дауэнгауэр С.А.** Пожаротушение тонкораспыленной водой: механизмы, особенности, перспективы // Пожаровзрывобезопасность. № 6. 2004. С. 78-81.
3. **Карнышев А.В., Душкин А.Л., Глухов И.С., Сегаль М.Д.** Использование тонкораспыленной воды для повышения противопожарной защиты атомных электростанций // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. № 5. 2006. С. 34-44.
4. **Роенко В.В., Додонов Е.Д.** Температурно-активированная вода – новое слово в развитии техники пожаротушения // Матер. 14-й науч.-техн. конф. "Системы безопасности – 2005". М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. С. 224-229.
5. **Фабер Т.Е.** Гидроаэродинамика. М.: Постмаркет, 2001. 543 с.
6. **Храмцов С.П.** Технические средства подачи температурно-активированной воды теплоэнергетической установкой для тушения пожаров на объектах энергетики: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03. М.: Академия ГПС МЧС России, 2011. 245 с.
7. **Храмцов С.П., Пряничников А.В., Никишин П.В., Кармес А.П.** Разработка стволов подачи температурно-активированной воды для тушения пожаров с нулевой отдачей и полным раскрытием струи при использовании автомобиля пожарного многоцелевого // Пожаровзрывобезопасность. Т. 19. №11. 2010. С. 44-48.