



Научная статья

УДК 544.723.21

DOI: 10.52957/2782-1900-2024-5-4-74-87

ПОВЕДЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ДИСПЕРГАТОРОВ КРАСОК

Н.А. Морева, П.Б. Разговоров

Надежда Александровна Морева, старший преподаватель; Павел Борисович Разговоров, доктор технических наук, профессор

Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Россия

nadezhda.zakharova.yar@mail.ru, razgovorovpb@ystu.ru.

Ключевые слова:

полимерные поверхностно-активные вещества, высокомолекулярные соединения, критическая концентрация мицеллообразования, модифицирующие добавки, диспергаторы красок, прочность и адгезия композиций, водоустойчивые покрытия

Аннотация.

На основании проведенного анализа литературных источников и общей классификации поверхностно-активных веществ (ПАВ) объясняется научный интерес к разработке новых высокомолекулярных и полимерных соединений, изменяющих поверхностное натяжение на границе раздела фаз. Приведены примеры использования полимерных ПАВ в различных областях химической промышленности, а также строительстве (модифицированные добавки в бетоны, защитные составы и краски композиции). Несмотря на то, что в последние годы рынок синтезированных полимерных ПАВ не претерпел глобальных изменений, на современном этапе развития науки выявлен спектр перспективных модификаторов, при введении которых в системы ожидается прогнозируемый эффект создания прочных композиций с хорошей адгезией к поверхности строительных материалов и конструкций, а также получения на основе таких композиций водоустойчивых покрытий.

Для цитирования:

Морева Н.А., Разговоров П.Б. Поведение полимерных поверхностно-активных веществ в водных растворах и перспективы их применения в качестве диспергаторов красок // *От химии к технологии шаг за шагом*. 2024. Т. 5, вып. 4. С. 74-87 URL: <https://chemintech.ru/ru/nauka/issue/5563/view>

Введение

В настоящее время в различных сферах промышленного производства, экономики, а также биологии использование поверхностно-активных веществ (ПАВ) становится все более популярным. Особенностью их применения является снижение натяжения на поверхности, вызванное проявляемой способностью адсорбироваться на границе



раздела фаз. В состав молекул ПАВ, как правило, включены как гидрофильные, так и гидрофобные фрагменты [1].

По объемам производства в мире ПАВ разделяют лидирующие позиции с такими материалами, как каучук и красители. В частности, на рубеже десятилетий в 2020 г. только в Российской Федерации было произведено свыше 250 тыс. тонн ПАВ. При этом более четверти выпускаемой продукции приходится на потребление в сфере бытовой химии, в то время как главная часть находит применение в промышленности и секторе сельского хозяйства [2]; весьма обширной областью практического приложения выступает также медицина. Включение медицинского аспекта во многом объясняет тот факт, что научные исследования в области синтеза новых ПАВ ведутся крайне интенсивно.

Так, полимерные ПАВ обладают способностью образовывать мицеллы – структуры, состоящие из групп различных сложных молекул или ионов, в связи с чем область их использования расширяется с каждым годом.

Успехи применения ПАВ в целом связываются с изучением физических свойств, в частности, их адсорбционной способности. Тем не менее, к настоящему времени физические свойства полимерных поверхностно-активных веществ исследованы все же не в полной мере, а также не всегда применение их теоретически обосновано [3], что предоставляет простор для включения спектра новых исследований в указанной области. В частности, отдельный интерес представляет решение вопроса улучшения диспергирования пигментов и наполнителей в органической среде, способное выявить возможности достижения новых качественных характеристик высокомолекулярных соединений, а также композиций для проведения окрасочных работ в современном строительстве.

Общая классификация поверхностно-активных веществ по группам или химической природе

Наиболее известной в мировом научном сообществе признается классификация по заряду гидроксильных групп или химической природе молекул ПАВ. Согласно данной классификации можно выделить:

- катионные поверхностно-активные вещества (КПАВ);
- анионные поверхностно-активные вещества (АПАВ);
- амфотерные поверхностно-активные вещества (амфолитные, АмПАВ), способные выполнять функции как донора, так и акцептора протона в зависимости от pH раствора;
- неионогенные поверхностно-активные вещества (НПАВ).

Рассмотрим отдельно особенности каждого вида вышеуказанных ПАВ.

Катионные ПАВ характеризует присутствие относительно большой, положительно заряженной гидрофобной группы. Они находят применение при улучшении диспергирования пигментов и наполнителей в органической среде в связи со



способностью адсорбироваться на твердых поверхностях, вытесняя воздух и влагу и образуя при этом достаточно прочную связь. Большинство КПАВ содержат в своем составе атом азота, который несет положительный заряд.

К КПАВ можно отнести:

- соли алкилзамещенных аммониевых оснований, например, бромид гексадецилтриметиламмония;
- соли алифатических аминов;
- соли ароматических аминов;
- соли алкилзамещенных пиридина.

Особенностью КПАВ является то, что они достаточно эффективно совмещают поверхностно-активные свойства с повышенной биологической активностью, благодаря чему находят применение в качестве дезинфицирующих и бактерицидных средств, а также ингибиторов коррозии.

Ниже в табл. 1 охарактеризованы интересные области применения КПАВ в промышленности и народном хозяйстве.

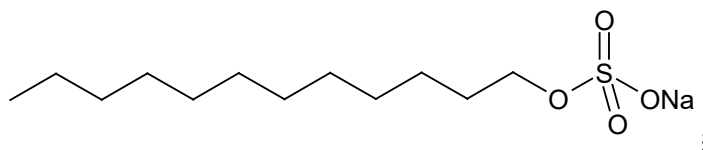
Таблица 1. Практическое применение КПАВ в областях химии и биохимии

Поверхность	Область применения
Поверхность стали	В качестве антикоррозионных агентов
Неорганические пигменты	В качестве диспергаторов для красок
Пластик	В качестве антистатических агентов
Стенки бактериальных клеток	В качестве химических веществ, уничтожающих бактерии

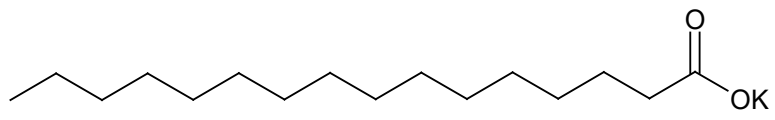
Анионные ПАВ характеризуются наличием большой отрицательно заряженной группы, при этом гидрофильная часть АПАВ обычно содержит группу NaSO_3^- или NaOSO_3^- .

Типичными примерами АПАВ могут служить:

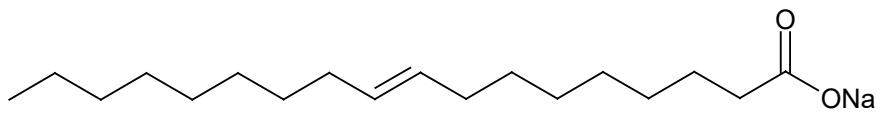
- соли неполных эфиров серной кислоты, например, додецилсульфат натрия:



- карбоновые кислоты и соли с общей формулой RCOOMe , где Me – металл, например, пальмитат калия:

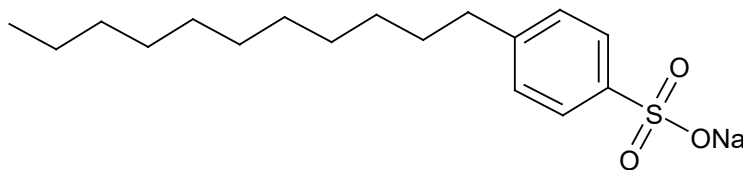


- олеат натрия:



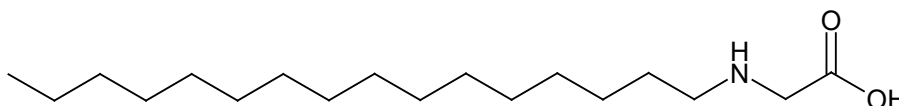


- соли соответствующих сульфокислот RSO_2OM , содержащие алкильный радикал, например, додецилсульфонат:



Применение АПАВ широко распространено в области производства латексов и синтетических каучуков [4].

Амфотерные, или амфолитные ПАВ (АмПАВ) содержат две функциональные группы, различающиеся по своим свойствам, и, в зависимости от кислотности среды, могут проявлять как анионоактивные, так и катионоактивные свойства; при этом в качестве группы, способной приобретать положительный заряд, выступает аминогруппа. Классическими представителями АмПАВ являются белки и аминокислоты природного происхождения. Синтетические аналоги включают алкиламиноуксусную кислоту, ярким примером которых является ацетиламиноуксусная кислота:



Значительные затраты на изготовление алкиламиноуксусных кислот послужили причиной их редкого производства в промышленности и медицине.

Неионогенные ПАВ отличаются тем, что не диссоциируют на ионы в водных растворах; их молекулы состоят из гидрофобных радикалов (например, алкильных) и гидрофильных атомных групп. При этом гидрофильная часть НПАВ обычно включает гидроксильные (OH^-) группы или эфирные ($\text{C}-\text{O}$) связи, которые должны присутствовать в значительных количествах в молекуле для достижения требуемого уровня гидрофильности.

Одним из явных преимуществ НПАВ является их совместимость с ионогенными поверхностно-активными веществами.

Важнейшие представители различных классов ПАВ представлены в табл. 2.

Таблица 2. Примеры различных классов ПАВ

Название	Сокращённое название	Формула
Катионные ПАВ		
Октадециламин	ОДА	$\text{C}_{18}\text{H}_{37}\text{NH}_2$
Додециламин	ДДА	$\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{NH}_2$
Бромид цетилтриметиламмония	ЦТМА	$[\text{C}_{16}\text{H}_{33}\text{N}(\text{CH}_3)_3]\text{Br}$
Анионные ПАВ		
Октилсульфат натрия	ОС	$\text{C}_8\text{H}_{17}\text{OSO}_3\text{Na}$
Додецилсульфат натрия	ДДС	$\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{OSO}_3\text{Na}$
Неионогенные ПАВ		
Оксиэтилированные производные алкилфенолов $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{C}_6\text{H}_4\text{O}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_m\text{H}$		
Эмульгатор ОП-7	ОП-7	Где $n = 8-10$, $m = 6-7$



Особенности поведения ПАВ в водных растворах

Существует две большие группы дифильных ПАВ, которые разделяются в зависимости от способности к самоорганизации в растворах, а именно: истинно растворимые и мицеллообразующие [5, 6].

Группа истинно растворимых веществ включает низшие спирты, кислоты и их соли. Эти вещества остаются в молекулярно-дисперсном состоянии в растворе до тех пор, пока не будут достигнуты концентрации, соответствующие их насыщенным растворам, после чего система разделяется на две макрофазы.

Вторая группа ПАВ характеризуется способностью к образованию гетерогенных дисперсных систем. Молекулы коллоидных ПАВ, которые содержат как гидрофильные, так и гидрофобные фрагменты, имеют тенденцию независимо мигрировать к границе раздела фаз. Когда гидрофильные группы изолированы от воды (полностью или частично), образуется адсорбционный слой, уменьшающий свободную энергию на границе раздела фаз. При этом показатель предельной адсорбции возрастает с увеличением концентрации поверхностно-активного вещества [7].

По мере увеличения концентрации ПАВ в растворе большую роль начинают играть структурные агрегаты, известные как мицеллы. Мицеллы образуются, когда ПАВ обладают длинными углеводородными цепями и сильными полярными группами.

Дополнительно введено понятие «критическая концентрация мицеллообразования» (ККМ) – минимальная концентрация ПАВ, при которой достигается термодинамическое равновесие ионов и молекул с ПАВ. В области критических значений концентрации мицелл возможно наблюдать значительные изменения физических и химических свойств раствора ПАВ [8-12].

Для оценки влияния состава ПАВ на значения ККМ следует учитывать следующие закономерности, изложенные в [13-16]:

- значения ККМ сильно снижаются с ростом длины алкильной цепи ПАВ; при этом падение ККМ при увеличении длины алкильной цепи на одну метиленовую группу составляет для ионных ПАВ – 50%, для неионных ПАВ – до 70%;
- ККМ для ионных поверхностно-активных веществ значительно выше, чем для НПАВ; при этом соотношение зависит от длины алкильной цепи, но разница составляет примерно два порядка;
- смещение ионогенных групп от крайней границы углеводородного радикала к середине алкильной цепи приводит к росту ККМ;
- рост заряда противоиона приводит к снижению ККМ.

Также росту ККМ способствует увеличение полярности гидрофобной части молекулы.

Другим важным фактором, влияющим на ККМ, является температура. С повышением температуры ККМ уменьшается, в первую очередь, вследствие разрыва водородных связей между молекулами воды и атомами кислорода, а также снижения агрегации.



Присутствие и концентрация дополнительных веществ в растворе также существенно влияют на ККМ, с учетом следующих ключевых принципов:

- добавление соли в раствор вызывает заметное снижение ККМ. При высоких концентрациях соли изменения ККМ становятся более заметными по мере увеличения числа атомов углерода в цепи ПАВ;
- ионный заряд в растворе играет решающую роль, при этом заряд противоиона оказывает особо значимое влияние на ККМ;
- низкомолекулярные вещества влияют на ККМ индивидуально, в зависимости от полярности растворенных соединений;
- на изменение ККМ в сторону роста некоторое влияние оказывают вещества, обладающие способностью хорошо растворяться в воде.

ККМ является одной из важнейших характеристик ПАВ. Анализ ККМ – основной этап, при котором рассматривается возможность использования ПАВ. Критическая концентрация мицеллообразования (ККМ) определяется путем измерения поверхностного натяжения и процесса солюбилизации. Также хорошо «работает» кондуктометрический метод, который используется для определения ионных поверхностно-активных веществ [7].

Полимерные ПАВ, без которых трудно обойтись в технологиях производства материалов, проявляют критическое свойство, называемое «поверхностная активность». Эта характеристика обозначает их способность адсорбироваться на границах фаз со снижением поверхностной энергии за счет определенной ориентации молекул в поверхностном слое.

Поверхностное натяжение – это максимальный объем работы, необходимый для создания единицы площади поверхности (1 м^2).

Многочисленные амфифильные и водорастворимые ПАВ весьма эффективно действуют в части снижения поверхностного натяжения растворов (особенно на границе с воздухом), часто до значений, не превышающих 30–40 мН/м. При этом вид изотермы поверхностного натяжения (см. рис. 1) достаточно качественно иллюстрирует корреляцию между поверхностным натяжением и концентрацией растворенного вещества при постоянной температуре.

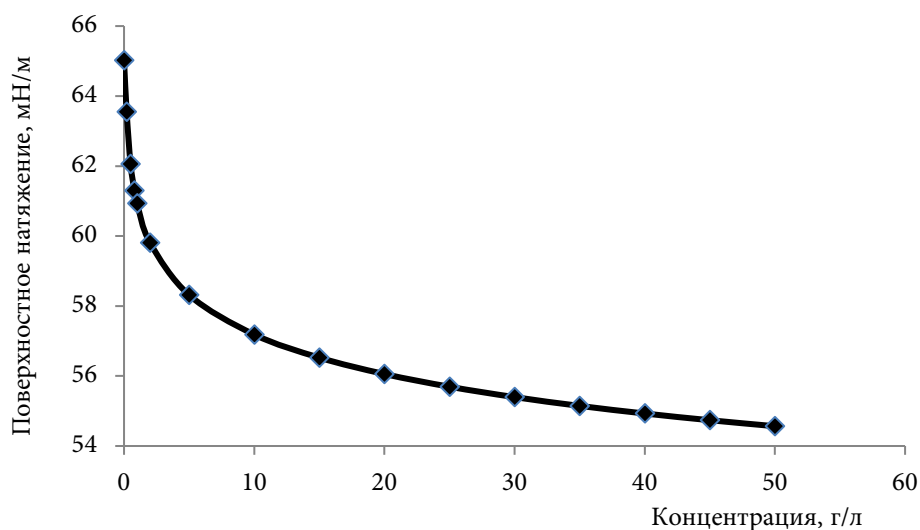


Рис. 1. Общий вид изотермы поверхностного натяжения



В водных системах поверхностная активность поверхностно-активных веществ при определенной температуре зависит от их концентрации, а также формы и размера мицелл. Как правило, поверхностное натяжение уменьшается по мере роста массы мицеллы. Мицеллы в воде могут принимать различные формы, такие как сферические, цилиндрические или даже двухслойные конфигурации.

Поверхностное натяжение в растворах регулируется характеристиками растворителя и растворенного вещества, а также их концентрацией и температурой.

Солюбилизирующая способность ПАВ

Солюбилизация – процесс значительного увеличения растворимости слабополярных органических соединений (солюбилизатов) в воде при наличии ПАВ (солюбилизаторов).

Способность мицеллярных систем к солюбилизации соединений является одним из важнейших свойств. Данный процесс тесно связан с гидрофобным взаимодействием.

Процесс солюбилизации приводит к образованию равновесных практически прозрачных растворов.

Различают прямую солюбилизацию (в водных растворах) и обратную (характерную для углеводородных систем) [6, 17].

Неполярные гидрофобные вещества и полярные органические соединения способны включаться в структуру мицеллы различными способами. Неполярные вещества, такие как ароматические и парафиновые углеводороды, встраиваются в углеводородные ядра мицелл. Напротив, полярные вещества – кислоты и спирты – располагаются между молекулами ПАВ, при этом их полярные группы ориентируются / приспособливаются к окружающей воде, а гидрофобные части выстраиваются параллельно углеводородным цепям ПАВ.

Кроме того, молекулы солюбилизата могут прикрепляться к поверхности мицелл. В таких случаях молекулы располагаются между изогнутыми цепями, не проникая в структуру ядра мицеллы. Такое поведение характерно для НПАВ [6].

В начале процесса происходит растворение солюбилизата в растворе, затем молекулы солюбилизата диффундируют к поверхностной границе мицеллы, а на заключительном этапе солюбилизат внедряется в структуру мицеллы [18].

Особенности синтеза поверхностно-активных веществ, применяемых для получения высокомолекулярных соединений и полимерных композитов

Модификация пигментов и наполнителей для полимерных композитов и покрытий с целью повышения их технологических свойств наиболее эффективна при формировании на их поверхности хемосорбционных слоев модифицирующих веществ. Однако значительное снижение удельной поверхностной энергии частиц пигмента и наполнителя нежелательно, так как это уменьшает энергию смачивания их поверхности растворами полимеров или расплавами, составляющими матрицу. Поверхность пигментов часто демонстрирует мозаичную структуру кислотно-щелочных свойств,



содержащую группы, способные к химическому взаимодействию с кислотными функциональными группами, такими как карбоксильные группы органических модификаторов.

Чтобы облегчить хемосорбцию модификатора, сохраняя при этом способность адсорбционного слоя взаимодействовать с окружающей средой посредством определенной полярности, в молекулу ПАВ при синтезе должны быть дополнительно включены реакционноспособные и полярные группы (рис. 2).

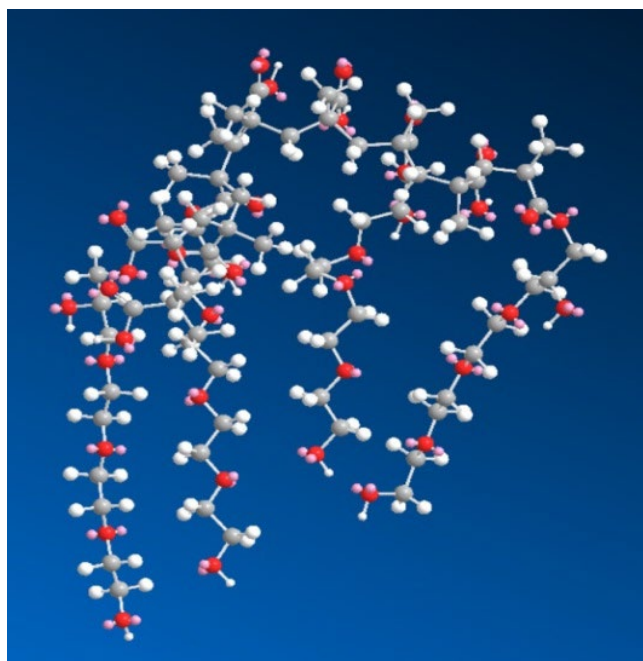


Рис. 2. 3D модель продукта сополимеризации оксиэтилированного глицилметакрилата с метакриловой кислотой; цвет атомов – серый (углерод), белый (водород), красный (кислород) и розовый (неподеленные электронные пары)

Структура молекулы в виде модели, представленной на рис. 2, подразумевает, что часть атомов (углерод, водород) может оставаться химически инертной в условиях модифицирования и формирования композита.

Применение в строительстве полимерных поверхностно-активных веществ на основе поликарбоксилатов

Полимерные поверхностно-активные вещества находят широкое применение в различных сферах промышленности, хозяйства и медицины.

В качестве примера можно рассмотреть процесс получения окисленных битумов и улучшение их свойств. При их производстве в систему вводят модифицирующие добавки (ПАВ), которые положительно влияют на свойства получаемого материала и их реакционную способность. В связи с тем, что производители стремятся к снижению материальных затрат, применение поверхностно-активных веществ в данном случае оправдано [19, 20].

Несомненным преимуществом применения модифицирующих добавок, содержащих поверхностно-активные вещества, является их способность улучшать



эксплуатационные характеристики битума. Применение данных добавок способствует улучшению смачивания минеральных материалов битумом за счет формирования адсорбционного слоя, где полярные группы ориентируются к поверхности минерала, а углеводородные цепи включаются в структуру битумной матрицы.

Главным преимуществом использования таких добавок является сокращение времени, необходимого для получения однородной смеси, а также снижение температуры, требуемой для процесса смешивания. Кроме того, ПАВ способствуют образованию мономолекулярного хемосорбционного слоя на границе раздела «минеральный материал – битум», что значительно усиливает адгезию между компонентами смеси [21-23].

Одной из приоритетных задач, поставленных перед строительной отраслью, является ускорение процесса возведения монолитных конструкций. Для этого основное внимание уделяется увеличению текучести бетонных смесей, способных к самоуплотнению. На протяжении десятилетий разрабатывались различные способы повышения текучести цементных растворов и высокомолекулярных соединений для строительства. В частности, в 1960-х и 1970-х годах были созданы полимеры на основе продуктов конденсации формальдегида с сульфированным меламином и нафталином, которые до сих пор успешно применяются для этих целей [24].

В конце XX столетия начали появляться новые типы полимерных ПАВ (суперпластификаторов) на основе простых поликарбоксилатных эфиров. Характерно, что их влияние на текучесть зависит не только от структуры полимера, но и от характеристик цемента. Эксплуатационные характеристики полимера значительно различаются друг от друга, если в используемом цементе содержание глинозема находится на высоком уровне. Также важную роль играет количество карбоксильных групп в цепи и собственно длина цепи, что определяет в итоге количество адсорбированного полимера [25].

В настоящее время пластификаторы на основе поликарбоксилатов являются наиболее эффективными промышленными пластификаторами среди всех водорастворимых добавок, известных в строительной сфере. При введении в состав свежеприготовленного бетона они существенно изменяют его реологические свойства, резко снижая вязкость цементных смесей и облегчая заливку даже в компактные или сильно упрочненные формы. Высокая текучесть бетона позволяет ему самостоятельно заполнять все части формы.

Действие поликарбоксилатных суперпластификаторов основано на сочетании электростатических и пространственных эффектов, достигаемых благодаря гидрофобным полиэфирным боковым цепям молекулы сложного поликарбоксилата. Этот механизм обеспечивает водорастворимый эффект в несколько раз более сильный, чем для обычных суперпластификаторов. Преимущества использования поликарбоксилатных суперпластификаторов заключаются в меньшей вязкости и небольшом расходе воды, необходимом для замешивания бетонных смесей, по сравнению с суперпластификаторами на основе нафталинсульфоната, меламинсульфоната или лигносульфоната [26-32].



Использование полимерных ПАВ в качестве диспергаторов красок

Современные диспергаторы – вещества, добавляемые в суспензии для улучшения разделения частиц и предотвращения их агломерации или осаждения, должны отвечать достаточно строгим требованиям. ПАВ на основе полимеров с многочисленными функциональными группами, такими как поликарбоксилаты, обладают значительными перспективами в качестве модификаторов поверхности пигментов. Их использование помогает предотвратить спекание при сушке, улучшает диспергируемость, снижает содержание влаги в водных пастах после фильтрации и уменьшает полидисперсность.

Пигментированные материалы представляют собой микрогетерогенные коллоидные системы, физические, химические и технические свойства которых в первую очередь определяются дисперсией пигментов и наполнителей. Эти факторы влияют на реологические свойства дисперсий пигментов, их агрегационную и кинетическую стабильность, оптические свойства (например, укрывистость, цвет и тонирующую способность), а также на защитные и механические свойства покрытий.

Стабилизация имеет решающее значение для пигментированных материалов и обеспечивается структурными и механическими характеристиками адсорбционных слоев, которые создают пространственные барьеры, препятствующие сближению частиц на расстояние, при котором силы притяжения становятся значительными. Это взаимодействие уменьшает запасы поверхностной энергии на активных участках поверхности пигмента. Ключевые функции диспергаторов включают увлажнение, диспергирование и стабилизацию. Эффективная молекула диспергатора должна включать как гидрофильные, так и гидрофобные фрагменты [33, 34].

К полимерным поверхностно-активным веществам, используемым в качестве диспергаторов для красок, относятся:

- сополимеры ангидрида малеиновой кислоты [35];
- полимерные диспергаторы на основе производных уретана и мочевины [36, 37];
- сополимеры стирола с аминогруппами [38, 39];
- сополимеры с гидрофильными и гидрофобными акриловыми фрагментами, содержащими боковые карбоксильные или аминогруппы [39];
- низкомолекулярные алкидные смолы с кислотным содержанием более 30 мг КОН/г;
- низкомолекулярные полиэфирные смолы с высоким кислотным и гидроксильным содержанием и их смеси с ионными и неионогенными поверхностно-активными веществами, полученными из жирных кислот [34];
- соевый лецитин [34];
- металлоорганические соединения, способные при комнатной температуре вступать в реакцию с кислородсодержащими группами на поверхности пигментов и функциональными группами, такими как в эпоксидных смолах [39].



Полимерные ПАВ и реологические свойства дисперсий пигментов и наполнителей

На дисперсность пигментов и наполнителей большое влияние оказывает вязкость пигментной дисперсии, которая зависит как от текучести самой среды, так и от количества и типа дисперсной фазы.

Так, например, изучение течения дисперсий с включением в них латекса, пигментов и наполнителей [40] выявило, что при определенном содержании твердой фазы образуется гель-сетка. Однако через жидкие прослойки частицы наполнителя продолжают все же взаимодействовать [41]. На графике зависимости от предельного напряжения сдвига при постоянном содержании латекса [42] наблюдается экстремум, который отвечает максимально плотной упаковке частиц. С превышением критического значения по концентрации твердой фазы (например, красного железоксидного пигмента на основе гетита) в композиции ощущается недостаток латекса, образующего адсорбционный слой на частицах пигмента и наполнителя. Когда количество дисперсной фазы в системе не превышает порогового значения, латекс дает устойчивые адсорбционные слои, обеспечивающие стабильность системы и постоянство вязкости, исполняя таким образом функцию поверхностно-активного вещества [40]. Другим ярким примером может послужить исследование течения смеси неионогенного ПАВ (например, ОП-10) и винилхлоридбутадиенового латекса в сочетании с гидроксипропилцеллюлозой, проведенное уже четыре десятилетия назад [43]. Характерно, что после отверждения такой композиции был получен защитный материал, пригодный для получения покрытий на поверхностях любого типа и отличающийся повышенной водоустойчивостью и прочностью. Если в качестве пигмента выступают не оксиды железа, а цинка, речь уже может идти о создании грунтовок с антикоррозионными свойствами. В свою очередь, при допировании стирол-акрилатных латексов NH_2 -группами следует ожидать придания антистатических свойств [44, 45] специальным покрытиям, что особенно важно при эксплуатации отдельных видов технологического оборудования.

Введение даже небольшого количества добавки поликарбоксилатных ПАВ приводит к возрастанию вязкости пигментных паст, а в некоторых случаях – к изменению характера их течения. Кроме того, эти ПАВ в исследуемых системах не всегда проявляют себя как эффективные диспергаторы. В данном случае вопрос предлагается решить путем предварительного модифицирования поверхности пигментов. С этой целью рекомендуется апробировать действие таких добавок, как полиол [46] и давно известные в отечественной науке альбумин и глицерин [47], а также действие полиэтиленгликолевых эфиров (ожидаемый эффект – упрочнение композиций и покрытия), уротропина в количестве ≤ 5 мас% (ожидаемый эффект – водоустойчивая композиция) [48], полиизоцианата [49] и олифы-оксоль (ожидается повышение адгезии к поверхности строительного материала) [50]. В общем и целом, важным условием получения стабильных смесей с использованием апробируемых ПАВ является относительно малая их концентрация и дополнительное включение в систему неионогенных соединений [51, 52], например, сульфированного ОП-10 (С-7), оксиэтилированного изооктилфенола или несимметричного блок-сополимера окисей этилена и пропилена (НБС-2).



Выводы

Поверхностно-активные вещества благодаря своим специфическим свойствам могут служить необходимыми компонентами в составе материалов широкого назначения и выполнять различные функции.

Полимерные поверхностно-активные вещества с высоким содержанием карбоксильных групп рекомендуются к применению в химической промышленности, в частности, при модифицировании поверхности хроматических железооксидных пигментов и наполнителей с целью улучшения их смачиваемости и диспергируемости, а также повышения прочности и адгезии окрасочных композиций и получения водоустойчивых покрытий на их основе.

В строительстве от показателя подвижности бетона в значительной степени зависит его способность к заполнению различных форм и полостей при растекании под действием собственного веса, в связи с чем целесообразно использовать полимерные ПАВ в качестве суперпластификаторов бетонных смесей. Ожидается, что получаемые образцы бетона будут характеризоваться практически полным отсутствием усадки.

Список источников

1. Неудачина Л.К., Петрова Ю. С. Применение поверхностно-активных веществ в анализе: [учеб. пособие]. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. 76 с.
2. Мансураева Л.М. Поверхностно-активные вещества: свойства и применение // *Вестник магистратуры*. 2022. № 2–1. С. 30–35
3. Абрамзон А.А. Поверхностно-активные вещества: Свойства и применение. 2-е изд., перераб и доп. Л.: Химия, 1981. 304 с.
4. Крысин М.Ю., Вережников В.Н., Гермашева И.И. Коллоидная химия поверхностно-активных веществ: учеб. пособие. СПб: Лань, 2015. 304 с.
5. Воюцкий, С.С. Курс коллоидной химии. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Химия, 1975. 512 с.
6. Фролов, Ю.Г., Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы: учебник для вузов. М.: Альянс, 2004. 464 с.
7. Холмберг К., Йенссон Б., Кронберг Б., Линдман Б. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013.
8. Штыков С.Н., Горячева И.Ю., Штыкова Л.С. Мицеллы и микроэмульсии в разделении и концентрировании // *Журн. аналит. химии*. 2003. Т. 58, № 7. С. 732–733.
9. Shtykov, S. N. Surfactants in analysis: Progress and development trends / S. N. Shtykov // *Journal of Analytical Chemistry*. – 2000. – Vol. 55, No. 7. – P. 608-614. – DOI: 10.1007/BF02827992.
10. Junquera E., Tardajos G., Aicart E. Effect of the presence of beta-cyclodextrin on the micellization process of sodium dodecyl sulfate or sodium perfluorooctanoate in water // *Langmuir*. 1993. Vol. 9, no. 5. PP. 1213–1219. – DOI: 10.1021/la00029a0.
11. Umlong I.M., Ismail K. Micellization behaviour of sodium dodecyl sulfate in different electrolyte media // *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*. 2007. Vol. 299, no. 3. PP. 8–14. – DOI: 10.1016/j.colsurfa.2006.11.010.
12. Soni S.S., Panjabi S.H., Sastry N.V. Effect of non-electrolyte additives on micellization and clouding behavior of silicone surfactant in aqueous solutions // *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*. 2011. Vol. 377, no. 3. PP. 205–211. – DOI: 10.1016/j.colsurfa.2010.12.048.
13. Mohajeri Eh., Noudeh Gh.D. Effect of temperature on the critical micelle concentration and micellization thermodynamic of nonionic surfactants: Polyoxyethylene sorbitan fatty acid esters // *E-Journal of Chemistry*. 2012. V. 9, no. 4. PP. 2268–2274. – DOI: 10.1155/2012/961739.



14. **Фридрихсберг Д.А.** Курс коллоидной химии. Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Л. : Химия, 1984. 368 с.
15. **Ахмедов К.С.** Водорастворимые полимеры и их взаимодействие с дисперсными системами. Ташкент: «ФАН», 1969. 250 с.
16. **Плетнев М.Ю.** Поверхностно-активные вещества и композиции. Справочник. /Под ред. М.Ю. Плетнева. М. : ООО «Фирма Клавель», 2002. 768 с.
17. **Щукин Е.Д., Перцов А. В., Амелина Е.А.** Коллоидная химия: Учебник для университетов и химико-технолог. вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Высш. шк., 2004. 445 с.
18. **Семчиков Ю.Д.** Высокомолекулярные соединения: учеб. для студ. учреждений высш. проф. образования. 5-е изд., стер. М. : Изд. центр «Академия», 2010. 368 с.
19. **Чернов А.А.** Регулирование группового углеводородного состава гудронов – сырья нефтетехнологических процессов // *Нефтепереработка и нефтехимия*. 2004. № 10. С. 17–19.
20. **Шруббок А.О.** Окисленные битумы из модифицированного сырья // *Тр. БГТУ*. 2012, № 4. С. 92-95.
21. **Федулов А.А.** Применение поверхностно-активных веществ (стабилизаторов) для улучшения свойств связных грунтов в условиях дорожного строительства: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Федулов Андрей Александрович. М., 2005. 165 с.
22. **Якимович И.В.** Асфальтобетон с адгезионной добавкой ДАД-1: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Игорь Валентинович Якимович. Белгород, 2009. 178 с.
23. **Ахмадова Х.Х.** и др. Основные способы модификации битумов различными добавками // *Вестник ГГНТУ. Технические науки*. Том XV. № 3 (17). 2019. С. 42-57.
24. **Рамачадран В.С., Фельдман Р.Ф., Коллепарди М. [и др.]** Добавки в бетон: справ. пособие. Стройиздат, 1988. 575 с.
25. **Schramm Laurier L., Stasiukb Elaine N., Marangoni D. Gerard.** Surfactants and their applications // *Annu. Rep. Prog. Chem.* 2003. Vol. 99. PP. 3–48. – DOI: 10.1039/B208499F.
26. ГОСТ 24211–2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Оpubл. 01.01.2011.
27. Пат. RU 2360880. Суперпластификатор высокой начальной прочности / **Клементе Паоло, Феррари Джорджо, Гамба Марьяеле, Пистолези Карло и др.** Оpubл. 10.07.2009.
28. Пат. RU 2390530. Добавка к бетону и раствору / **Изуми Тацуо, Зандерс Карстен, Янсен-Боктинг Марион, Дикти Штефан.** Оpubл. 10.06.2010.
29. **Ferrari L., Kaufmann J., Winnefeld F., Plank J.** Multi-method approach to study influence of superplasticizers on cement suspensions // *Cement and Concrete Research*. 41. DOI: <https://doi.org/1058.10.1016/j.cemconres.2011.06.010>.
30. **Agarwal S.K., Masood I., Malhotra S.K.** Compatibility of superplasticizers with different cements // *Constr. Build. Mater.* 2000. Vol. 14, № 5. PP. 253–259. – DOI: 10.1016/S0950-0618(00)00025-8.
31. **Prince W., Espagne M., Aitcin P.-C.** Ettringite formation: a crucial step in cement superplasticizer compatibility // *Cem. Concr. Res.* 2003. Vol. 33, №5. Pp. 635–641.
32. **Nikinamubanzi P.-C., Aitcin P.-C.** Cement and superplasticizer combinations: compatibility and robustness // *Com. Concr. Agg.* 2004. Vol. 26, № 2. PP. 102–109. - DOI: 10.1520/CCA12329.
33. **Брок Т., Гротеклаус М., Мишке П.** Европейское руководство по лакокрасочным материалам и покрытиям. М. : ООО «Пэйнт-Медиа», 2004. 548 с.
34. **Bielman J.** Additives for Coatings. Willey, VCN, 2001. P. 130.
35. **Григорьев И.В., Мифтахов Э.Н., Мустафина С.А.** Математическое моделирование процесса полимеризации стирола с малеиновым ангидридом // *Вестник Технологического университета*. 2015. Т. 18, № 15. С. 211-216.
36. **Староверова О.С.** Модификация эпоксиэфиром полимерных материалов для лакокрасочных покрытий: дисс. ... канд. хим. наук: 02.00.06 / Староверова Ольга Сергеевна. – Ярославль, 2014. – 118 с.
37. Пат. 0292702B1 Composition containing dispersed pigment / **Harunori G., Hisao K., Hiroyoshi K.** Оpubл. 23.12.85.
38. **Манеров Е.В.** Влияние полимерных ПАВ на формирование и свойства полиэфирмеламиноформальдегидных композиций: дисс. ... канд. техн. наук: 02.00.06 / Евгений Владимирович Манеров. Ярославль, 2012. 155 с.



39. **Шевченко Н.М.** Реологические и диспергирующие добавки, используемые в лакокрасочных материалах. М. : НИИТЭХИМ, 1990. 34 с.
40. **Leiko V.V., Stepanova N. A., Kupriyanov V. D., Korsakov V. G.** Rheological characteristics of barium titanate suspensions in butadiene-nitrile rubber solutions // *Kolloidny Zhurnal*. 1995. Vol. 57, No. 3. P. 364-367.
41. **Липатов Ю.С.** Физико-химические основы наполнения полимеров. М. : Наука. 1991. 260 с.
42. **Баенкевич В.В., Лаврищев Л.П., Цюрупа Н.Н.** Реологический способ определения критической концентрации пигмента // *ЛКМ и их применение*. 1975. № 3. С. 61-62.
43. Pat. 4347285 of USA / **Batdorf Vernon H.** Publ. 1982.
44. **Примаченко О.Н., Павлюченко В.Н., Гагарина К.А. [и др.]** Антистатические латексные покрытия на основе аминоксодержащих сополимеров // *Журнал прикладной химии*. 2000. Т. 73, № 10. С. 1713-1719.
45. **Primachenko O.N, Sorochinskaya O. V., Pavlyuchenko V. N. [et al.]** Compound latexes for antistatic coatings // *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2002. Vol. 75, No. 10. P. 1705-1708. – DOI 10.1023/A:1022256624472.
46. Pat. 4737575 of USA / **Blount David H.** Publ. 1988.
47. **Григорьев П.Н., Матвеев М.А.** Растворимое стекло. М. : Промстройиздат. 1956. 444 с.
48. **Панов В.П., Елхова Н.Н., Стрелков В.П., Вахтеров Г.Н.** Авторское свидетельство 1158539 СССР // Бюл. 1985. № 20.
49. **Павлов В.И., Збанацкий Н.Л., Веселовский Н.А.** Влияние силикатного модуля жидкого стекла на прочность отвержденных композиций полиизоцианата // *Пластмассы*. 1988. Вып. 10. С. 15–17.
50. **Майстренко А.А., Глуховский В.Д., Рунова Р.Ф., Старосельский С.Я., Кавалерова Е.С.** Авторское свидетельство 1257080 СССР // Бюл. 1986. № 34.
51. **Альбертинский Г.Л., Дельгадильо Х.Э., Агафонов Г.И., Верхованцев В.В.** Влияние ПАВ на свойства водных растворов силикатов щелочных металлов / *ЛКМ и их применение*. 1988. № 2. С. 13–15.
52. **Альбертинский Л.Г., Дельгадильо Х.Э., Агафонов Г.И., Верхованцев В.В.** Влияние ПАВ на некоторые свойства жидких стекол / *ЛКМ и их применение*. 1988. № 5. С. 17–18.

Поступила в редакцию 20.11.2024

Одобрена после рецензирования 29.11.2024

Принята к опубликованию 03.12.2024