

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ СУСПЕНЗИИ ЧАСТИЦ КОМПОЗИЦИОННОГО ГИДРОГЕЛЕВОГО МАТЕРИАЛА

Д.А. Макаренков<sup>1</sup>

makarenkovd@gmail.com

Е.М. Федорова<sup>2</sup>

fedorova\_E\_M@goznak.ru

В.А. Бухрякова<sup>2</sup>

valevrika@gmail.com

С.Л. Лобастов<sup>1</sup>

89036290438@list.ru

В.И. Назаров<sup>1</sup>

nazarov\_vi41@mail.ru

В.С. Болдырев<sup>3</sup>

boldyrev.v.s@bmstu.ru

<sup>1</sup> НИЦ «Курчатовский институт» — ИРЕА, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> НИИ — филиал АО «Гознак», Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

Приведены результаты комплексного исследования получения композиционного гидрогелевого материала в виде водной суспензии. Рассмотрен вопрос измельчения гидрогелевого материала в водной среде с получением водной суспензии частиц гидрогелевого материала с требуемым распределением частиц по размерам. В качестве композиционного гидрогелевого материала выбран полимер полиакриламида, а в качестве наполнителя — ангистоксовый люминофор. Описан многостадийный способ получения гидрогелевого материала и процесс грубого измельчения гидрогелевых блоков и технология тонкого измельчения с использованием погружного диспергатора. Получены суспензии с узким гранулометрическим составом (160...1000 мкм). Представлены данные по исследованию влияния технологических и режимных параметров используемого оборудования на гранулометрический состав получаемого гидрогелевого материала. Предложена технология изготовления суспензии частиц композиционного гидрогелевого материала в едином технологическом цикле

### Ключевые слова

*Гидрогель, неорганические наполнители, реагенты, полимеризация, перемешивание, измельчение, аппарат*

Поступила 26.08.2019

Принята 21.11.2019

© Автор(ы), 2020

---

**Введение.** В последние годы большое внимание уделяется процессам получения и исследования композиционных полимерных материалов со специальными уникальными свойствами [1–4]. Среди таких композици-

онных материалов гидрогелевые полимерные матрицы рассматриваются как одни из наиболее перспективных; они используются, например, для формирования и стабилизации различных медико-биологических материалов [5], в качестве сорбентов [6, 7], в растениеводстве для улучшения водного режима почвы [8, 9], для очистки внутренней полости нефтепроводов [10] и т. д. В некоторых случаях в качестве наполнителей композиционных гидрогелевых материалов применяют неорганические соединения. В качестве неорганической части композиционных гидрогелевых материалов могут выступать, например, глинистые материалы [8, 9, 11] или неорганические люминофоры и пигменты [12].

В качестве гидрогелевой основы предпочтительно использование полиакриламидных гидрогелей ввиду простоты их изготовления вследствие пониженной липкости, а также невысокой стоимости исходных реагентов. Полиакриламидный гидрогель получают радикальной сополимеризацией мономера — акриламида и сшивающего агента — метилена-бис-акриламида в водной среде. В качестве инициатора полимеризации применяют окислительно-восстановительную систему персульфат аммония (или калия)–N,N,N',N'-тетраэтилметилендиамин (ТМЭД) [13].

Для получения композиционного гидрогелевого материала в смесь компонентов гидрогеля до введения инициатора полимеризации при постоянном перемешивании вводят тонкодисперсный неорганический наполнитель и перемешивают до однородной, агрегативно устойчивой дисперсной системы с равномерно распределенными по всему объему частицами наполнителя. После полимеризации получают композиционный материал — монолитный гидрогелевый блок, который содержит в своем объеме неорганические наполнители. При полимеризации мономера акриламида частицы неорганического наполнителя обволакиваются макромолекулами полимера полиакриламида; в результате образуются полимерные сетки, ячейки которых наполнены частицами неорганического наполнителя. Кроме придания композиционному материалу специальных свойств, характерных для конкретных неорганических наполнителей (например, люминофоров), введение неорганического наполнителя в композиционные полимеры повышает прочностные характеристики гидрогелевых материалов и существенно изменяет их сорбционные свойства [10, 11].

После получения монолитного гидрогелевого блока необходимо его диспергировать. В большинстве случаев гидрогелевый материал перед измельчением подвергают сушке, удаляя связанную воду, входящую в структуру гидрогеля. Измельчение высушенного гидрогелевого материала проводят на дисковой дробилке, механической ротационной дробил-

ке, бисерных мельницах грубого и тонкого помолов и других известных измельчающих устройствах [14, 15].

Однако перечисленные способы получения частиц гидрогелевого материала связаны с большими энергозатратами на его высушивание. Например, в соответствии со способом, приведенным в [14], гидрогелевый материал перед измельчением помещают на металлическую сетку и сушат горячим воздухом при температуре 150 °С в течение 120 мин. Кроме того, в случае измельчения композиционных гидрогелевых материалов содержащиеся в них неорганические наполнители могут выбиваться из гидрогелевой структуры вследствие механодеструкции.

*Цель работы* — исследование и разработка процесса измельчения гидрогелевого материала в водной среде с получением в результате водной суспензии частиц гидрогелевого материала с требуемым распределением их по размерам. Способ включает в себя стадию полимеризации, при этом исключается сушка, а равномерность распределения частиц в объеме должна обеспечиваться за счет режимов обработки материалов в реакторе. Это сохраняет неорганические наполнители в структуре гидрогеля, а заданное распределение частиц по размерам должно определяться дальнейшими стадиями механического диспергирования частиц.

**Материалы и методы исследования.** В качестве объекта исследования выбран композиционный гидрогелевый материал на основе полимера полиакриламида, в качестве наполнителя — антистоксовый люминофор марки Ф(а)СД-546-2, представляющий собой оксисульфид иттрия, активированный ионами эрбия и сенсibilизированный ионами иттербия. Люминофор Ф(а)СД-546-2 преобразует ИК-излучение диапазона 900...980 нм в видимое свечение зеленого цвета [16]. В настоящей работе использован люминофор Ф(а)СД-546-2 производства ЗАО «НПФ «ЛЮМ» с максимальным размером частиц 8 мкм. Гидрогелевый материал, содержащий люминофор Ф(а)СД-546-2, может быть применен для защиты подлинности ценных бумаг [17]. В таком случае оптимальный интервал максимального размера частиц гидрогелевого материала составляет 30...700 мкм и соответствует размерам частиц, при которых гарантированно не ухудшаются показатели качества и печатно-технологические свойства бумаги [12].

**Способ получения гидрогелевого материала.** Композиционный гидрогелевый материал с содержанием полимера 9 масс. % получали следующим образом. В стеклянном реакторе емкостью 10 л смешивали 650 г акриламида, 1140 мл 1%-ного водного раствора метилен-бис-акриламида и 114 мл 1%-ного водного раствора ТМЭД. В полученный раствор вводили 50 г

люминофора Ф(а)СД-546-2. При перемешивании добавляли в получившуюся суспензию 1000 мл 1%-ного раствора персульфата аммония. Для равномерного распределения частиц люминофора реакционную массу перемешивали верхнеприводной лопастной мешалкой с частотой вращения  $250 \text{ мин}^{-1}$  вплоть до начала процесса полимеризации. Затем смесь доводили до конечного объема 7200 мл, а для ускорения процесса полимеризации емкость со смесью нагревали до температуры  $55...60 \text{ }^\circ\text{C}$ , кислотность реакционной среды поддерживали на уровне  $\text{pH} = 4-6$ . В результате реакции полимеризации получали композиционный гидрогелевый материал, содержащий люминофор Ф(а)СД-546-2, в виде монолитного блока, имеющего форму реактора. Аналогичным способом изготавливали композиционные гидрогелевые материалы с содержанием полимера 12 и 15 масс. %.

Предварительное грубое измельчение полученных гидрогелевых блоков осуществляли их продавливанием через металлическую решетку (сетку) с размером ячеек  $15 \times 15 \text{ мм}$ .

Дальнейшее измельчение композиционного гидрогелевого материала выполняли в водной среде с использованием погружного диспергатора *Polytron PT-DD 36-60* с принципом работы ротор–статор. Такая технология заключается в том, что вращающийся ротор создает вакуум, измельчаемый материал попадает в центр системы и отбрасывается к периферии, проходя между зубцами статора. Между ротором и статором (кольцевой зазор) на измельчаемый материал действуют значительные тормозяще-касательные силы и радиальное ускорение. Для измельчения гидрогелей применяли диспергирующий агрегат с W-образной формой зубцов ротора. Емкость для диспергирования (дежа) конструктивно выполнена в форме клеверного листа, что способствует прерыванию потока суспензии в радиальном направлении и создает дополнительные противодействующие силы. Высокая турбулентность максимально увеличивает эффективность смешивания и диспергирования, что сокращает время обработки и требует меньших затрат энергии.

Подбор режимных параметров диспергирования проводили на образцах композиционных гидрогелевых материалов массой  $200...500 \text{ г}$ .

В настоящей работе под режимами диспергирования подразумевали совокупность следующих параметров: 1) содержание полимера в гидрогеле; 2) содержание гидрогелевого материала в дисперсионной среде (воде); 3) время диспергирования гидрогелевого материала; 4) частота вращения диспергирующего агрегата.

Для каждого полученного образца суспензии частиц гидрогелевого материала контролировали распределение частиц по размерам, выра-

женное через медианные диаметры частиц. Распределение частиц гидрогелевого материала по размерам контролировали методом лазерной дифракции с использованием лабораторного анализатора частиц *Master-sizer 2000*. В основе метода лежит измерение угловой зависимости интенсивности рассеянного света при прохождении лазерного луча через исследуемый образец суспензии. Метод лазерного дифракционного анализа позволяет с высокой степенью воспроизводимости получать точный результат в виде полного распределения частиц анализируемой пробы по размерам, а также данные о размерах средних диаметров частиц.

Для компактности представления данных гранулометрического анализа использовали численные показатели, характеризующие функцию суммарного объемного распределения частиц по размерам (интегральный гранулометрический состав) — квантили распределения. Таким образом, результаты гранулометрического анализа можно характеризовать значениями медианных диаметров частиц:  $d(0,1)$ ,  $d(0,5)$  и  $d(0,9)$ . Например, значение  $d(0,1)$ , равное 15 мкм, означает, что 10 % частиц от общей массы имеют диаметр не более 15 мкм.

Результаты исследований образцов с различным содержанием полимера (поперечно-сшитого полиакриламида) в виде таблиц, графических зависимостей гранулометрического состава и экспериментальных данных по влиянию на размеры частиц режимно-технологических параметров работы оборудования приведены ниже.

**Результаты исследований.** Результаты экспериментов по получению образцов диспергированного гидрогелевого материала с различным содержанием поперечно-сшитого полиакриламида приведены в таблице.

При сравнении образцов № 1–2 и № 3–1, отличающихся только концентрацией полимера (9 и 15 % соответственно), диспергирование на устройстве *Polytron PT-DD 36-60* показало отсутствие существенных различий по гранулометрическому составу получаемых частиц.

В процессе диспергирования образцов № 3–10 и № 3–14 (рис. 1, а) определено, что время диспергирования при одинаковой частоте вращения диспергирующего агрегата обратно пропорционально размеру получаемых в результате диспергирования частиц.

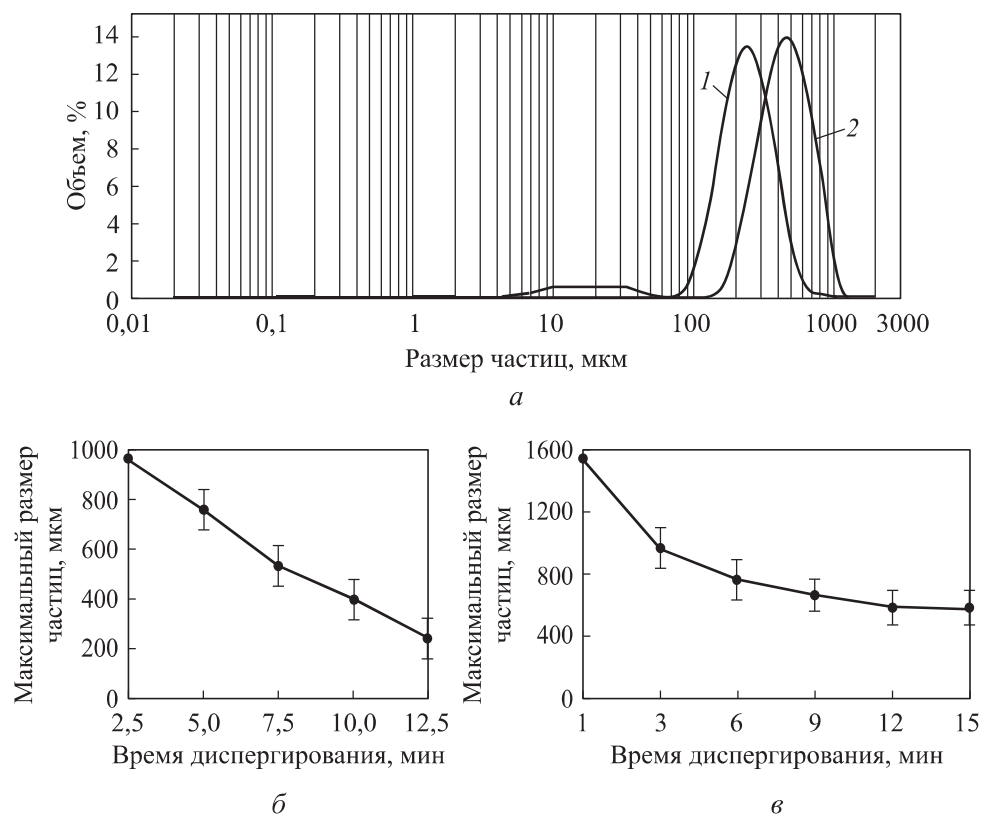
В работе также исследовано влияние периодичности воздействия диспергатора на монолитный гидрогелевый блок. В первом примере (рис. 1, б) осуществляли однократное воздействие на блок и в процессе эксперимента изменяли время диспергирования от 2,5 до 10 мин. Во втором примере проводили повторные диспергирования гидрогелевого материала за пять последовательных циклов при времени одного цикла 3 мин (рис. 1, в).

**Режимные параметры диспергирования композиционного гидрогелевого материала  
с различным содержанием полимера**

Номер образца	Частота вращения диспергатора, мин <sup>-1</sup>	Время диспергирования, мин	Масса образца гидрогелевого материала, г	Объем дисперсионной среды (воды), л	Медианные диаметры частиц, мкм		
					d(0,1)	d(0,5)	d(0,9)
<i>Содержание полимера 9 масс. %</i>							
1-1	4000	5,0	200	2,0	350	710	1290
1-2	4500	2,0			430	815	1415
1-3	5000	1,0	400		440	855	1410
1-4		5,0	285		570	1040	
1-5	6000	5,0	200		210	400	685
1-6	8000		120		365	750	
<i>Содержание полимера 12 масс. %</i>							
2-1	4500	1,5	435	4,5	480	975	1585
2-2		2,0			450	855	1445
2-3		3,0			360	820	1450
2-4		4,0			150	437	890
2-5		5,0			38	159	299
<i>Содержание полимера 15 масс. %</i>							
3-1	4500	2,0	200	2,0	550	960	1540
3-2	5000	1,0			575	980	1545
3-3		4,0			305	560	965
3-4		7,0			265	462	755

Содержание полимера 15 масс. %									
3-5			10,0			185		370	655
3-6	5000		13,0			125		310	600
3-7			16,0			128		305	576
3-8	6000		5,0	200		220		510	890
3-9			2,5		2,0	290		560	965
3-10			5,0			260		455	770
3-11	7000			400		180		350	590
3-12			8,0	200		130		265	485
3-13				400		180		325	545
3-14			10,0	200		115		235	405

Выявлено снижение эффективности диспергирования при каждом повторе диспергирования: при диспергировании одного и того же гидрогелевого материала за пять циклов (образцы №№ 3–3, 3–4, 3–5, 3–6, 3–7) в течение одинакового времени (3 мин) каждое последующее диспергирование оказывало меньшее влияние на размер частиц, чем предыдущее. Интенсивное уменьшение медианного диаметра частиц от 1600 до 700 мкм происходит в течение первых 9 мин, дальнейшее повторное воздействие диспергатора на суспензию не приводит к уменьшению размера частиц (см. рис. 1, в).



**Рис. 1.** Влияние времени диспергирования при постоянной частоте вращения ( $7000 \text{ мин}^{-1}$ ) на гранулометрический состав частиц для образцов № 3–14 (1) и 3–10 (2) (а), зависимость максимального размера частиц гидрогелевого материала от времени при одно- (б) и многократном (в) диспергировании

На примере образцов № 3–10 и № 3–11 определено, что увеличение концентрации гидрогелевого материала в дисперсионной среде приводит к более эффективному его диспергированию ( $d(0,1) = 260$  и  $180 \text{ мкм}$ ). Это связано с тем, что диспергирование осуществляется посредством дис-

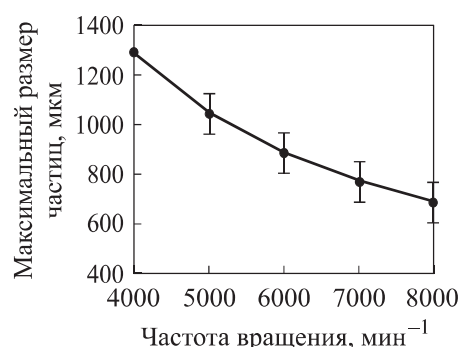


пергатора (система ротор–статор) и в результате небольшое количество дисперсной фазы в системе приводит к некоторому снижению потерь на трение в турбулентном потоке. При высоком содержании частиц твердой фазы (образец № 3–11) их перемещения происходят в динамическом режиме межчастичного контакта, что может приводить к их разрушению [18].

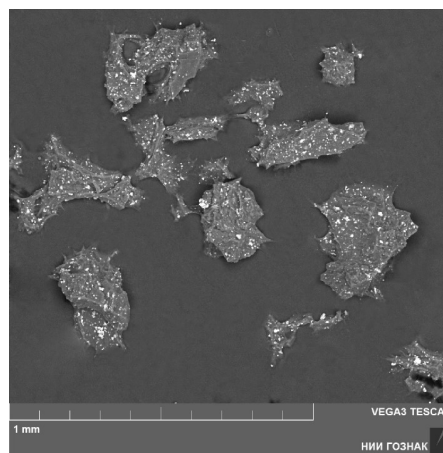
Зависимость размера частиц гидрогеля от частоты вращения диспергирующего агрегата приведена на рис. 2: при увеличении частоты вращения диспергирующего агрегата на каждые  $1000 \text{ мин}^{-1}$  и одинаковом времени диспергирования (5 мин) происходит поэтапное уменьшение максимального размера частиц гидрогеля в среднем на 200 мкм. Графическая зависимость построена на основании данных по диспергированию образцов №№ 1–1, 1–4, 1–6, 3–8, 3–10.

Внешний вид частиц композиционного гидрогелевого материала (образец № 3–13), подвергшегося значительным механическим нагрузкам при диспергировании, показан на рис. 3. Фотография образца получена с использованием растрового электронного микроскопа *Tescan Vega 3SBU*. Контрастные белые включения являются частицами неорганического люминофора Ф(а)СД-546-2. Неорганический люминофор достаточно равномерно распределен в частицах гидрогелевого материала. Это позволяет сделать вывод, что механическое воздействие в виде активного диспергирования не вызывает удаления защитных веществ из гидрогелевой структуры.

В результате проведенной работы определена возможность получения водной суспензии частиц гидрогелевого материала, содержащего неорганические наполнители, которые вве-



**Рис. 2.** Зависимость максимального размера частиц композиционного гидрогелевого материала от частоты вращения диспергирующего агрегата



**Рис. 3.** Внешний вид частиц композиционного материала на основе полиакриламидного гидрогеля и неорганического люминофора Ф(а)СД-546-2

дены в гидрогелевый материал до полимеризации и равномерно распределены по всему объему материала. После получения композиционного гидрогелевого материала в виде монолитного блока, имеющего форму реактора, материал предварительно грубо измельчают на металлической сетке, а затем проводят диспергирование в водной среде на погружном диспергаторе *Polytron PT-DD 36-60* с принципом работы ротор–статор. Опробованы различные режимно-технологические параметры получения суспензии частиц гидрогелевого материала, при этом установлено:

- для более эффективного диспергирования предпочтительнее использовать акрилатные гидрогели с более высоким содержанием полимера;
- при увеличении времени диспергирования водных суспензий гидрогелевого материала происходит пропорциональное уменьшение размера частиц при условии однократного диспергирования;
- при диспергировании суспензий гидрогелевого материала в несколько этапов происходит снижение эффективности диспергирования;
- увеличение концентрации гидрогелевого материала в дисперсной среде повышает эффективность диспергирования;
- при увеличении частоты вращения диспергирующего агрегата и одинаковом времени диспергирования происходит поэтапное равномерное уменьшение максимального размера частиц  $d(0,9)$  гидрогелевого материала.

В результате диспергирования получается водная суспензия частиц гидрогелевого материала с заданным распределением частиц по размерам, при этом в каждой частице равномерно распределен и прочно закреплен неорганический наполнитель.

**Заключение.** Проведены комплексные исследования процесса получения суспензии частиц композиционного гидрогелевого материала. Получены кривые гранулометрического состава гидрогелевого материала размером частиц 160...1000 мкм в зависимости от частоты вращения диспергатора, времени диспергирования и цикличности воздействия диспергатора на гидрогелевый блок. Разработанная технология позволяет получать суспензию гидрогелевых частиц в едином технологическом цикле.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бронштейн Л.М., Сидоров С.Н., Валецкий П.М. Наноструктурированные полимерные системы как нанореакторы для формирования наночастиц. *Успехи химии*, 2004, т. 73, № 5, с. 542–558.
- [2] Котова А.В., Глаголев Н.Н., Матвеева И.А. и др. Влияние параметров сшитой полиакриловой матрицы на процесс ее импрегнирования фотоактивными соеди-

нениями в сверхкритических флюидных средах. *Высокомолекулярные соединения. Серия А*, 2010, т. 52, № 5, с. 805–814.

[3] Западинский Б.И., Шашкова В.Т., Певцова Л.А. и др. Влияние строения сетчатой матрицы на процесс образования наночастиц золота при фотовосстановлении его солей в растворах акриловых олигомеров. *Высокомолекулярные соединения. Серия Б*, 2013, т. 55, № 1, с. 99–110.

[4] Сокольский Г.В., Макаренко Д.А., Лобастов С.Л. и др. Исследование процесса диспергирования многокомпонентных пигментных паст в водной среде. *Химическая промышленность сегодня*, 2013, № 12, с. 38–43.

[5] Самченко Ю.М., Болдескул И.Е., Суходуб Л.Б. и др. Синтез и спектральная идентификация гидроксилпатитсодержащих гидрогелевых нанокомпозитов для протезирования костной ткани. *Доклады НАН Украины*, 2009, № 8, с. 140–145.

[6] Лопатин В.В., Аскадский А.А. Полиакриламидные гидрогели в медицине. М., Научный мир, 2004.

[7] Шварева Г.Н. Суперабсорбенты на основе мет(акрилатов), аспекты их использования. *Пластические массы*, 1996, № 3, с. 32–35.

[8] Байбурдов Т.А., Епишина Г.П., Ступенькова Л.Л. и др. Влагоднабухающий почвенный кондиционер и способ его получения. Патент РФ 2189382. Заявл. 02.07.1998, опублик. 20.09.2002.

[9] Ихтиярова Г.А., Нуритдинова Ф.М., Курбонова Ф.Н. Получение гидрогеля на основе бетонитовой глины и акриламида. *Наука, техника и образование*, 2016, № 12, с. 16–17.

[10] Макаренко Д.А. Энергосберегающие процессы многокомпонентных полидисперсных материалов с регулируемыми характеристиками. Дис. ... д-ра техн. наук. Тамбов, ТГТУ, 2015.

[11] Макхамов М.А., Мухамедиев М.Г. Композиционные гели полиакриловой кислоты с бетонитовой глиной и их свойства. *Universum: химия и биология*, 2016, № 11, с. 24–28.

[12] Федорова Е.М., Миловидов В.Н., Бухрякова В.А. и др. Композиционные материалы на основе акриламидного гидрогеля для защиты подлинности ценных бумаг. *Все материалы. Энциклопедический справочник*, 2016, № 3, с. 31–38.

[13] Валуев И.Л., Кудряшов В.К., Обыденнова И.В. и др. Исследование свойств гидрогелей на основе сополимеров 2-гидроксиэтилметакрилата. *Вестник Московского университета. Серия 2: Химия*, 2003, т. 44, № 2, с. 149–152.

[14] Яно А., Харуна Е., Ирие Е. и др. Способ получения полиакрилового геля. Патент РФ 2031097. Заявл. 22.05.1989, опублик. 20.03.1995.

[15] Байбурдов Т.А., Наконечный И.И., Ступенькова Л.Л. Способ получения порошкообразных полимеров акриламида. Патент РФ 2076873. Заявл. 12.04.1994, опублик. 10.04.1997.

- [16] Манаширов О.Я., Синельников Б.М., Воробьев В.А. Состояние и перспективы разработок антистоксовых люминофоров для визуализаторов ИК-излучения из области 0,8–13 мкм. *Неорганические материалы*, 1993, т. 29, № 10, с. 1322–1325.
- [17] Курятников А.Б., Павлов И.В., Корнилов Г.В. и др. Способ изготовления защищенной бумаги. Защищенная бумага и ценный документ. Патент РФ 2536215. Заявл. 04.04.2013, опубл. 20.12.2014.
- [18] Индейкин Е.А., Лейбзон Л.Н., Толмачев И.А. Пигментирование лакокрасочных материалов. Л., Химия, 1986.

**Макаренков Дмитрий Анатольевич** — д-р техн. наук, доцент, заместитель директора по науке НИЦ «Курчатовский институт» — ИРЕА (Российская Федерация, 107076, Москва, ул. Богородский вал, д. 3).

**Федорова Елена Михайловна** — канд. хим. наук, заместитель директора по науке НИИ — филиала АО «Гознак» (Российская Федерация, 115162, Москва, ул. Мытная, д. 19).

**Бухрякова Валерия Андреевна** — старший научный сотрудник отдела физико-химической защиты НИИ — филиала АО «Гознак» (Российская Федерация, 115162, Москва, ул. Мытная, д. 19).

**Лобастов Сергей Львович** — канд. хим. наук, старший научный сотрудник НИЦ «Курчатовский институт» — ИРЕА (Российская Федерация, 107076, Москва, ул. Богородский вал, д. 3).

**Назаров Вячеслав Иванович** — канд. техн. наук, доцент, научный сотрудник НИЦ «Курчатовский институт» — ИРЕА (Российская Федерация, 107076, Москва, ул. Богородский вал, д. 3).

**Болдырев Вениамин Станиславович** — канд. техн. наук, доцент кафедры «Химия» МГТУ им. Н.Э. Баумана, ведущий инженер инжинирингового центра «Автоматика и робототехника» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

**Пробьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Макаренков Д.А., Федорова Е.М., Бухрякова В.А. и др. Исследование процесса получения суспензии частиц композиционного гидрогелевого материала. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2020, № 4 (91), с. 123–137. DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2020-4-123-137>

## INVESTIGATING THE PROCESS OF PRODUCING COMPOSITE HYDROGEL PARTICLE SLURRY

D.A. Makarenkov<sup>1</sup>

makarenkovd@gmail.com

E.M. Fedorova<sup>2</sup>

fedorova\_E\_M@goznak.ru

V.A. Buchryakova<sup>2</sup>

valevrika@gmail.com

S.L. Lobastov<sup>1</sup>

89036290438@list.ru

V.I. Nazarov<sup>1</sup>

nazarov\_vi41@mail.ru

V.S. Boldyrev<sup>3</sup>

boldyrev.v.s@bmstu.ru

<sup>1</sup> Federal State Unitary Enterprise Institute of Chemical Reagents and High Purity Chemical Substances of National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Scientific Research Institute, branch of Goznak, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

---

### Abstract

The paper presents comprehensive investigation results concerning obtaining a composite hydrogel material in the form of an aqueous slurry. We considered the issue of grinding hydrogel in water so as to obtain an aqueous slurry of hydrogel particles featuring the desired particle size distribution. We selected polyacrylamide to be the composite hydrogel material and used an anti-Stokes phosphor as a filler. We describe a multi-stage method for producing hydrogel, a coarse grinding process for hydrogel blocks, and a fine grinding technology employing an immersion disperser. We obtained slurries featuring a narrow particle size distribution (160–1000  $\mu\text{m}$ ). We provide data on investigating how the manufacturing process parameters and modal parameters of the equipment used affect the particle size distribution in the resulting hydrogel material. We propose a technology for producing composite hydrogel particle slurry in a single process cycle

### Keywords

*Hydrogel, inorganic fillers, reagents, polymerisation, mixing, grinding, machine*

Received 26.08.2019

Accepted 21.11.2019

© Author(s), 2020

---

### REFERENCES

- [1] Bronshtein L.M., Sidorov S.N., Valetsky P.M. Nanostructured polymeric systems as nanoreactors for nanoparticle formation. *Russ. Chem. Rev.*, 2004, vol. 73, no. 5, pp. 501–515. DOI: <https://doi.org/10.1070/RC2004v073n05ABEH000782>
- [2] Kotova A.V., Glagolev N.N., Matveeva I.A., et al. Effect of parameters of a cross-linked polyacrylic matrix on the impregnation of photoactive compounds in supercritical fluids. *Polym. Sci. Ser. A*, 2010, vol. 52, no. 5, pp. 522–531. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0965545X1005007X>

- [3] Zapadinskii B.I., Shashkova V.T., Pevtsova L.A., et al. Effect of the structure of a network matrix on the formation of gold nanoparticles during photoreduction of its salts in solutions of acrylic oligomers. *Polym. Sci. Ser. B*, 2013, vol. 55, no. 1-2, pp. 31–43. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1560090412110024>
- [4] Sokol'skiy G.V., Makarenkov D.A., Lobastov S.L., et al. The study on process of dispersing multicomponent pigment pastes in aquatic environment. *Khimicheskaya promyshlennost' segodnya* [Chemical Industry Today], 2013, no. 12, pp. 38–43 (in Russ.).
- [5] Samchenko Yu.M., Boldeskul I.E., Sukhodub L.B., et al. Synthesis and spectral identification of hydrogel nanocomposites for bone prosthetics. *Doklady NAN Ukrainy* [Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine], 2009, no. 8, pp. 140–145 (in Russ.).
- [6] Lopatin V.V., Askadskiy A.A. Poliakrilamidnye gidrogeli v meditsine [Polyacrylamide hydrogels in medicine]. Moscow, Nauchnyy mir Publ., 2004.
- [7] Shvareva G.N. Met(acrylate) based superabsorbents, aspects of their use. *Plasticheskie massy*, 1996, no. 3, pp. 32–35 (in Russ.).
- [8] Bayburdov T.A., Epishina G.P., Stupen'kova L.L., et al. Vlagonabukhayushchiy pochvennyy konditsioner i sposob ego polucheniya [Moisture-swelling soil conditioner and a method of preparation thereof]. Patent RF 2189382. Appl. 02.07.1998, publ. 20.09.2002 (in Russ.).
- [9] Ikhtiyarova G.A., Nuritdinova F.M., Kurbonova F.N. Getting hydrogel based on betonit clay and acrylamide. *Nauka, tekhnika i obrazovanie* [Science, Technology and Education], 2016, no. 12, pp. 16–17 (in Russ.).
- [10] Makarenkov D.A. Energosberegayushchie protsessy mnogokomponentnykh polidispersnykh materialov s reguliruemymi kharakteristikami. Dis. d-ra tekhn. nauk [Energy-saving processes of multicomponent polydisperse materials with adjustable characteristics. Dr. Eng. Sc. Diss.]. Tambov, TSTU Publ., 2015.
- [11] Makkhamov M.A., Mukhamediev M.G. Compositional gels of polyacrylic acid with bentonite clay and their properties. *Universum: khimiya i biologiya*, 2016, no. 11, pp. 24–28 (in Russ.).
- [12] Fedorova E.M., Milovidov V.N., Bukhryakova V.A., et al. Composite materials based on acrylamide hydrogel for authenticity protection of securities. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik* [All Materials. Encyclopedic Reference Manual], 2016, no. 3, pp. 31–38 (in Russ.).
- [13] Valuev I.L., Kudryashov V.K., Obydenнова I.V., et al. Study on properties of hydrogels based on copolymers of 2-hydroxyethyl methacrylate. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 2: Khimiya*, 2003, vol. 44, no. 2, pp. 149–152 (in Russ.).
- [14] Yano A., Kharuna E., Irie E., et al. Sposob polucheniya poliakrilovogo gelya [Method for preparing polyacryl gel]. Patent RU 2031097. Appl. 22.05.1989, publ. 20.03.1995 (in Russ.).

[15] Bayburdov T.A., Nakonechnyy I.I., Stupen'kova L.L. Sposob polucheniya poroshkoobraznykh polimerov akrilamida [Process for preparing powdered acrylamide polymers]. Patent RU 2076873. Appl. 12.04.1994, publ. 10.04.1997 (in Russ.).

[16] Manashirov O.Ya., Sinel'nikov B.M., Vorob'ev V.A. State and prospects of anistox phosphors development for infrared imagers from 0.8–13 microns. *Neorganicheskie materialy*, 1993, vol. 29, no. 10, pp. 1322–1325 (in Russ.).

[17] Kuryatnikov A.B., Pavlov I.V., Kornilov G.V., et al. Sposob izgotovleniya zashchishchennoy bumagi. Zashchishchennaya bumaga i tsenny document [Method of production of security paper, security paper and valuable document]. Patent RU 2536215. Appl. 04.04.2013, publ. 20.12.2014 (in Russ.).

[18] Indeykin E.A., Leybzon L.N., Tolmachev I.A. Pigmentirovanie lakokrasochnykh materialov [Pigmentation of paints and varnishes]. Leningrad, Khimiya Publ., 1986.

**Makarenkov D.A.** — Dr. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Deputy Director for Science, Federal State Unitary Enterprise Institute of Chemical Reagents and High Purity Chemical Substances of National Research Center “Kurchatov Institute” (Bogorodsky val 3, Moscow, 107076 Russian Federation).

**Fedorova E.M.** — Cand. Sc. (Chem.), Deputy Director for Science, Scientific Research Institute, branch of Goznak (Mytnaya ul. 19, Moscow, 115162 Russian Federation).

**Buchryakova V.A.** — Senior Researcher, Department of Physic and Chemical Protection, Scientific Research Institute, branch of Goznak (Mytnaya ul. 19, Moscow, 115162 Russian Federation).

**Lobastov S.L.** — Cand. Sc. (Chem.), Senior Researcher, Federal State Unitary Enterprise Institute of Chemical Reagents and High Purity Chemical Substances of National Research Center “Kurchatov Institute” (Bogorodsky val 3, Moscow, 107076 Russian Federation).

**Nazarov V.I.** — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Researcher, Federal State Unitary Enterprise Institute of Chemical Reagents and High Purity Chemical Substances of National Research Center “Kurchatov Institute” (Bogorodsky val 3, Moscow, 107076 Russian Federation).

**Boldyrev V.S.** — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Chemistry, Bauman Moscow State Technical University; Leading Engineer, Engineering Center Automation and Robotics, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Bauman-skaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

**Please cite this article in English as:**

Makarenkov D.A., Fedorova E.M., Buchryakova V.A., et al. Investigating the process of producing composite hydrogel particle slurry. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2020, no. 4 (91), pp. 123–137 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2020-4-123-137>