

Получение пенообразователей для пылеподавления угольных частиц

¹Оспанова Ж.Б.*, ¹Тоқтағұл С.,
¹Тасмағамбетова А., ²Асадов М.

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Институт катализа и неорганической химии имени акад. М. Нагиева Национальной академии наук Азербайджана, Баку, Азербайджан
*E-mail: zhanar.ospanova@kaznu.kz

Приведены результаты исследования пен, стабилизированных твердыми угольными частицами. Методом седиментационного анализа определен наиболее вероятный радиус угольных частиц, равный 20,28 мкм. Пенообразующую способность определяли по высоте пенного столба, полученного методом барботирования в течение 1 мин. Устойчивость пены определяли по времени полного разрушения пенного столба. Пены, стабилизированные композициями анионных ПАВ – додецилсульфата натрия (ДДСNa) и сульфонола (СФ) с поливиниловым спиртом (ПВС) в присутствии гидрофобных твердых частиц угля, проявили большую пенообразующую способность и устойчивость по сравнению с пенами из индивидуальных ПАВ. Получены изотермы поверхностного натяжения водных растворов ПАВ, ПВС и их смесей. Повышение устойчивости пен в присутствии угольных частиц отвечает снижению поверхностного натяжения на межфазной границе жидкость-газ. Стабильность пен, полученных из композиций ПАВ-ПВС объясняется совместным влиянием термодинамического (снижение поверхностного натяжения) и структурно-механического (повышение вязкости межфазной жидкости) факторов устойчивости. Эти свойства пен можно использовать для подавления пыли при добыче угля.

Ключевые слова: пенообразователь; угольные частицы; пена; пенообразующая способность; устойчивость; пылеподавление.

Көмір бөлшектерінің шаңын басатын көбіктүзгіштерді алу

¹Оспанова Ж.Б.*, ¹Тоқтағұл С.,
¹Тасмағамбетова А., ²Асадов М.

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²Әзірбайжан Ұлттық ғылым академиясының акад. М. Нагиев атындағы Катализ және бейорганикалық химия институты, Баку, Әзірбайжан
*E-mail: zhanar.ospanova@kaznu.kz

Көмірдің қатты бөлшектерімен тұрақтандырылған көбіктерді зерттеу нәтижелері келтірілген. Шөгінділерді талдау әдісімен көмір бөлшектерінің радиусы 20,28 мкм болатынды анықтады. Көбіктүзгіш қабілеті 1 мин ішінде барботаж әдісімен алынған көбік бағанының биіктігімен анықталды. Көбік тұрақтылығы көбік бағанының толығымен жойылған уақытымен анықталды. Көмірдің гидрофобты қатты бөлшектерінің қатысуымен анионды беттік активті заттар – натрийдің додецилсульфаты (ДДСNa) және сульфонол (СФ) поливинил спирті (ПВС) қосылған композицияларымен тұрақтандырылған көбіктер жеке беттік активті заттардан алынған көбіктерімен салыстырғанда көбіктүзгіштігі және тұрақтылығы көбірек болғаны анықталды. Беттік активті заттардың, ПВС және олардың қоспаларының судағы ерітінділерінің беттік керілу изотермалары алынады. Көмір бөлшектерінің қатысуымен көбік тұрақтылығының жоғарылауы сұйық-газ бөлу бетіндегі беттік керілудің төмендеуіне сәйкес келеді. БА3-ПВС композицияларынан алынған көбіктердің тұрақтылығы термодинамикалық (беттік керілудің төмендеуі) және құрылымдық-механикалық (қабатша арасындағы сұйықтықтың тұтқырлығын арттыру) әсер ету факторларымен түсіндіріледі. Көбіктердің осы қасиеттері көмірді өндіру барысында шаңды басу үшін қолдануға болады.

Түйін сөздер: көбік түзгіш; көмір бөлшектері; көбік; көбіктүзгіштік; тұрақтылық; шаңды басу.

Preparation of foaming agents for dust suppression of coal particles

¹Ospanova Zh.B.*, ¹Toktagul S.,
¹Tasmagambetova A., ²Asadov M.

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry named after Acad. M. Nagiyev of National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan
*E-mail: zhanar.ospanova@kaznu.kz

The results of the study of foams stabilized by solid coal particles are given. The method of sedimentation analysis determined the most likely radius of coal particles equal to 20.28 microns. Foaming ability was determined by the height of the foam column obtained by the method of bubbling within 1 min. Foam stability was determined by the time of complete destruction of the foam column. Foams stabilized by the compositions of anionic surfactants – sodium dodecyl sulfate (DDSNa) and sulfonol (SF) with polyvinyl alcohol (PVA) in the presence of hydrophobic solid particles of coal showed greater foaming capacity and stability compared to foams from individual surfactants. The surface tension isotherms of aqueous solutions of surfactants, PVA, and their mixtures were obtained. An increase in the stability of foams in the presence of coal particles corresponds to a decrease in the surface tension at the liquid-gas interface. The stability of foams obtained from surfactant-PVA compositions is explained by the combined influence of thermodynamic (reduction of surface tension) and structural-mechanical (increase in viscosity of inter-membrane fluid) of stability factors. These properties of foams can be used to suppress dust in coal mining.

Keywords: foamer; coal particles; foam; foaming ability; stability; dust suppression.



Получение пенообразователей для пылеподавления угольных частиц

¹Оспанова Ж.Б.*, ¹Токтагул С., ¹Тасмагамбетова А., ²Асадов М.

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Институт катализа и неорганической химии имени акад. М. Нагиева Национальной академии наук Азербайджана, Баку, Азербайджан

*E-mail: zhanar.ospanova@kaznu.kz

1. Введение

Угольная пыль, образующаяся при добыче, создает потенциально взрывоопасную среду и ряд проблем, связанных с дыханием людей и техническим обслуживанием машин. Большое число людей получают травмы или погибают при подземной добыче угля, авариях или страдают от воздействия угольной пыли, вызывающей пневмокозиоз (болезнь легких) [1,2]. Перспективным направлением решения данной проблемы является подавление угольной пыли. Одним из способов подавления пыли в угольной шахте является подавление пеной [3].

Пены являются неустойчивыми дисперсными системами. Изучение устойчивости пен является одной из важных проблем коллоидной химии. Особый интерес представляет изучение процессов образования и устойчивости пены в присутствии твердых частиц, так называемых минерализованных пен. Такие пены могут образоваться при подавлении пыли в процессе добычи угля [4].

В этой связи целью работы является получение пен из анионных ПАВ и их композиций с неионным полимером поливиниловым спиртом (ПВС), а также получение пен на основе этих систем в присутствии угольных частиц и изучение их устойчивости.

2. Эксперимент

В настоящей работе в качестве основных пенообразователей были использованы анионные ПАВ – додецилсульфат натрия (ДДСNa), сульфонол (СФ) и в качестве стабилизатора – поливиниловый спирт (ПВС)

русского производства (г. Санкт-Петербург). ПАВ использовали без очистки, отсутствие минимумов на изотермах поверхностного натяжения свидетельствует об отсутствии поверхностно-активных примесей. В работе использовали предварительно измельченные угольные частицы.

Пену получали барботированием воздуха через раствор пенообразователя объемом 10 мл. Кинетика разрушения пен в целом определяется скоростью уменьшения объема пены во времени, т.е. скоростью уменьшения пенного столба. При обсуждении устойчивости пен оценивали также пенообразующую способность раствора (V_{max}), которая характеризуется объемом пены, получаемого из единицы объема пенообразующего раствора в единицу времени [5].

Поверхностное натяжение водных растворов ПВС, ДДСNa, СФ и их смесей измерялось методом погруженной пластинки Вильгельми на приборе седиментометр-тензиометр СТ-СВ-2 с использованием алюминиевой пластинки размером $(24 \times 24) \cdot 10^{-3} \text{ м}$ [6]. Седиментационный анализ размеров частиц угля также проводили на приборе СТ-СВ-2, предназначенного для анализа дисперсионного анализа суспензии методом седиментации на основе массы [7]. Прибор создан на основе электронных весов и портативного компьютера. Все опыты проводились при комнатной температуре 20°C.

3. Результаты и обсуждение

В зависимости от требований к устойчивости пены и технологических условий производства, на практике выбирают ту или иную группу стабилизаторов. Иногда для

стабилизации пен используют метод бронирования газовых пузырьков: в пену вводят тонкоизмельченные твердые вещества (тальк, асбест, кварц), которые равномерно распределяются в пленках у поверхности пузырьков, повышая их прочность [8].

В данной работе в качестве стабилизирующего пену агента помимо ПАВ и смеси ПАВ с полимером ПВС использовали тонкоизмельченные частицы угля.

Для определения размера частиц угля использовали седиментационный анализ. Получена кривая накопления осадка частиц угля (рисунок 1). Оседание частиц угля в воде продолжалось около 41 мин. На основе этих данных были получены интегральная и дифференциальная кривые распределения частиц угля (рисунки 2 и 3).

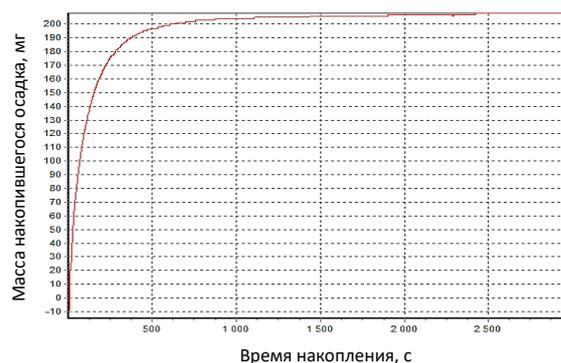


Рисунок 1 – Кривая седиментации угольных частиц

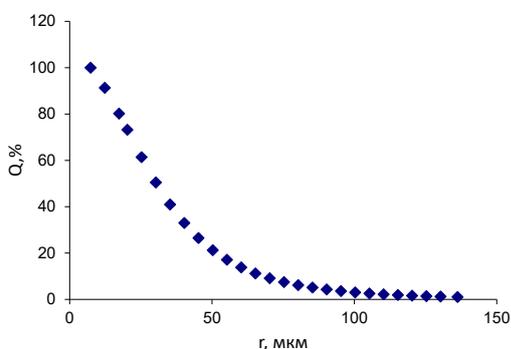


Рисунок 2 – Интегральная кривая распределения частиц угля

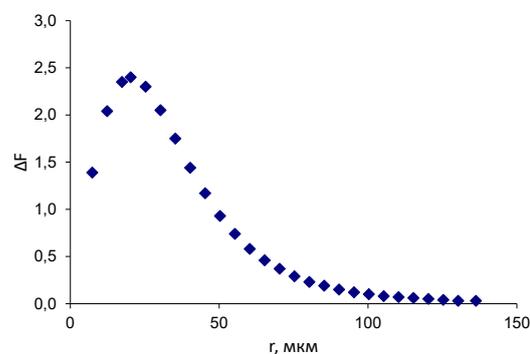


Рисунок 3 – Дифференциальная кривая распределения частиц угля

Как видно из этих данных, наиболее вероятный радиус частиц угля соответствует значению 20,28 мкм.

Было исследовано влияние концентрации основных пенообразователей – ПАВ на пенообразующую способность (V_{max}) и устойчивость пен t (рисунки 4 и 5).

Известно, что поверхностно-активные вещества имеют высокую пенообразующую способность. Однако пенные пленки, образованные ПАВ, имеют низкую прочность. Как отмечалось выше, эффективность пенообразующего и пеностабилизирующего действия возрастает, когда вместо индивидуального ПАВ используют композиции ПАВ с водорастворимыми полимерами.

В связи с этим, пены были получены из растворов бинарных композиций ПАВ-ПВС с относительной концентрацией компонентов $n=1 \cdot 10^{-4} \div 1$, где $n=[\text{ПАВ}]/[\text{ПВС}]$. Концентрация ПВС оставалась постоянной и равной $1 \cdot 10^{-2}$ осново-моль/л.

Предварительные исследования растворов ПВС в отсутствие ПАВ показали, что растворы ПВС в изученном интервале концентраций $1 \cdot 10^{-6} \div 1 \cdot 10^{-2}$ осново-моль/л вспениваются незначительно. Следовательно, ПВС благодаря полимерной природе, может оказать только лишь стабилизирующее действие из-за повышения

вязкости межфазных слоев, заключенных в пенных каналах [9-12].

Пенообразующая способность растворов ДДСНа и СФ была изучена в интервале концентраций - $5 \cdot 10^{-4} \div 1 \cdot 10^{-2}$ моль/л. Пенообразование в водных растворах ДДСНа и СФ наблюдается (при выбранных режимах вспенивания) при концентрациях не ниже $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л (рисунки 4 и 5) Как следует из рисунка 5 растворы сульфанола с концентрацией $1 \cdot 10^{-2}$ моль/л обладают наибольшей пенообразующей способностью по сравнению с другими пенами.

Додецилсульфат натрия обладает также высокой пенообразующей способностью и устойчивостью пены – время разрушения пены для раствора $1 \cdot 10^{-2}$ моль/л было вдвое больше (120 мин), чем для раствора сульфанола той же концентрации.

Анализ результатов исследования показал, что концентрация растворов оказывает существенное влияние на устойчивость пены. С увеличением концентрации ПАВ, стабильность пены увеличивается, как только она достигает ККМ, пена начинает разрушаться. При концентрации ПАВ превышающей ККМ, из треугольников Плато начинается истечение жидкости, что приводит к разрушению пены [13,14].

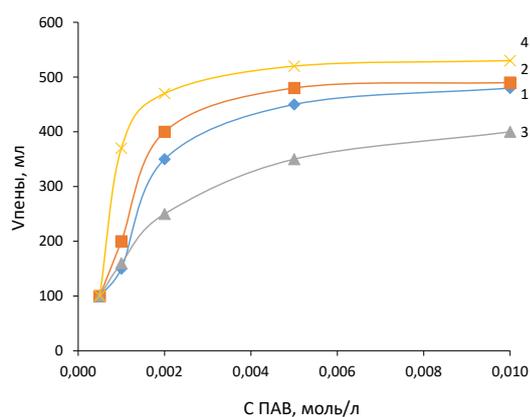


Рисунок 4 – Пенообразующая способность водных растворов ДДСNa (1), ДДСNa в присутствии угольных частиц (2), композиций ДДСNa-ПВС (3), ДДСNa-ПВС в присутствии угольных частиц (4), концентрация ПВС в смесях равна $1 \cdot 10^{-2}$ осново-моль/л

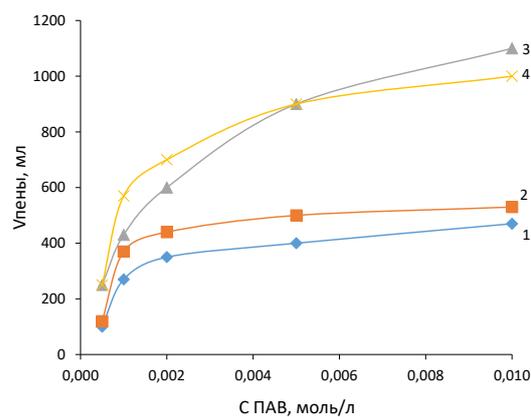


Рисунок 5 – Пенообразующая способность водных растворов СФ (1), СФ в присутствии угольных частиц (2), композиций СФ-ПВС (3), СФ-ПВС в присутствии угольных частиц (4), концентрация ПВС в смесях равна $1 \cdot 10^{-2}$ осново-моль/л

Для смесей ДДСNa-ПВС и СФ-ПВС при $n=1 \cdot 10^{-2} \div 1 \cdot 10^{-1}$ пенообразующая способность и устойчивость оказались близкими по значению – $V_{\text{пены}} \approx 500$ мл, $t \approx 15 \pm 2$ мин.

Было проведено исследование влияния добавления угольных частиц на пенообразующую способность и стабильность (время разрушения пены) пен для всех систем (рисунки 6 и 7). Для растворов додецилсульфата натрия в интервале концентраций $5 \cdot 10^{-4} \div 1 \cdot 10^{-2}$ моль/л разрушение пены происходит в течение 28 мин в отсутствие частиц угля и через 20 мин в присутствии частиц угля (рисунок 6). Частицы угля также оказывают отрицательное влияние на эффективность вспенивания раствора сульфанола в интервале концентраций $5 \cdot 10^{-4} \div 1 \cdot 10^{-2}$ моль/л и стабильность

пены. Устойчивость пены составляет 60 мин в отсутствие частиц угля и 33 мин в присутствии частиц угля (рисунок 7).

На рисунках 6 и 7 показано также время разрушения пен, полученных из композиционных пенообразователей ДДСNa-ПВС и СФ-ПВС в присутствии угольных частиц. Для композиционных пенообразователей устойчивость пены в присутствии угольных частиц увеличилась примерно в 2 раза (кривые 2 и 4 на рисунках 6 и 7).

Устойчивость пен в присутствии твердых частиц обусловлена механическим упрочнением пенных пленок в результате их «покрытия» твердыми частицами. Это возможно только в том случае, если поверхность пузырьков недостаточно покрыта твердыми частицами. Также

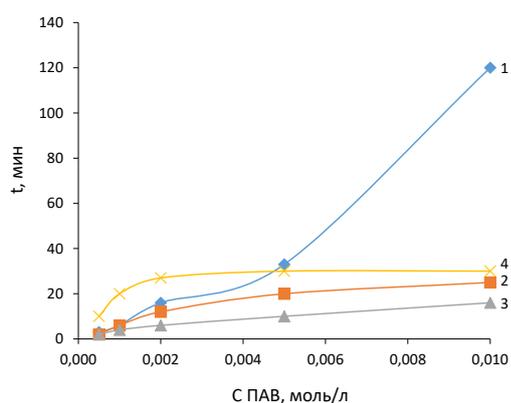


Рисунок 6 – Время разрушения пены, полученных из растворов ДДСNa (1), ДДСNa в присутствии угольных частиц (2), композиций ДДСNa-ПВС (3), ДДСNa-ПВС в присутствии угольных частиц (4), концентрация ПВС в смесях равна $1 \cdot 10^{-2}$ осново-моль/л

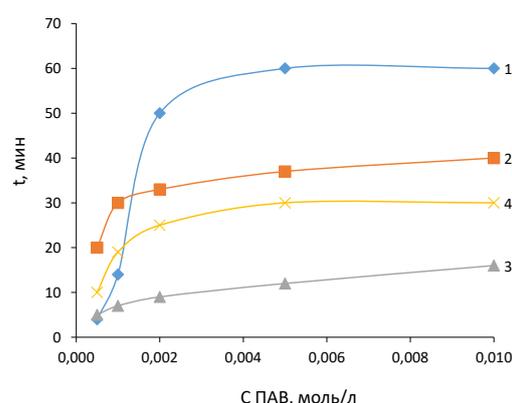


Рисунок 7 – Время разрушения пены, полученных из растворов СФ (1), СФ в присутствии угольных частиц (2), композиций СФ-ПВС (3), СФ-ПВС в присутствии угольных частиц (4), концентрация ПВС в смесях равна $1 \cdot 10^{-2}$ осново-моль/л

твердые частицы, как полагают, закупоривают каналы Плато-Гиббса, тем самым уменьшая отток жидкости из пены [15].

Стабильность пен, полученных из композиций ПАВ - ПВС объясняется совместным влиянием термодинамического (снижение поверхностного натяжения) и структурно-механического (повышение вязкости междупеночной жидкости) факторов устойчивости. Для выяснения влияния термодинамического фактора устойчивости пен было проведено исследование поверхностного натяжения водных растворов ПАВ, ПВС и их смесей. Особенности взаимодействия мицеллообразующих ПАВ с ПВС в водных растворах отражаются на изотермах их поверхностного натяжения (рисунки 8 и 9). Из рисунков 8 и 9 видно, что равновесные значения поверхностного натяжения бинарных смесей ПАВ-ПВС проходят несколько ниже аналогичной изотермы для ПВС.

На стабильность пены влияет также концентрация твердой фазы. Введение твердой фазы в небольшом количестве в пенную систему может вызвать резкое увеличение стабильности пены, одновременно увеличивая скорость оттока жидкости [4,8,16].

Для растворов ПАВ высокой концентрации с высоким пенообразованием твердая фаза не оказывает заметного влияния на повышенную стабильность и замедление скорости оттока жидкости из пенных каналов. Это объясняется тем фактом, что большая часть ПАВ при концентрациях близких к ККМ, будет адсорбироваться на твердом веществе, и концентрация ПАВ в растворе будет уменьшаться. Следовательно, поверхностное натяжение раствора будет увеличиваться, что приведет к ускорению оттока жидкости из пены. На стабильность пен, полученных из отдельных ПАВ, частицы угля влияют негативно. Так как толщина пенных пленок, полученных из индивидуальных ПАВ, очень тонкая, происходит их быстрый прорыв [4,13].

При введении в систему кроме ПАВ полимера, происходит утолщение пенной пленки. Такие пленки лучше удерживают частицы твердого вещества. Адсорбция ПАВ на твердых частицах также происходит менее интенсивно в присутствии полимера. В таких трехфазных пенах стабильность пены и снижение скорости оттока жидкости обусловлены закрытием каналов Плато-Гиббса. Наконец, если концентрация твердой фазы является достаточной, гидрофобные частицы образуют «адсорбционные агрегаты». «Адсорбционные агрегаты» соединяются коагуляционными контактами. Устойчивость таких пен определяется прочностью коагуляционных связей между твердыми частицами и пространственными сетками внутри адсорбционных слоев [4,13].

При высокой концентрации твердых частиц в эмульсиях и пенах, стабилизированных твердыми частицами, происходит формирование 3D-структуры, в которую вовлечены межфазные слои. В некоторых случаях наблюдается в эмульсиях и пенах желатинирование. В этом случае стабильность эмульсий и пен определяется реологическими свойствами адсорбционных слоев и гелеобразной дисперсионной среды [17,18].

Таким образом, установлено, что стабильность пен, полученных из композиционных пенообразователей, увеличивается с добавлением частиц угля. Пенные пленки композиционных пен могут удерживать как мелкие, так и крупные частицы угля. Верхние слои пены вследствие коалесценции отдельных пузырьков постепенно будут разрушаться, пузырьки пены будут принимать форму многогранников. Разрушение пены одновременно приведет к увеличению степени минерализации пузырьков. При полной минерализации образуются «агрегатные» пены (например, при флотации угля). Такие пены содержат до 40-46% твердых веществ и обладают значительной устойчивостью. При испарении из

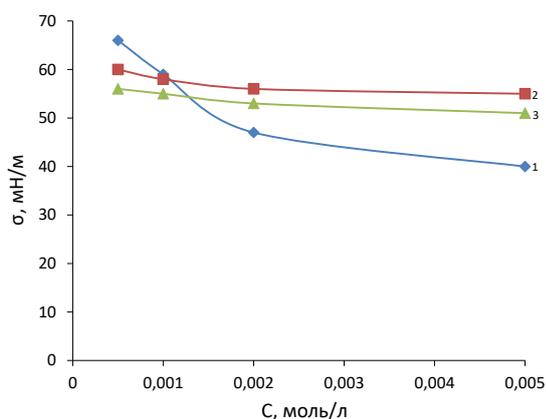


Рисунок 8 – Изотермы поверхностного натяжения ДДСНа (1), ПВС (2), композиций ДДСНа-ПВС (3), концентрация ПВС в смесях равна $1 \cdot 10^{-2}$ осново-моль/л

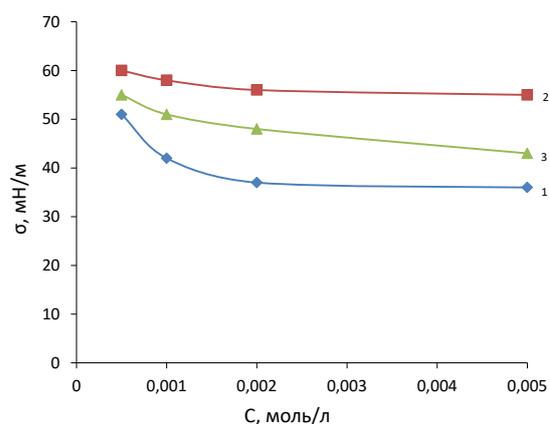


Рисунок 9 – Изотермы поверхностного натяжения СФ (1), ПВС (2), композиций СФ-ПВС (3), концентрация ПВС в смесях равна $1 \cdot 10^{-2}$ осново-моль/л

них влаги получают «скелеты» пен, состоящие из примыкающих друг к другу твердых частиц [4].

Это свойство пены позволит решить проблему создания высокоэффективных, биологически разлагаемых пенообразователей для пылеподавления в угольных шахтах, предотвращения от пожаров и улучшения экологии атмосферы угольных шахт при добыче.

4. Заключение

В работе были изучены пенообразующие и пеностабилизирующие свойства анионных ПАВ – додецилсульфата натрия (ДДСNa) и сульфонола (СФ) и их композиций с неионным полимером поливиниловым спиртом (ПВС). Установлено, что пенообразующие свойства ПАВ зависят от их концентрации в растворе. С увеличением концентрации ПАВ, время разрушения пены увеличивается. Выявлено, что смеси ДДСNa-ПВС и СФ-ПВС оказались более устойчивыми по сравнению с пенами, полученными из отдельных компонентов. В связи с тем, что одним из основных факторов стабильности пены является

термодинамический фактор устойчивости, было исследовано поверхностное натяжение водных растворов ДДСNa, СФ и смесей ДДСNa-ПВС и СФ-ПВС. Изотермы поверхностного натяжения для смесей проходят ниже аналогичной изотермы для ПВС, т.е. композиции ПАВ-ПВС проявляют большую поверхностную активность. Исследования показали, что в присутствии угольных частиц ($r=20,28$ мкм), более стабильными являются пены, полученные из композиционных пенообразователей ДДСNa-ПВС и СФ-ПВС. Это связано с тем, что при введении в систему кроме ПАВ полимера, происходит утолщение пенной пленки. Такие пленки обладают способностью удерживать частицы твердого вещества. Адсорбция ПАВ на твердых частицах также происходит менее интенсивно в присутствии полимера. Таким образом, полученные в работе композиционные пенообразователи на основе смесей анионных ПАВ - ДДСNa и СФ с неионным полимером ПВС можно рекомендовать для подавления пыли в угольных шахтах в соответствии со всеми техническими и гигиеническими стандартами.

Литература

- 1 Справочник по борьбе с пылью в горнодобывающей промышленности. – М.: Недра, 1982. – 240 с.
- 2 Правила безопасности в угольных шахтах. Книга 3. Инструкции по борьбе с пылью и пылевзрывозащите. – Липецк: Липецкое издательство Роскомпечати, 1997. – 96 с.
- 3 Руководство по борьбе с пылью в угольных шахтах. – 2-е изд. Перераб. и доп. – М.: Недра, 1979. – 310 с.
- 4 Тихомиров В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. – М.: Химия, 1983. – 128 с.
- 5 Оспанова Ж.Б., Мусабеков К.Б., Керимкулова М.Ж. Физико-химия пен и аэрозолей. – Алматы: Қазақ университеті, 2016. – 80 с.
- 6 Rame E. The interpretation of dynamic contact angles measured by the Wilhelmy plate method // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 1997. – Vol.185. – P.245-251.
- 7 Назаров В.В., Гродской А.С. Практикум и упражнения по коллоидной химии. – Академкнига, 2007. – С.285-289.
- 8 Вилкова Н.Г., Еланева С.И., Волкова Н.В., Бровкина Е.Н. Пены, стабилизированные твердыми частицами: вопросы устойчивости // *Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского*. – 2011. №25. – С.684-689.
- 9 Жуков И.И., Шатова О.С., Полозова Т.Н. Стабилизация пен поливиниловым спиртом // *Коллоидный журнал*. – 1983. – Т.45, №5. – С.1001-1004.
- 10 Бабак В.Г., Вихорева Г.А., Лукина И.Г., Кузнецова Л.В. Механизм стерической стабилизации пен и пенных пленок адсорбционными слоями ПАВ-полиэлектролитных комплексов // *Коллоидный журнал*. – 1997. – Т.59, №2. – С.149-153.
- 11 Von Klitzing R., Muller H.J. Film stability control // *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. – 2002. – Vol.7. – P.42-49.
- 12 Cervantes-Martinez A., Maldonado A. Foaming behavior of polymer-surfactant solutions // *Journal of Physical Condensation of Matter*. – 2007. – Vol.19. – P.241-246.
- 13 Holmberg K., Jonsson B., Kronberg B., Lindman B. Surfactants and polymers in aqueous solution. – Chichester: John Wiley & Sons. – 2002. – P.148-159.
- 14 Левинский Б.В., Бронштейн И.В., Татарина И.В. Влияние концентрации ПАВ на устойчивость полимерных пен и пленок // *Коллоидный журнал*. – 1985. – Т.47, №6. – С.1190-1193.
- 15 Портная И.Б., Сучкова Л.Н., Новгородцева С.Н., Панич Р.М. Исследование устойчивости многофазных пен // *Коллоидный журнал*. – 1981. – Т.43, №5. – С.883-889.
- 16 Нуштаева А.В. Исследование утончения эмульсионных пленок, стабилизированных твердыми частицами, методом приложенного перепада давлений // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки*. – 2014. – №1(5). – С.73-82.
- 17 Вилкова Н.Г., Нуштаева А.В. Пены и эмульсии, стабилизированные различными коллоидными частицами // *Известия*

высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2017. – №4(20). – С.74-85

18 Нуштаева А.В., Вилкова Н.Г. Твердые стабилизаторы дисперсных систем: свойства и применение // Фундаментальные исследования. – 2014. – №3-1. – С.64-67

References

- 1 Handbook of anti-dust in the mining industry (1982) [Spravochnik po borbe s pylyu v gornodobyvayushey promyshlennosti]. Nedra, Moscow, Russia. (In Russian)
- 2 Safety rules in coal mines. Book 3. Instructions for dealing with dust and dust explosion (1997) [Pravila besopasnosti v ugolnyh shakhtah. Kniga 3. Instruktzii po borbe s pylyu i pylevzrivosashite]. Lipetsk publishing house of Roskompechat, Lipetsk, Russia. (In Russian)
- 3 Manual on the fight against dust in coal mines (1979) [Rukovodstvo po borbe s pylyu v ugolnyh shakhtah], 2nd recycling and supplemented ed. Nedra, Moscow, Russia. (In Russian)
- 4 Tikhomirov VK (1983) Foams. Theory and practice of their receiving and destruction [Peny. Teoria i practica ih polucheniya i razrusheniya]. Khimiya, Moscow, Russia. (In Russian)
- 5 Ospanova ZhB, Musabekov KB, Kerimkulova MZh (2016) Physical chemistry of foams and aerosols [Fiziko-himiya pen i aerorozoley]. Kazakh University, Almaty, Kazakhstan. (In Russian)
- 6 Rame E (1997) J Colloid Interf Sci 185:245-251. <https://doi.org/10.1006/jcis.1996.4589>
- 7 Nazarov VV, Grodsky AS (2007) Workshop and exercises on colloid chemistry [Praktikum i uprazhnrnyya po kolloidnoy himii]. Akademkniga, Moscow, Russia (In Russian)
- 8 Vilkova NG, Elaneva SI, Volkova NV, Brovkina EN (2011) Proceedings of Penza State Pedagogical University named after V.G. Belinsky [Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni V.G. Belinskogo] 25:684-689. (In Russian)
- 9 Zhukov II, Shatova OS, Polozova TN (1983) Colloid J+ 45(5):1001-1004. (In Russian)
- 10 Babak VG, Vikhoreva GA, Lukina IG, Kuznetsova LV (1997) Colloid J+ 59(2):131-135. (In Russian)
- 11 Von Klitzing R, Muller HJ (2002) Curr Opin Colloid In 7:42-49. [https://doi.org/10.1016/S1359-0294\(02\)00005-5](https://doi.org/10.1016/S1359-0294(02)00005-5)
- 12 Cervantes-Martinez A, Maldonado A (2007) J Phys Condens Matter 19:241-246. <https://doi.org/10.1088/0953-8984/19/24/246101>
- 13 Holmberg K, Jonsson B, Kronberg B, Lindman B (2002) Surfactants and Polymers in Aqueous Solution. John Wiley & Sons, Chichester, UK. <https://doi.org/10.1002/0470856424>
- 14 Levinsky BV, Bronshtein IV, Tatarinova IV (1985) Colloid J+ 47(6):1190-1193. (In Russian)
- 15 Portnaya IB, Suchkova LN, Novogorodtseva SN, Panich RM (1981) Colloid J+ 43(5):883-889. (In Russian)
- 16 Nushtaeva AV (2014) Proceedings of the higher educational institutions. Volga region. Natural Sciences [Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Yestestvennyye nauki] 1(5):73-82. (In Russian)
- 17 Vilkova NG, Nushtaeva AV (2017) Proceedings of the higher educational institutions. Volga region. Natural Sciences [Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Yestestvennyye nauki] 4(20):74-85. (In Russian)
- 18 Nushtaeva AV, Vilkova NG (2014) Fundamental research [Fundamental'nyye issledovaniya] 3-1:64-67. (In Russian)