

УДК 614.842/.847

ПРИМЕНЕНИЕ ВОЗДУШНО-ВОДЯНОЙ ЗАВЕСЫ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ РАЗРУШАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ И ПОЖАРОВ

**Г.Т. Смагулова^{1,2*}, М.К. Атаманов^{1,2}, Э.Д. Матарадзе³, М.Н. Чихрадзе³,
Е.Т. Алиев¹, З.А. Мансуров^{1,2}**
smagulova.gaukhar@gmail.com

¹Институт Проблем Горения, Богенбай Батыра 172, Алматы, Казахстан

²Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, проспект аль-Фараби 71, Алматы, Казахстан

³Mining Institute of Georgia, 7, Mindeli St., 0186 Tbilisi, Georgia

Аннотация

На практике часто имеют место случаи, при которых на промышленных объектах происходят случайные выбросы газообразных углеводородов, приводящие к накоплению воспламеняющейся атмосферы. Зачастую накопление взрывоопасных газов приводит к их взрыву, и как следствие, к разрушению конструкций и гибели людей. В данном обзоре представлены обобщенные данные на основе анализа исследований по применению воздушно-водяной завесы для ослабления поражающего воздействия ударной волны при горении и взрыве газообразных углеводородов и конденсированных веществ. Показаны результаты по применению воздушно-водяной завесы для ослабления силы ударной волны при взрывах топливно-воздушных смесей и для подавления силы ударной волны при взрыве твердых конденсированных систем. Представлен обобщенный анализ влияния размера капель воды на эффективность тушения пожара и подавления силы ударной волны, а также результаты практических экспериментов по применению воздушно-водяной завесы для тушения пожаров и подавления воздействия ударной волны. В статье рассмотрены численные расчеты взаимодействия ударной волны и воздушно-водяной завесы.

Ключевые слова: тушение пожаров, подавление воздействия ударной волны, воздушно-водяная завеса, водяной туман

Введение

На практике часто имеют место случаи, при которых на промышленных объектах (угольные шахты, морские нефтедобывающие платформы и др.), происходят случайные выбросы газообразных углеводородов, приводящие к накоплению воспламеняющейся атмосферы. Зачастую накопление взрывоопасных газов приводит к их взрыву, и как следствие, к разрушению конструкций и гибели людей.

Вода широко используется для защиты от пожаров и взрывов [1-3]. Она имеет высокую теплоемкость (на массу) и теплоту испарения, вода является доступным агентом, безопасна и благоприятна для окружающей среды и может применяться как в виде капель (эффективное распределение), так и в виде пара. Примеры применения воды:

- водяные завесы могут использоваться для удаления химических веществ, они также могут добавлять тепло при криогенных выбросах;

- водяные завесы могут активироваться при обнаружении утечки углеводородного газа.

Водяные завесы увеличивают смешивание/разбавление облака. При воспламенении, водяная завеса увеличивает турбулентность в пламени, расширение потока перед пламенем будет впоследствии разрушать капли, а мелкий туман будет иметь эффект, подобный инертному газу;

- аэрозоли, образуемые эмиссией перегретой воды, используются для подавления взрыва в порошковой промышленности и могут также использоваться для инертного подавления воспламенения конденсированной смеси;

- наличие водяного пара в сценариях ядерной аварии уменьшит воспламеняемость водородного пламени;

- различные размеры капель будут иметь разные свойства, о чем говорится ниже.

Преимущества и более высокая эффективность воды для тушения пожаров, вызванных боевым взрывом или террористическим нападением, привели к внедрению туманных систем даже на борту судов. Механизм воздействия, с помощью которого достигается эффект смягчения зависит от нескольких па-

раметров. Эти параметры включают плотность водяного тумана (распределение размеров капель и его концентрацию), геометрическую сложность смягчаемой области и химический состав взрывчатого вещества (ракета, ТНТ, пылевое облако) [4].

Результаты практических испытаний применения воздушно-водяной завесы для тушения пожара и подавления ударной волны

Использование воздушно-водяного барьера для тушения пожара и подавления ударной волны имеет свои ограничения, главным образом необходима правильная корреляция размеров частиц подавляющего агента. Компанией GexCon, являющейся мировым лидером в области безопасности и управления рисками, взрыва и моделирования пожара, были выполнены испытания взрыва углеводородов с использованием водяного тумана для смягчения последствий взрыва. Мелкодисперсный туман с диаметрами капель 30-200 мкм был получен путем распыления через форсунки определенного диаметра. При данном распределении диаметра капель из-за лучшей способности проникать в поток, но ограниченного размера водная завеса обеспечивает быстрое испарение и эффективна для подавления по-

жара. Для защиты от взрыва, этот размер капель будет иметь ограниченный или даже отрицательный эффект, так как турбулентность от их распределения ускорит пламя, а величина времени испарения слишком велика для дефлаграционного пламени. Это приводит не к уменьшению, а к повышению давления. Причиной этого является усиление начальной турбулентности, в сочетании с ограниченным эффектом подавления, из-за слишком большого размера капли для эффективного испарения, но слишком маленьких капель для достижения капельного распада.

Butz и др. [5], исследовали влияние водяного тумана для снижения избыточного давления взрыва газообразного водорода (конц. до 6 %). Испытания показали, что избыточное давление, генерируемое дефлаграционным горением, было снижено примерно на 15 % (рис. 1 а), оптимальной концентрацией тумана для успешного подавления без ощутимого повышения давления является 0,7 л/м³, при этом средний размер капель составлял до 50 мкм. Водяной туман был сгенерирован до воспламенения водорода. Также авторами было зафиксировано значительное снижение температуры при прохождении через водяной туман (рис. 1 б).

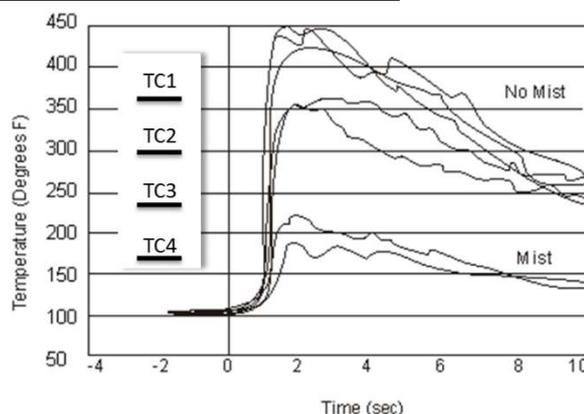
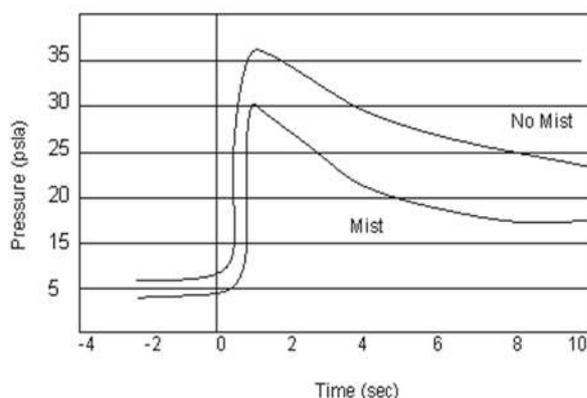


Рис. 1 – (а) подавление водяным туманом избыточного давления при взрыве в камере; (б) температурные показатели во фронте пламени, с водяным туманом и без тумана [5]

В работе [6] представлены результаты по ослаблению воздействия взрыва системой аэрозоля на водной основе, авторы применили метод импульсной подачи перегретой воды (4 л/м³ воды при 180 °С/10 бар). Было показано, использование водной завесы при данных условиях позволяет значительно уменьшить давление взрыва водорода. При концентрации

H₂ 15-20 % было достигнуто сокращение избыточного давления более чем в два раза. Согласно оценке авторов, увеличение количества подачи воды, возможно, приведет к улучшению эффекта, но подача большого объема горячей воды может привести к значительному повышению температуры и некоторого избыточного давления при активации. Лучший эф-

фekt будет наблюдаться, при импульсном введении водяной завесы на короткий промежуток времени.

Согласно работе [7] поглощение тепла испарением является доминирующим механизмом, при котором капельки воды поглощают энергию вблизи фронта ударной волны, которая находится при значительно более высокой температуре, чем окружающий газ перед ней. Показано, что распад капель вблизи фронта удара усиливает поглощение энергии в 100 раз и более и значительно охлаждает газы в области между ударным и тепловым фронтами. Однако водяной пар, образованный при испарении капель, увеличивает плотность газа. Это приводит к незначительному снижению

давления, несмотря на значительное снижение температуры газа. Большая часть водяного тумана полностью испаряется за короткий промежуток времени (2,42 мс) до прибытия и отражения фронта ударной волны на стенке камеры, для начальных значений диаметра капель (50 мкм) и концентрации капель (0,08 кг капель воды/м³ воздуха).

В работе [8] представлены лабораторные исследования по тушению горения метан-воздушной смеси. Авторами были изучены эффекты влияния чистых капель воды и капель воды с NaCl, относительно скорости деформации, при которой происходит подавление пламени (рис. 2).

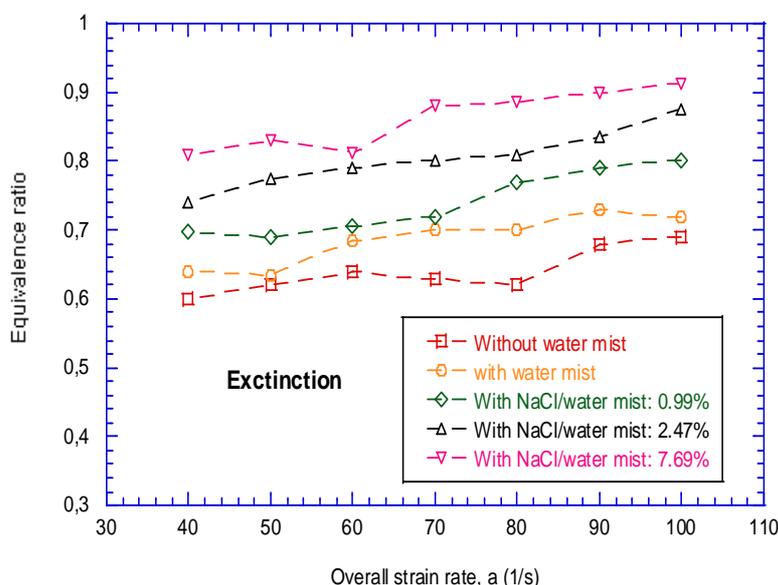


Рис. 2 - Сравнение пределов исчезновения тумана из обычной воды и туманов из водных солевых растворов различной концентрации [8]

Из графика (рис. 2) видно, что водный туман может значительно влиять на тушение метан-воздушного пламени. Следует отметить, что более эффективное гашение происходит при добавлении соли NaCl. Авторы полагают, что это происходит благодаря хлорид-ионам, которые являются ингибиторами горения, а также действуют в качестве катализатора при образовании воды из оксидов и гидроксидов, что снижает активность кислорода, присутствующего в зоне горения.

Воздушно-водяная завеса применяется не только для ослабления силы ударной волны при взрывах топливно-воздушных смесей, но и для подавления силы ударной волны при

взрыве твердых конденсированных систем, таких как ТНТ и РВХN-109 (взрывчатое вещество: 65 % гексогена, 15 % полибутадиена и 20 % алюминиевого порошка). В работе [9] приведены результаты крупномасштабных испытаний использования водяного тумана при взрыве 23 кг (50 фунтов) ТНТ и РВХN-109. На рисунке 3 представлены графики, демонстрирующие влияние воздушно-водяной завесы на снижение давления при взрыве ТНТ и РВХN-109.

Численные данные по эффективности подавления силы взрыва РВХN-109 и ТНТ представлены в таблице 1.

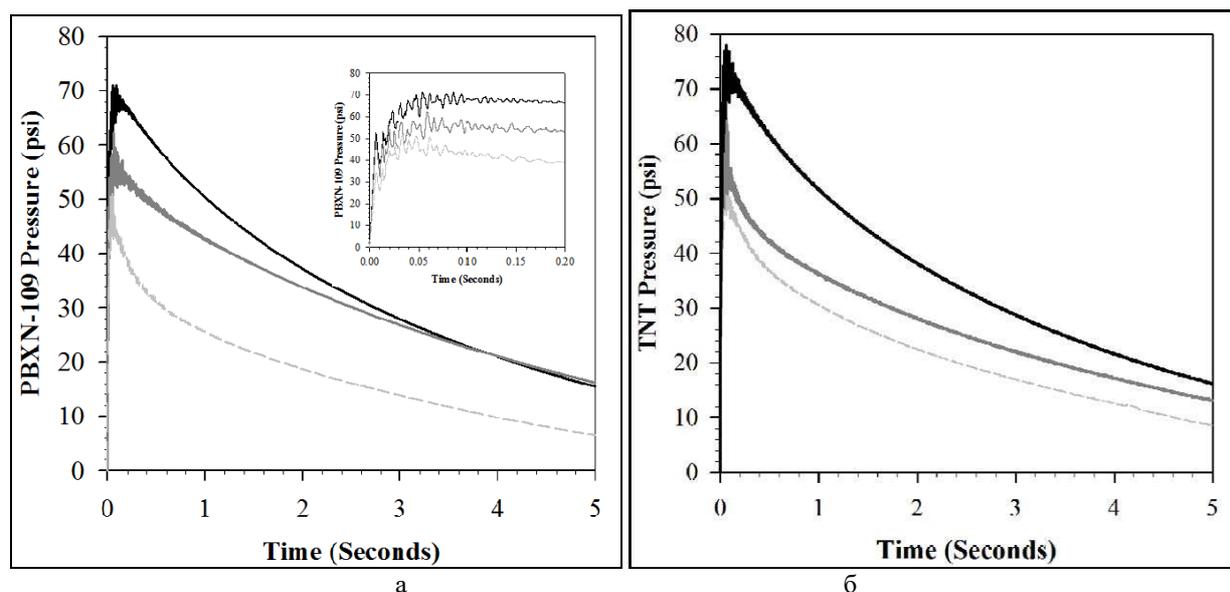


Рис. 3 - (а) 50 фунтов PBXN-109 сглаженная линия давления с водяным туманом и без него: черная (базовая), светло-серая (концентрация водного тумана 70 г/м³), темно-серая (концентрация водного тумана 29 г/м³); (б) 50 фунтов ТНТ сглаженная линия давления с водяным туманом и без него: черная (базовая), светло-серая (концентрация водного тумана 70 г/м³), темно-серая (концентрация водного тумана 57 г/м³) [9]

Таблица 1. Результаты подавления [9] (*прим. 1 psi (фунт-сила на квадратный дюйм) = 6894,76 Па)

Тип заряда	Концентрация тумана (г/м ³)	Импульс (psi)*	Начальная взрывная волна (psi)	Квазистатический пик (psi)
7 фунтов ТНТ (3,22 кг)	87	44 %	43 %	31 %
50 фунтов ТНТ (23 кг)	70	40 %	36 %	35 %
50 фунтов ТНТ (23 кг)	57	26 %	16 %	28 %
PBXN-109 эквивалентное 50 фунтам ТНТ (23 кг)	70	49 %	39 %	41 %
PBXN-109 эквивалентное 50 фунтам ТНТ (23 кг)	29	9 %	16 %	20 %

В таблице 1 [9] показано, что импульсные и первичные избыточные давления в импульсной волне для 7 фунтов ТНТ были подавлены на 44 % и 43 % по сравнению с 40 % и 36 % подавлением, полученным с использованием самой высокой плотности тумана в экспериментах по детонации ТНТ на 50 фунтов. При уменьшении плотности тумана от 70 г/м³ до 57 г/м³ в экспериментах по детонации ТНТ на 50 фунтов, подавление импульса и начального взрыва снижается с 40 % и 36 % до 26 % и 16 % (таблица 1). Дальнейшее снижение концентрации тумана до 29 г/м³, используемое в экспериментах по детонации PBXN-109, показывает, что импульс и начальный взрыв подавляются на 9 % и 16 % по сравнению с 49 % и 39 %, достигнутыми с использованием большего количества воды.

Влияние размеров частиц капель на подавляющее воздействие воздушно-водяной завесы при детонации

Подробный обзор по использованию воды в качестве подавляющего агента пламени представлен в работе [10]. Хотя данная работа посвящена тушению пожаров, которые требуют совсем другой характеристики ВВЗ, есть некоторые важные выводы относительно эффективности размера капель в создании большой площади поверхности. Данные на рис. 4 показывают, как размер капли влияет на эффективную площадь поверхности, что имеет большое значение для потери тепла за счет испарения.

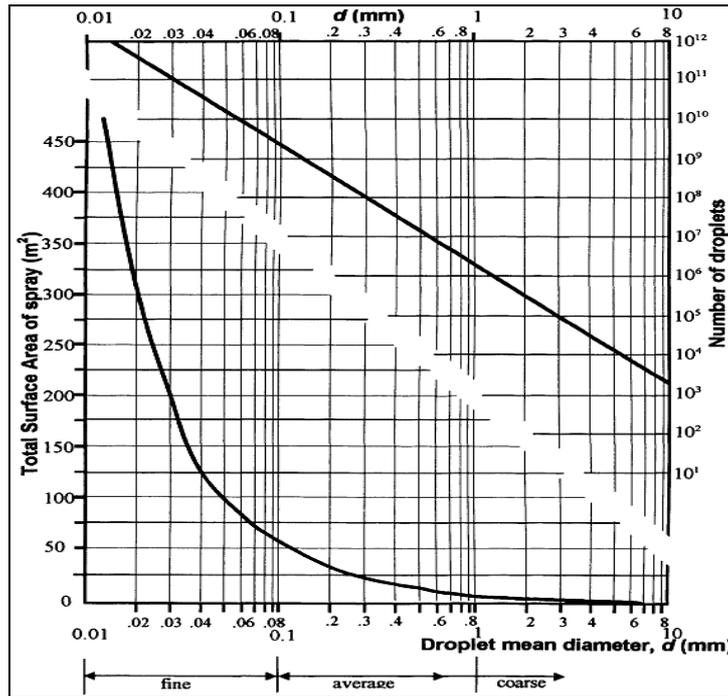


Рис. 4 – Число капель и общая площадь поверхности производимых одним литром воды, при монодисперсном распылении с различными показателями среднего диаметра капель [10]

Площадь поверхности водяного тумана зависит от размера и диаметра капель воды. Из данного графика можно сделать выводы, что капельки с диаметром менее 30 мкм, являются более эффективными, так как для данного диаметра и меньших диаметров, площадь по-

верхности начинает возрастать экспоненциально.

В [11] описан процесс дробления исходной капли под воздействием ударной волны (рис. 5).

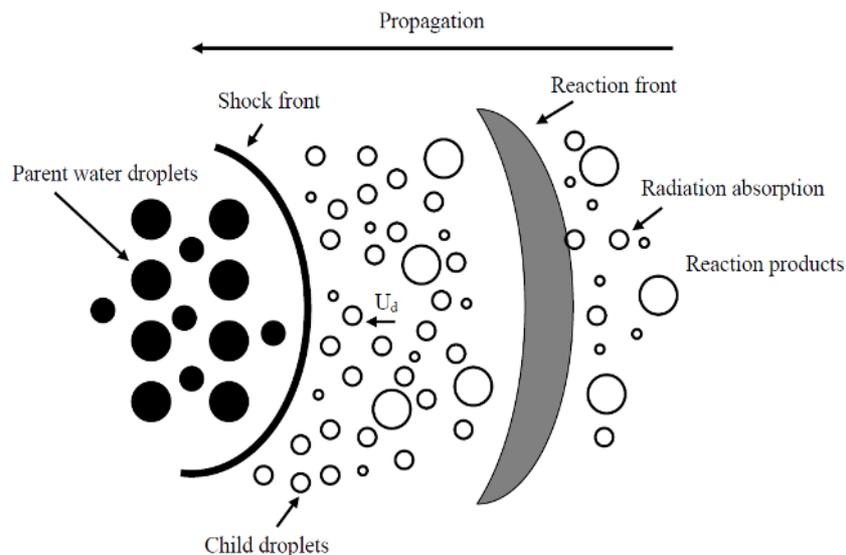


Рис. 5- Взаимодействие капель воды в процессе детонации [11]

Энергии распада капли определялись по поверхностным энергиям как начальных, так и во вторичных каплях. Для разрушения исходной капли с диаметром 0,5 мм в 10 000 моно-

дисперсных капель с диаметром 20 мкм потребовалась энергия разрушения 18 Дж/кг. Эта энергия будет извлекаться из ударного фронта. Авторы показали значительное увеличение

скорости испарения каплей при 22-кратном увеличении площади поверхности для вторичных каплей с диаметром 20 мкм. Таким образом, исследование показало, что процесс разрушения каплей, образующих ультратонкий водяной туман, оказывает существенное влияние на процесс предотвращения взрыва. Следовательно, для подавления разрушительного воздействия ударной волны необходим подбор оптимального диаметра каплей воды, так дробление исходных каплей воды на более мелкие идет с поглощением энергии ударной волны, что приводит к ее ослаблению. Одним из важных факторов, который необходимо учитывать при использовании воздушно-водяной завесы является геометрические параметры пространства, в котором происходит взрыв [12].

Численные расчеты взаимодействия ударной волны и воздушно-водяной завесы

Существует множество работ, посвященных численным расчетам, описывающих взаимодействие ударной волны и каплей воды. В работе [13] описана модель, основанная на упрощенном одномерном описании взаимодействия ударной волны с частицей, в приближении, что ударная волна плоская, бесконечно тонкая и распространяется по объему, занятому частицей в ее невозмущенной форме, как схематично показано на рис. 6. Согласно этому приближению в любой момент времени t можно разделить частицу на две части, соответствующие однородным состояниям «до» и «за» ударной волной. Площадь поперечного сечения частицы, разрезанной ударной волной, обозначается через $A(t)$, а объемы частицы впереди и за ударом обозначаются соответственно через $V_1(t)$ и $V_2(t)$.

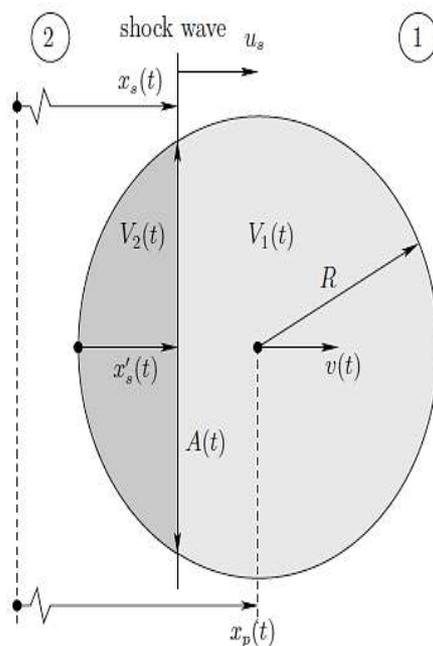


Рис. 6 - Схема положения ударной волны в плоскости симметрии сферической частицы и определение переменных [13]

Где $x_s(t)$ и $x_p(t)$ – положение ударной волны и (центр) частицы, соответственно, u_s – скорость внешнего удара (предполагается постоянной), $v(t)$ – скорость частицы, полученной из второго закона Ньютона.

В работе [14] авторы описали процесс взаимодействия ударной волны и капли воды. На первом этапе воздействия, ударная волна остается зафиксированной на линии контакта с каплей, как показано на рисунке 7 (а). На рис. 7 (б) показана конструкция ударного фронта,

огнивающий все отдельные всплески, излучаемые расширяющейся контактной линией. Для больших скоростей (в этом примере в качестве численного примера использовалась капля воды диаметром 200 мкм и скорость 500 м/с), скорость удара будет значительно выше скорости звука. «Время струи» определяется как время, когда жидкая среда разрывается (падает) через свободную от капли поверхность на контактной линии, рис. 1 (с). Из теоретического рассмотрения это можно ожидать, когда

скорость контактной линии станет равной скорости удара на линии соприкосновения. Хорошо известно, что время, характеризующее

начало струи, полученное по теоретическим соображениям, ниже, чем наблюдалось в экспериментах.

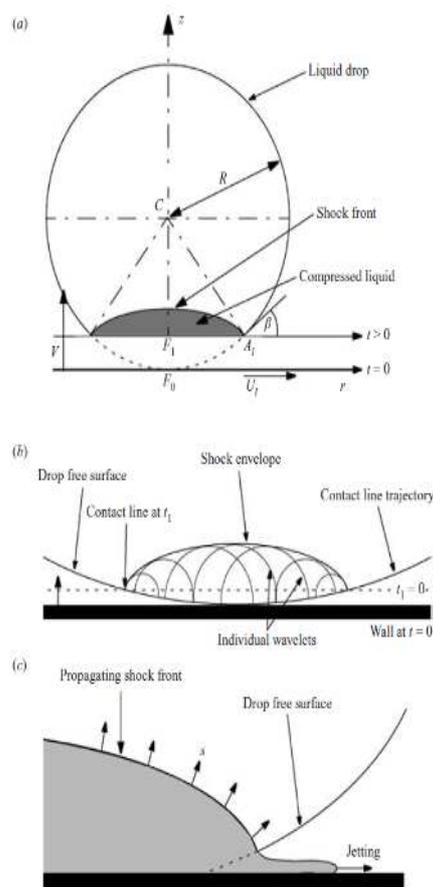


Рис. 7 - (а) Влияние капли и формирование ударной волны; (б) конструкция ударного фронта, огибающий все отдельные всплески, излучаемые расширяющейся контактной линией; (в) распространение ударного фронта: ударная волна настигает контактную линию, и формируется струя воды [14]

В работе [15] авторы представили результаты численных расчетов взаимодействия ударной волны с каплями водяного тумана. Моделирование проводили с использованием квазиконсервативного подхода с объемной долей уравнений Навье-Стокса, используя метод параллельно адаптивного волнового расположения (ПАВР). На рис. 8 показано взаимодействие ударной волны с водной завесой на начальной стадии, где t – временной период. Ударная волна и последующие волновые системы, следующие за деформирующим цилиндром, визуализируются с использованием численных изображений Шлирена плотности газовой фазы (в верхней части каждого изображения). Нижняя часть изображения показывает динамически адаптивную сетку, окрашенную давлением.

Авторы считают, что взаимодействие проходящих и отраженных ударных волн с поверхностью раздела приводит к межфазным неустойчивостям на границе раздела вода-воздух и на структуре, следующей за водным столбом. Между отраженной волной находится область высокого давления, связанной с точкой прямого торможения. Переход от ударного отражения к отражению Маха происходит под критическим углом позади водяного столба. Этот переход приводит к максимальному сопротивлению. Авторы показывают, что адаптация динамической сетки, используемой в подходе ПАВР, делает моделирование адекватным для многомасштабного поведения и крупномасштабного моделирования.

В работе [16] представлен обзор и экспериментальные исследования по применению водяного тумана для подавления и нейтрали-

зации силы ударной волны взрыва, а также влияние водяного тумана при ламинарном и турбулентном горении. Авторами показано, что эффективность водяного тумана связана с начальной интенсивностью взрыва. Основопологающим физическим механизмом является

относительное ускорение каплей по сравнению с ускоряющим потоком газа. Таким образом, капли с большим диаметром (> 1 мм) могут быть более эффективными из-за их большей инерции, в то время как более мелкие капли ускоряются в соответствии с потоком газа.

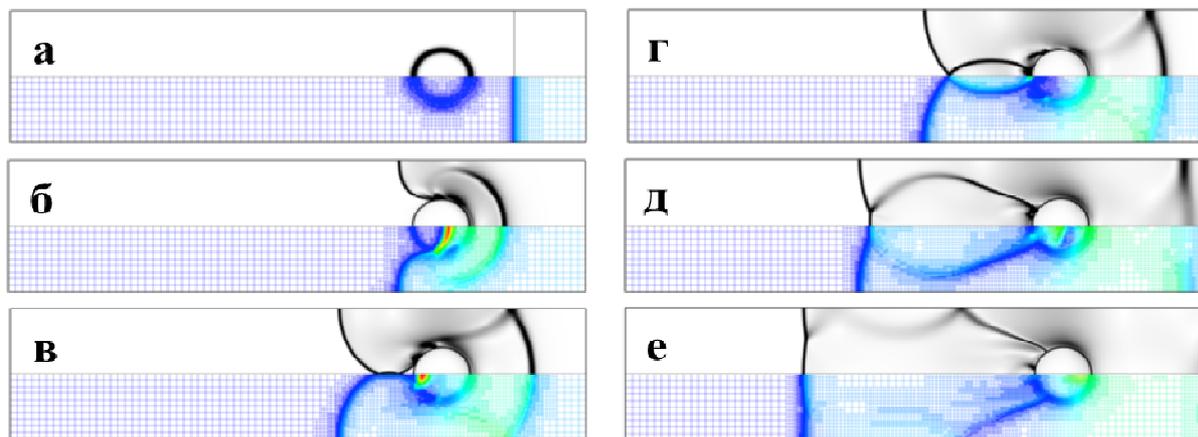


Рис. 8 – Числовые снимки Шлирен (верхняя) и динамические адаптивные сетки, окрашенные контурами давления (снизу) ударной волны, проходящей через капельки жидкости при $t =$ (а) 0,00 (б) 4,8 (в) 7,5 (г) 9,00 (д) 12,00 (е) 14,80 (сверху вниз, слева направо) [15]

Медленное ускорение более крупных каплей приводит к увеличению мгновенной разности скоростей между газом и каплями, что может быть включено в критерий смягчения, основанный на немерном числе Вебера. Критическое число Вебера 12 дало хорошее согласие на переходные потоки капелек в лабораторных условиях. Было обнаружено, что подобное поведение наблюдается и для мелкомасштабных переходных взрывов в метан-воздушной смеси. С теоретической точки зрения использование поверхностно-активного вещества, по-видимому, дает некоторое дополнительное положительное влияние. Добавление солей, должно также повысить эффективность смягчения.

Небольшое число мелкомасштабных тестов показали, что снижение до 90 % давления газа может быть достигнуто наличием воды [17]. В этой работе авторы использовали метод сглаженных частиц, основанный на решении Римана, для исследования эффекта смягчения воды на распространение ударной волны. Также авторы рассматривают влияние толщины водной завесы и воздушного зазора между воздухом и водной завесой на эффект смягчения силы ударной волны. Исходя из результатов численных расчетов авторами сделаны следующие выводы. Эффект влияния водной завесы для уменьшения давления ударной

волны может достигать до 60 %, кроме того вода оказывает большое влияние на форму ударной волны. Воздушный зазор между воздухом и водой высокого давления имеет важное значение, таким образом небольшой воздушный зазор перед водной завесой улучшает эффект смягчения ударной волны.

В работе [18] рассмотрен процесс затухания ударных волн в водяном тумане с каплями размером от 25 до 400 мкм при различных условиях концентрации жидкой фазы. Эксперименты проводились на специальном испытательном стенде длиной 3 м и поперечном сечении 0,6х0,5 м. Влияние концентрации жидкой фазы на снижение избыточного давления ударной волны оценивается с помощью экспоненциальной функции $\Delta P_m = \Delta P_b e^{-\beta}$, где ΔP_m и ΔP_b – сверхдавления ударной волны в тумане и без него, а β – коэффициент ослабления, который изменяется между 0,25 и 0,76. При концентрации жидкой фазы в водяном тумане от 5,1 г/м³ до $\leq 36,6$ г/м³.

Заключение

Анализ данных по данной тематике показал, что при определенных условиях, воздушно-водяная завеса может значительно снизить давление и температуру горения или взрыва. Теоретические расчеты показали, что

подавляющее воздействие зависит от диаметра капель. При этом ослабляющее воздействие реализуется за счет двух основных явлений – дробление исходных капель на более мелкие и испарение воды с поверхности капель, что подтверждается лабораторными и крупномасштабными исследованиями. Добавление солей может иметь положительное воздействие, при этом лучшие результаты показывают исследования при использовании солевых растворов для тушения пожаров, чем для подавления силы ударной волны при взрыве. Для того, чтобы обеспечить необходимое воздействие по тушению силы детонационной волны ВВЗ должна быть активирована при обнаружении критической концентрации газа, а не при обнаружении начала взрыва.

Литература

1. HySafe. Biennial Report on Hydrogen Safety (Version 1.0). – 2006 // <http://www.hysafe.org/BRHS>.
2. Schwer D.A., Kailasanath K. Water-Mist Mitigation of Quasi-Static Pressure Buildup in Enclosures Subjected to an Explosion // ICDERS 2005 // <http://www.icders.org/ICDERS2005/PapersICDERS2005/ICDERS2005-63.pdf>.
3. Stefański K., Lewandowski D., Dygdała R.S., Kaczorowski M., Ingwer-Żabowska M., Śmigielski G., Papliński A. Explosive Formation and Spreading of Water-Spray Cloud – Experimental Development and Model Analyses // Central European Journal of Energetic Materials. – 2009. – Vol. 6(3-4). – P. 291-302.
4. Catlin C. Passive explosion suppression by blast-induced atomization from water containers // J. Hazardous Materials. – 2002. – A94. – P. 103-132.
5. Butz J.R., French P. Plooster M. Application of Fine Water Mists to Hydrogen Delagations // Proceedings, Halon Options Technical Working Conference, Albuquerque. – 1993. – P. 345-355.
6. Hansen O.R., Wilkins B.A. and Eckhoff K. Explosion protection in transformer rooms // ESMG symposium proceedings, Nurnberg, 8th -10th October 2002.
7. Ramagopal Ananth, Heather D. Willauer, John P. Farley, Frederick W. Williams. Effects of Fine Water Mist on a Confined Blast // Fire Technology. – 2012. – Vol. 48. – P. 641–675.
8. Zheng R., Bray K. and Rogg, B. Effect of sprays of water and NaCl water solution on the extinction of laminar premixed methane-air counter-flow flames // Comb. Sci. Tech. – 1997. – 126. – P 389-401.
9. Willauer H.D., Ananth R., Farley J.P., Williams F.W., Back G.G., Kennedy M.C., O'Connor J., Gameiro V.M. Blast Mitigation Using Water Mist: Test Series II // Naval Research Laboratory Washington, DC 20375-5320. – 2009. – 31 p.
10. Grant G., Brenton J. and Drysdale D. Fire suppression by water spray // Prog. Energy Comb. Sci. – 2000. – Vol. 26. – P. 29-130.
11. Adiga K.C., Willauer H.D., Ananth R., Williams F.W. Implications of droplet breakup and formation of ultra fine mist in blast mitigation // Fire Safety Journal. – 2009. – Vol. 44, Issue 3. – P. 363-369.
12. Kailasanath K. and Schwer D. Shock Attenuation Using Water Mists // <http://www.icders.org/ICDERS2003/PapersICDERS2003/ICDERS2003-64.pdf>.
13. Parmar M.K., Haselbacher A. and Balachandar S. Prediction and Modeling of Shock-Particle Interaction // 47th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including The New Horizons Forum and Aerospace Exposition, Orlando. – 2009. <https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2009-1124>.
14. Haller K.K., Poulikakos D., Ventikos Y., Monkewitz P. Shock wave formation in droplet impact on a rigid surface: lateral liquid motion and multiple wave structure in the contact line region // J. Fluid Mech. – 2003. – Vol. 490. – P. 1–14.
15. Hosseinzadeh-Nik Z., Aslani M., Owkes M., Regele J.D. Numerical simulation of a shock wave impacting a droplet using the adaptive wavelet-collocation method // ILASS Americas 28th Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, Dearborn. – 2016. – 10 p.
16. Thomas G.O. On the conditions required for explosion mitigation by water sprays // Trans I Chem E: Part B - Process Safety and Environmental Protection. – 2000. – Vol. 78. – P. 339-354.
17. Mao Yiming, Fang Qin, Zhang Yadong, Gao Zhenru. Numerical Simulation of Water Mitigation Effects on Shock Wave with SPH Method // Trans. Tianjin Univ. – 2008. Vol. 14. – P. 387-390.
18. Mataradze E., Krauthammer T., Chikhradze N., Chagelishvili E. Influence of liquid phase concentration on shock wave attenuation in mist // Proceedings of the 21st International Symposium on Military Aspects of Blast and Shock (MABS21), Jerusalem, October 3-8, 2010.

**СОҚҚЫ ТОЛҚЫНЫНЫҢ ЖӘНЕ ӨРТТІҢ ЖОЙҒЫШ ӘСЕРІН ЖОЮ
ҮШІН АУА-СУ ПЕРДЕСІН ҚОЛДАНУ****Г.Т. Смагулова^{1,2}, М.К. Атаманов^{1,2}, Э.Д. Матарадзе³, М.Н. Чихрадзе³,
Е.Т. Алиев¹, З.А. Мансуров^{1,2}**¹Жану Проблемалар Институты, Бөгенбай Батыр 172, Алматы, Қазақстан²әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, аль-Фараби 71, Алматы, Қазақстан³Mining Institute of Georgia, 7, Mindeli St., 0186 Tbilisi, Georgia**Аннотация**

Іс жүзінде, өндірістік объектілерде көмірсутектер газдардың шығарындылары тұтанғыш атмосфера-ның жиналуына әкеп соғады. Жарылысқа қабілеті бар газдардың жиналуы олардың жарылуына әкеледі, нәтижесінде құрылыстардың жойылуына және адамдардың өліміне әкеледі. Осы шолуда көмірсутектердің және конденсирленген заттардың жануы мен жарылысы кезінде соққы толқынының зиянды әсерін азайту үшін ауа суы пердесін қолдану бойынша зерттеулердің жиынтық мәліметтер көрсетілген. Жанармай-ауа қоспаларының жарылыстарындағы соққы толқынының күшін әлсіретіп, қатты конденсацияланған жүйелер жарылыс кезінде соққы толқынының күшін жою үшін ауа-су пердесін пайдалану нәтижелері келтірілген. Өрт сөндірудің және соққы толқынының сөнуінің тиімділігіне су тамшыларының мөлшерінің әсерін жалпылама талдау, сондай-ақ өрт сөндіру және соққы толқынының әсерін жою үшін ауа-су пердесін қолдану бойынша практикалық эксперименттердің нәтижелері ұсынылды. Мақалада соққы толқынының және ауа-су пердесін өзара әрекеттесудің сандық есептері қарастырылған.

Кілт сөздер: өртті сөндіру, соққы толқындарын тоқтату, ауа-су пердесі, су тұманы**APPLICATION OF AN AIR-WATER CURTAIN TO SUPPRESS
THE DESTRUCTIVE IMPACT OF A SHOCK WAVE AND FIRES****G.T. Smagulova^{1,2}, M.K. Atamanov^{1,2}, E.D. Mataradze³, M.N. Chikhradze³,
E.T. Aliyev¹, Z.A. Mansurov^{1,2}**¹Institute of Combustion Problems, Bogenbay Batyr 172, Almaty, Kazakhstan²al-Farabi Kazakh National University, al-Farabi av. 71, Almaty, Kazakhstan³Mining Institute of Georgia, 7, Mindeli St., 0186 Tbilisi, Georgia**Abstract**

In practice, there are often cases in which accidental emissions of gaseous hydrocarbons occur at industrial facilities, leading to the accumulation of a flammable atmosphere. Often, the accumulation of explosive gases leads to their explosion, and as a result, to the destruction of structures and the death of people. In this review, summarized data are presented on the basis of the analysis of studies on the use of an air-water curtain to reduce the damaging impact of a shock wave in the combustion and explosion of gaseous hydrocarbons and condensed substances. The results on the use of an air-water curtain for weakening the force of a shock wave in explosions of fuel-air mixtures and for suppressing the strength of a shock wave in the explosion of solid condensed systems are shown. A generalized analysis of the effect of the size of water droplets on the effectiveness of fire suppression and shock wave suppression is presented, as well as the results of practical experiments on the use of an air-water curtain for extinguishing fires and suppressing the impact of a shock wave. Numerical calculations of the interaction of a shock wave and an air-water curtain are considered in the article.

Key words: extinguishing of fires, suppression of shock wave, air-water curtain, water mist