

ТУШЕНИЕ ПРОЛИВОВ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ МЕТАСТАБИЛЬНЫМИ ПАРОКАПЕЛЬНЫМИ СТРУЯМИ ВОДЫ

В статье рассмотрены способы использования взрывного вскипания воды в различных типах насадок-распылителей для получения метастабильных парокапельных струй воды с размером капель от 0,01 до 10,0 мкм и использования этих струй для тушения проливов нефти и нефтепродуктов.

Ключевые слова: недогретая вода, насадок-распылитель, взрывное вскипание, метастабильное состояние, парокапельная струя, пролив нефти и нефтепродуктов, тушение.

ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ ПАРОКАПЕЛЬНЫХ СТРУЙ ВОДЫ

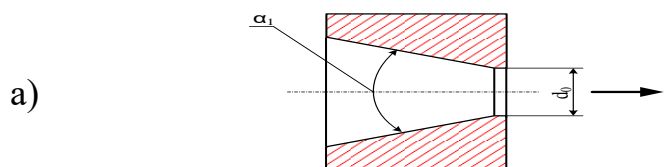
Термин «метастабильное состояние» (от мета... и лат. *stabilis*-устойчивый) в термодинамике подразумевает состояние неустойчивого равновесия физической макроскопической системы, в котором система может находиться длительное время. К такой макроскопической системе может быть отнесена парокапельная струя, полученная в результате взрывного вскипания воды. Если взрывное вскипание воды происходит при подаче в насадок-распылитель (см. рис. 1) воды с температурой не менее 165°C и давлением не менее 1,6 МПа (далее - недогретой воды), то образуется метастабильная парокапельная струя воды, которая эффективно тушит проливы нефти и нефтепродуктов.

В результате исследований, доказано, что улучшение огнетушащих свойств воды за счет её взрывного вскипания объясняется следующими причинами: при температурной активации воды (ее нагреве без вскипания до температуры более 165°C) существенно улучшается ее текучесть (коэффициент динамической вязкости уменьшается в 10-15 раз); в метастабильной парокапельной струе нет кислорода воздуха; после взрывного вскипания на выходе из насадка-распылителя до 30 % от массы недогретой воды перед стволом-распылителем переходит в недогретый пар, а оставшаяся масса воды образует витающие в недогретом паре капли воды с размером от

0,01 до 10,0 мкм; капли воды имеют бимодальное распределение по размеру; смесь капель воды и пара находится в метастабильном состоянии. После такого процесса вода приобретает уникальные свойства не только за счет получения капель микронного размера, но и за счет изменения структуры воды. Вода приобретает свойства аналогичные тем, которые в природе вода приобретает в поровых породах при высоких температурах и давлениях. Вода в метастабильном состоянии (далее – ВМС) не только эффективно тушит пожар, но и резко снижает температуру пламени и осаждает дым.

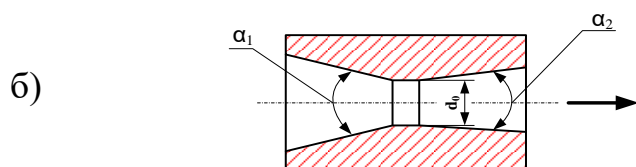
При тушении пожаров ВМС насадки – распылители представляют собой или «шайбу с острой кромкой» – ствол-трансформер (рис. 1 а), или «сопло Лавая» – ствол-пика (рис. 1 б) или «сопло Лавая с цилиндрической частью» – ствол-дальнобойный (рис. 1 в). Отличие струй ВМС, при подаче недогретой воды через различные насадки-распылители, заключается в форме образования и дальности подачи струй ВМС.

Конструкция насадка-распылителя



где α_1 - угол расточки канала; d_0 – диаметр канала.

При этом $\alpha_1 \geq 150^\circ$



где α_1 - угол расточки суживающейся части; α_2 – угол расширяющейся части; d_0 – диаметр сопла

Форма струи ВМС



Конструкция насадка-распылителя

Форма струи ВМС

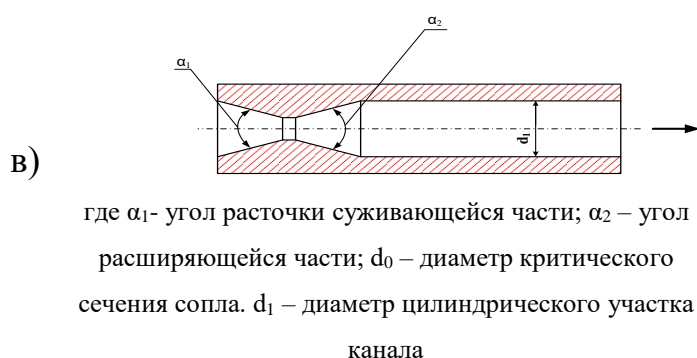


Рисунок 1 Конструкция насадок – распылителей и формы струи ВМС

При использовании взрывного вскипания недовреваемой воды, поданной через насадки-распылители, удастся добиться уменьшения размера капель воды, по сравнению с другими системами получения мелкодисперсной воды, от 0,01 до 10,0 мкм (рис. 2) без увеличения давления перед пожарным стволом более 12–16 атм. Важен тот факт, что при этом диаметр проточных частей насадок-распылителей составляет от 3,0 до 7 мм.



Рисунок 2 Сравнение размеров капель воды

Дисперсность струй ВМС определялась на установке, которая предназначена для измерения дисперсионного состава воздушно-капельной смеси по рассеянию монохроматического излучения в Объединенном Институте высоких температур РАН. На рисунке 3 представлена

принципиальная схема установки, а на рисунке 4 – рабочий участок и зона диагностики воздушно – капельного потока.

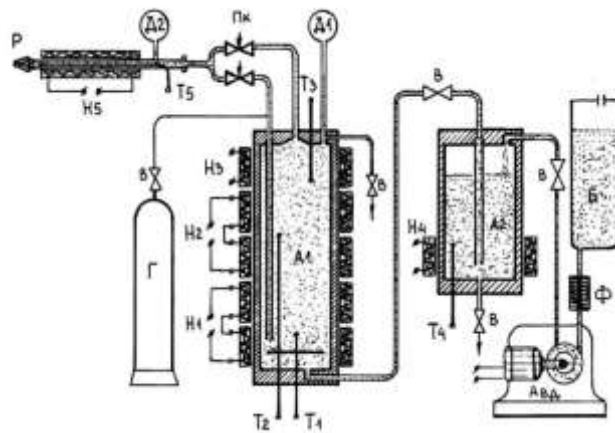


Рисунок 3 Принципиальная схема установки (автоклав, нагреватель, вентили, пневмоклапан, датчики давления, термопары, аппарат высокого давления, насадок-распылитель).

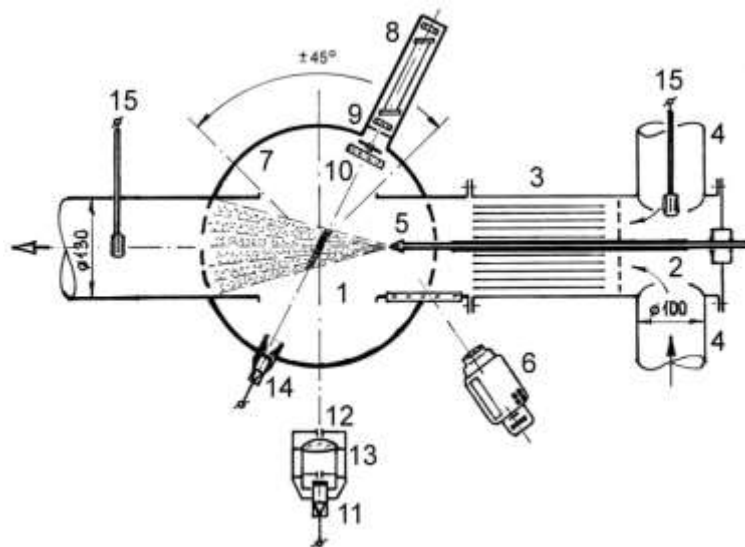


Рисунок 4 Рабочий участок определения параметров струй воды в метастабильном состоянии (1 – рабочий участок — труба 130×1 мм, длина 1500 мм; 2 – входное устройство — труба 130×1 мм, длина 400 мм; 3 – хонейкомб 15×15мм, длина 200 мм; 4 – патрубки подвода воздуха 100×1 мм; 5 – насадок-распылитель; 6 – видеокамера; 7 – поворотный стол; 8 – источник монохроматического излучения; 9 –ограничительная диафрагма; 10 – ослабляющий нейтральный светофильтр; 11 – регистрирующее устройство интенсивности рассеянного излучения с фотодиодным модулем; 12 – апертурная диафрагма; 13 – объектив; 14 – ловушка прямого излучения с фотодиодом для регистрации ослабления зондирующего излучения; 15 –датчики влажности и температуры).

По результатам опытов было обнаружено, что распределение капель по размерам носит явно выраженный бимодальный характер. При испытании насадка-распылителя типа «сопло Лавалья» – 90% капель по массе имеют радиус от 0,01 до 0,5 мкм, а 10% – от 1 до 10 мкм, при среднем размере первой моды около 0,07 мкм (рисунок 5 а).

При испытаниях насадка-распылителя типа «сопло Лавалья с цилиндрической частью», определены совсем другие значения размеров капель. Изменение распределения капель по размерам объясняется тем, что после взрывного вскипания внутри «протяженных» сопел интенсивнее происходит конденсация (коагуляция) не только капель, но и капель из пара. В результате этого процесса в струе ВМС 60% капель по массе образуют капли с радиусом от 0,01 до 0,8 мкм и 40% капель – с радиусом от 0,8 до 10 мкм (рисунок 5 б).

Испытывая насадок-распылителя типа «шайба с острой кромкой», позволяет обеспечивать струю ВМС, в которой 70% капель по массе имеют радиус от 0,01 до 1 мкм, а 30% – от 1 до 10 мкм (рисунок 5 в).

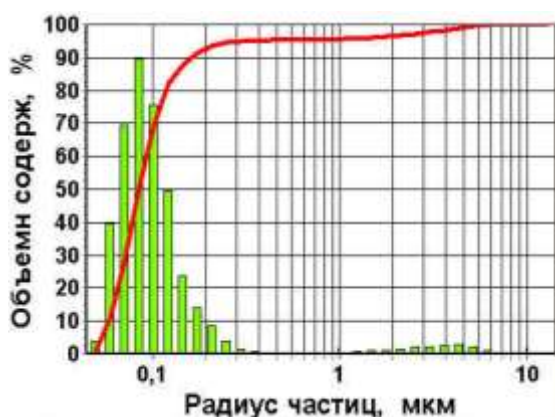


Рисунок 5 а – Распределение массовой доли капель по размерам. Сопло Лавалья при $T_B=200^\circ\text{C}$.



Рисунок 5 б – Распределение массовой доли капель по размерам. Сопло Лавалья с цилиндрической частью при $T_B=200^\circ\text{C}$.



Рисунок 5 в – Распределение массовой доли капель по размерам. Шайба с острой кромкой при $T_{в}=200^{\circ}\text{C}$.

Параметры струй ВМС при выходе из насадок–распылителей представлены в таблице 1.

Таблица 1 Параметры парок капельных струй при температуре 200°C и давлении $1,02\text{ МПа}$ недогретой воды перед насадком–распылителем

Тип насадка распылителя	Содержание пара, %	Радиус частиц / среднее, мкм	Кол-во капель, шт	Суммарная площадь капель, м^2
Сопло Лавая 1 – мода 2 – мода	19	0,01-0,4 / 0,07	$5,4831 \cdot 10^{17}$	33762,8
		1-10 / 6	$2,4536 \cdot 10^{10}$	11,1
Сопло Лавая с цилиндрической частью 1 – мода 2 – мода	19	0,01-0,7 / 0,07	$1,9922 \cdot 10^{16}$	7235,2
		1-10 / 7	$2,784 \cdot 10^{11}$	171,4
Шайба с острой кромкой 1 – мода 2 – мода	19	0,01-0,7 / 0,17	$2,5267 \cdot 10^{16}$	9176,4
		1-10 / 7	$2,0184 \cdot 10^{11}$	124,2

Анализ параметров струй ВМС показывает, что применение воды в метастабильном состоянии намного повысит эффективность при тушении пожаров, в отличие от тонкораспыленной воды, которая в настоящее время подтверждает универсальность и перспективность использования.

Как правило, после взрывного вскипания одна часть воды переходит в пар, а другая часть находится в капельном состоянии. Оценивая долю пара, образующегося из 1 кг перегретой воды, согласно закону сохранения энергии,

при температурах перегретой воды $T_v = 200$ °С доля образовавшегося пара не превысит 19 %.

Струи ВМС могут быть использованы для тушения практически всех видов горючих веществ, которые не вступают в химическую реакцию с водой с выделением большого количества тепла или горючих газов, бензины различных марок, нефтепродукты, спирты, ацетон, другие углеводороды и водорастворимые жидкости, а также твердые материалы: древесину, резину, поливинилхлорид, полистирол без применения различных добавок.

Наиболее эффективно струи ВМС тушат пожары в замкнутых объемах, так как образует большой объем парокapельной структуры, которая резко снижает температуру в зоне горения, осаждаст дым и пары ядовитых веществ, а также вытесняет воздух и, тем самым, уменьшает процентное содержание кислорода.

ТУШЕНИЕ ПРОЛИВОВ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Классифицируя способы тушения проливов нефти и нефтепродуктов, то их можно поделить по виду вещества (состава), которые применяются для тушения, по методу их подачи (применения). Все способы, прежде всего, делятся на поверхностные и объемные. Поверхностное тушение представляет собой подачу огнетушащих составов непосредственно на очаг пожара, а объемное тушение сводится к созданию специальной негорючей среды в районе пожара.

При реализации поверхностного способа тушения пожаров при проливах нефти и нефтепродуктов, применяется не только вода или водные растворы, но и пена средней и низкой кратности, подаваемая на поверхность горючей жидкости.

При реализации объемного способа тушения пожаров при проливах нефти и нефтепродуктов, приоритет среди огнетушащих веществ, в настоящее время отдается установкам пожаротушения с газовыми огнетушащими составами, т. к. установки газового пожаротушения являются

малоинерционным, быстродействующим и эффективным средством пожарной защиты. В качестве огнетушащего и, одновременно, охлаждающего вещества в установках газового пожаротушения наиболее целесообразно применять сжиженную двуокись углерода, как высокого давления, так и низкотемпературную (низкого давления).

Тушение пожаров инертными газами (углекислый газ, азот, аргон, гелий) применяют только в закрытых помещениях нефтебаз, насосных станциях и т.д., и обладают способностью быстро смешиваться с горючими парами и газами, понижая при этом концентрацию кислорода в зоне горения до такого предела, при котором горение прекращается.

При тушении порошковыми составами, которые обладают очень высокой огнетушащей способностью и универсальностью действия, способны тушить любые материалы. Ряд исследователей утверждают, что охлаждение порошками зоны горения происходит из-за расхода теплоты на нагревание и разложение частиц порошка, но также принято считать, что отрицательным свойством порошка является то, что они не охлаждают, как правило, зону горения, а при длительном хранении могут слеживаться.

Существует ещё один перспективный и эффективный вид тушения - пожаротушение тонкораспыленным водным составом или тонкораспыленной водой (далее - ТРВ). Тушения ТРВ достигается при получении капель воды диаметром от 50 до 100 мкм, что позволяет применять для тушения пожаров классов А (твердых горючих материалов), В (горючих жидкостей) и С (горючих газов).

Тонкораспыленной водой наиболее эффективно тушение загораний водонерастворимых нефтепродуктов с температурой кипения ниже 100°C. Применяются для пожаротушения в помещениях по всей расчетной площади, если негерметичность защищаемого помещения не превышает 3%. В ряде случаев тонкораспыленная вода способна осуществлять пожаротушение объемным способом.

Одно из направлений, обеспечивающих пожарную безопасность при проливах нефти и нефтепродуктов - установка противопожарной автоматики – спринклерных и дренчерных установок.

Значения средних диаметров капель при различных типах пожаротушения:

- Традиционное водяное пожаротушение (спринклерное или дренчерное) - порядка 1 мм (1 000 мкм);

- Установки пожаротушения тонкораспыленной водой низкого давления - порядка 0,1 - 0,15 мм (100 - 150 мкм);

- Установки пожаротушения тонкораспыленной водой высокого давления - порядка 0,05 мм (50 мкм).

Водяной туман, обладая высокой теплоемкостью и большой суммарной активной площадью поверхностей капель, при работе распылителей специальной конструкции резко снижает температуру в зоне пожара, прекращая химическую реакцию горения.

При испытаниях по тушению модельных очагов пожара класса «55В» в исполнении II (110 дм³ воды и 55 дм³ горючей жидкости, $d_{противня}=1500$ мм) оценивалась огнетушащая способность струй ВМС, которые созданы насадками – распылителями при тушении разлива дизельного топлива в модельном очаге пожара. Тушение модельного очага «55В» проходило при различной температуре недогретой воды (от 170°С до 200°С). Обработав полученные данные по тушению модельных очагов, можно сказать, что огнетушащая способность струй ВМС напрямую зависит от температуры недогретой воды, это так же видно на рисунке 6.

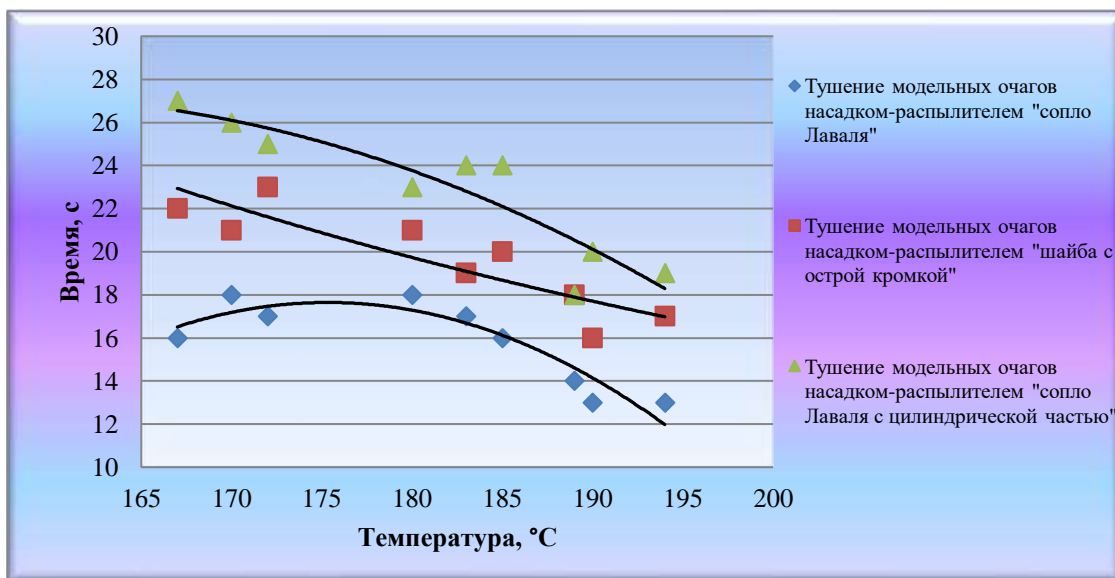


Рисунок 6 Влияние температуры недогретой воды на огнетушащую способность ВМС

Эффективность тушения нефти и нефтепродуктов струями ВМС удается достичь за счет того, что после взрывного вскипания воды в специальных соплах на выходе образуется парокапельная струя, которая представляет собой недогретый пар, внутри которого витают капли воды в метастабильном состоянии размером от 0,01 до 10,0 мкм. Размер капель имеет бимодальное распределение, которое регулируется за счет изменения температуры и давления перед насадком–распылителем, а также за счет изменения конструкции самого насадка–распылителя. Важно, что в отличие от ТРВ внутри струи ВМС нет воздуха, а следовательно и кислорода. Также важно то, что капли воды находится в метастабильном состоянии – имеет свойства отличные от свойств капель ТРВ.

Так как капли воды и пар не осаждаются, а витают в окружающем воздухе, то при подаче струи ВМС в инжестируемый очагом пожара воздух в зону горения попадает не воздух, а струя ВМС – пожар сам "всасывает" в зону горения своего «убийцу». Это, например, позволило обеспечить тушение нестабильного газового конденсата площадью 85 кв. метров. При тушении расход недогретой воды каждого ствола составлял не более 0,5 кг в секунду, время тушения 97 секунд, на тушение израсходовано не более 100 литров

воды. При пожаротушении струями ВМС не нужно подавать огнетушащее вещество против пламени и стремиться его преодолеть – достаточно найти струю воздуха инжектируемую в зону горения.

С выше изложенным можно сделать выводы: Во-первых, проведенные опыты подтвердили тот факт, что истечение перегретой воды в атмосферу приводит к образованию парокapельной струи воды, где содержание пара не будет превышать 19 %, при температуре недогретой воды 200°C. Во-вторых, капли воды имеют бимодальное распределение с размером от 0,01 до 10,0 мкм, которые находятся в метастабильном состоянии и это может быть достигнуто только в результате применения технологии взрывного вскипания метастабильной сильно перегретой жидкости. И в-третьих, в отличии от тонкораспыленной воды, тушение проливов нефти и нефтепродуктов водой в метастабильном состоянии наиболее эффективно как поверхностным, так и объемным способами.