Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»

На правах рукописи

Ву Ким Лонг

Рециклинг отходов производства изделий авиационной техники на базе ПКМ с целью регенерации углеродных волокон и получения активных углей

05.17.01 Технология неорганических веществ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва – 2020

Работа выполнена на кафедре химической технологии углеродных материалов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

Научный руководитель доктор технических наук, профессор Клушин Виталий Николаевич, профессор кафедры промышленной экологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Самонин Вячеслав Викторович	заведующий кафедрой химии и технологии материалов и изделий сорбционной техники ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)»
доктор химических наук, профессор Алехина Марина Борисовна	профессор кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических процессов ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева»

Ведущая организация федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»

Защита диссертации состоится «22» октября 2020 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета РХТУ.05.01 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» (125047 г. Москва, Миусская пл., д. 9, ауд. 443, конференц-зал)

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном центре РХТУ им. Д.И. Менделеева и на сайте федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» https://muctr.ru/university/departments/ods/inhouse/inhouse_announcements/
Автореферат диссертации разослан «____» _____ 2020 г.

Ученый секретарь диссертационного совета РХТУ.05.01
Кандидат технических наук Стоянова А.Д.

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) с ожидаемым общим объемом выпуска в России в 2020 г. в размере 118 тысяч тонн в год активно используют практически во всех отраслях промышленности. С учетом этого объем ПКМ, подлежащих утилизации, по различным оценкам может достигать 1–3 % от годового производства. Для широкого круга таких отходов, имеющих высокие значения показателей термической и химической стойкости к внешним воздействиям окружающей среды, механической прочности и стоимости входящих в них углеродных наполнителей (у рубленого углеродного волокна 3–5,5 тыс. руб./кг), проблема утилизации носит как экономический, так и экологический характер.

Все методы утилизации отходов угле-, органо- и стеклопластиков, ориентированные на выделение армирующего наполнителя (волокна), объединяет необходимость разрушения матрицы (связующего), сопровождаемого получением различных продуктов переработки. При сопоставлении возможных методов показано, что для максимального сохранения свойств каждого наполнителя предпочтителен свой метод утилизации: для углепластиков, например, это пиролиз и сольволиз, для стеклопластиков – пиролиз. Отмечено, что при пиролизе отходов органопластиков, при нагревании которых наполнитель обычно разрушается вместе со связующим веществом, в ряде случаев можно ориентироваться на получение достаточно дорогостоящих и эффективных углеродных адсорбентов типа активированных (активных) углей. Данные адсорбенты могут быть использованы в многочисленных промышленных производствах для рафинирования газовых и жидких сред и потоков, в различных смежных отраслях экономики, а также при решении широкого круга задач защиты окружающей среды.

Цель и задачи исследования. Целью работы является технологическое обоснование рециклинга отходов производства изделий авиационной техники на базе ПКМ, ориентированного на регенерацию углеродных волокон и получение активных углей.

Для достижения этих целей задачи работе направлены на:

- термографическое исследование отходов угле- и органопластиков для выявления рациональных условий термического воздействия на них при пиролизе и особенностей их деструкции;
- исследование закономерностей операций пропитки сырья гидроксидом калия и влияния параметров химической активации импрегнированных композиций на технические характеристики получаемого активного угля, обусловливающего рациональные условия реализации данного процесса;
- разработку основ технологии производства на названной основе с использованием каменноугольной смолы гранулированных активных углей;
- решение задачи упрочнения гранул получаемого активного угля введением в сырьевую композицию для их производства вторичных углеродных волокон, полученных термической переработкой отходов органопластиков, в качестве армирующих компонентов;
- изучение структурных показателей и поглотительной способности целевых продуктов названной переработки;
- установление материального баланса процесса получения активного угля, реализуемого в рациональных условиях, с оценкой состава и ряда свойств побочных продуктов;
- оценку сравнительной эффективности использования полученных углеродных адсорбентов в решении прикладных задач очистки производственных выбросов и сбросов с установлением их особенностей, кинетических и равновесных закономерностей;
- разработку технологической схемы производства гранулированных активных углей на базе названных отходов и ее аппаратурного оформления;
- выполнение ориентировочного технико-экономического обоснования разработанной технологии.

Научная новизна. В работе впервые с использованием образцов отходов ПКМ, предоставленных ВИАМ:

- разработаны основы технологии гранулированных активных углей на базе отходов ПКМ методом химической активации с КОН;

- установлен характер и выявлены закономерности влияния на выход и технические характеристики целевого продукта условий пропитки сырья раствором КОН и с использованием метода математического планирования эксперимента - интенсивности нагревания сырьевых композиций, конечной температуры и длительности изотермической выдержки при ней получаемого активного угля;
- с привлечением метода низкотемпературной адсорбции азота выявлены закономерности трансформации пористой структуры целевых продуктов при переходе от их порошковой формы к гранулированной;
- с привлечением спектроскопии комбинационного рассеяния на поверхности полученного активного угля выявлено наличие кислородсодержащих групп, потенциально свидетельствующее о способности этого материала к извлечению ионов тяжелых металлов;
- определены кинетические и равновесные характеристики полученных адсорбентов в процессах рекуперации паров летучих растворителей (на примере извлечения н-бутанола из смесей его паров с воздухом), сопоставленные с таковыми активного угля марки АР-А; выявлены закономерности и особенности поглощения ими органических примесей из многокомпонентных сточных вод (на примере обработки стоков с территории коксохимического производства ОАО «Москокс»);
- обоснована возможность термической переработки отходов производства ПКМ с получением вторичных углеродных волокон, обеспечивающих повышение прочности получаемых гранулированных активных углей при их введении в количестве 1 % масс. в качестве армирующего материала в сырьевые композиции для их производства.

Практическая значимость:

- обоснована принципиальная возможность использования отходов производства ПКМ-изделий авиационной техники в качестве сырья для получения методом химической активации активных углей высокого качества;
- показано, что полученные порошковые, гранулированные и армированные активные угли не имеют отличий в их поглотительной способности;

- обнаружена уникальная способность полученных активных углей к глубокому извлечению бензола и толуола из их водных растворов низкой концентрации;
- предложена аппаратурно-технологическая схема разработанной технологии и выполнено её ориентировочное технико-экономическое обоснование, свидетельствующее о целесообразности её практической реализации;
- путем сопоставительных исследований выявлена перспективность эффективного использования полученных активных углей в решении задач очистки и обезвреживания газовых и жидких сред от загрязняющих примесей.

Апробация работы. Результаты выполненных исследований доложены и обсуждены на конгрессах и конференциях «Успехи в химии и химической технологии» 2017, 2018 и 2019 (М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева), Всероссийской молодежной конференции «Химическая технология функциональных наноматериалов» (М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2017), Международных научно-практических конференциях «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2018, 2019» Севастополь: Сев. ГУ, III-й Всероссийской научной конференции «Актуальные проблемы теории и практики гетерогенных катализаторов и адсорбентов» Иваново, Серебряный Плес, 2018, IV-ом Всероссийском научном симпозиуме «Актуальные проблемы теории и практики гетерогенных катализаторов и адсорбентов» Суздаль, 2019.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ, включая патент на изобретение, из них 4 статьи в рецензируемых изданиях, в том числе 1 статья в издании, индексируемом в международной базе данных Scopus.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 163 страницах, состоит из введения, 4-х глав, выводов и списка литературы, содержит 42 таблицы и 60 рисунков. Список литературы включает 206 источников, в том числе 136 зарубежных.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты термографии отходов ПКМ в атмосферах азота и воздуха;
- оптимальные условия реализации процессов пиролиза углепластиков и химической активации органопластиков с КОН, обусловливающие рациональное сочетание выхода и качества целевых продуктов;

- показатели выхода, технических характеристик, пористой структуры и поглотительной способности целевых продуктов операций химической активации;
- данные аналитических исследований побочных продуктов пиролиза сырья;
- оптимальные условия получения и результаты оценки технических характеристик гранулированного активного угля, а также таковые повышения его прочности введением армирующих вторичных углеродных волокон;
- данные сопоставительной эффективности использования полученных активных углей в решении задач глубокой очистки ряда газовых и жидких сред, демонстрирующие их очевидные преимущества;
- аппаратурно-технологическая схема производства гранулированных активных углей из отходов органопластика и итоги её ориентировочного технико-экономического обоснования.

Основное содержание работы:

Во введении обоснована актуальность и перспективность темы работы.

В обзоре литературы (глава 1) проанализированы научные работы по теме диссертации, сформулированы выводы и акцентированы основные задачи исследования.

В главе 2 охарактеризованы объекты исследования и углеадсорбционной обработки, экспериментальные установки, методики их эксплуатации и аналитические средства оценки структурно-адсорбционных и технических показателей целевых и побочных продуктов разрабатываемой технологии наряду с достоверностью выполненных измерений. В качестве объектов исследования использованы предоставленные ВИАМ образцы угле- (У-1 - У-7) и органопластиков (О-1, О-2), представляющие собой отходы полимерных композиционных материалов (ПКМ).

В главе 3, включающей 6 разделов, представлены результаты исследования сырья, рациональные условия реализации процессов его пиролиза и активации, оценки возможных направлений совершенствования качества получаемых активных углей.

В разделе 3.1 освещены результаты термографических исследований названных отходов в атмосферах азота и воздуха, на основании которых оценены рациональные области термического воздействия на них при пиролизе.

В разделе 3.2 представлены и обсуждены результаты оценки выхода и адсорбционно-структурных показателей целевых продуктов термической переработки названных отходов в защитной и окислительной атмосферах, на основании которых выявлена слабость развития пористой структуры и поглотительной способности продуктов пиролиза и окисления. При этом попытка активации водяным паром кабонизатов органопластиков не обеспечивает в названном плане желаемого результата.

Раздел 3.3 содержит обоснование рациональных условий химической активации органопластика, как наиболее эффективного приёма получения активных углей. Здесь прослежено влияние на выход и качество получаемого активного угля концентрации пропиточного раствора КОН, а также с привлечением метода математического планирования эксперимента режима процесса пиролиза, экспериментально обоснованы оптимальное отношение пропитки сырья 40 %-ным раствором КОН 1:(1,5-1,6) и рациональные условия выполнения этой операции (интенсивность нагревания 15 °С/мин. до 700 °С и длительность выдерживания при этой температуре 45 мин.), оценены технические характеристики отмытых и высушенных адсорбентов (см. табл. 1).

Таблица 1 - Характеристики сырьевых композиций и активных углей

Показатели		Номер образца				
		1	2	3	**4**	5
Массовое отношение О-2 к КОН		1:1,07	1:1,25	1:1,42	**1:1,59**	1:1,75
Выход после активации, % от массы пропитанного образца		77,0	71,4	74,2	**74,1**	73,0
Выход после промывки, % от начальной массы образца		39,2	45,8	44,7	**39,4**	37,5
Объём ($см^3$/г) сорбирующих пор по парам:	H_2O	0,346	0,284	0,290	**0,428**	0,331
	C_6H_6	0,398	0,294	0,300	**0,484**	0,359
	CCl_4	0,320	0,257	0,252	**0,363**	0,320
Сорбционная активность по метиленовому голубому, мг/г		235	160	120	**365**	263
Сорбционная активность по йоду, мг/г		1090	1030	1020	**1180**	1150

Обработкой экспериментальных данных получена математическая модель, адекватно отражающая зависимости показателей качества адсорбентов от названных параметров пиролиза:

$$ПК_{расч} = 0,157 + 0,075\ x1 + 0,157\ x2 + 0,075\ x3 + 0,075\ x1x2 + 0,075\ x2x3 + 0,033\ x1x3 + 0,033x1x2x3.$$

В этом же разделе освещены вопросы формования сырьевых композиций на базе органопластика и КОН с использованием каменоугольной смолы (КУС) для получения гранулированного активного угля, внешний вид которого сопоставлен с таковым порошкового на рис. 1.

Рисунок 1 - Внешний вид порошка (а) и гранулята (б) активных углей

Гранулированный активный уголь АУ-О2-Г сохраняет пористую структуру порошкового АУ-О2-Опт, приобретает мезопористость за счет пиролиза смолы и имеет прочность при истирании не менее 56 %. СЭМ-фотографии полученных адсорбентов (рис. 2) дают представление об их внешнем виде и пористости.

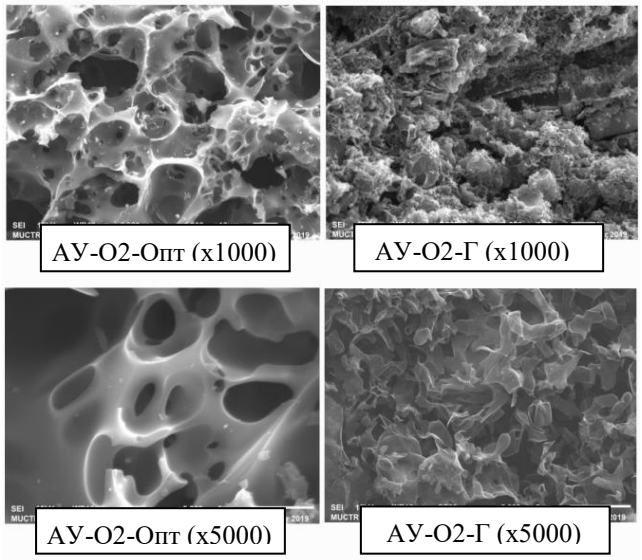

Рисунок 2 - СЭМ-снимки адсорбентов на основе органопластиков

Изотермы низкотемпературной адсорбции азота порошковым и гранулированным углями (рис. 3) позволяют отнесение обоих углей к первому структурному типу. Появление петли гистерезиса на рис. 3-б связано со смолой КУС.

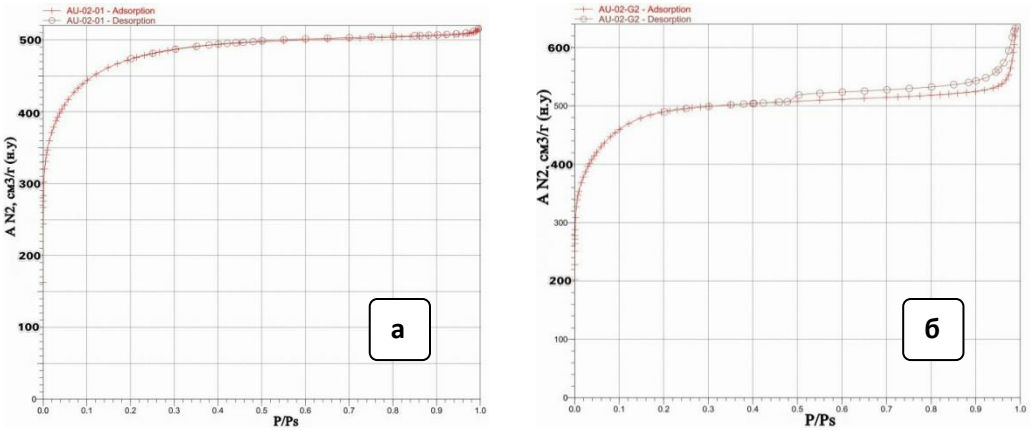

Рисунок 3 - Изотермы адсорбции и десорбции азота при 77 К порошковым (а) и гранулированным (б) активным углем

Распределение объема пор по размерам обоих материалов отражает рис. 4.

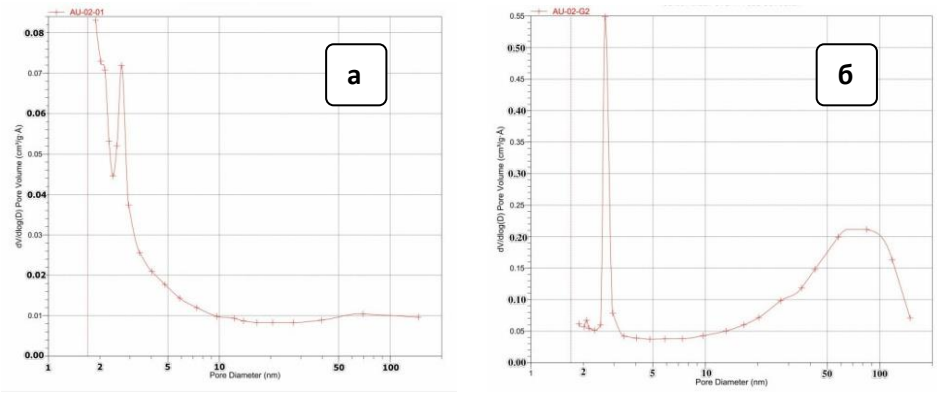

Рисунок 4 - Характер распределения объема пор по размерам активных углей в виде порошка (а) и гранул (б)

В табл. 2 приведены стуктурно-адсорбционные характеристики обоих углей.

Охарактеризованная информация свидетельствует о возможности производства из рассматриваемых отходов порошковых и гранулированных активных углей весьма высокого качества: высокопрочный уголь ФАС (объём микропор 0,45 см^3/г, поверхность микропор 1200-1400 м^2/г), уголь на каменноугольной основе АГ-3 (объём микропор 0,25 см^3/г, поверхность микропор 800-1000 м^2/г) и один из углей на базе СВМ (суммарный

объём пор 0,78 см^3/г) существенно уступают углям АУ-О2-Опт и АУ-О2-Г по указанным параметрам.

Таблица 2 - Структурно-адсорбционные характеристики порошкового и гранулированого активных углей

Показатель		**Образец**	
		АУ-О2-Опт	**АУ-О2-Г**
Форма АУ		Порошок	Гранулы
Прочность гранул при истирании, %		менее 38	не менее 56
Суммарный объём пор, см^3/г		2,8	3,1
Объём сорбирующих пор V^S (1.7-300 нм), см^3/г (БДХ)		0,036	0,203
Объём микропор $V_{ми}$, см^3/г (t-Plot)		0,674	0,714
Средний диаметр пор, нм (БДХ)		4,6	14,3
Удельная поверхность Sуд, м^2/г (БЭТ)		2200	2272
Предельный объём микропор W_0, см^3/г (ДА)		0,629	0,708
Удельная поверхность микропор $S_{ми}$, м^2/г (ДА)		1518	1716
Выход АУ, %		37,5	40
Суммарный объём пор, см^3/г		2,8	3,1
Объём сорбирующих пор (см^3/г) по парам	H_2O	0,395	0,385
	C_6H_6	0,450	0,618
	CCl_4	0,357	0,334
Адсорбционная активность (мг/г) по:	йоду	1182	1208
	метил. гол.	348	356

Раздел 3.4 характеризует побочные продукты ключевой операции пиролиза - конденсата и неконденсируемых при комнатной температуре газов. Конденсат плотностью 1,12 кг/дм^3 имеет темно-вишневый цвет, резкий неприятный запах и выход ~ 22 %, он не горюч и не образует отдельных слоев при хранении. При его перегонке на песчаной бане в интервале до 100 °С в количестве 98 % масс. отгоняется окрашенная вода, погон в интервале 100-150 °С при остывании образует смолоподобную негорючую темно-вишневую массу с небольшой долей отдельных окрашенных в тот же цвет кристаллов. Неконденсируемые газы (~ 37,5 %) представлены в основном CO_2 и CO, причем содержание в них горючих компонентов (CO, NH_3 и H_2) весьма мало, что предопределяет возможность их выброса в атмосферу после дожигания и утилизации энергетического потенциала.

В объёмном разделе 3.5 охарактеризованы аспекты прикладного использования целевых и побочных продуктов разработанной технологии.

Здесь представлены результаты изучения кинетики и равновесия адсорбции углем АУ-О2-Г паров н-бутанола из их смесей с воздухом, сопоставленные с таковыми активного угля марки АР-А, а также эффективности цикличного использования в этом процессе активного угля АУ-О2-Г. Приведены результаты очистки активным углем АУ-О2-Опт фракции 0,25-0,50 мм сточной воды выпуска №1 АО «Москокс» и установлены особенности этого процесса. Освещены процессы связывания плёнки дизельного топлива различными дозами указанного активного угля фракции 0,5-1 мм. Рассмотрены вопросы очистки воды полученными в работе активными углями от ацетона, фенола, бензола и толуола. Изучением спектров комбинационного рассеяния адсорбентов АУ-О2-Опт и АУ-О2-Г2 (см. рис. 5) выявлены кислородсодержащие группы, присутствующие на их поверхности и свидетельствующие о вероятной возможности наличия у них способности к фиксации ионов тяжелых металлов.

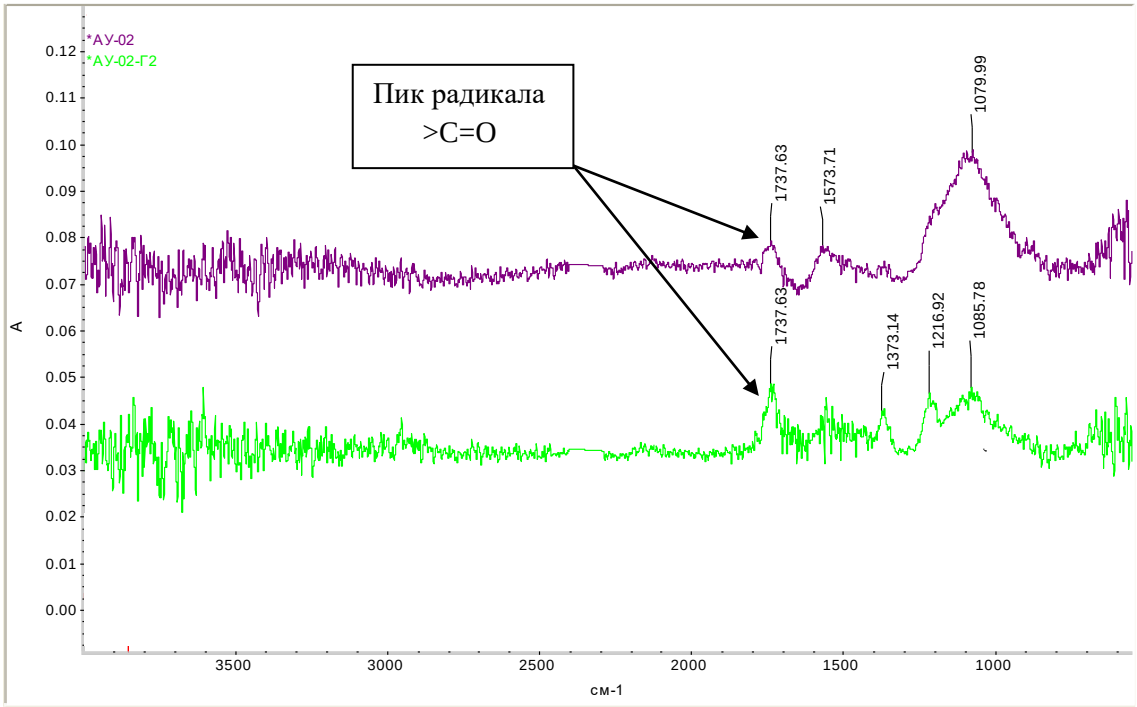

Рисунок 5 - Спектры комбинационного рассеяния адсорбентов на основе органопластиков АУ-О2-Опт (верхний) и АУ-О2-Г2 (нижний)

Оценка названной возможности выполнена на примере использования активного угля АУ-О2-Опт при обработке им водных растворов концентрацией 10 мг/дм^3 (индивидуальных и смешанного) ионов железа, цинка и меди. Полученные результаты (см. рис. 6) свидетельствуют, что эффективное извлечение этих ионов из их индивидуальных растворов обеспечивается лишь при дозе активного угля не менее 1 г/л. При этом длительность контакта фаз составляет не менее 60 минут в случае Fe^{2+} и Zn^{2+}, и не менее 40 минут в случае Cu^{2+}. При обработке же смешанного раствора равных концентраций (3,3 мг/л) эффективное извлечение до санитарных нормативов обеспечивается за гораздо меньшие временные интервалы: Cu^{2+} – за 5, Zn^{2+} – за 10 и Fe^{2+} – за 20 минут.

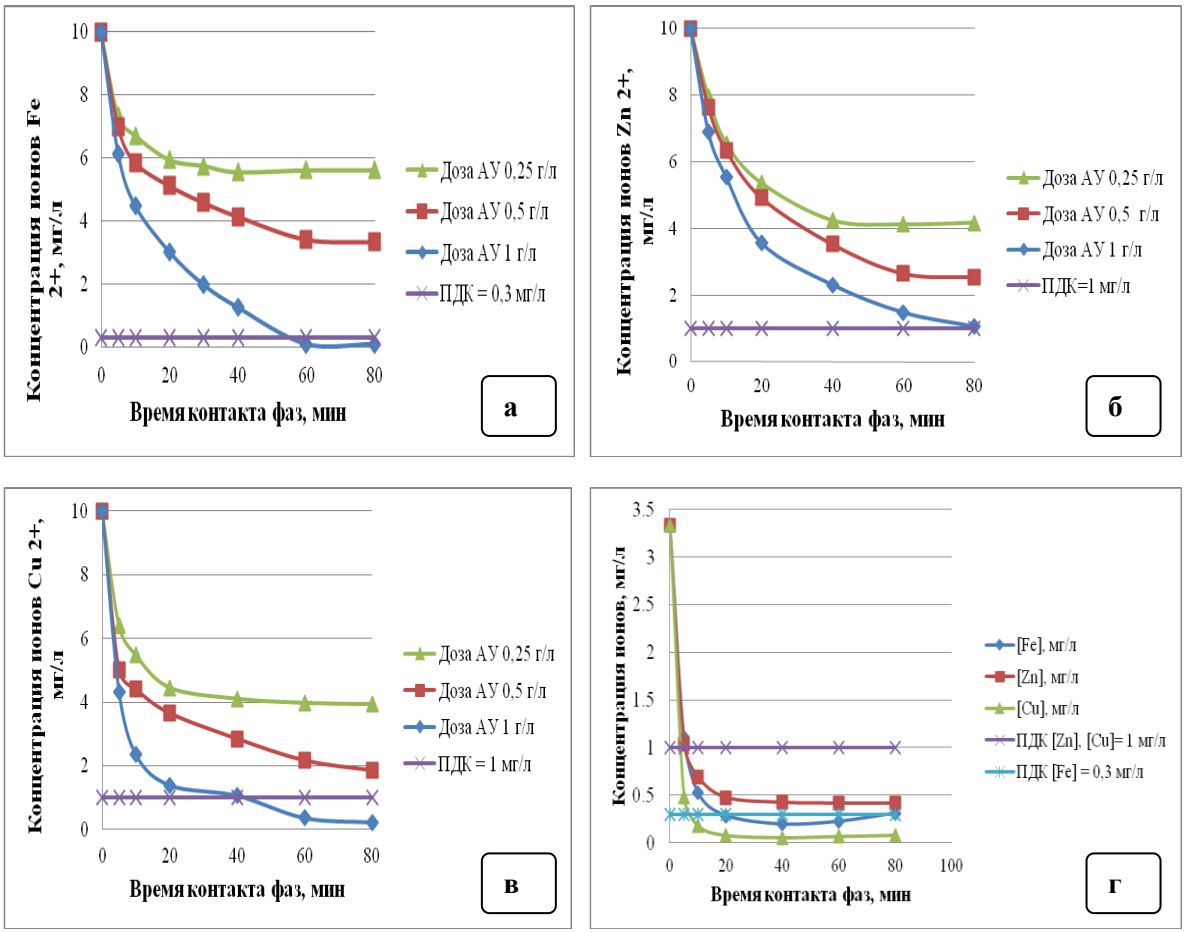

Рисунок 6 - Кинетика извлечения ионов Fe^{2+} (а), Zn^{2+} (б) и Cu^{2+} (в) различными дозами активного угля АУ-О2-Опт фракции 0,5-1,0 мм и суммы этих ионов из их смешанного раствора (г) при 20 °С и $Re_м$=152000

В разделе 3.6 рассмотрены вопросы повышения прочности полученных гранулированных активных углей введением армирующих вторичных углеродных волокон. Такие волокна представляют собой целевой продукт термического окисления (сжигания, огневого обезвреживания) отходов углепластиков. Показано, что введение этой армирующей добавки в количестве 1 % масс. значительно (в 3 раза в сравнении с образцом без добавок) увеличивает прочность гранул при сжатии, практически не меняя их поглотительной способности.

В главе 4 представлена аппаратурно-технологическая схема предлагаемой переработки отходов органопластиков на гранулированные активные угли (ГАУ) (рис. 7) и выполнена ориентировочная технико-экономической оценка разработанной технологии, результаты которой характеризуют данные табл. 3.

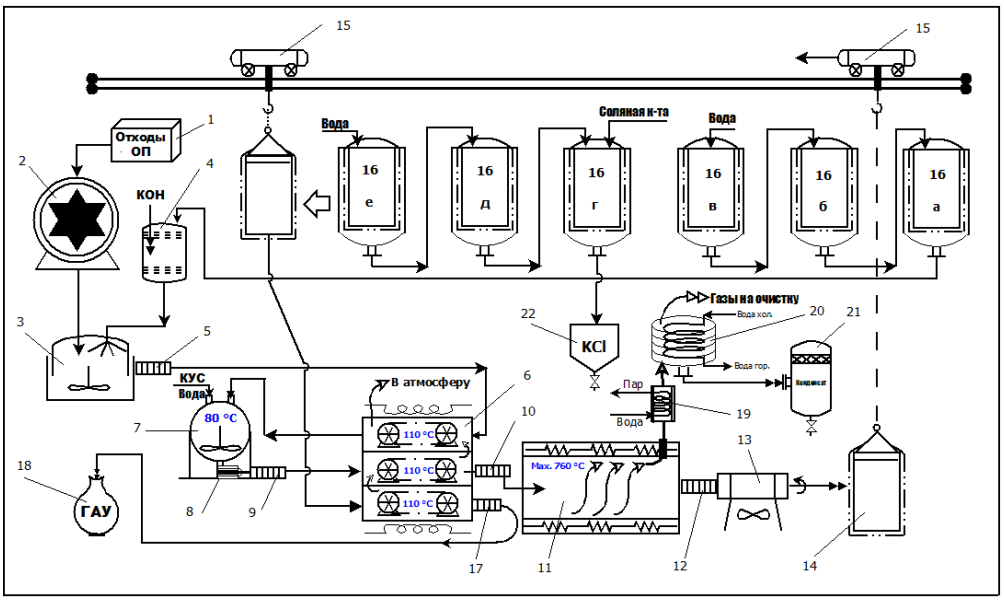

Рисунок 7 – Аппаратурно-технологическая схема производства ГАУ:
1 – сырьевой склад; 2 – дробилка молоткового типа; 3 – смеситель; 4 – емкость раствора КОН; 5, 9, 10, 12, 17 – шнеки; 6 – ленточная сушилка; 7 – агрегат приготовления пасты; 8 – устройство для формования гранул; 11 – электропечь; 13 – вращающийся барабан-охладитель; 14 – перфорированная цилиндрическая емкость; 15 – тельферная лебедка; 16 – пластиковые цилиндрические реакторы; 18 – приёмная емкость; 19 – котел-утилизатор; 20 – емкость-охладитель; 21 – накопитель; 22 – емкость для нейтрализации

Таблица 3 - Проектная калькуляция себестоимости производства 100 т в год гранулированного активного угля из отходов ОП

№	Статья калькуляции		Ед. изм.	Цена за ед., долл. США	Затраты на годовой выпуск		Себестоимость единицы продукции	
					коли-чество	сумма, долл. США	норма расхода	сумма, долл. США
	1		2	3	4	5	6	7
1	Сырье и мат-лы	Отходы ОП	т	-	250,560	-	2,5	-
		КОН тв.	т	1080	75,168	81181,44	0,75	811,8
		КУС	т	350	55,1232	19293,12	0,55	192,93
		H_2O	$м^3$	0,34	17400	5916	174	59,16
		HCl 36 %	т	690	18,1424	12518,26	0,18	125,18
	Итого					118908,82		1189,07
2	Электроэнергия		кВт	0,04	371200	14848	3712	148,48
3	Заработная плата		$			26769		267,69
4	Отчисления в соцстрах		$	30 % от ЗП		8030,7		80,31
5	Расходы по содер. и экспл. оборудования		$			11617,1		116,17
	Всего		$			**180173,62**		**1801,74**
6	Приведенные затраты		$					1915,39
7	Оптовая цена		$					4000
	Экон. эффект		$			**208461**		**2084,61**

ВЫВОДЫ

1. Выполнен аналитический обзор доступной информации по проблемам получения активных углей из отходов производства ПКМ, на основании которого обоснована перспективность исследования их переработки на углеродные адсорбенты методом химической активации.

2. С использованием метода математического планирования эксперимента обоснованы оптимальные условия переработки отходов производства ПКМ путем их химической активации с КОН на высококачественные порошковые и гранулированные активные угли.

3. Показана возможность термической переработки отходов производства ПКМ с получением вторичных углеродных волокон, обеспечивающих повышение прочности

получаемых гранулированных активных углей путем их введения в количестве 1 % масс. в качестве армирующего материала в сырьевые композиции для их производства.

4. Обоснован материальный баланс операции химической активации сырьевой композиции производства активного угля. Оценен состав, ряд свойств её побочных продуктов и охарактеризованы возможные направления их использования.

5. Изучены технические и адсорбционно-структурные характеристики полученных активных углей.

6. В сопоставимых условиях оценено использование полученных активных углей и их коммерческих представителей в решении прикладных задач очистки и обезвреживания паровоздушных сред и водных растворов с установлением кинетических и равновесных закономерностей, свидетельствующее о высокой эффективности целевых продуктов изученной переработки отходов ПКМ.

7. С привлечением спектроскопии комбинационного рассеяния на поверхности полученных активных углей выявлено наличие кислородсодержащих групп, потенциально свидетельствующее о способности этих материалов к извлечению ионов тяжелых металлов. Обнаружена также уникальная способность полученных активных углей к глубокому извлечению бензола и толуола из их водных растворов низкой концентрации.

8. Предложена аппаратурно-технологическая схема реализации разработанной технологии и выполнено её ориентировочное технико-экономическое обоснование.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. A.V. Nistratov, V.N. Klushin, E.S. Makashova, Vu Kim Long. Production and evaluation of properties of waste-based carbon adsorbent // Chemical Engineering Research and Design. – 2020. – V. 160. – P. 551-560. (Scopus)
2. Ву Ким Лонг, Нистратов А.В., Клушин В.Н. Особенности извлечения тяжелых металлов активным углем, полученным из отходов органопластика // Химическая промышленность сегодня. – 2020. – № 1. – С. 54-61. (Chemical Abstracts)

Публикации в рецензируемых изданиях:

3. Ву К.Л., Клушин В.Н., Нистратов А.В., Хоанг Т.Т., Чан Т.Б. Улучшение свойств активных углей на основе органопластиков методом химической активации с гидроксидом калия (КОН) // Бутлеровские сообщения. 2019. – Т. 60. – № 10. – С.99-109.
4. Нистратов А.В., Ву Ким Лонг, Клушин В.Н., Мишкин С.И., Дориомедов М.С., Дасковский М.И. Термографическое исследование отходов угле- и органопластиков, как средство оценки рациональных условий их деструкции // Труды ВИАМ. – 2017. – № 11. – С. 98-106.

Тезисы докладов на международных и российских конференциях:

5. Ву Ким Лонг, Нистратов А.В., Клушин В.Н. Оценка целесообразности переработки отходов угле- и органопластиков в углеродные адсорбенты // Тез. докл. Международной конференции молодых ученых по химии и химической технологии «МКХТ-2017» – Москва, 2017. – Т. XXXI. – № 9. – С. 51-53.
6. Ву Ким Лонг, Нистратов А.В. Клушин В.Н. Термический способ регенерации углеродных волокон из отходов угле- и оргнопластиков // Материалы международной конференции «Химическая технология функциональных наноматериалов» – Москва, 2017. – С. 77-78.
7. Ву К.Л., Нистратов А.В., Клушин В.Н. Влияние добавки гидроксида калия на показатели качества активного угля при термообработке отходов органопластика // Труды III всероссийской научной конференции (с международным участием)

«Актуальные проблемы теории и практики гетерогенных катализаторов и адсорбентов – Иваново, 2018. – Т. 1. – С. 75-76.

8. Ким Лонг Ву, Тхи Тхо Хоанг, Тхи Бик Нгок Чан, Нистратов А.В., Клушин В.Н. Получение и применение активного угля из отходных органопластиков // Сборник статей научно-практической конференции с международным участием «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2018» - Севастополь, 2018. – С. 539-541.
9. Ву Ким Лонг, Нистратов А.В., Клушин В.Н. Влияние режима активации на показатели пористой структуры активных углей из отходов оранопластика // Тез. докл. Международной конференции молодых ученых по химии и химической технологии «МКХТ-2018» – Москва, 2018. –Т. XXXII. – № 12. – С. 44-45.
10. Ву К.Л., Нистратов А.В., Клушин В.Н. Исследование сорбционной способности активного угля на основе отходов органопластиков // Труды IV всероссийской научной конференции (с международным участием) «Актуальные проблемы теории и практики гетерогенных катализаторов и адсорбентов» – Иваново, Суздаль, 2019. С. 40-44.
11. Ву Ким Лонг, Хоанг Тхи Тхо, Чан Тхи Бик Нгок, Нистратов А.В., Клушин В.Н. Получение и изучение высокопористых активных углей из отходов органопластиков // Сборник статей научно-практической конференции с международным участием «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019» – Севастополь, 2019. – С. 402-406.
12. Ву Ким Лонг, Тхи Тхо Хоанг, Нистратов А.В., Клушин В.Н. Повышение прочности высокопористых активных углей из отходов органопластиков // Тез. докл. Международной конференции молодых ученых по химии и химической технологии «МКХТ-2019» – Москва, 2019. – Т. XXXIII. – № 5. - С. 20-21.

Патент:

13. Клушин В.Н., Мухин В.М., Ву Ким Лонг, Нистратов А.В. Способ получения активного угля // Патент РФ № 2700067. Опубл. 12.09.2019. Бюл. № 26. (Патент)