

*А.А. Киреев, канд. хим. наук, доцент, УГЗУ,
А.Н. Коленов, преподаватель, УГЗУ*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕНООБРАЗОВАНИЯ В ПЕНООБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМАХ

(представлено д-ром хим. наук Р.А. Яковлевой)

Исследовано пенообразование при смешении компонентов бинарных пенообразующих систем $\text{NaHCO}_3 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ и $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ в присутствии пенообразователей ПО-6 ОСТ и ТЭАС. Определено влияние состава пенообразующей системы на кратность и стойкость образовавшихся пен.

Постановка проблемы. Водопенные огнетушащие средства нашли широкое применение в практике пожаротушения. В большинстве развитых стран использование пен при тушении пожаров составляет (5-10) % от общего случая тушения пожаров [1]. Доминирующим механизмом огнетушащего действия пен является их изолирующая способность. По этому показателю, пены превосходят другие традиционные средства пожаротушения. В то же время, существенным недостатком водопенных огнетушащих средств является затруднение их подачи на большие расстояния. Поток пены при подаче его с большой скоростью быстро замедляется в воздухе. Также, ограничены возможности пены растекаться на большие расстояния. Жидкие составы, вспенивающиеся в очаге пожара, обеспечивают подачу огнетушащих компонентов на большие расстояния [2]. Однако процесс пенообразования в таких системах не изучен.

Анализ последних достижений и публикаций. Одним из решений проблемы подачи пен на большие расстояния является применение жидких составов вспенивающихся в очаге пожара [3–4]. Они представляют собой эмульсию легкокипящей жидкости в водном растворе пенообразователя. При попадании на нагретые поверхности в очаге пожара легкокипящая жидкость переходит в газообразное состояние, за счет присутствия пенообразователя в огнетушащем растворе. В результате этого происходит образование пены, которая растекается по поверхности горючего материала.

Недостатком составов, вспенивающихся в очаге пожара, является то, что они вспениваются только на нагретых поверхностях. В случае попадания на недостаточно нагретые вертикальные и наклонные поверхности жидкий состав стекает с них, что приводит к потере огнетушащего вещества. При тушении легкокипящих горючих жидкостей, из-за низкой температуры поверхности таких горящих жид-

костей, рассматриваемые огнетушащие составы также не образуют пену.

Для устранения отмеченных недостатков составов огнетушащих жидкостей, вспенивающихся в очаге пожара, необходимо чтобы они вспенивались в месте попадания на поверхность независимо от ее температуры. Эту проблему было предложено решить, используя бинарные огнетушащие средства, которые должны включать две отдельно хранящихся и раздельно подающихся жидкости. При попадании на твердые и жидкие поверхности они будут смешиваться. Состав растворов должен быть подобран так, чтобы при их взаимодействии выделялся газ. В случае наличия в жидкостях пенообразователя в таком случае образуется пена [2]. Процессы пенообразования в таких пенообразующих системах (ПОС) до настоящего времени изучены не были.

Постановка задачи и ее решение. Задачей работы является исследование процесса пенообразования при смешении компонентов пенообразующих систем. Наиболее важными характеристиками огнетушащих пен является их кратность и стойкость. В свою очередь эти характеристики определяются составом компонентов пенообразующих систем. Характеристики образующихся пен будут определяться количеством газа, выделяющегося при взаимодействии компонентов ПОС, наличием в них поверхностно-активных веществ и стабилизаторов пен.

При выборе газообразующих реакций было учтено, что наиболее предпочтительными реакциями являются реакции, в результате которых выделяются газы, не поддерживающие горение. Среди них были рассмотрены углекислый газ и азот. Реакции, с помощью которых можно генерировать азот, это в основном окислительно-восстановительные реакции. Использовать окислители и восстановители как компоненты огнетушащих составов не целесообразно из-за возможности их взаимодействия с пенообразователями. Реакций, в которых образуется углекислый газ достаточно много. В основном это реакции карбонатов с кислотными компонентами. В предыдущей работе [2] были рассмотрены следующие реакции:



Недостатком реакции (1) является использование агрессивного компонента серной кислоты. В тоже время она имеет преимущество по сравнению с другими реакциями в скорости генерирования газа. Реакции (3, 4) характеризуются невысокой скоростью. Это, как показали предварительные опыты, приводит к медленному образованию пены. Кроме того, в таких системах образуется пена низкой кратности. Реакция (2) имеет преимущества перед остальными в большей кратности пены и большей её устойчивости. Такая реакция ранее использовалась в химически-пенных огнетушителях [5]. В них используются в качестве щелочной части раствор гидрокарбоната натрия (NaHCO_3) и пенообразователя. В качестве кислотной части обычно использовали растворы солей ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)$ или $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Кинетика этой реакции хорошо исследована, поэтому для создания устройства для тушения такими составами необходимо подобрав современный пенообразователь и разработать схему отдельной подачи кислотного и основного растворов.

Из недостатков пенообразующей системы (2) можно отметить невысокую растворимость NaHCO_3 в воде (менее 9 %), что может привести к невозможности получения пен высокой кратности. Теоретический расчет максимального объема выделяющегося из насыщенного раствора NaHCO_3 газа (при смешении одинаковых объемов растворов кислотного и щелочного компонентов) показывает, что максимально возможное значение кратности пены ограничено величиной ~ 12 .

Для увеличения объема выделяющегося газа и кратности пены, образующейся в пенообразующей системе, необходимо выбрать карбонатный компонент с большей, чем у NaHCO_3 растворимостью. Из приемлемых по экономическим и экологическим показателям карбонатов были выбраны карбонат калия и карбонат аммония, растворимость в воде которых составляет ~ 50 %. Расчёты показали, что полностью реализовать газовыделяющую способность карбоната калия затруднительно из-за высокой щёлочности его раствора. Для начала выделения углекислого газа нужно сначала добавить один эквивалент кислотного компонента. Это приводит к тому, что затруднительно выбрать кислотный компонент с растворимостью достаточной для полного расходования карбоната калия. Предварительные эксперименты показали, что при использовании различных кислотных компонентов ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)$ и $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) в реакциях с карбонатом натрия не удастся получить пену с кратностью выше 7. Кроме того, образующаяся пена показала низкую устойчивость. Последний факт связан с тем, что пенообразователи не рассчитаны на высокое солесодержание в воде.

Аналогичные эксперименты показали значительно большее пенообразование при использовании в качестве щелочного компонента карбоната аммония, а кислотного компонента сульфата алюминия. Последняя газообразующая система показала и значительную устойчивость, образующейся пены.

Таким образом, для дальнейших исследований были выбраны две системы: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{NaHCO}_3$ и $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$. Для этих систем было изучено влияние состава на кратность образующейся пены и её устойчивость. Концентрация NaHCO_3 в первой системе была выбрана близкой к насыщению – 8,8 %. За минимальную концентрацию сульфата алюминия была взята концентрация, обеспечивающая эквивалентное количество кислотного компонента по отношению к NaHCO_3 . Расчётным путём было установлено, что она равна 6,1 %. Максимальная концентрация $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ была ограничена растворимостью этой соли и составила 26,7 %.

В качестве пенообразователей были использованы биологически мягкие пенообразователи общего назначения ПО-6 ОСТ и ТЭАС. Концентрации пенообразователя были взяты равными 1, 2, 4 и 6 %. Для системы $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ кроме варьирования концентрации сульфата алюминия изменялась и концентрация карбоната аммония. Интервал варьирования составлял (8-50) %.

Проведение эксперимента осуществлялось в соответствии с лабораторными методиками [6]. С помощью мерных цилиндров на 25 мл отбирались одинаковые объёмы (по 10 мл) обоих компонентов. Они выливались в мерный цилиндр на 250 мл. В результате реакции выделялся углекислый газ, который обеспечивал образование пены. С помощью шкалы мерного цилиндра визуально фиксировался максимальный объём пены. Кратность пены рассчитывалось как частное от деления максимально образовавшегося объёма пены на суммарный объём компонентов пенообразующей системы. Одновременно проводилось наблюдение за разрушением пены с течением времени. Фиксировалось время, за которое разрушалась половина объёма образовавшейся пены.

Соответствующие данные для двух систем с концентрациями пенообразователя равными 6 % представлены в таблицах 1 и 2. Анализ всех полученных данных позволяет сделать такие выводы:

- концентрация пенообразователя мало влияет на кратность образующейся пены;
- с увеличением концентрации пенообразователя растёт устойчивость пены;
- пенообразователь ТЭАС имеет некоторое преимущество по сравнению с пенообразователем ПО-6 ОСТ;

– для системы $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ удаётся получить пену с большей кратностью и стойкостью по сравнению с системой $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{NaHCO}_3$ (8,8 %);

– для получения пены высокой кратности необходимо использовать $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ с концентрацией больше, чем необходимо для стехиометрического соотношения;

– кратность пены для ряда составов превышает 10, а её стойкость превышает 10 минут.

Таблица 1 – Значения кратности пены (К) и её стойкости ($\tau_{1/2}$) для системы $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{NaHCO}_3$ (8,8 %)

Пенообразователь (конц. %)	Концентрация $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (мас. %)	К	$\tau_{1/2}$, мин
ПО-6 ОСТ 6 %	6,1	4	5,6
	9	8	5,5
	15	8	4,3
	26	9	7,0
ТЭАС 6 %	6,1	5,8	14
	9	9	8,5
	15	9,5	5,0
	26	9,3	6,0

Таблица 2 – Значения кратности пены (К) и её стойкости ($\tau_{1/2}$) для системы $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$

Пенообразователь (конц. %)	Концентрация $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (мас. %)	Концентрация $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (мас. %)	К	$\tau_{1/2}$, мин
ПО-6 ОСТ 6 %	26	8	4,5	2,5
		15	7,1	4,5
		28	12,0	6,1
		50	10,4	3,2
ПО-6 ОСТ 6 %	15	8	3,5	3,3
		15	4,4	3,0
		28	4,1	3,2
		50	3,7	2,1

В связи с установлением факта малого влияния концентрации пенообразователя на кратность пены, было проведено исследование процесса пенообразования для обоих ПОС в отсутствие пенообразователя. В таком случае образовавшаяся пена имела кратность близкую к кратности пены в присутствии пенообразователя, но устойчивость пены была очень низкой (менее 1 минуты).

Анализ результатов по влиянию концентрации пенообразователя на устойчивость пены позволяет заключить, что концентрация

пенообразователя, обеспечивающая стойкость пены более 5 минут должна быть не менее 1 %, а более 10 минут не менее 2 %. Повышение концентрации пенообразователя свыше 2 % не оказывает существенного влияния на устойчивость пены.

Выводы. Для расширения возможностей пенного пожаротушения предложено использовать бинарные составы с внешним пенообразованием. Для этих целей можно использовать пенообразующие системы $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ и $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{NaHCO}_3$ (8,8 %), содержащих пенообразователи ПО-6 ОСТ и ТЭАС. Система $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ в присутствии пенообразователя ТЭАС показала более высокие характеристики пенообразования, чем система $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{NaHCO}_3$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шараварников А.С., Молчанов В.П., Воевода С.С., Шараварников С.А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. М.:Калан, 2002.– 448 с.

2. Киреев А.А., Коленов А.Н. Пути повышения эффективности пенного пожаротушения // Проблемы пожарной безопасности.– 2008.– вып.24.– С.50-53.

3. Слепченко В.Ф., Жартовский В.М. Огнетушащий состав вспенивающийся в очаге пожара // Тезисы доклада II Междунар. научн. – практ. конф.: Чрезвычайные ситуации их предупреждение и ликвидация. Ч.1. Минск, 2003.– С. 330–332.

4. Шараварников А.Ф., Аксёнов В.П., Слепченко В.Ф., Михайлова Н.И. Тушение горючих гидкостей распыленной водой с самовспенивающейся добавкой. // Пожарная техника. Средства и способы пожаротушения: Сборн. научн. трудов. М.: ВНИИПО, 1992.– С.148-151.

5. Присяжнюк Л.А та інші. Методичний посібник з питань експлуатації та використання вогнегасників. Київ: Основа, 1997.–150 с.

6. Айвазов Б.В. Практикум по химии поверхностных явлений и адсорбции. М.: Высш. школа, 1973.– 208 с.

nuczu.edu.ua

Статья поступила в редакцию 18.03.2009 г.