Международная научно-практическая конференция школьников «Политех-2025»

Исследовательская работа

«Исследование условий модификации поверхности наполнителей композитов различной природы»

Автор(ы) работы: Маркуносов Кирилл Александрович, Скорняков Артём Алексеевич, Зверев Степан Алексеевич

Обучающиеся 11 класса

БОУ г. Омска «Лицей №143»,

БОУ г. Омска «Гимназия №69 им. Чередова И.М.»

Научный руководитель: Шубенкова Екатерина Гаррьевна

Омск – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ:

Введение 3

Глава 1. Теоретическая часть 5

1.1 Композиционные материалы 5

1.2. Поверхностно активные вещества 6

1.3 Способ модификации 10

Глава 2. Практическая часть 13

2.1 Методика проведения 13

2.2. Анализ полученных результатов 14

Заключение 18

Список информационных источников 19

Введение:

В различных отраслях, таких как авиация, автомобилестроение и строительство, существует растущая потребность в материалах, которые обеспечивают высокую прочность при низком весе. Композиты идеально подходят для этих требований. С учетом глобальных экологических вызовов, таких как изменение климата, существует необходимость в разработке более устойчивых и экологически чистых материалов. Композиты могут быть созданы с использованием возобновляемых ресурсов и переработанных материалов, что способствует снижению углеродного следа. Композиты находят применение в самых разных сферах — от спортивного инвентаря до медицинских устройств и строительных конструкций.

Кроме того, развитие современных технологий требует использования композитных материалов, обладающих уникальными характеристиками, такими как высокая удельная прочность, устойчивость к коррозии и легкость в обработке. Эти материалы становятся все более востребованными в производстве высокотехнологичных изделий, где критически важны надежность и долговечность конечного продукта. В свете глобальной тенденции к переходу на более чистые источники энергии и ресурсосберегающие технологии, композиты играют важную роль в обеспечении устойчивости производственных процессов.

Актуальность: композиты имеют высокую актуальность как с точки зрения экономических, так и социальных аспектов, что делает их важными для дальнейшего развития технологий и устойчивого производства. Разработка новых типов композитов позволяет создавать продукты, отвечающие требованиям современного рынка, обеспечивая одновременно экономию ресурсов и снижение негативного воздействия на окружающую среду. Исследования в области композитов способствуют улучшению технических характеристик продукции и повышению ее конкурентоспособности на мировом рынке.

Объект исследования: наполнитель композита

Предмет исследования: взаимодействие матрицы и наполнителя.

Цель данной работы заключается в проведении модификации поверхности частиц минерального наполнителя. Модификация будет направлена на изменение химических и физических свойств поверхности этих частиц. Ожидается, что после модификации частицы приобретут новые функциональные характеристики, полезные для применения в различных областях.

Задачи исследования включают:

- изучение химических принципов, лежащих в основе создания композитов;

- проведение исследовательской работы по модификации поверхности наполнителей;

- исследование кинетики седиментации частиц наполнителя в зависимости от природы ПАВ-модификатора, определение оптимальной концентрации ПАВ;

- обобщение результатов эксперимента и формулирование выводов.

Дополнительно стоит отметить, что результаты исследования будут иметь практическое значение для разработки новых композиционных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Глава 1: Теоретическая часть

1.1 Композиционные материалы

Композиционными называют материалы, полученные из двух или более компонентов и состоящие из двух или более фаз. Один компонент (матрица) образует непрерывную фазу, другой является наполнителем. Матрица придаёт деталям монолитность и форму, служит связующим звеном для наполнителя, обеспечивая передачу нагрузок, защищая их от внешних агрессивных воздействий и механических повреждений. Наполнитель определяет жёсткость, прочность, гибкость и другие характеристики изделий. Композиционные материалы являются гетерогенными системами и могут быть разделены на три основных класса:

1. Матричные системы, состоящие из непрерывной фазы (матрицы) и дисперсной фазы (дискретных частиц).

2. Композиции с волокнистыми наполнителями.

3. Композиции, имеющие взаимопроникающую структуру двух или более непрерывных фаз.

По сравнению с гомогенными полимерами, гетерогенные композиции обладают следующими преимуществами:  
 1. повышенная жесткость, прочность, стабильность размеров.  
 2. повышенная работа разрушения и ударная прочность.  
 3. повышенная теплостойкость.  
 4. пониженная газо- и паропроницаемость.  
 5. регулируемые электрические свойства.  
 6. пониженная стоимость.

Для получения соединения, обладающего необходимыми характеристиками матрица и наполнитель должны иметь схожие свойства, чтобы лучше взаимодействовать друг с другом. А именно:

1. Химическая совместимость: Матрица и наполнитель должны быть химически совместимы, чтобы не происходило образование нежелательных соединений или разрушение материалов.  
 2. Механические свойства: Важно учитывать механические характеристики материалов (например, прочность, упругость), чтобы сочетание матрицы и наполнителя дополняло друг друга и обеспечивало оптимальные механические свойства композита.  
 3. Адгезия: Эффективное сочетание матрицы и наполнителя также подразумевает наличие хорошей адгезии между этими двумя компонентами, чтобы не возникало слабых точек или разделений в структуре композита.

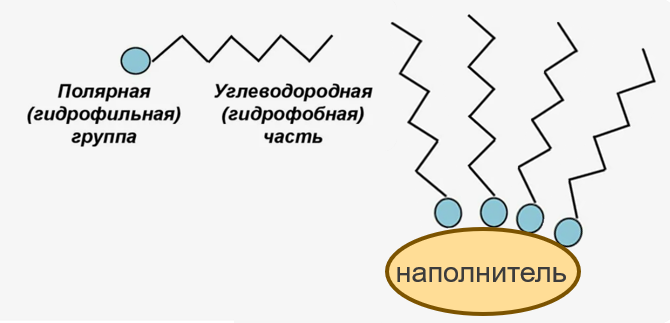
4. Полярность: Полярные наполнители лучше взаимодействуют с полярными матрицами (например, полимеры с функциональными группами), что может улучшить однородность материала.

1.2 Поверхностно активные вещества

Поверхностно-активные вещества (ПАВы) — это молекулы, которые имеют уникальную структуру, позволяющую им снижать поверхностное натяжение между двумя фазами, такими как жидкость и газ или две жидкости. Они состоят из двух частей: гидрофильной (водорастворимой) и гидрофобной (жирорастворимой). Эта двойная природа позволяет ПАВам взаимодействовать с различными веществами, что делает их незаменимыми в множестве процессов, таких как эмульгирование, моющие действия и стабилизация суспензий.

Химическая структура ПАВов

ПАВы обычно имеют молекулы, состоящие из длинной углеводородной цепи (гидрофобная часть) и полярной группы (гидрофильная часть). Это создает возможность для формирования мицелл — агрегатов молекул, которые образуются в водных растворах, когда концентрация ПАВов превышает критическую концентрацию мицеллообразования (ККМ). В мицеллах гидрофобные хвосты собираются внутрь, а гидрофильные головки направлены наружу, что позволяет ПАВам эффективно взаимодействовать с различными веществами.



Свойства ПАВов для модификации наполнителей композитов

ПАВы играют важную роль в модификации свойств наполнителей композитов. Рассмотрим подробнее, как различные ПАВы, такие как поливиниловый спирт, олеат натрия, карбоксиметлинулин натрия и Гидроксиметил целлюлоза, могут влиять на характеристики композитов, ведь именно их мы будем использовать для модификации наполнителя.

Поливиниловый спирт (ПВС)

Поливиниловый спирт (ПВС) — это водорастворимый полимер с хорошими пленкообразующими свойствами и низкой токсичностью. Он обладает высокой адгезией к различным материалам, что делает его идеальным для использования в композитах.

Применение в композитах:

* Улучшение адгезии: ПВС способствует образованию прочных связей между наполнителями и полимерной матрицей, что повышает прочность на сдвиг и устойчивость к механическим нагрузкам.
* Равномерное распределение: Он помогает достичь однородного распределения наполнителей в матрице, что улучшает общую стабильность и механические свойства композитов.
* Устойчивость к влаге: Благодаря своей гидрофильной природе, ПВС может улучшать водоотталкивающие свойства композитов, что делает их более устойчивыми к воздействию влаги и окружающей среды. Это особенно важно в строительных материалах и упаковке.

Олеат натрия

Олеат натрия — это анионное поверхностно-активное вещество, производное олеиновой кислоты. Он обладает хорошими моющими и эмульгирующими свойствами, а также способен образовывать мицеллы в водных растворах.

Применение в композитах:

* Модификация поверхности наполнителей: Олеат натрия может использоваться для модификации поверхности различных наполнителей, таких как минералы и волокна. Это улучшает их взаимодействие с полимерной матрицей, что ведет к повышению прочности и устойчивости композитов.
* Улучшение дисперсии: Олеат натрия помогает добиться более равномерного распределения наполнителей в матрице, что способствует улучшению механических свойств и стабильности композитов.
* Снижение трения: Он может снижать трение между частицами наполнителей, что облегчает процесс их смешивания и обработки.

Карбоксиметил инулин натрия(КМИН)

Карбоксиметил инулин натрия(КМИН) — это производное целлюлозы, хорошо растворимое в воде, которое образует вязкие растворы и гели. Оно обладает способностью удерживать воду и улучшать текстуру.

Применение в композитах:

* Загуститель и стабилизатор: Карбоксиметил инулин натрия может использоваться как загуститель, что улучшает консистенцию композитных материалов. Это особенно полезно для достижения нужной вязкости в различных приложениях.
* Улучшение адгезии: Он может улучшать взаимодействие между наполнителями и полимерной матрицей, что повышает прочность и долговечность композитов.
* Контроль воды: Благодаря своей способности удерживать воду, карбоксиметил инулин натрия может способствовать улучшению механических свойств композитов, особенно в условиях повышенной влажности.

Гидроксиметил целлюлоза (ГМЦ)

Гидроксиметил целлюлоза(ГМЦ) — это производное целлюлозы, обладающее высокой вязкостью и стабилизирующими свойствами. Она хорошо растворима в воде и образует прозрачные гели.

Применение в композитах:

* Улучшение вязкости: ГМЦ может использоваться для регулирования вязкости матриц композитов, что способствует лучшему распределению наполнителей и улучшению механических свойств.
* Стабилизация: Она может служить в качестве стабилизатора для предотвращения оседания наполнителей и улучшения однородности композита.
* Улучшение адгезии: Гидроксиметил целлюлоза может улучшать адгезию между компонентами композита, что в свою очередь повышает прочность и долговечность конечного продукта.

ПАВы играют ключевую роль в модификации и улучшении свойств наполнителей в композитах. Их уникальные физико-химические свойства позволяют эффективно взаимодействовать с различными компонентами, улучшая механические характеристики, стабильность и долговечность композитов. Использование таких ПАВов, как поливиниловый спирт, олеат натрия, карбоксиметил инулин натрия и гидроксиметил целлюлоза, открывает новые возможности для разработки современных материалов, применяемых в строительстве, автомобильной промышленности и упаковке. Эти вещества способствуют созданию более прочных и устойчивых композитов, что делает их незаменимыми в современных технологиях.

1.3 Способ модификации

Одним из эффективных способов модификации свойств является их наполнение – введение твердых, жидких или газообразных веществ – наполнителей, которые, равномерно распределяясь в объеме получающейся композиции, образуют гетерогенные системы с высокоразвитой поверхностью раздела фаз. Действие наполнителя, введенного в полимерный материал, определяется множеством факторов. При составлении рецептуры композиционного материала важно учитывать форму частиц наполнителя, размер частиц и удельную поверхность, пористость и распределение пор по размерам, энергию поверхности твердого тела, химический состав и рН поверхности, плотность упаковки дисперсных наполнителей. Решающим фактором, определяющим эффективность процесса наполнения полимера твердой дисперсной фазой, является близость молекулярной природы полимера и наполнителя. В зависимости от этого фактора могут меняться исходные характеристики наполнителя. Известно, что чем выше дисперсность наполнителя, тем больше точка соприкосновения его с полимером, тем интенсивнее их взаимодействие. Однако, исходная дисперсность частиц наполнителя, даже если она достаточно высока, не является гарантией того, что он будет более активным в данном полимере, чем другой наполнитель с меньшей дисперсностью, но большим молекулярным сродством к данному полимеру. Наполнитель, отличающийся по полярности от полимера, при совмещении с ним агрегирует. Наполнитель, близкий по молекулярной природе, напротив, хорошо распределяется в полимере, при этом увеличивается его дисперсность за счет дезагрегации. Трудность применения минеральных наполнителей в производстве высоконаполненных полимерных композиций состоит в том, что они являются гидрофильными веществами с высокой поверхностной энергией и плохо совмещаются с гидрофобной низкоэнергетической полимерной матрицей. Для преодоления этой несовместимости наполнители модифицируются различными способами, в том числе и поверхностно-активными веществами (ПАВ). При модификации минеральными наполнителями на их поверхности создается ориентированный адсорбционный слой ПАВ, увеличивающий сродство наполнителя к полимеру. Кроме того, было установлено, что добавки ПАВ облегчают сверхтонкое измельчение твердого тела вследствие адсорбции поверхностно-активных компонентов среды на поверхности клиновидных дефектов и микротрещин, возникающих при воздействии механических нагрузок. Адсорбционные слои ПАВ, достигая устья микротрещин, препятствуют их слипанию после снятия нагрузки и тем самым облегчают диспергирование наполнителя. Добавки ПАВ снижают прочность каждого контакта до минимального значения, соответствующего в пределе наименьшим силам ван-дер-ваальсова сцепления между концевыми метильными группами углеводородных цепей ориентированных молекул, образующих наружные обкладки адсорбционных слоев. Следовательно, поверхностное модифицирование наполнителя поверхностно-активными веществами помогает улучшить свойства самого наполнителя в свободном состоянии, а также изменить характер его взаимодействия с полимером, что в конечном итоге приводит к улучшению качества наполненной композиции.

Глава 2: Практическая часть

2.1 Методика проведения

Методикой проведения является поочерёдное осаждение наполнителей в растворах ПАВ разной концентрации. В качестве возможных наполнителей для композитов нами были выбраны: глина и технический углерод CH85. А в качестве ПАВов нами были взяты Олеат натрия, КМИН, ПВС и ГМЦ.

Для проведения работы необходимы: Градуированные пробирки на 30 мл. с притертыми пробками; Мерные колбы на 50 мл; Мерные колбы на 25 мл; Электронные весы; Секундомер; растворы ПАВ разной концентрации; наполнители: глина и углерод CH85

Для того, чтобы узнать сколько времени понадобиться для осаждения глины и углерода, мы провели нулевой эксперимент, в котором проводили седиментацию наших наполнителей в воде. Получив минимальное значение времени, необходимое для осаждения наполнителей, проводим аналогичный эксперимент, заменяя воду растворами ПАВ различной концентрации.

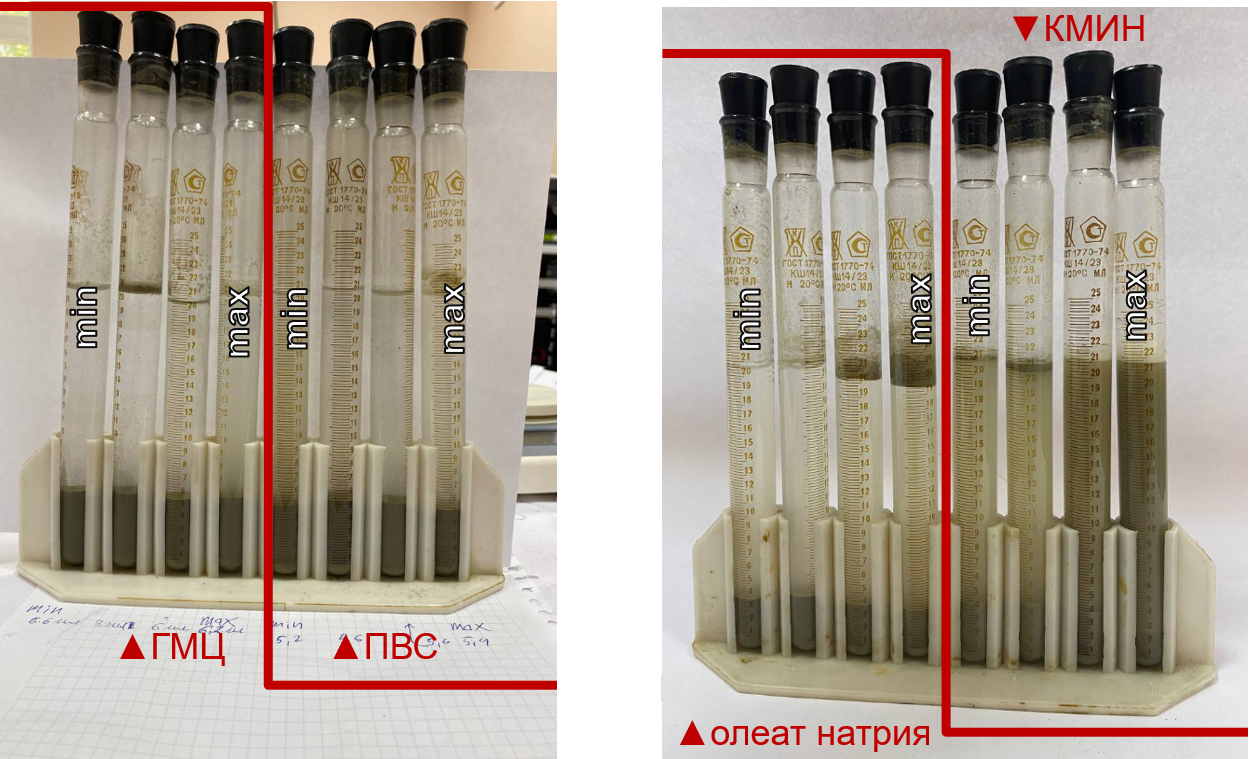
Время осаждения глины и углерода CH85 в воде — 25 и 15 минут соответственно.

Далее мы готовим растворы ПАВ низкой концентрации, т.к. при высоких концентрациях ПАВ может происходить агрегация частиц, что приводит к ухудшению дисперсии наполнителей в матрице. Низкие концентрации помогают поддерживать однородное распределение частиц, что важно для достижения желаемых механических свойств композита. Поэтому мы готовим растворы ПАВ концентраций: 0.04%, 0.02%, 0.01%, 0.005%.

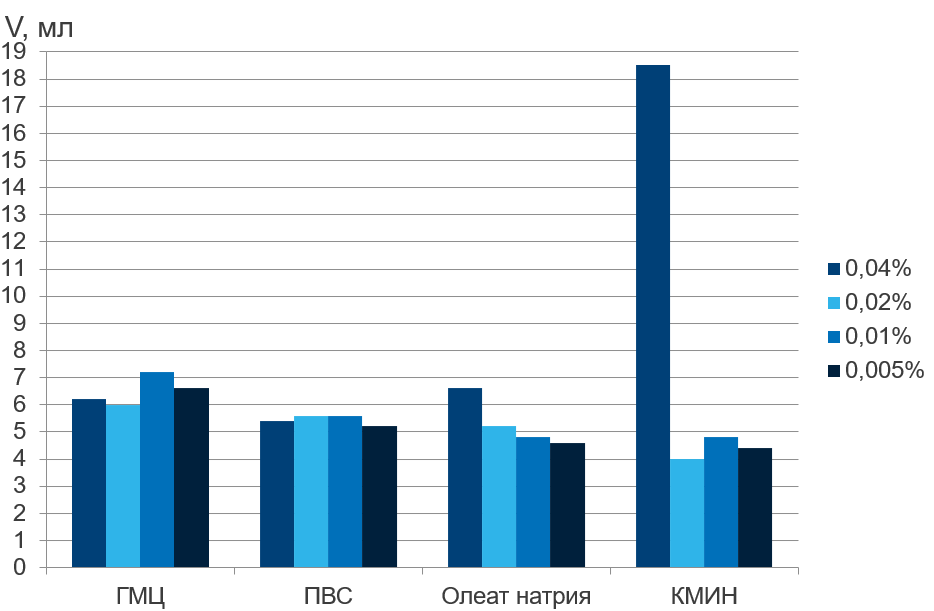
Для каждого эксперимента мы отмеряем одинаковый объём наполнителя. Для глины мы отмеряем объем пробы 3г, а для технического углерода CH85 - 5г. Добавляем к пробе 20 мл раствора ПАВ выбранной концентрации, перемешиваем, чтобы наполнитель полностью распределился по раствору, засекаем установленное время, а после замеряем объём полученного осадка. Сравнивая седиментационные объемы различных ПАВ при концентрации образования монослоя на поверхности адсорбента можно оценить гидрофобизирующее действие ПАВ.

2.2 Анализ полученных результатов

Результаты осаждения глины в растворах ПАВ разной концентрации:

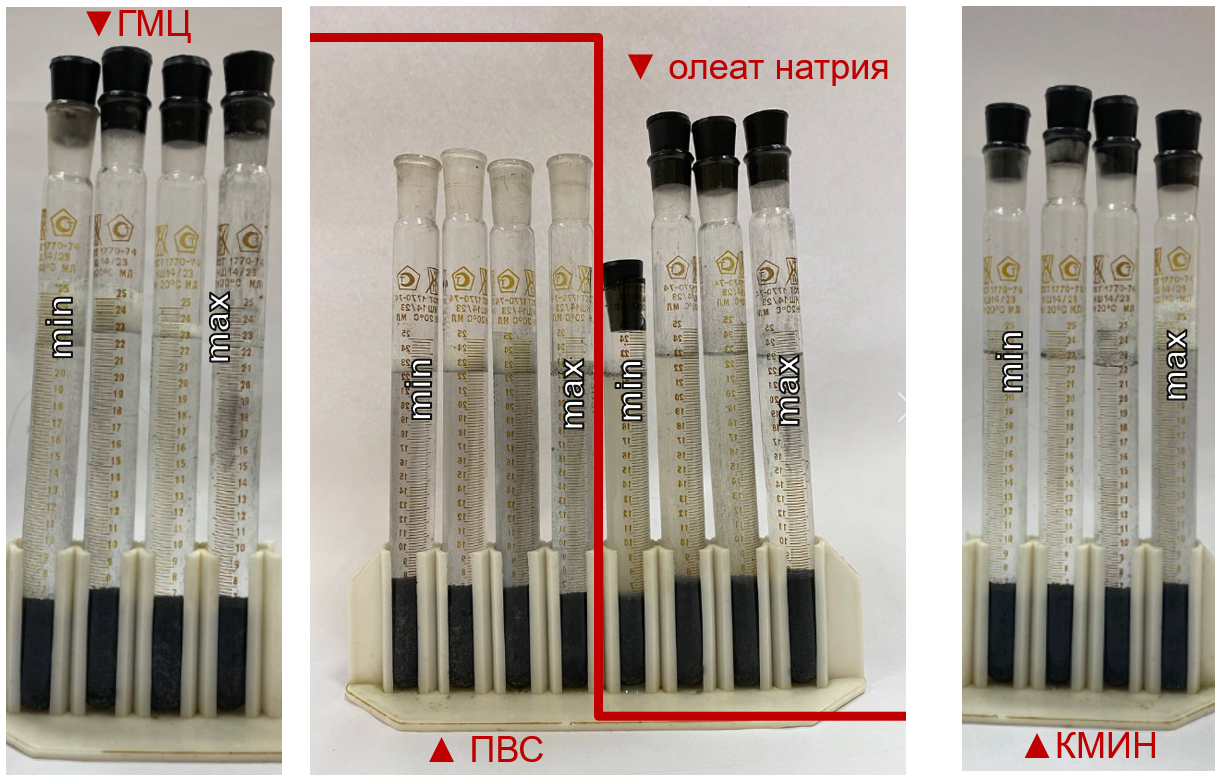


Проведя эксперименты, представленные на иллюстрации, составим диаграмму, для того, чтобы наглядно показать какой модификатор лучше подходит для нашего наполнителя. После можем сделать вывод, какой ПАВ является самым лучшим модификатором для выбранного наполнителя

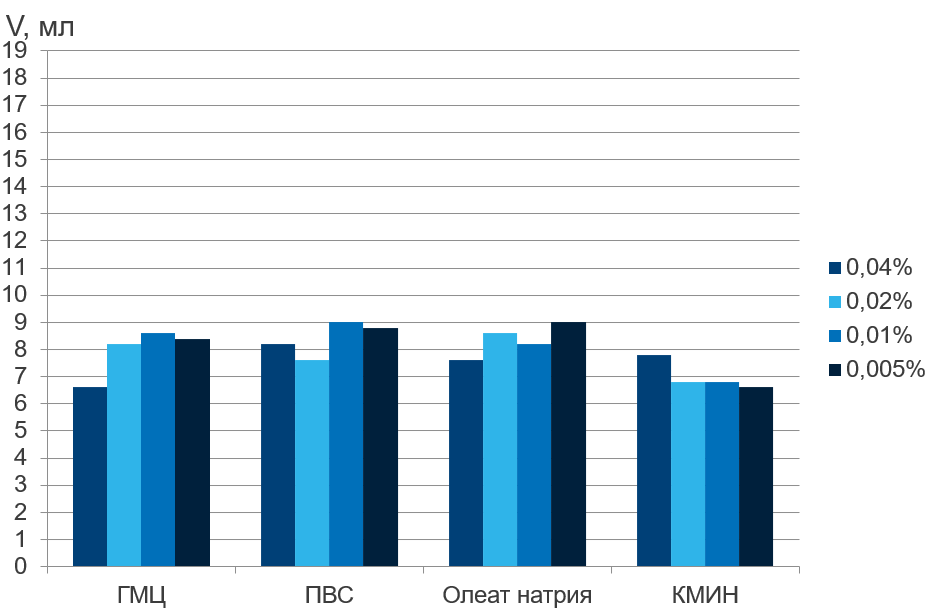


Для глины, самым лучшим модификатором послужили р-р КМИН (0,04%) и ОЛЕАТА НАТРИЯ (0,04%).

Результаты осаждения углерода CH85 в растворах ПАВ разной концентрации:



Аналогично составим диаграмму по проведенным экспериментам и определим лучший модификатор.



Самым лучшим модификатором для углерода СН85 послужили р-ры: ГМЦ (0,01%), ПВС (0,01%) и ОЛЕАТА НАТРИЯ (0,005%).

Заключение

В соответствие с поставленными задачами были получены следующие результаты:

-   Изучили теорию по темам ПАВ, адсорбция и устойчивость суспензии.

-   Освоили методики:

* приготовления суспензий;
* модификации поверхности частиц наполнителя;
* исследования адсорбции ПАВ методом седиментационных обьемов.

-   Установили, что гидрофобизация поверхности наполнителя (частиц глины) достигается в водных растворах карбоксиметилинулина натрия с концентрацией 0,04 %масс.; для частиц технического углерода гидрофобизирующими модификаторами из исследованных выявлены ГМЦ, ПВС с концентрацией 0,01%масс., 0,005 %масс. олеат натрия. Гидрофилизирующее действие на поверхность техуглерода проявил карбоксиметилинулин натрия при 0,005 %масс..

Список литературы:

1. Адсорбция ПАВ на поверхности технического углерода // studfile URL: <https://studfile.net/preview/7275740/page:24/>

2. Современные композиционные строительные материалы// library.pguas URL: [<4D6963726F736F667420576F7264202D20D8E8F2EEE2E05FD1EEE2F0E5ECE5EDEDFBE520EAEEECEFEEE7E8F6E8EEEDEDFBE520ECE0F2E5F0E8E0EBFB>](https://library.pguas.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/1387/%D0%A8%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B0_%D0%A1%D0%BE%D0%B2%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8B.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

3. Определение и классификации полимерных композитов. Механизм взаимодействия компонентов // elar.urfu URL: <https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/3568/11/1358540_lectures_ch_1.pdf?ysclid=m73nd3pp3t992033606>

4. Наполнители // studfile URL: <https://studfile.net/preview/8242792/page:3/>

5. Модификация наполнителей // studfile URL: <https://studfile.net/preview/403588/page:12/>

6. Присадки и наполнители. // chem21 URL: <https://www.chem21.info/info/1031720/>