

Научная статья

УДК 674.8

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2023-15-4-342-348>

CC BY 4.0

Способ производства наноструктурированной древесно-полимерной композиции с СВЧ-применением

Евгений Владимирович Боев , Лилия Зайнулловна Касьянова , Айгуль Акрамовна Исламутдинова* , Эльмира Курбангалиевна Аминова 

Институт химических технологий и инжиниринга Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Стерлитамаке, Стерлитамак, Россия

* Автор, ответственный за переписку: e-mail: aygul_ru@mail.ru

РЕЗЮМЕ: Введение. Древесно-полимерные композиции (ДПК) в настоящее время нашли широкое применение в народном хозяйстве и строительстве. Состав ДПК широко варьируется в зависимости от дальнейшего назначения. Одним из перспективных направлений улучшения эксплуатационных характеристик является повышение качества связывания системы дерево – полимер. В качестве связующих компонентов применяют органические и неорганические субстраты, наноструктурированные индивидуальными веществами, в том числе и частицами металлов. Большинство многотоннажных производств нефтехимической промышленности при выработке целевой продукции различного назначения используют катализаторы, в основу которых входят активные носители – тяжелые металлы, дальнейшее восстановление которых после многочисленных стадий регенерации является невозможным. Отработанные катализаторы накапливаются в отстойниках, шламонакопителях, не находя квалифицированного метода утилизации и вторичного применения. Одним из компонентов, входящих в состав отработанных катализаторов, является хром (+6), относящийся к канцерогенным металлам. Многочисленные способы утилизации не дают возможности обезвреживать данный металл в промышленных масштабах, что представляет интерес для исследования. **Методы и материалы.** Исследование направлено на перевод канцерогенного хрома (+6) в неканцерогенный хром (+3) методом сверхвысокочастотного воздействия (СВЧ), что позволит открыть возможности для применения его в качестве хромсодержащего наноконструкта, связывающего дерево-полимер. **Результаты и обсуждения.** Сверхвысокочастотное воздействие на смесь древесно-полимерной композиции и отработанный хром(+6) вызывает повышение глубины проникновения волн высокой частоты, характеризующееся равномерным распределением энергии по всей площади композита, что объясняется восстановлением оксида хрома (VI) в оксид хрома (III), а также наблюдается изменение цвета наноструктурированной древесно-полимерной композиции (ДПК – композиции) с желтого цвета на малахитовый. **Заключение.** Данное исследование, заключающееся в применении СВЧ-воздействия на систему дерево-наночастица-полимер, подтверждает получение прочного строительного продукта и применение его в строительстве кровли, фасадной доски, тротуаров, пирсов, портовых сооружений и т.д.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: древесно-полимерные материалы, отработанный алюмохромовый катализатор, катионы хрома, наноконструкт, компаундирование, СВЧ-излучение, полипропилен.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Боев Е.В., Касьянова Л.З., Исламутдинова А.А., Аминова Э.К. Способ производства наноструктурированной древесно-полимерной композиции с СВЧ-применением // Нанотехнологии в строительстве. 2023. Т. 15, № 4. С. 342–348. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2023-15-4-342-348>. – EDN: LWTISZ.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время потребление материалов из дерева ежегодно растет с увеличением потребления в различных областях строительства. Среди наиболее востребованных пород деревьев следует выделить сосну, ель, кедр и лиственницу. Использование данных пород связано с их низкой стоимостью и наибольшей

распространенностью на территории Российской Федерации. Продукция, полученная на основе переработки данных видов дерева, обладает высокой прочностью, стойкостью к гниению. Как показывает статистика, деревообрабатывающая промышленность образует большое количество отходов (древесных опилок), не находящихся полноценного применения.

© Боев Е.В., Касьянова Л.З., Исламутдинова А.А., Аминова Э.К., 2023

Скопление больших объемов опилок, чаще всего складываемых на поверхности почвы, оказывает серьезное негативное воздействие на нее и существенно закисляет почвенный покров, а также обедняет ее по азоту. В связи с этим часть исследований направлена на изучение возможности квалифицированного применения.

Получение термостабильных пластических древесно-полимерных материалов в настоящее время является приоритетным и постоянно развивающимся направлением в области строительной индустрии. Отходы технологии лесопильно-деревообрабатывающего производства являются многотоннажными и наносят вред почве, окисляя ее. На сегодняшний день общепризнанным и экологичным является использование древесных опилок при производстве древесно-полимерных материалов. Связующим компонентом древесно-полимерных материалов используют различные виды полимеров. Часть полимеров представляет собой побочные продукты, вторая – отходы или некондиционный продукт. Большой спрос имеют материалы, не вызывающие негативного воздействия на человека и стойкие к воздействию окружающей среды (свет, воздух, перепады температур, влажность и др.). Несмотря на это, большинство строительных материалов не удовлетворяет потребителей по технологическим показателям, имея в составе некачественные компоненты и наполнители [1–4]. Способ введения наноконструктивных компонентов в структуру полимерно-растительных материалов разнообразен. Технология введения наноконструктивных компонентов в состав строительных материалов позволяет регулировать эксплуатационные характеристики продукта согласно требованиям заказчика [5–9].

Одним из наиболее распространенных методов является компаундирование, так как он позволяет равномерно распределить нанодобавку в основном полимерно-древесном материале с последующей термической обработкой [5–11]. Большой спрос на данный вид наноструктурированного растительного материала связан с увеличением потребности в связи с увеличением строительных площадок на вновь присоединенных территориях Российской Федерации. Таким образом, растущий спрос на древесно-полимерные композиции требует поиска более эффективных связующих материалов для удовлетворения заказов потребителей.

Одним из интересных подходов по получению наноструктурированных древесно-полимерных материалов является получение их с применением отработанных или вторичных материалов нефтехимических производств. Как показывает практика, исследовательским путем доказано, что металлы, образующие комплексы, способны образовывать

наноструктуры, обеспечивающие прочность и долговечность строительного материала.

В связи с этим в работе нами были изучены хромосодержащие катализаторные отходы, которые ежегодно накапливаются в больших объемах и до сих пор не нашли надлежащего применения.

Основным источником хромосодержащих отходов являются крупнотоннажные производственные объединения и другие нефтехимические производства. Алюмохромовые катализаторы являются микросферическими и используются в таких процессах, как дегидрирование легких углеводородов, в частности, изобутана и изопентана. Процесс проводят в псевдоожиженном слое. Несмотря на то, что технология, в которой используются такие катализаторы, содержащие шестивалентный хром, являющийся канцерогеном, оправдывается с экономической точки зрения, так как компоненты, входящие в данный катализатор, являются дешевыми и доступными, использование этих катализаторов экономически оправдано, а утилизация твердых отходов производств с использованием алюмохромовых катализаторов является актуальной задачей.

Нефтехимические предприятия затрачивают ежегодно миллиарды рублей на захоронение отработанных катализаторов. Несмотря на это, количество аварийных случаев растет. Однако предприятия учитывают только возможность регенерации отработанных катализаторов и повторного их использования в каталитических процессах. Хотя данные отходы можно рассмотреть с точки зрения ценного вторсырья, для многих производств, в том числе в строительстве, около 95% отходов производств, используемых алюмохромовые катализаторы, квалифицированно не применяется в связи с их высокой токсичностью. Более 80% аварийных случаев возникает из-за высокой степени изношенности и длительного использования хранилищ. Многие исследователи занимались разработкой способов переработки данных отходов. Предлагаемые ранее способы утилизации отходов алюмохромовых катализаторов имеют ряд недостатков: неполное извлечение твердых отходов ценных металлов, выделение компонентов с помощью агрессивных сред кислот и щелочей, способы, предполагающие на переработку большие затраты, значительно превышающие стоимость исходных материалов, что экономически не оправдано.

В работе предлагается переработка канцерогенного хромосодержащего отхода под воздействием СВЧ-поля в нетоксичный хром (+3) и его вторичное использование в качестве наноструктурированного комплекса в производстве строительных материалов. Предлагаемый способ может быть внедрен в производство, использующее технологии гетерогенных катализаторов, широко применяемых в нефтехимии.

Применение микроволнового излучения позволит понизить температуру прокаливания. Снижение температуры позволит существенно снизить энергозатраты за счет уменьшения времени прокаливания и проведения реакций в более мягких условиях. На производстве при дегидрировании изопарафинов, в частности, изопентана, используют алюмохромовый катализатор марки ИМ-2201, активным центром данного катализатора является шестивалентный хром. Подвергнув отработанный алюмохромовый катализатор марки ИМ-2201 восстановлению в СВЧ-поле, удается обезвредить высокотоксичный оксид хрома (VI) в менее токсичный оксид хрома (III). Данный переход позволит значительно увеличить скорость процесса восстановления шестивалентного оксида хрома.

Сверхвысокочастотное воздействие, во-первых, обеспечивает равномерное распределение нагрева и осушки практически любого материала с высокой скоростью [12]. Во-вторых, эффективно прогревает и осушает композиционные материалы, не излучая вредное воздействие на внешнюю среду с широким частотным охватом. Впитывание остаточной влаги из исследуемых объектов обычно применяют в диапазоне более 300 МГц [13, 14].

В работах [15, 16] авторы применили СВЧ-воздействие в процессе приготовления гетерогенных катализаторов, что позволило увеличить скорость получения катализатора, равномерное распределение активных центров и равномерный прогрев объемной фазы контакта. Тематика исследования привлекательна тем, что данные алюмохромовые катализаторы широко применяются при получении востребованных мономеров состава C_3-C_5 , продуктов высокомолекулярных соединений [17].

Применение микроволнового воздействия на различные материалы активно изучалось еще в 2000–2010 гг. и до сих пор вызывает интерес ученых, в связи с чем исследована возможность СВЧ-обработки древесно-полимерной композиции, в состав которой входит отработанный катализатор, содержащий ионы хрома и алюминия, основным компонентом которого является канцерогенный хром (+6) в качестве комплексного наносвязующего. Под СВЧ-воздействием происходит одновременное восстановление хрома и образование трехкомпонентного комплекса дерево-наночастица металла-полимер.

Современным и эффективным методом переработки отходов деревообрабатывающей промышленности является создание древесно-металлических композиций. Наличие металлических наполнителей в составе древесно-полимерной композиции позволяет получить материалы с высокими виброгасящими свойствами, кроме того, они обеспечивают высокую теплопроводность композиции, такие ха-

рактеристики важны для строительных конструктивных материалов.

Анализ научной литературы показал, что увеличение износостойкости деталей и конструкций из древесно-металлических композиций, вероятно, достигается за счет улучшения объемных характеристик, связанных со строением и физико-химическими свойствами отдельных структурно-компонентных составляющих древесной матрицы и металлической наноструктуры. Наличие металлических наполнителей дает возможность получить более прочные материалы.

Применение металлических элементов, вводимых в объем древесно-полимерных композиций, приводит к изменению структуры поверхностного слоя, улучшает взаимную микрогеометрию контактирующих поверхностей. Данная композиция повышает показатель коэффициента трения и эффективно отводит тепло от поверхности металла по всей площади композиции. Данный тепловой эффект способствует образованию высокого сцепления в комплексе древесина-металл-полимер. При дальнейшем использовании таких материалов в строительстве имеется возможность получения продукции с требуемой потребителями геометрической формой, такой как листы, балки, плиты, перекрытия и т.д.

В зависимости от фракции и состава древесных опилок и полимерных материалов при включении в их состав твердых отходов алюмохромового катализатора можно также регулировать такие основные физические свойства для потребителя, как пластичность, гибкость, термостойкость, влагоемкость и цветоустойчивость.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В работе предлагается исследование древесных опилок, полученных путем продольного и поперечного раскроя пиломатериалов, в состав которых входит измельченная древесина в количестве 5–10% к общей массе. Фракционный состав опилок (диаметр) составляет от 5,5 до 0,16 мм (сортировка фракции производилась ситом с диаметром не более 5,5 мм). Опилки, имеющие диаметр более 6 мм, при компаундировании с полимером и катализаторными отходами при СВЧ обработке показали неравномерность поверхности материала, снижение качества сцепления, неоднородность нанокomпозиции. Таким образом, было принято решение продолжить исследование с использованием более мелких фракций отходов деревообрабатывающей промышленности, не превышающих 6 мм.

В качестве полимерного материала были изучены полиэтиленовые, полипропиленовые, полистирольные пленки некondиционнoгo состава. Таким

образом, в работе решалась проблема дополнительного способа переработки отходов полимерной промышленности. Из изученных полимерных отходов наиболее предпочтительным при компаундировании показал себя полипропилен за счет своей прочности и стойкости к воздействию окружающих факторов. Недостатком полистирольного композита является присутствие запаха, не приемлемого при использовании в строительстве, особенно в закрытых помещениях.

Для переработки отходов деревообрабатывающей промышленности необходимо учитывать их физико-химические показатели при воздействии высокочастотного излучения. Важным показателем, определяющим глубину проникновения, является степень поглощения древесно-полимерной композицией электромагнитного излучения [18, 19]. Расчет высоты слоя древесно-полимерной композиции определяют величиной глубины полного проникновения СВЧ-излучения [20]. Воздействие электромагнитного поля на алюмохромовый катализатор способствует переводу наночастицы шестивалентного хрома (Cr^{+6}) в трехвалентный хром (Cr^{+3}). Геометрические размеры древесно-полимерной композиции существенно больше, чем глубина проникновения электромагнитного поля, что приводит к неравномерному поглощению электромагнитной энергии и неоднородности нагрева ДП-композиции.

Пропиточный способ синтеза катализаторов на основе алюминий-хром включает следующие последовательные операции. Подготовительный этап состоит из приготовления пропиточного раствора, пропитки основы контакта катализатора, его осушки с последующей активацией. Процесс приготовления катализатора сопряжен с его физическими и химическими изменениями, следовательно, воздействие микроволн и глубина их проникновения при компаундировании древесно-полимерных отходов с отходом алюмохромового катализатора на каждом этапе различна.

Расчет расстояния проникновения микроволнового излучения в изучаемую наноконпозицию

Таблица 1

Глубина проникновения микроволнового излучения

Наименование	Насыпная плотность, г/см ³	Глубина проникновения, см	Удельная мощность, кВт/кг
Образец ДП-композиция 1 (без хрома, влажный)	1,17	10	3,571
Образец ДП-композиция 2 (хром – 5%)	1,21	17	4,123
Образец ДП-композиция 3 (хром – 10%)	1,25	15	2,575

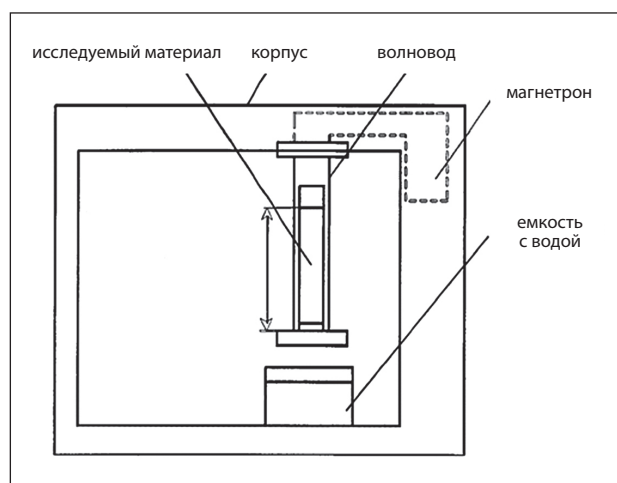


Рис. 1. Установка определения глубины излучения

представлен на рис. 1. Условия исследования: РЧ = 2450 МГц, G = 366,24 Вт.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты исследования по вычислению глубины проникновения электромагнитного воздействия на ДП-композицию, содержащую наночастицы хрома, приведены в табл. 1.

Согласно данным таблицы, глубина проникновения электромагнитного излучения составила без компаундирования с отходами алюмохромовых катализаторов 10 см, а в составе с хромом – 5% и 10%, 17 см и 15 см, соответственно.

Установка высокочастотного электромагнитного воздействия представлена на рис. 2. Образцы древесно-полимерной композиции подвергались воздействию в резонаторе генератора электромагнитного излучения. Условия проведения эксперимента: G = 900 Вт, ЧИ = 2450 МГц (длина волны 12,2 см). Равномерность распределения нагрева поперечного слоя исследуемого образца вели по контрольным точкам в экспериментальном блоке электромагнитной печи ртутным термометром. Скорость изменения тем-

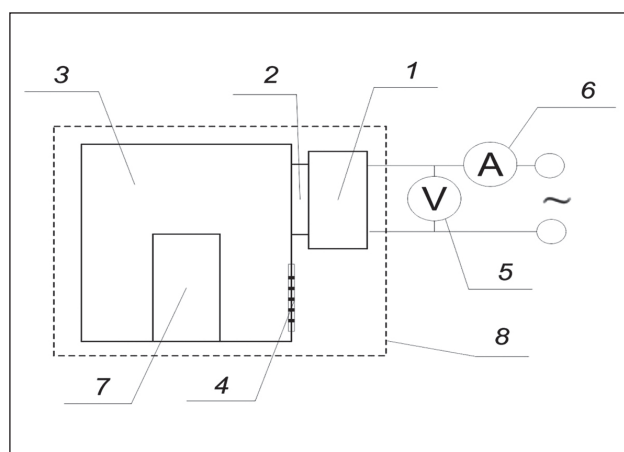


Рис. 2. Схема лабораторной СВЧ установки:
1 – электромагнитный генератор; 2 – волновод;
3 – экспериментальный блок; 4 – отверстия для
вентиляции; 5 – вольтметр; 6 – амперметр;
7 – образцы ДП-композиции; 8 – корпус
электромагнитного излучателя

пературы в исследуемых образцах контролировали с помощью тепловизора марки Testo 882 каждые 10 минут. Длительность эксперимента 30 минут, по завершении эксперимента образцы подвергались весовому анализу.

По окончании СВЧ-воздействия глубина проникновения образцов 2 и 3 составила 17 и 15 см. Глубина проникновения увеличилась значительно, что объясняется значительным содержанием кристаллизационной воды в древесно-полимерном материале без хрома. По мере удаления влаги при термической обработке из ДП-композиций величина глубина проникновения излучения растет до 17 и 15 см. ДП-композиция с содержанием хрома 5% имеет большую глубину проникновения СВЧ-излучения, увеличение концентрации отхода снижает глубину проникновения СВЧ-поля. Это связано с изменением наноструктуры ДП-композиции по таким показателям, как плотность и прочность. Следует также отметить, что СВЧ-воздействие вызвало изменение химического состава ДП-композиции: Cr^{+6} восстановился до Cr^{+3} ($\text{CrO}_3 \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_3$).

Скорость нагрева в зависимости от температуры в диапазоне от 20 до 200°C во времени представлена на рис. 3. Кривая скорости нагрева демонстрирует в первые пять минут эксперимента резкий сьем влаги в верхних слоях ДПК-образца. Далее в течение следующих 15 минут происходило медленное испарение воды, связанное с преобразованием наноструктуры и переходом хрома (VI) в хром (III). Далее резкий подъем кривой скорости свидетельствует о переходе ДП-композиции в однородную структуру.

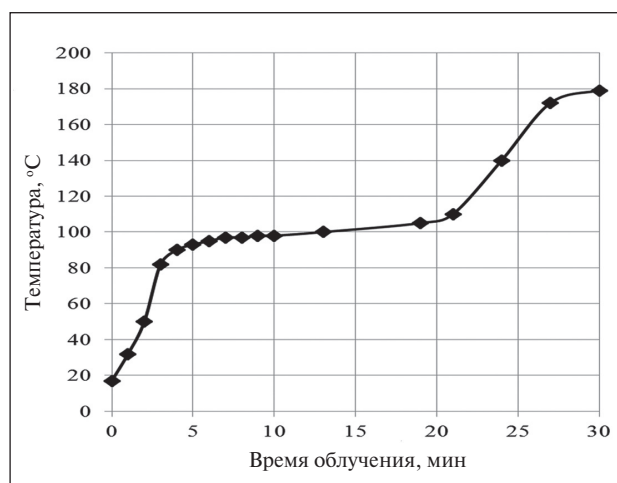


Рис. 3. Кривая скорости нагрева ДП-композиции

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные исследования с использованием микроволнового излучения на композит ДП-композиции и отработанного хрома (+6) позволяют решить экологическую проблему каталитических процессов, где образуются канцерогенные соединения хрома с получением востребованных в строительстве прочных и долговечных наноматериалов. В работе определена глубина проникновения волн высокой частоты, способствующая снижению валентности хрома, также наблюдается изменение цвета наноструктурированной древесно-полимерной композиции (ДП – композиции) с желтого цвета на малахитовый.

Полученный наноструктурированный древесно-полимерный композит испытан на технологические показатели, представленные в табл. 2.

Предложенная ДП-композиция не уступает по своим технологическим характеристикам и улучшает прочность при изгибе, превосходя показатели чистого полимера. По прочности превосходит показатели чистого дерева.

Вторым преимуществом является низкий показатель водопоглощения, что способствует долговечности и стойкости к микробиологическому разложению.

Поглощение воды заметно в наружных слоях ДП-композиции, оно равномерно снижается в глубь материала.

Таким образом, СВЧ-воздействие является эффективным способом получения ДП-композиции. Стоит обратить внимание только на размеры обрабатываемой зоны ДП-композиции при использовании в промышленных условиях или необходимо конструирование специальных аппаратов СВЧ-воздействия [22].

Таблица 2

Технологические показатели

Наименование показателя	ДП-композиция (хром 5%)	ДП-композиция (хром 10%)
Плотность	0,911	0,978
Прочность при растяжении	20,136–30,338	30,178–39,15
Прочность при сжатию	27	35
Прочность при изгибе	18–33	37,5
Набухание	0,01	0,01

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При СВЧ воздействии на шихту, в составе опилки хвойных пород – хром (III)-полипропилен предпочтительнее использовать фракцию опилок в диапазоне 2,5–1 мм. Полученный продукт после СВЧ-обработки представляет собой однородную, почти гладкую пластичную массу. Данный нанокпозиционный материал был выдавлен через фильеру (метод экструзии) с получением строительного

профиля. Полученные нами наноструктурные композиции на основе отходов деревообрабатывающей промышленности позволят решить две технологические проблемы: во-первых, вторично использовать отходы деревообработки, во-вторых, утилизировать канцерогенный хром (+6) с получением безопасных, характеризующихся высокими эксплуатационными показателями наноматериалов, которые могут быть использованы в строительстве кровли, фасадной доски, тротуаров, пирсов, портовых сооружений и т.д.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Клесов А.А. Древесно-полимерные композиты. СПб: Научные основы и технологии, 2010. 736 с.
2. Тюкина Ю.П., Макарова Н.С. Технология лесопильно-деревообрабатывающего производства [Текст] / Ю.П. Тюкина, Н.С.Макарова. М.: Высшая школа, 1988. 271 с.
3. Kokta B.V. Composites of Polyvinyl Chloride-Wood Fibers. *Vinyl Tech.* 1990;12(3):146–53.
4. Matuana L.M., Balatinecz J.J., Park C.B. Surface Characteristics of Chemically Modified Fibers Determined by Inverse Gas Chromatography. *Wood Fiber Sci.* 1999;31:116–27.
5. Коршун О.А., Романов Н.М., Наназашвили И.Х. Экологически чистые древеснонаполненные пластмассы // Строительные материалы. 1997. № 5. С. 8–11.
6. Boev E.V., Islamutdinova A.A., Aminova E.K. Development of technology for obtaining anticorrosive nanostructured polyalkenylamide-succinimide coatings in construction. *Nanotechnol Constr.* 2023;15(1):6–13.
7. Ilin V.M., Boev E.V., Islamutdinova A.A., Aminova E.K. Development of heavy metal-based nanostructured complex technology for use in building mortar. *Nanotechnol Constr.* 2022;14(5):398–404.
8. Boev E.V., Islamutdinova A.A., Aminova E.K. Method of obtaining calcium silicate for construction. *Nanotechnol Constr.* 2021;13(6):350–57.
9. Boev E.V., Islamutdinova A.A., Aminova E.K. Obtaining the retainer for waterproofing road bitumens. *Nanotechnol Constr.* 2021;13(5):319–27.
10. Каримов О.Х., Даминев Р.Р., Касьянова Л.З., Каримов Э.Х. Применение СВЧ-излучения при приготовлении металлоксидных катализаторов // Фундаментальные исследования. 2013. № 4-4. С. 801–805.
11. Каримов О.Х., Даминев Р.Р., Касьянова Л.З., Каримов Э.Х. Модифицирование алюмооксидного носителя для катализатора дегидрирования легких углеводородов под действием СВЧ-поля. Башкирский химический журнал. 2012. Т. 19. № 4. С. 7–9.
12. Мусин И.Н., Файзуллин И.З., Вольфсон С.И. Влияние добавок на свойства древесно-полимерных композитов // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 24. С. 97–99.
13. Рогов И. А., Некрутман С. В. Сверхвысокочастотный нагрев пищевых продуктов. М.: Пищевая промышленность, 1986. 351 с.

14. Использование электромагнитного излучения сверхвысокочастотного диапазона для сушки минеральных солей / И.Х. Бикбулатов, Р.Р. Даминов, Н.С. Шулаев, Е.А. Шулаева // Известия Вузов: Химия и хим. Технология, 1999. Т. 42, вып. 2. С. 135–138.

15. Хайдурова А.А., Федчишин В.В., Коновалов Н.П. Микроволновая сушка бурых углей и повышение их технологических характеристик // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. Казань: Изд-во Казанского государственного энергетического университета, 2010. № 1–2. С. 31–35.

16. Быковский Н.А., Пучкова Л.Н., Фанакова Н.Н. Исследование токсичности дистиллерной жидкости аммиачно-содового производства различными тест-объектам // Экология и промышленность России. 2015. Т. 19, № 10. С. 48–51.

17. Большина Е.П. Экология металлургического производства. Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2012. 155 с.

18. Патент РФ 2176288, МПК C23F1/46. Способ утилизации и обезвреживания отходов травления титанового производства / А.Н. Трубин, Г.И. Гриль. №2000105528/02; заявл. 06.03.2000, опубл. 27.11.2001

19. Патент РФ 2546646 С1. Катализатор, способ его получения и процесс дегидрирования парафиновых углеводородов C4–C5 олефиновые с использованием катализатора» / Л.З. Касьянова, А.Н. Ибрагимов, И.Д. Гумеров, Д.А. Жаворонков №2014110169/04; заявл. 17.03.2014, опубл. 10.04.2015

20. Патент 4943419 США, МПК C01G23/00. Process for recover in galkali metal titanium fluoride salts from titanium pickleacid baths / Joseph A. Megy (США). №US07/331.583; заявл. 30.03.1989, опубл. 24.07.1990

21. Каримов Э.Х., Флид В.Р., Мовсумзаде Э.М., Тептерева Г.А., Четвертнева И.А. Применение лигно-сульфонатов для снижения отходов отработанных ионообменных катализаторов в нефтехимическом производстве // Экология и промышленность России, 2022. Т. 26, №. 1. С. 4–8.

22. Азаров В.И., Буров А.В., Оболенска А.В. Химия древесины и синтетических полимеров. Санкт-Петербург: СПбЛТА, 1999. 627 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Боев Евгений Владимирович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Общая химическая технология», заместитель директора по учебной и воспитательной работе, Институт химической технологии и инжиниринга ФГБОУ ВО Уфимского государственного нефтяного университета в г. Стерлитамаке, Республика Башкортостан, Россия, 9196011116@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9255-6142>

Касьянова Лилия Зайнулловна – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры «Общая химическая технология», Институт химической технологии и инжиниринга Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Стерлитамаке, Республика Башкортостан, Россия, kasyanova-liliya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1831-2793>

Исламудинова Айгуль Акрамовна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Общая химическая технология», Институт химической технологии и инжиниринга Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Стерлитамаке, Республика Башкортостан, Россия, aygul_ru@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3104-2097>

Аминова Эльмира Курбангалиевна – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры «Общая химическая технология», Институт химической технологии и инжиниринга Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Стерлитамаке, Республика Башкортостан, Россия, k.elmira.k@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3105-3477>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 30.06.2023; одобрена после рецензирования 24.07.2023; принята к публикации 28.07.2023.