

# О РЕЗУЛЬТАТАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕНООБРАЗУЮЩИХ СОСТАВОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БЫСТРОТВЕРДЕЮЩЕЙ ПЕНЫ НА ОСНОВЕ БИОЛОГИЧЕСКИ МЯГКИХ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ

**М.М. Деденко,**

доцент кафедры пожарной тактики,  
техники, автоматики и связи  
ФГКОУ ВПО ВСИ МВД России,  
кандидат технических наук

*В работе предложен пенообразующий состав на основе биологически мягких пенообразователей, который позволяет получить быстротвердеющую пену со свойствами, необходимыми для применения её в качестве средства снижения загрязнения окружающей среды при аварийных разливах горючих жидкостей.*

*In this work presents the foamable composition on the basis of a biologically soft foaming agents which allows you to get quickly-harden foam with properties necessary for the use of it as a means of reducing pollution of the environment during emergency spills of flammable liquids\*.*

Развитие нефтепромышленного комплекса России влечёт за собой увеличение количества аварий, связанных с разливом нефтепродуктов. В результате чего общество на современном этапе сталкивается с проблемами обеспечения безопасности человека и окружающей среды. В последнее десятилетие наблюдается устойчивая тенденция роста числа аварий, сопровождаемых разливом горючих жидкостей (ГЖ). В среднем ежегодно происходит порядка 60 крупных аварий и около 20 тыс. случаев, сопровождающихся значительными разливами нефтепродуктов [1]. Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов наносят ощутимый вред экосистемам, приводят к негативным экологическим, экономическим и социальным последствиям. До 10 % добываемой нефти в России теряется при авариях и, следовательно, в ОС попадают миллионы тонн ГЖ. Часть ее попадает на почву и водоемы, а другая испаряется в атмосферу [2].

---

\* Dedenko M. The results of the research foamable composition for obtaining a quickly-harden foam on the basis of a biologically soft foaming agent

В зависимости от ряда факторов (характер разрушения, масса испаряющегося продукта и т.п.) аварийная ситуация может развиваться без горения или с горением ГЖ. В последнем случае многократно (иногда в сотни раз) усиливается загрязнение атмосферы продуктами горения.

Планы ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов согласно [3] в основном содержат мероприятия, направленные на локализации разлива ГЖ и быстрый сбор нефтепродуктов, при этом мало внимания уделяется вопросам обеспечения пожаровзрывобезопасности.

Для снижения скорости испарения ГЖ и тушения возникшего пожара предлагается на аварийный разлив наносить быстротвердеющую пену (БТП). Она способна самопроизвольно отверждаться с течением времени и значительно снижать экологическую нагрузку на атмосферу от продуктов аварийного разлива горючих жидкостей.

Время защитного действия такой пены может составлять несколько суток. Особенно эффективно применение БТП при ее подаче на горящую жидкость, поскольку до отверждения пена покрывает всю поверхность и прекращает горение, а в дальнейшем препятствует повторному воспламенению паровоздушной смеси.

В тоже время применение БТП на практике для снижения загрязнения атмосферы при аварийных разливах горючих жидкостей сдерживается в силу отсутствия научно обоснованных биологически мягких пенообразующих композиций и технологий использования пен.

В связи с этим комплекс экспериментальных исследований был направлен на:

- исследование зависимости пенообразующей способности БТП от концентрации карбамидоформальдегидной смолы;
- исследование зависимости пенообразующей способности быстротвердеющей пены от концентрации поверхностно-активных веществ;
- исследование зависимости пенообразующей способности быстротвердеющей пены от концентрации отвердителя.

Обработка результатов экспериментов проводилась с использованием программ Microsoft EXEL и Microcal ORIGIN.

#### 1. Исследование концентрации карбамидоформальдегидной смолы.

Исследования зависимости кратности пенообразующего состава от содержания в рабочем растворе карбамидоформальдегидной смолы (КФ-Ж) проводились с изменением концентрации КФ-Ж при постоянной концентрации остальных компонентов.

Исследованию подвергались следующие рабочие растворы: пенообразователь – 5 см<sup>3</sup>; карбамидоформальдегидная смола от 3,0 до 75 см<sup>3</sup>, вода - остальное до 100 см<sup>3</sup>. Во всех опытах объем рабочего раствора составлял 100 см<sup>3</sup>. При исследованиях определялись: объем и кратность полученной пены. Результаты экспериментов приведены в табл. 1.

При проведении экспериментов установлено, что полученная пена кратностью до 3,35 не отвечает предъявленным требованиям. После завершения вспенивания происходило разложение верхнего слоя, интенсивное разрушение структуры пены с выделением жидкой фазы.

Пена кратностью от 4,4 до 4,7 отличалась от предыдущей однородностью своей структуры. Разложение верхнего слоя пены не наблюдалось. Усадка пены проводилась с сохранением ее физико-химических свойств.

Таблица 1

Влияние содержания карбамидоформальдегидной смолы на объем и кратность пены

Объем КФ-Ж, см <sup>3</sup>	Объем воды, см <sup>3</sup>	Объем пены, см <sup>3</sup>	Кратность пены, ед.
3,0	92,0	360	3,6
6,2	88,8	410	4,1
12,5	82,5	440	4,4
15,0	80,0	470	4,7
16,3	78,7	460	4,6
25,5	70,0	450	4,5
35,0	60,0	420	4,2
50,0	45,0	365	3,7
60,0	35,0	335	3,4
75,0	20,0	270	2,7

В процессе проведения экспериментов было установлено, что от изменения содержания карбамидоформальдегидной смолы в пенообразующем составе изменяется структура быстротвердеющей пены.

Увеличение содержание смолы от 3,0 до 20 % в рабочем растворе приводит к увеличению кратности полимерной пены соответственно от 3,6 до 4,8 (рис. 1). Дальнейшее увеличение содержания КФ-Ж в рабочем растворе до 75 % приводит к постепенному снижению кратности пены до 2,7.

При математической обработке результатов лабораторных исследований получена аналитическая зависимость вида:

$$Y=A+B \cdot \ln(X)+D \cdot X, \quad (1)$$

где  $Y$  - кратность пены, ед.;

$X$ - концентрация карбамидоформальдегидной смолы в рабочем растворе, % (об.);

$A, B, D$  - параметры уравнения.

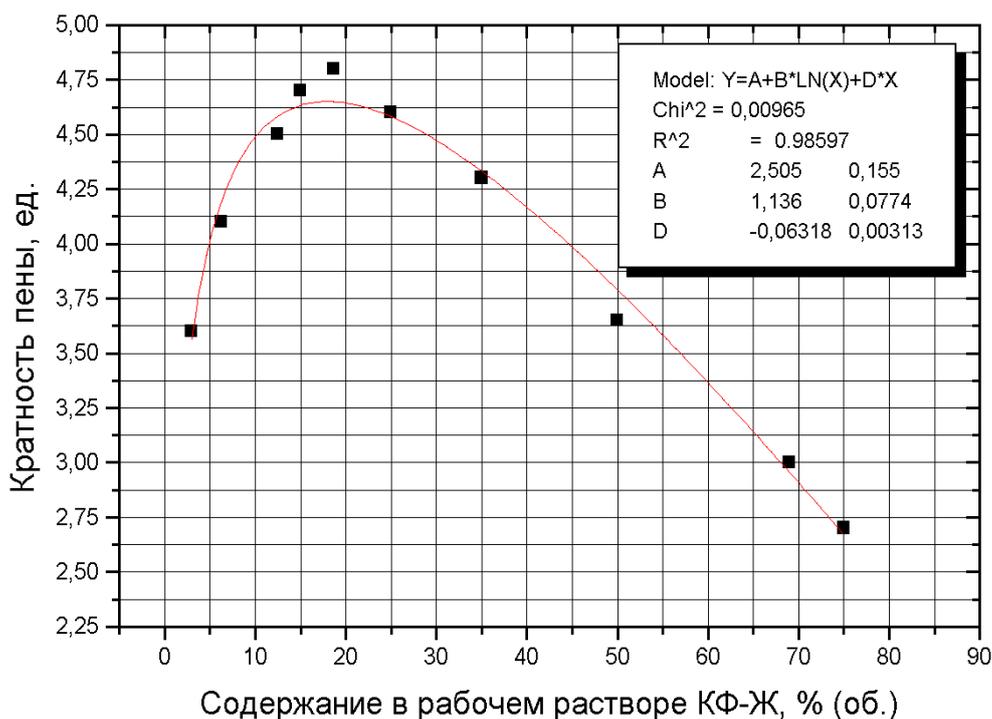


Рис.1. Зависимость кратности пены от содержания КФ-Ж в рабочем растворе

Параметры уравнения и основных критериев адекватности зависимости кратности пены от концентрации КФ-Ж в рабочем растворе приведены на рис. 1.

Таким образом, минимально допустимая концентрация карбамидоформальдегидной смолы в рабочем растворе пенообразующей композиции составляет 3,5 % от объема раствора.

Рекомендуемая концентрация КФ-Ж в рабочем растворе для получения БТП со свойствами необходимыми для решения поставленных задач составляет 15 – 25 % от объема раствора. Дальнейшее увеличение концентрации КФ-Ж в рабочем растворе для получения БТП не целесообразно по причине снижения кратности пены и неоправданных экономических расходов.

## 2. Исследование концентрации поверхностно-активных веществ.

Исследования зависимости кратности пен от содержания в рабочем растворе ПАВ проводились с использованием биологически мягких пенообразователей: ПУНШ-С; ПО-6НП; ПО-6ТС.

Все экспериментальные исследования проводились с изменением концентрации пенообразователей при постоянном объеме карбамидоформальдегидной смолы и ортофосфорной кислоты. Приготавливались следующие рабочие составы: КФ-Ж – 20 см<sup>3</sup> пенообразователи от 1 до 8 см<sup>3</sup>, вода - остальное до 100 см<sup>3</sup> рабочего раствора.

В процессе исследований определялись объем и кратность пены. Результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, наибольшей пенообразующей способностью обладает пена на основе биологически мягких пенообразователей ПУНШ-С и ПО-6НП, а наименьшей на основе пенообразователя ПО-6ТС.

Таблица 2

Влияние концентрации пенообразователя на объем и кратность пены

Объем пенообразователя, см <sup>3</sup>	Объем воды, см <sup>3</sup>	Объем пены, см <sup>3</sup>			Кратность пены, ед.		
		ПУНШ-С	ПО-6НП	ПО-6ТС	ПУНШ-С	ПО-6НП	ПО-6ТС
1	79	350	280	220	3,5	2,8	2,2
2	78	390	360	280	3,9	3,6	2,8
3	77	420	390	300	4,2	3,9	3,0
4	76	460	430	315	4,6	4,3	3,15
5	75	480	450	325	4,8	4,5	3,25
6	74	480	465	325	4,8	4,65	3,25
7	73	480	465	325	4,8	4,65	3,25
8	72	480	465	325	4,8	4,65	3,25

Результаты исследований зависимости кратности твердеющей пены от концентрации в рабочем растворе пенообразователей приведены на рис. 2.

При математической обработке результатов лабораторных исследований получены аналитические зависимости вида:

$$Y=A_0+A_1 \cdot \ln(X)+A_2 \cdot X, \quad (2)$$

где  $Y$  – кратность пены, ед.;

$X$  – концентрация пенообразователя в рабочем растворе, % (об.);

$A_0, A_1, A_2$  – параметры уравнения.

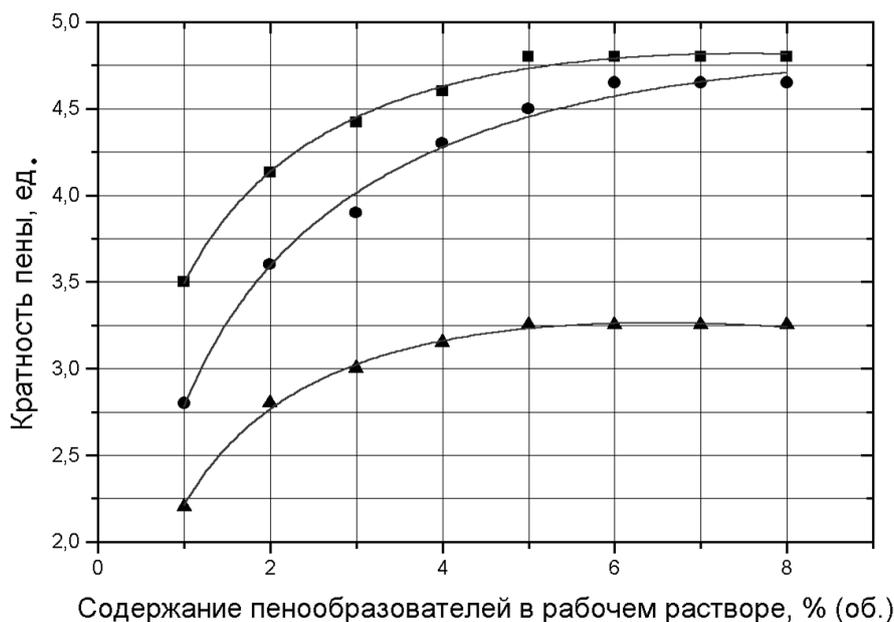


Рис. 2. Зависимость кратности пены от концентрации пенообразователей в рабочем растворе: ■ - ПУНШ-С; ● - ПО-6НП; ▲ - ПО-6ТС

Значения параметров регрессионных уравнений и основных критериев адекватности зависимости кратности пены от концентрации ПАВ в рабочем растворе приведены в табл. 3.

Таблица 3

Параметры регрессионных уравнений и критериев адекватности зависимости кратности пены от концентрации ПАВ в рабочем растворе

Вид ПАВ	$A_0/Sd$	$A_1/Sd$	$A_2/Sd$	$R^2$	$\chi^2$
ПУНШ-С	3,64/0,03	1,15/0,07	-0,15/0,02	0,995	0,001
ПО-6НП	2,91/0,06	1,36/0,14	-0,13/0,04	0,992	0,005
ПО-6ТС	2,37/0,02	1,03/0,04	-0,16/0,01	0,997	0,001

Примечание:  $Sd$ - среднеквадратичное отклонение;  $R^2$ - коэффициент детерминации;  $\chi^2$ - критерий сходимости для метода Левенберга-Маркара .

Установлено, что увеличение содержания пенообразователей ПУНШ-С, ПО-6НП, ПО-6ТС в рабочем растворе от 1 до 5 % приводит к постепенному увеличению кратности пены, соответственно для ПУНШ-С с 3,5 до 4,8, для ПО-6НП с 2,8 до 4,65, для ПО-6ТС с 2,2 до 3,25.

Применение пенообразователя ПУНШ-С приводит к кратности, удовлетворяющей поставленным требованиям, и составляет 4,8. Применение пенообразователя ПО-6НП для получения БТП также приводило к удовлетворительной кратности пены, которая составила 4,65.

Применение пенообразователя ПО-6ТС показало неудовлетворительную пенообразующую способность исследуемого состава, максимальная его кратность составила лишь 3,25. Учитывая это,

пенообразующий состав на основе ПО-6ТС при дальнейших исследованиях не использовался.

### 3. Исследование концентрации отвердителя.

Исследование зависимости кратности пен от содержания в рабочем растворе отвердителей (ортофосфорной и соляной кислот) проводились при постоянной концентрации карбамидоформальдегидной смолы и пенообразователя. В качестве ПАВ использовались пенообразователи ПО-6НП и ПУНШ-С. Приготавливали следующие рабочие растворы: КФ-Ж - 20 см<sup>3</sup>; пенообразователь - 5 см<sup>3</sup>; 10 % водный раствор ортофосфорной кислоты – от 1 до 8 см<sup>3</sup>, вода - остальное до 100 см<sup>3</sup> рабочего раствора. Во всех опытах объем рабочего раствора составляет 100 см<sup>3</sup>.

В процессе исследований определялись объем и кратность пены. Результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 4.

Таблица 4

#### Влияние содержания ортофосфорной кислоты на объем и кратность быстротвердеющей пены

Объем ортофосфорной кислоты, см <sup>3</sup>	Объем воды, см <sup>3</sup>	Объем пены, см <sup>3</sup>		Кратность пены, ед.	
		ПУНШ-С	ПО-6НП	ПУНШ-С	ПО-6НП
1	74	347	277	3,47	2,77
2	73	387	357	3,87	3,57
3	72	417	387	3,87	3,57
4	71	457	427	4,57	4,27
5	70	477	447	4,77	4,47
6	69	477	462	4,77	4,62
7	68	477	462	4,77	4,62
8	67	477	462	4,77	4,62

При проведении экспериментальных исследований разрушения, усадки и расслоения быстротвердеющей пены не наблюдалось. Образовавшаяся пена получалась прочной, стойкой и мелкодисперсной. В течение 30 минут после получения БТП наблюдалось выделение жидкой фазы, объем выделившегося отсека составлял 12 - 15 см<sup>3</sup>. С момента отверждения БТП, выделение отсека не наблюдалось.

Результаты испытания, представлены на рис. 3 – 4. Как видно из результатов экспериментальных исследований, присутствие отвердителя в рабочих растворах на основе пенообразователей ПУНШ-С и ПО-6НП значительного влияния на кратность пены не оказывают.

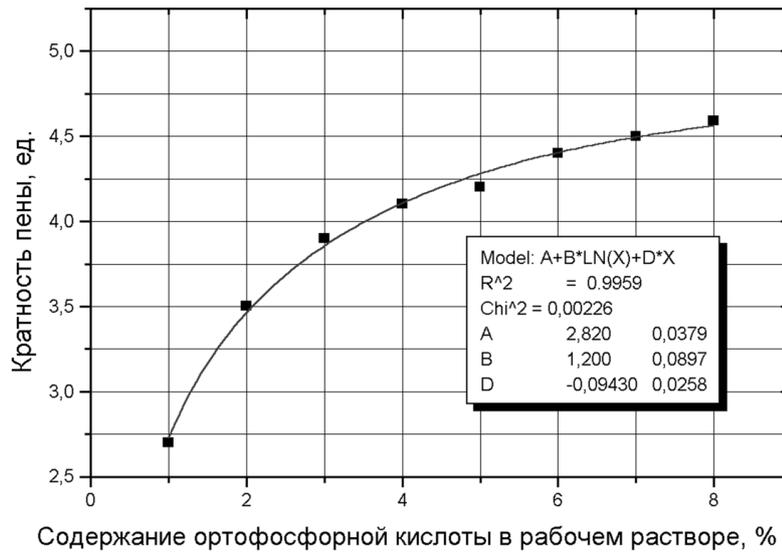


Рис. 3. Зависимость кратности БТП на основе пенообразователя ПО-6НП от содержания в рабочем растворе отвердителя

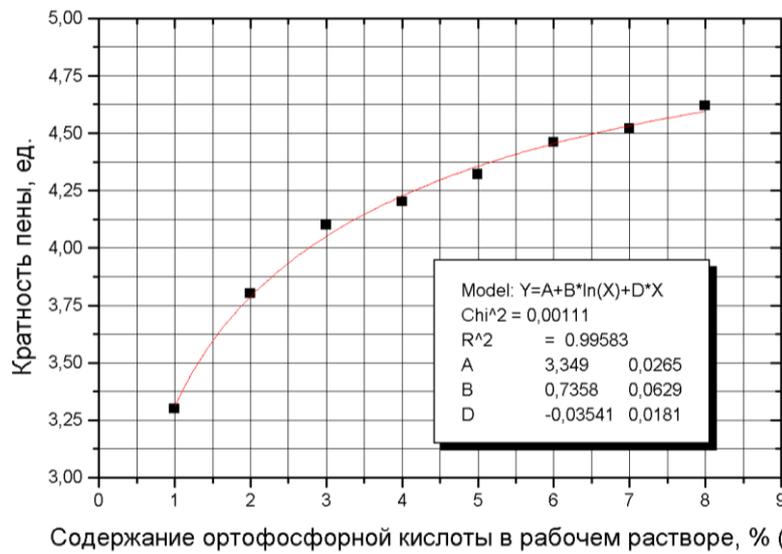


Рис. 4. Зависимость кратности БТП на основе пенообразователя ПУНШ-С от содержания в рабочем растворе отвердителя

При математической обработке результатов лабораторных исследований зависимости кратности БТП на основе пенообразователей ПО-6НП и ПУНШ-С получены аналитические соотношения следующего вида:

$$Y=A+B \cdot \ln(X)+D \cdot X, \quad (3)$$

где  $Y$  - кратность пены, ед.;

$X$  - концентрация ортофосфорной кислоты в рабочем растворе, % (об.);

$A, B, D$  - параметры уравнения.

Значения параметров регрессионных уравнений зависимости кратности пены от концентрации ортофосфорной кислоты в рабочем растворе и основных критериев адекватности приведены в табл. 5.

Таблица 5

Параметры регрессионных уравнений зависимости кратности пены от концентрации ортофосфорной кислоты в рабочем растворе

Вид вещества	A/Sd	B/Sd	D/Sd	R <sup>2</sup>	χ <sup>2</sup>
Ортофосфорная кислота (при ПАВ ПО-6НП)	2,82/0,04	1,20/0,09	- 0,09/0,03	0,996	0,002
Ортофосфорная кислота (при ПАВ ПУНШ-С)	3,35/0,03	0,74/0,06	- 0,04/0,02	0,996	0,001

*Примечание: Sd- среднееквадратичное отклонение; R<sup>2</sup>- коэффициент детерминации; χ<sup>2</sup>- критерий сходимости для метода Левенберга-Маркара .*

#### ПРИМЕЧАНИЯ

1. Назаров В.П., Чувилин С.В. Оценка влияния адсорбционных огнетушащих порошков на пожарную опасность разливов нефтепродуктов. Интернет-журнал «Технология техносферной безопасности» (<http://ipb.ru/ttb>) Выпуск № 3 (37) – июнь 2011 г.

2. Исаева Л.К. Экологическая опасность пожаров и аварийных разливов нефти при ее добычи и транспортировки [Текст] /Л.К. Исаева, А.В. Грачев, А.Г. Власов. Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности: Тезисы докладов 3 Всероссийской науч. – практ. конф. с межд. участием. – СПб., 1998. – Т.3. - 299 с.

3 Приказ МЧС России от 28 декабря 2004 года № 621 «Об утверждении правил разработки и согласования планов по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации».