

DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-4-35-41

¹Фролова М.А., ²Лесовик В.С., ^{1,*}Дроздюк Т.А.¹Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: t.drozdyuk@narfu.ru

ВЛИЯНИЕ НА ПОВЕРХНОСТНУЮ АКТИВНОСТЬ ПЛАСТИФИКАТОРА МИНЕРАЛЬНОЙ ТОНКОДИСПЕРСНОЙ САПОНИТСОДЕРЖАЩЕЙ ДОБАВКИ

Аннотация. Пластифицирующие добавки, представляющие собой поверхностно-активные вещества, широко применяются при производстве бетонных смесей с целью снижения водоцементного отношения и в то же время сохранения необходимой подвижности бетонной смеси. Существуют различные классы таких добавок, механизм действия которых может различаться, но обусловлен протеканием общей стадии, связанной с адсорбцией молекул пластификатора на поверхности клинкерных минералов. При протекании этой стадии высвобождается часть воды, которая и обеспечивает пластифицирующий эффект. Механизм действия пластификатора на основе водного раствора ПАВ определяется его поверхностной активностью. Добавление в ПАВ дополнительного компонента может изменять величину поверхностной активности раствора. В этом плане особый интерес представляет сапонитсодержащий материал (отход алмазодобывающей промышленности), способный проявлять высокую адсорбционно-десорбционную активность в тонкодисперсном состоянии. Для изучения влияния сапонитсодержащего материала на свойства пластифицирующей добавки в водные растворы пластификатора добавляли высокодисперсный сапонитсодержащий порошок и определяли поверхностную активность полученных растворов. Было установлено, что добавление в водный раствор пластификатора активного высокодисперсного сапонитсодержащего порошка с удельной поверхностью не менее 1500 м²/кг позволяет на порядок увеличить поверхностную активность пластифицирующей добавки.

Ключевые слова: сапонитсодержащий материал, пластификатор, поверхностная активность, высокодисперсный порошок, водоцементное отношение.

Введение. В настоящее время пластифицирующие добавки различных классов, представляющие собой поверхностно-активные вещества, широко применяются в строительстве и позволяют за счет снижения водоцементного отношения сохранять необходимую подвижность бетонной смеси [1–3]. Известно, что механизм их действия может различаться [4–7], но обусловлен протеканием общей начальной стадии, связанной с моно- или полимолекулярной адсорбцией ПАВ (молекул пластификатора) на поверхности клинкерных минералов и гидросиликатных новообразований. При этом обеспечивается декомпозиция агрегатов на частицы, высвобождается большая часть заблокированной воды, обеспечивающей пластифицирующий эффект. Кроме того, водные адсорбционные слои способны уменьшать коэффициент трения между частицами бетонной смеси. Данный механизм действия пластификатора на основе водного раствора ПАВ определяется его поверхностной активностью, которая равна производной поверхностного натяжения (σ) по концентрации (c) поверхностно-активного вещества ($-d\sigma/dc$) [8]. Величина этого показателя (при прочих постоянных условиях применения) зависит от природы ПАВ (его химического строения). Классическое определение поверхностной активности дифильных молекул ПАВ основано на изучении процесса их адсорбции на границе

раздела жидкость (вода) – газ, а в качестве измеряемого информационного параметра используется поверхностное натяжение жидкой фазы (σ). Вместе с тем, используя композицию ПАВ с дополнительно вводимым в раствор компонентом [9], обладающим специфическими свойствами можно изменять величину $-d\sigma/dc$, придавая таким образом пластификатору, например, свойства суперпластификатора. В этом плане определенный интерес может быть связан с использованием сапонитсодержащего материала (ССМ), выделенного из суспензии оборотной воды процесса обогащения кимберлитовых руд [10].

Сапонитсодержащее сырье представляет собой вскрышную породу, образующуюся как побочный продукт в результате добычи алмазов на Ломоносовском ГОКе АО «Севералмаз», которое расположено в 100 км от города Архангельска. Состав слагающих трубку пород в основном представлен глинистым минералом – сапонитом, который в обводненном состоянии складывается в специальные хвостохранилища (прудовые отстойники) до 4 млн. тонн в год. Общие запасы сапонита – 68 млн т. (только на трубке Архангельская). Месторождений сапонитовых глин в Российской Федерации больше нет. Наиболее целесообразным способом утилизации большого количества накопленных техногенных отходов является их использование в качестве компонента

строительных материалов различного функционального назначения. Эффективность такого подхода доказана многочисленными исследованиями, направленными на создание минеральных композиций с использованием сапонитсодержащего материала (ССМ) – многотоннажного отхода горнодобывающей промышленности.

Необходимо отметить, что в настоящее время решение задачи, связанной с поиском новых направлений промышленного использования сапонитсодержащего отхода, является перспективным направлением исследований. Известно, что сапонитсодержащий материал используют в основном в качестве связующего и сорбирующего материала, он является активной минеральной добавкой в бетонные смеси; накоплен опыт применения сапонита в сельском хозяйстве. Однако данные направления практического применения не могут решить проблему накопления сапонитового отхода, который ежегодно складывается в виде водной суспензии. Кроме того, необходимо также сослаться на Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 № 474 "О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года", существенно усиливающий значимость экологической повестки в стране и требует, в том числе, снижения объемов отходов промышленных предприятий, направляемых на полигоны [10].

Известно, что ССМ, обладая уникальным строением кристаллической решетки [11], способен проявлять высокую адсорбционно-десорбционную активность в тонкодисперсном состоянии по отношению к водным растворам [12, 13]. Кристаллическое строение минерала (сапонита) заключается в наличии трехслойного слоистого пакета. Его структура представлена двумя слоями кремнекислородных тетраэдров с расположенными между ними алюмокислородными октаэдрическими слоями: в первом слое расположены атомы кислорода, во втором – атомы кремния, а в третьем слое, в области вершин тетраэдров, находятся гидроксильные группы. Пространство между слоями можно рассматривать в качестве микропор. Такие особенности пористой структуры сапонита позволяют отнести его к слоистым силикатам с расширяющейся структурной ячейкой с высокой дисперсностью, ярко выраженной сорбционной способностью и гидрофильностью. Связь между слоями обусловлена силами Ван-дер-Ваальса, что дает возможность проводить достаточно легко механоактивацию сырья с последующей модификацией полученного высокодисперсного порошка.

Слоистое строение сапонита и возможность его интеркалирования при погружении в рас-

творы за счет ионного обмена межслоевых катионов на более крупные интеркалируемые агенты (в виде как органических, так и неорганических веществ), позволяет гибко и рационально проектировать размер, форму и химическую функциональность микропор минерала с сохранением исходной структуры, что влияет на адсорбционные свойства готового продукта [13]. Поэтому введение данного минерального компонента в состав пластифицирующей добавки позволит управлять концентрационным параметром ПАВ, регулируя таким образом его поверхностную активность. Данное положение является сутью рабочей гипотезы исследований, а цель представленной работы заключается в ее экспериментальной проверке.

Материалы и методы. Для проведения экспериментальной работы использовался универсальный пластификатор Пласбетон (страна производства Россия). Этот пластификатор широко применяется в качестве добавки к бетону, железобетону, к бетонным элементам конструкций и других бетонных изделий. В качестве минеральной добавки в пластификатор использовали сапонитсодержащий материал, выделенный методом электролитной коагуляции (электролит-коагулянт – водный раствор $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ с концентрацией 10^{-3} моль/л) из оборотной воды процесса обогащения кимберлитовых руд месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова (Архангельская область). После выделения и сушки (до постоянной массы при 105 ± 5 °С в сушильном шкафу Binder FD53) ССМ проводился рентгенофлюоресцентный анализ образцов для определения минерального состава. Далее сапонитсодержащий материал подвергался механическому измельчению в планетарной шаровой мельнице Retsch PM100 в течение 40 минут при скорости вращения ротора 420 об/мин в карбидвольфрамовой размольной гарнитуре. Удельную поверхность полученного минерального порошка измеряли методом газопроницаемости Козени-Кармана на приборе ПСХ-10а, исходное значение (ди измельчения) удельной поверхности составило $232 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Установлено, что в элементном составе пробы ССМ преобладают кремний (51,99 %), магний (22,59 %), железо (14,90 %), алюминий (4,32 %), которые составляют трехслойную структуру пакета сапонита, а также кальций (3,51 %) и калий (1,63 %), входящие в состав сапонита в качестве межслоевых обменных катионов. Кроме того, в пробе отмечено присутствие примесей титана, никеля и стронция, возможно сорбированных поверхностью сапонита.

Для определения величины поверхностной активности водных растворов пластификатора и

водных растворов пластификатора с добавлением ССМ, проводили измерение поверхностного натяжения методом «висячей капли» на тензиометре DSA20 Easy Drop фирмы Kruss. С помощью программного обеспечения прибора автоматически фиксировалась форма капли и измерялось поверхностное натяжение исследуемого раствора с погрешностью 1 %. Измерения проводились в течение первых 15–30 секунд после перемешивания растворов при температуре 20 °С. Для определения поверхностного натяжения и дальнейшего расчета поверхностной активности пластификатора готовились его водные растворы с содержанием пластификатора от 0 до 100 % (по объему) с шагом 10 %. Для изучения влияния ССМ на пластифицирующие свойства в водные растворы с содержанием пластификатора 20 и 80 % (по объему) добавляли предварительно подготовленный вышеописанным способом ССМ в количестве от 1 до 5 г (с шагом в 1 г) на 100 мл раствора.

Основная часть. Известно, что эффективность пластификаторов-ПАВ зависит от структуры, наличия и вида функционально активных групп, их расположения в молекулах, длины и формы цепей, молекулярной массы. В то же

время, интегральным показателем качества поверхностно-активных веществ, учитывающим вышеприведенные особенности строения и свойства, является поверхностная активность, рассчитать величину, которой можно по изотерме поверхностного натяжения водного раствора. На рисунке 1 представлена функциональная связь поверхностного натяжения (σ) водных растворов пластификатора в зависимости от объемной доли (в процентах) его содержания (С) в растворе. Полученная зависимость представляет собой классический вариант изотермы адсорбции поверхностно-активного вещества, дифильные молекулы которого концентрируются в водной среде на границе раздела жидкой и газовой фаз в виде конденсированной пленки (при невысокой концентрации) или «частокола Ленгмюра» (при концентрациях ПАВ, близких к насыщению). Аппроксимация полученных данных различными математическими выражениями показала, что данная зависимость описывается уравнением полинома второй степени с коэффициентом достоверности аппроксимации $R^2=0,99$:

$$\sigma = 1,0 \cdot 10^{-6} C^2 - 0,3 \cdot 10^{-4} C + 0,071 \quad (1)$$

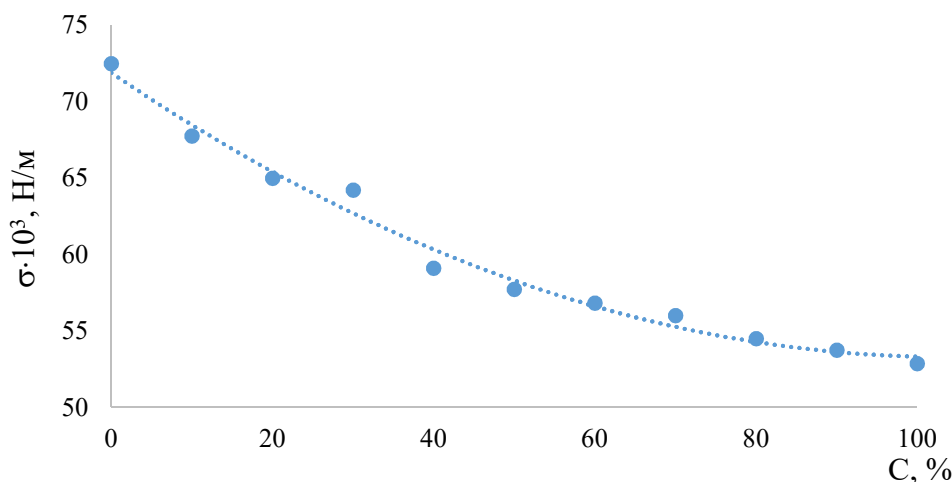


Рис. 1. Изотерма поверхностного натяжения водного раствора пластификатора

Дифференцирование выражения (1) по концентрации ПАВ в растворе позволило получить уравнения для расчета поверхностной активности водного раствора используемого пластификатора Пласбетон:

$$\frac{d\sigma}{dC} = 2,0 \cdot 10^{-6} C - 0,3 \cdot 10^{-4} \quad (2)$$

Выражение (2) позволило рассчитать поверхностную активность пластификатора, значение которой находится в пределах $-3,0 \cdot 10^{-5}$ Дж/м².

Расчет величины адсорбции ПАВ (Γ) на межфазной границе осуществляли с использованием уравнения изотермы адсорбции Гиббса:

$$\Gamma = -\frac{C}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dC} \quad (3)$$

где R – универсальная газовая постоянная, 8,314 Дж/(моль·К); T – температура раствора, 293 К. Так, для диапазона по содержанию в водном растворе пластификатора величина Γ изменяется от $1,2 \cdot 10^{-9}$ моль/м² (при $C=10$ %) до $12,11 \cdot 10^{-9}$ моль/м² ($C=100$ %).

Для определения характеристики активности пластификатора, которая представляет собой предельное значение адсорбционной способности ПАВ (Γ_∞), было использовано уравнение изотермы Фрумкина:

$$\sigma = \sigma_0 + \Gamma_\infty RT \ln\left(1 - \frac{\Gamma}{\Gamma_\infty}\right)$$

После преобразования можно получить следующее выражение для расчета предельной адсорбции по значениям поверхностного натяжения раствора σ_1 и σ_2 для каждой отдельной серии экспериментов. Это выражение имеет следующий вид:

$$\Gamma_\infty = \frac{B\Gamma_2 - \Gamma_1}{B - 1},$$

где $B = e^{\frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\sigma_2}}$; $\Delta\sigma = \sigma_i - \sigma_0$; σ_0 – поверхностное натяжение воды при температуре опыта, равное $72,80 \cdot 10^{-3}$ Дж/м² (при 20 °С).

Тогда в случае серии экспериментов без добавки ССМ: при 10 % концентрации ПАВ $\sigma_1 = 67,77 \cdot 10^{-3}$ Дж/м² и при 100 % концентрации $\sigma_2 = 52,87 \cdot 10^{-3}$ Дж/м²; Γ_1 и Γ_2 составили

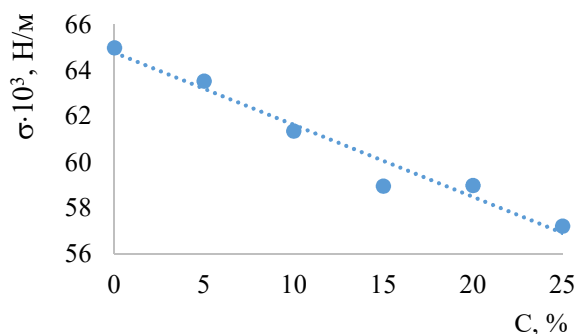


Рис. 2. Зависимость σ 20 %-го раствора пластификатора от количества добавки порошка ССМ

Функциональные зависимости (рис. 2 и 3) имеют линейный характер и описываются следующими математическими уравнениями:

для 20 % раствора пластификатора – $\sigma = -3,3 \cdot 10^{-2}C + 6,4 \cdot 10^{-2}$ ($R^2=0,94$);

для 80 % раствора пластификатора – $\sigma = -4,2 \cdot 10^{-2}C + 5,6 \cdot 10^{-2}$ ($R^2=0,86$).

Общий вид уравнения изотермы поверхностного натяжения имеет следующее выражение:

$$\sigma = -\frac{d\sigma}{dC}C + q, \quad (4)$$

где q – коэффициент поверхностной активности, исключаяющий влияние концентрации ПАВ на производную $\frac{d\sigma}{dC}$. Это предельное значение поверхностной активности при концентрации вещества $C \rightarrow 0$. Физический смысл коэффициента

$1,20 \cdot 10^{-9}$ моль/м² и $12,11 \cdot 10^{-9}$ моль/м², соответственно. В этом эксперименте коэффициент $B=1,28$. Тогда $\Gamma_\infty=51,07 \cdot 10^{-9}$ моль/м².

Изотермы поверхностных натяжений для раствора пластификатора с добавкой 20 и 80 % высокодисперсного порошка ССМ приведены на рисунках 2 и 3. Следует отметить, что после механического помола в продолжении 30 мин удельная поверхность полученного сапонитсодержащего порошка составила 1530 м²/кг. Используемый режим механического диспергирования был выбран на основании предварительно проведенных экспериментов [14], в которых установлено, что удельная поверхность порошка при данном помоле возрастает практически в шесть раз по сравнению с исходной характеристикой и достигает максимума для 30 минутного периода, после чего стабилизируется, достигая значений 1500÷1550 м²/кг. Дальнейшее увеличение времени механического помола не приводит к возрастанию удельной поверхности получаемых порошков. ССМ в раствор пластификатора вводили в количестве от 5 до 25 объемных процента (С).

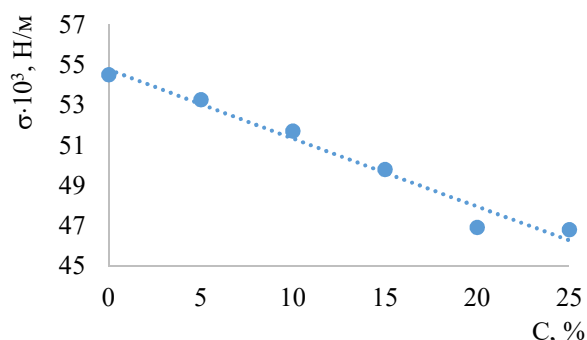


Рис. 3. Зависимость σ 80 %-го раствора пластификатора от количества добавки порошка ССМ

q – сила, удерживающая вещество на границе раздела фаз. Так, для раствора пластификатора эта величина равна $0,3 \cdot 10^{-4}$ Дж/м². В случае введения в 20 % раствор Пластбетона сапонитсодержащего порошка значение этого коэффициента возрастает до $6,4 \cdot 10^{-2}$ Дж/м². Но для концентрированных растворов пластификатора (например, 80 %) значение коэффициента $q=5,6 \cdot 10^{-2}$ Дж/м².

Соответственно, для 20 % раствора пластификатора с добавкой ССМ $\frac{d\sigma}{dC} = -3,3 \cdot 10^{-2}$ и для 80 % раствора – $\frac{d\sigma}{dC} = -4,2 \cdot 10^{-2}$ [Дж/м²].

Расчет величины адсорбции ПАВ по уравнению (3) позволил получить следующие результаты: для 20 % раствора пластификатора $\Gamma=1,3 \cdot 10^{-6} \div 13,5 \cdot 10^{-6}$ моль/м² и для 80 % раствора – $\Gamma=1,7 \cdot 10^{-6} \div 17,2 \cdot 10^{-6}$ моль/м².

Таким образом, проведенные эксперименты показали, что добавление в раствор пластификатора активного порошка сапонитсодержащего материала позволяет на порядок увеличить поверхностную активность пластифицирующей композиции, вследствие чего снижается поверхностное натяжение водной фазы за счет концентрирования молекул ПАВ на тонкодисперсных частицах твердой фазы. Образовавшийся конгломерат равномерно распределяется в объеме раствора, что приведет, при изготовлении бетонного композита, к уменьшению коэффициента трения (сопротивления) твердых частиц компонентов бетона при механическом перемешивании растворной смеси, выполняя роль «смазочного» агента. При этом повышается подвижность цементного теста при сокращении объемов потребляемой воды-затворения. Кроме того, необходимо отметить, что введение в состав растворной смеси тонкомолотого порошка ССМ будет способствовать не только оптимизации водоцементного отношения, но и синтезу гидросиликатов дополнительной генерации в процессе гидратации минералов цементного клинкера.

Выводы. Определены основные сорбционные характеристики водного раствора пластификатора: поверхностная активность, предельная адсорбция на границе раздела фаз. Установлено, что добавление в водный раствор пластификатора активного высокодисперсного сапонитсодержащего порошка с удельной поверхностью не менее $1500 \text{ м}^2/\text{кг}$ позволяет на порядок увеличить поверхностную активность пластифицирующей добавки. Сорбционная активность, оцениваемая по термодинамическому уравнению изотермы Гиббса, используемого ПАВ в водном растворе при введении минеральной сапонитсодержащей добавки увеличивается на три порядка.

Источник финансирования. Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-13-20013 «Грунтобетоны на основе органоминерального реактивного связующего для усиления исторических дорожных конструкций Соловецкого архипелага»

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тараканов О.В., Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф. Химические добавки в растворы и бетоны: монография. Москва; Вологда: Инфа-Инженерия, 2023. 168 с.
2. Строкова В.В., Нелюбова В.В., Боцман Л.Н., Огурцова Ю.Н., Хахалева Е.Н. Композиционное вяжущее для монолитного строительства в Северных регионах // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2016. №11. С. 36–42.
3. Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я., Черных Т.Н., Орлов А.А., Шуддяков К.В. Современные суперпластификаторы для бетонов, особенности их применения и эффективность. // Строительные материалы. 2016. №11. С. 21–25.
4. Батраков В.Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы // Строительные материалы. 2006. №10. С. 5–7.
5. Тараканов О.В., Калашников В.И. Перспективы применения комплексных добавок в бетонах нового поколения // Известия КГАСУ. 2017. № 1 (39). С. 223–229.
6. Тараканов О.В., Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф. Химические добавки в растворы и бетоны: монография. Москва; Вологда: Инфа-Инженерия. 2023. 168 с.
7. Лесовик В.С., Толыпин Д.А. Сравнительная эффективность разжижителей в зависимости от электроповерхностных свойств мелких заполнителей // Университетская наука. 2023. №2(16). С. 42–44.
8. Волков В.А. Коллоидная химия. Поверхностные явления и дисперсные системы. Учебник для вузов. Из-во «Лань». 2015. 672 с.
9. Трунов П.В., Алфимова Н.И., Лесовик В.С., Шадский Е.Е., Потапов В.В. К вопросу об использовании вулканического сырья Камчатки в качестве минеральной добавки // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2014. №4. С. 84–89.
10. Шаманина А.В., Айзенштадт А.М. Особенности определения удельной поверхности порошковых кварцсодержащих систем // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 1. С. 1508–1515. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.1.
11. Шаманина А.В., Айзенштадт А.М., Кононова В.М., Данилов В.Е. Оценка эффективности механоактивации кремнеземсодержащих горных пород // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. №5. С. 19–27.
12. Морозова М.В. Сорбция водной фазы минеральной сапонит-содержащей добавкой в мелкозернистый бетон // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2018. № 4. С. 20–25.
13. Данилов В.Е., Айзенштадт А.М., Дроздук Т.А., Фролова М.А., Гарамов Г.А. Интеркаляция сапонита из растворов электролитов, различающихся природой катиона. // Физика и химия обработки материалов. 2024. № 2. С. 36–46.
14. Морозова М.В. Влияние температурно-влажностной обработки на набор прочности мелкозернистого бетона с добавкой сапонитсодержащего материала // Нанотехнологии в строительстве. 2024. Т. 16, № 3. С. 227–234.

Информация об авторах

Фролова Мария Аркадьевна, кандидат химических наук, доцент, заведующий кафедрой материаловедения, реставрации и экологии в строительстве. E-mail: m.aizenstadt@narfu.ru. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова. Россия, 163002, Архангельск, наб. Северной Двины, д.17.

Лесовик Валерий Станиславович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительного материаловедения, изделий и конструкций». E-mail: naukavs@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

Дроздюк Татьяна Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения, реставрации и экологии в строительстве. E-mail: t.drozdyuk@narfu.ru. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова. Россия, 163002, Архангельск, наб. Северной Двины, д.17.

Поступила 09.12.2024 г.

© Фролова М.А., Лесовик В.С., Дроздюк Т.А., 2025

¹Frolova M.A., ²Lesovik V.S., ^{1,*}Drozdyuk T.A.

¹ Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

²Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

*E-mail: t.drozdyuk@narfu.ru

INFLUENCE OF MINERAL FINE SAPONITE-CONTAINING ADDITIVE ON SURFACE ACTIVITY OF PLASTICIZER

Abstract. Plasticizing additives, which are surface-active substances, are widely used in the production of concrete mixtures in order to reduce the water-cement ratio and at the same time maintain the required mobility of the concrete mixture. There are various classes of such additives, the mechanism of action of which may differ, but is due to the occurrence of a common stage associated with the adsorption of plasticizer molecules on the surface of clinker minerals. During this stage, part of the water is released, which provides the plasticizing effect. The mechanism of action of a plasticizer based on an aqueous solution of surfactants is determined by its surface activity. Adding an additional component to the surfactant can change the value of the surface activity of the solution. In this regard, saponite-containing material (a waste product of the diamond mining industry), capable of exhibiting high adsorption-desorption activity in a finely dispersed state, is of particular interest. To study the effect of saponite-containing material on the properties of the plasticizing additive, highly dispersed saponite-containing powder was added to aqueous solutions of the plasticizer and the surface activity of the resulting solutions was determined. It was found that adding active highly dispersed saponite-containing powder with a specific surface of at least 1500 m²/kg to an aqueous solution of the plasticizer allows for an order of magnitude increase in the surface activity of the plasticizing additive.

Keywords: saponite-containing material, plasticizer, surface activity, highly dispersed powder, water-cement ratio.

REFERENCES

1. Tarakanov O.V., Erofeev B.T., Smirnov V.F. Chemical additives in mortars and concretes: monograph [Khimicheskiye dobavki v rastvory i betony: monografiya.] Moscow, Vologda: Infa-Engineering, 2023. 168 p. (rus).
2. Strokova V.V., Nelubova V.V., Botsman L.N., Ogurtsova Yu.N., Khakhalaeva E.N. Composite binder for monolithic construction in the Northern regions [Kompozitsionnoye vyazhushcheye dlya monolitnogo stroitel'stva v Severnykh regionakh]. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. 2016. No. 11. Pp. 36–42. (rus)
3. Kramar L.Ya., Trofimov B.Ya., Chernykh T.N., Orlov A.A., Shuldyakov K.V. Modern superplasticizers for concrete, features of their application and efficiency [Sovremennyye superplastifikatory dlya betonov, osobennosti ikh primeneniya i effektivnost']. Construction materials. 2016. No. 11. Pp. 21–25. (rus)
4. Batrakov V.G. Concrete modifiers: new possibilities and prospects [Modifikatory betona: novyye vozmozhnosti i perspektivy]. Construction materials. 2006. No. 10. Pp. 5–7. (rus)
5. Tarakanov O.V., Kalashnikov V.I. Prospects for the use of complex additives in new generation concretes [Perspektivy primeneniya kompleksnykh dobavok v betonakh novogo pokoleniya]. News of KSUACE. 2017. No. 1(39). Pp. 223–229. (rus)
6. Tarakanov O.V., Erofeev V.T., Smirnov V.F. Chemical additives in solutions and concretes: monograph [Chemical additives in solutions and concretes: monograph]. Moscow, Vologda: Infa-Engineering, 2023. 168 p. (rus)

7. Lesovik V.S., Tolypin D.A. Comparative efficiency of thinners depending on the electrosurface properties of fine aggregates [Sravnitel'naya effektivnost' razzhizhiteley v zavisimosti ot elektropoverkhnostnykh svoystv melkikh zapolniteley]. University Science. 2023. No. 2(16). Pp. 42–44. (rus)
8. Volkov V.A. Colloid Chemistry. Surface Phenomena and Disperse Systems. Textbook for Universities [Kolloidnaya khimiya. Poverkhnostnyye yavleniya i dispersnyye sistemy. Uchebnik dlya vuzov]. Publishing house "Lan", 2015. 672 p. (rus)
9. Trunov P.V., Alfimova N.I., Lesovik V.S., Shadskiy E.E., Potapov V.V. On the issue of using volcanic raw materials of Kamchatka as a mineral additive [K voprosu ob ispol'zovanii vulkanicheskogo syr'ya Kamchatki v kachestve mineral'noy dobavki]. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. 2014. No. 4. Pp. 84–89. (rus)
10. Shamanina A.V., Ayzenshtadt A.M. Features of determining the specific surface area of powder quartz-containing systems [Osobennosti opredeleniya udel'noy poverkhno-sti poroshkovykh kvartssoderzhashchikh sistem] Bulletin of MGSU. 2022. Vol. 17(1). Pp. 1508–1515. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.1.
11. Shamanina A.V., Ayzenshtadt A.M., Kononova V.M., Danilov V.E. Evaluation of the efficiency of mechanical activation of silica-containing rocks [Otsenka effektivnosti mekhanoaktivatsii kremnezemsoderzhashchikh gornykh porod]. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. 2021. No.5. Pp. 19-27. (rus)
12. Morozova M. V. Sorption of aqueous phase by mineral saponite-containing additive in fine-grained concrete [Sorbtsiya vodnoy fazy mineral'noy saponit-soderzhashchey dobavkoy v melkozernisty beton]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 4. Pp. 20–25. (rus)
13. Danilov V.E., Ayzenshtadt A.M., Drozdnyuk T.A., Frolova M.A., Garamov G.A. Intercalation of saponite from electrolyte solutions differing in the nature of the cation [Interkalyatsiya saponita iz rastvorov elektrolitov, razlichayushchikhsya prirodoy kationa]. Physics and Chemistry of Materials Processing. 2024. No. 2. Pp. 36–46. (rus)
14. Morozova M.V. The effect of temperature and humidity treatment on the strength set of fine-grained concrete with the addition of saponite-containing material. Nanotechnology in Construction. 2024. No. 3. Vol. 16. Pp. 227–234.

Information about the authors

Frolova, Mariia A. PhD, Assistant professor. E-mail: m.aizenstadt@narfu.ru. Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. Russia, 163002, Arkhangelsk, emb. Northern Dvina, 17.

Lesovik, Valery S. DSc., Professor. E-mail: naukavs@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Drozdnyuk, Tatiana A. PhD. E-mail: t.drozdnyuk@narfu.ru. Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. Russia, 163002, Arkhangelsk, emb. Northern Dvina, 17.

Received 09.12.2024

Для цитирования:

Фролова М.А., Лесовик В.С., Дроздюк Т.А. Влияние на поверхностную активность пластификатора минеральной тонкодисперсной сапонитсодержащей добавки // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 4. С. 35–41. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-4-35-41

For citation:

Frolova M.A., Lesovik V.S., Drozdnyuk T.A. Influence of mineral fine saponite-containing additive on surface activity of plasticizer. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 4. Pp. 35–41. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-4-35-41