

Ўзбекистон

# **K**ompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Ўзбекский научно-технический и производственный журнал  
**Композиционные материалы**

УДК 665.632.074

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕНООБРАЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ В РАСТВОРАХ ДИЭТАНОЛАМИНА

Эшдавлатова Гулрух Эшмаматовна<sup>1</sup>, Камолов Лукман Сирожиддинович<sup>2</sup>,  
Бобилова Чиннигул Хайитовна<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Каршинский государственный технический университет,

<sup>2</sup>Каршинский государственный университет

**Аннотация.** В статье всесторонне изучены физико-химические свойства новой композиции пеногасителя на основе блок-сополимера алкиленоксида и полидиметилсилоксана (ПДМС), ее влияние на высоту и стабильность пены в растворах диэтанолamina (ДЭА), а также ее эффективность в регенерированных и насыщенных кислыми газами растворах. Анализы проводились с использованием методов барботирования, реометрии и оценки стабильности пены. Полученные результаты показали, что пеногаситель обладает высоким потенциалом для использования в технологиях очистки газов с аминными растворами.

**Ключевые слова:** пенообразование, пеногаситель, ПДМС, этиленоксид, пропиленоксид, блок-сополимер, ДЭА, абсорбция, кислые газы, поверхностное натяжение.

**Введение.** Диэтанолamin (ДЭА) широко используется в процессе очистки природных газов от сероводорода, такого как  $H_2S$  и  $CO_2$ . Однако на практике при длительной циркуляции аминных растворов накапливается большое количество побочных продуктов, карбонатных и бикарбонатных солей, тугоплавких веществ, оксидов тяжелых металлов, а также органических примесей. Это приводит к сильному пенообразованию в технологическом процессе.

Усиленное пенообразование в процессе вызывает: неравномерные изменения давления в абсорбере и десорбере, снижение эффективности, неполную очистку газа, увеличение энергопотребления, сбой в работе системы и ускоренную коррозию [1]. Поэтому разработка высокоэффективных пеногасителей имеет большое значение для стабильности технологического процесса. Традиционные пеногасители на основе кремнийорганических веществ во многих случаях не дают достаточных результатов, поскольку они не полностью совместимы с растворами диэтанолamina. Таким образом, в качестве пеногасителя нового поколения, обладающего особым потенциалом для быстрого подавления пенообразования в аминных растворах, был выбран композит, разработанный из блок-сополимера этиленоксида-пропиленоксида (ЭО-ПО) и ПДМС.

Сегменты блок-сополимера ЭО-ПО обеспечивают водорастворимость и поверхностную активность, в то время как ПДМС, благодаря своему чрезвычайно низкому поверхностному натяжению и сильной гидрофобности, быстро ухудшает механическую стабильность пенной пленки. Именно сочетание этих двух фаз повышает их

общую эффективность и делает их универсальным пеногасителем, пригодным для использования в аминных растворах [2].

### Объекты и методы исследований.

Разработанный пеногаситель имеет сложную структуру и состоит из нескольких компонентов. Каждый компонент выполняет важную функцию в процессе подавления пенообразования. Разработанный пеногаситель состоит из следующих компонентов:

1. Блок-сополимер на основе ЭО-ПО. Первым основным компонентом пеногасителя является блок-сополимер на основе этиленоксида-пропиленоксида. Молекулярная структура этого полимера состоит из чередующихся гидрофильных и гидрофобных сегментов, обладающих свойством селективной адсорбции на поверхности пены. В результате снижается механическая прочность стенки пенного пузыря и значительно ускоряется разложение структуры пены.

Этот блок-сополимер алкиленоксида особенно подходит для разрушения пенного слоя в аминных системах (ДЭА, МДЭА и их смеси), поскольку он не вступает в химическую реакцию с аминными растворами, работает стабильно и сохраняет свои структурные свойства даже при высоких температурах.

2. Полидиметилсилоксан (ПДМС). Вторым основным компонентом состава является полидиметилсилоксан (ПДМС), который, как сильный гидрофобный агент, является основной активной фазой процесса пеногашения. Полидиметилсилоксан отличается следующими свойствами: он резко снижает поверхностное натяжение и тем самым ослабляет эластичность стенок пенных пузырьков [3-4]; благодаря своей низкой вязкости быстро проникает в слой пены; стабилен при высоких температурах и не теряет

своей функциональности даже при температурах 110–130 °С в регенерационных колоннах; может длительное время работать без разложения под воздействием кислых газов (CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>S) в аминных растворах.

ПДМС проникает между пенными пузырьками, дестабилизируя их поверхность и быстро разрушая структуру стабильной пены. Поэтому он играет ключевую роль в подавлении начального подъема пены и быстром ее гашении.

Модифицированные силиконовые добавки, вносимые в состав, выполняют две функции: повышают стабильность эмульсии, то есть обеспечивают равномерное диспергирование ПДМС в водно-аминной фазе, и повышают физическую стабильность системы. В результате пеногаситель хранится длительное время и сохраняет свой эффект при использовании.

Одним из важнейших преимуществ разработанного пеногасителя является его высокая активность даже при низких концентрациях. Эксперименты показывают, что пеногаситель снижает высоту пены на 80–85% даже при использовании в диапазоне 5–15 ppm; при введении в аминовые растворы он быстро подавляет пенообразование, не повреждая поверхностные свойства; благодаря совместимости компонентов в составе, он обеспечивает стабильные результаты даже в сложных процессах. Такой состав позволяет использовать его в качестве универсального пеногасителя при промышленной очистке природного газа алканоламиновыми растворами (ДЭА, МДЭА, МЭА, смешанные аминные системы). Для определения эффективности пеногасителя использовался метод барботирования, поскольку этот метод позволяет точно воспроизвести в лабораторных условиях реальный процесс пенообразования, возникающий при взаимодействии газа и жидкости в аминных растворах. В ходе исследований использовались растворы ДЭА (диэтанолamina) в различных состояниях: регенерированный 30–33 % рабочий раствор, а также раствор, насыщенный кислыми газами. В обоих случаях они отражают процессы, наиболее часто встречающиеся на практике в аминных системах, поэтому образование дополнительной пены и влияние пеногасителя на ее стабильность оценивались в условиях, близких к реальным технологическим условиям.

В процессе барботирования для образования пены использовался поток газообразного азота. Выбор азота обусловлен его химической инертностью и

нерактивной с растворами диэтанолamina. В ходе барботирования газ пропусклся через раствор с постоянной скоростью, при этом контролировались интенсивность, объем и стабильность образования пены. Длительность процесса была установлена на уровне трех минут, что достаточно для полной регистрации состояния пены, достигающей максимальной высоты, и последующих стадий ее разложения.

Пенообразующие свойства оценивались по двум основным параметрам: максимальной высоте пены и времени полного исчезновения пены. Высота, как показатель, указывает на максимальный предел высоты пенного столба над поверхностью раствора в данный момент времени, что дает информацию о склонности раствора к образованию пены. Время полного исчезновения пены определяет степень ее стабильности; чем короче этот показатель, тем быстрее процесс исчезновения пены и тем выше эффективность пеногасителя.

В эксперименте исследовались различные концентрации пеногасителя на основе EO-PO-PDMS. Добавка добавлялась в раствор в количествах от 0,005 до 0,05 %, и оценивалось ее влияние на контроль пенообразования.

Для обеспечения точности и надежности измерения повторялись не менее трех раз. Это гарантировало воспроизводимость, согласованность каждого результата и отсутствие аналитических ошибок метода.

**Результаты и их обсуждение.** Проведенные эксперименты по барботированию четко показали, что пеногаситель, разработанный на основе EO-PO-PDMS, оказывает существенное влияние на процесс пенообразования в аминных системах. Анализ проводился на регенерированных и насыщенных кислым газом растворах диэтанолamina. В обоих случаях наблюдалось значительное снижение уровня пенообразования.

До применения пеногасителя высота пены в регенерированном растворе ДЭА составляла 70–85 мм, но после добавления пеногасителя этот показатель снизился до 7–12 мм. Это изменение указывает на серьезное нарушение механизма пенообразования. В насыщенном растворе ДЭА начальная высота пены составляла 150–190 мм, что подтверждает высокую склонность этого раствора к пенообразованию. После применения пеногасителя ее высота снизилась до 30–45 мм, что также является значительным уменьшением. Резкое снижение высоты пены объясняется очень низким поверхностным натяжением ПДМС (около 21 мН/м). ПДМС быстро

разрушает прочность жидкой пленки между пузырьками, выравнивает давление внутри пузырьков и увеличивает скорость разрыва пленки. В результате нарушается стабильность структуры пены.

Время полного разрушения пены также значительно сократилось. В регенерированном растворе ДЭА стабильность без пеногасителя составляла 160–190 секунд, но после добавления добавки этот показатель снизился до 20–30 секунд. В насыщенном растворе ДЭА начальная стабильность составляла 310–430 секунд, что подтверждает, что кислые газы повышают вязкость пузырьковой пленки и делают пену более стабильной. Однако после использования пеногасителя стабильность снизилась до 45–70 секунд, что свидетельствует о высокой эффективности нового состава.

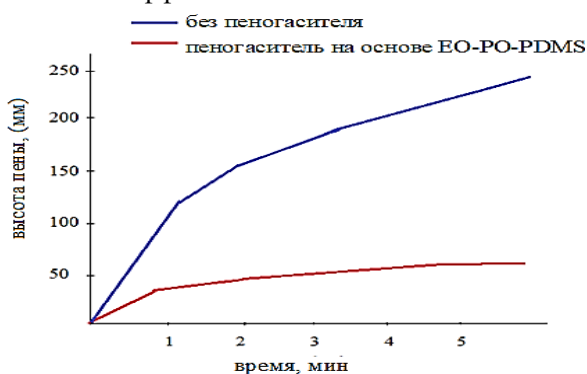


Рис. 1. Сравнение изменений высоты пены, наблюдаемых при введении состава

Снижение стабильности объясняется влиянием блок-сополимеров EO-PO. Они ослабляют эластичный адсорбционный слой на поверхности пузырька, уменьшая его прочность. В этом процессе молекулы PDMS дополнительно дестабилизируют пленку и ускоряют процесс выделения газа. В результате совместного действия двух компонентов скорость разложения пенной структуры увеличивается, и пузырьки исчезают за короткое время.

**Заключение.** Полученные экспериментальные результаты показывают, что композит на основе EO-PO-PDMS обладает свойством эффективно подавлять пенообразование в аминных растворах. Эта высокая эффективность в основном обеспечивается следующими основными механизмами на молекулярном уровне: снижение поверхностного натяжения, межфазные адсорбционные свойства и взаимодействие между компонентами.

Во-первых, низкое поверхностное натяжение ПДМС позволяет ему быстро мигрировать к поверхности пленки между пузырьками пены [5, 6]. Поскольку ПДМС очень

плохо растворим в воде, он активно мигрирует к межфазной границе в растворе и резко снижает там поверхностную энергию. Это снижение поверхностного натяжения уменьшает механическую стабильность пленочного слоя, в результате чего пузырьки быстро лопаются, и как высота, так и стабильность пены значительно снижаются.

Во-вторых, блок-сополимер ЭО-ПО обладает уникальными адсорбционными свойствами между двумя фазами. Сегменты ЭО (этиленоксид) являются гидрофильными и склонны притягивать воду, в то время как сегменты ПО (пропиленоксид) относительно гидрофобны. Поэтому молекулы ЭО-ПО ведут себя в растворе как амфифилы, направляя один конец к воде, а другой — к гидрофобной фазе ПДМС. Именно этот процесс обеспечивает быстрое закрепление блок-сополимера в пенной пленке и снижает плотность структуры пленки. В результате эластичность пены снижается, стенки пузырьков истончаются и становятся менее устойчивыми к внешним механическим воздействиям.

В-третьих, процесс, происходящий между ЭО-ПО и ПДМС. Блок-сополимеры ЭО-ПО обеспечивают лучшую дисперсию ПДМС по всему раствору, то есть предотвращают накопление ПДМС в виде крупных капель. В то же время ПДМС ускоряет процесс достижения молекулами сополимера ЭО-ПО поверхности [7, 8], поскольку гидрофобные сегменты взаимодействуют с ПДМС и увеличивают скорость диффузии молекулы к поверхности. В результате этих взаимно усиливающих эффектов оба компонента действуют в одном направлении: они вызывают коррозию пенной пленки, ослабляют ее механическую стабильность и приводят к полному исчезновению пены за короткое время. В целом, эффективность композита ЭО-ПО-ПДМС значительно выше, чем их индивидуальные свойства, что указывает на то, что компоненты работают, усиливая эффекты друг друга. Этот состав демонстрирует стабильные результаты как в регенерированных, так и в насыщенных растворах ДЭА, подтверждая его потенциал в качестве универсального пеногасителя для аминных растворов.

Экспериментальные наблюдения показали, что пеногаситель нового поколения на основе ЭО-ПО-ПДМС способен эффективно контролировать и подавлять пенообразование в растворах диэтанолamina (ДЭА).

В результате исследований установлено, что данный состав снижает высоту пены в регенерированных растворах ДЭА в среднем на

## СОДЕРЖАНИЕ

## 1. Химия и физикохимия композиционных материалов и нанокomпозитов

- Негматов С.С., Абед Н.С., Негматова К.С., Туляганова В.С., Негматов Ж.Н., Касимов Ш.Б., Бозорбоев Ш.А., Муродов И.И., Эргашев Н.Э., Абдукаххоров А.А., Саидкулов С.А.** О механизме физико-химических взаимодействий компонентов композиционных полимерных материалов, наполненных неорганическими и органическими ингредиентами ..... 3
- Абед Ф.Ж., Иногамов С.Е., Туреева Г.А.** Разработка и валидация методов анализа экстракта Алоэ и метилурацила в комбинированных фитоплёнках ..... 9
- Негматов С.С., Бабаханова М.А., Касимова М.Н., Раупова Д.Н., Шамсиевна С.С.** Исследование влияния состава на свойства композиционных лакокрасочных материалов на основе местного сырья, применяемых в различных отраслях промышленности ..... 13
- Сафаева Д.Р., Шукруллаева М.С., Тиллаев Т.У., Шин И.Г.** Взаимосвязь структуры и энергетического состояния запечатываемых полимерных пленок с напряжением коронного разряда при их активации .... 16
- Негматов С.С., Хурсанов А.Х., Негматов Ж.Н., Негматова К.С., Абед Н.С., Холмурадова З.К., Икрамова М.Э., Эрнийёзов Н.Б.** Исследование состава и технологических режимов флотационного обогащения медно-молибденовых руд месторождения «Кальмакыр» с применением флотореагента-вспенивателя КХФ-ВС..... 18
- Жумаева А.А.** Модификацияланган поливинилхлориднинг юмшаш ҳароратларини ўрганиш ..... 21
- Khusanova M.F., Djalilov A.T., Beknazarov X.S.** Synthesis and physicochemical characterization of highly absorbent oleogels ..... 24
- Эшдавлатова Г.Э., Камолов Л.С., Бобилова Ч.Х.** Исследование эффективности пенообразования на основе блок-сополимеров в растворах диэтанолamina ..... 27
- Radjabov O.I., Yariev O.O., Azimova L.B., Djurabaev Dj.T., Filatova A.V., Turaev A.S.** Na-KMS va I tip kollagenning o'zaro ta'sirini molekulyar doking usulida ilmiy asoslash ..... 30
- Айтмуратова А.Е., Сидрасулиева Г.Б., Каттаев Н.Т., Акбаров Х.И., Дадаходжаев А.Т.** Синтез нанодисперсного NiO из отработанного промышленного катализатора ТО-2 и исследование его структурных и адсорбционных свойств ..... 34

## 2. Физико-механика и трибология композиционных материалов

- Abed N., Negmatova K., Tulyaganova V., Tukhtasheva M., Shamsiyeva S., Kosimov Sh.** Investigation of the influence of the nature and type of fillers on the antifriction-wear-resistant properties of composite polymer coatings ..... 39
- Алланазаров А.А.** Оқ чўянларни кесувчи асбоб тифининг ейилишга бардошлигини назарий тадқиқи ..... 42
- Berdiyev D.M., Liang Z., Abdullayev A.X., Ibroximova M.M.** Nikel asosli olovbardosh qotishmalar xossalariга metallmas qo'shimchalarning ta'siri ..... 44
- Абдуллаев Ф.К., Йулдошев О.Ч.** Экспериментальное исследование жидкотекучести чугуновых сплавов. 47
- Алланазаров А.А., Ахмедов А.Х., Шакиров Ш.М., Хусанов У.С.** Оқ чўянга механик кесиб ишлов бериш жараёнини назарий тадқиқ этиш ..... 50
- Saidakhmedova G.R., Inoyatkhodjaev J.Sh., Saydakhmedov R.Kh., Parpiev M.M.** Effect of aluminum coating thickness on the performance characteristics of reflectors ..... 54
- To'rayev A.N., Murodqosimov R.X., Axmedova M.E., Solijonova Sh.X., Xolmatov E.M., Rajabova M.A.** Nikel qo'shimchasining alyuminiy qotishmalarining yeyilishbardoshligiga ta'sirini o'rganish ..... 57
- Kodirov O., Safarov T., Beknazarov Kh.** Study kinetic results of the inhibitors synthesis of corrosion inhibitor based on P-phenylenediamine, formalin and alanine ..... 59

## 3. Разработка и технология получения композиционных материалов

- Абед Н.С.** Разработка метода формирования электропроводящих композитов с сегрегированной структурой, содержащих наноразмерный углеродный наполнитель ..... 64