

На правах рукописи

Нистратов Алексей Викторович

**Разработка технологии активных углей
на торфополимерной основе
с утилизацией побочных продуктов
пиролиза**

05.17.01 - Технология неорганических веществ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 2013

Работа выполнена в Российском химико-технологическом университете им. Д.И. Менделеева

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор
Клушин Виталий Николаевич,
профессор кафедры промышленной
экологии Российского химико-
технологического университета
им. Д.И. Менделеева

**Официальные
оппоненты:**

доктор технических наук, профессор
Ануров Сергей Алексеевич,
профессор кафедры технологии
неорганических веществ Российского
химико-технологического
университета им. Д.И. Менделеева

кандидат технических наук
Завадский Аркадий Валерьевич,
руководитель направления
«Энергетика и промышленное
водопользование» ЗАО «ОУ ТОТЕК»
(г. Санкт-Петербург)

Ведущая организация:

Открытое акционерное общество
«Электростальское научно-
производственное объединение
«Неорганика»

Защита состоится __ ноября 2013 г. в 11 часов на заседании Диссертационного совета Д 212.204.05, созданного на базе Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева по адресу: 125047, Москва, Миусская пл., д. 9, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном центре Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева.

Автореферат диссертации разослан __ октября 2013 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета
Д 212.204.05

_____ Яровая О.В.

Общая характеристика работы

Актуальность работы

Разработанная в РХТУ им. Д.И. Менделеева оригинальная технология гранулированных активных углей на торфополимерной основе (ТПАУ, патент РФ № 2346889) представляет экономически и экологически эффективное направление вовлечения в материальное производство ряда полиуретансодержащих отходов, значительные массы которых не находят использования в России в настоящее время. Получаемые согласно этой технологии активные угли благодаря сочетанию адсорбционных и прочностных свойств можно успешно использовать в гидрометаллургии благородных металлов и в других жидкофазных адсорбционных процессах. Сочетание «качество-цена», обусловленное свойствами продукта и результатами технико-экономической оценки предполагаемого производства, свидетельствует о его конкурентоспособности на рынке углеродных адсорбентов.

Однако качество получаемых полупродуктов и ТПАУ существенно зависит от вида торфа, используемого в сырьевой композиции, что обуславливает необходимость оптимизации ключевых стадий технологии по показателям качества целевых материалов для торфа каждого месторождения. Кроме того, пиролитическая переработка сырьевых композиций, включающих торф, полиуретанполиамидные отходы и концентрированную серную кислоту, сопряжена с эколого-экономической проблемой обезвреживания и утилизации жидких и газообразных продуктов пиролиза, квалифицированно не решённой в названной технологии из-за отсутствия информации об их составе. Исследование и решение обозначенных проблем актуально, являясь не только необходимым условием готовности технологии к реализации, но и средством повышения её экономической эффективности и экологической безопасности.

Работа выполнена в соответствии с координационными планами НИР научного совета РАН по адсорбции и хроматографии 2009 г. (поз. 2.15.2У) и научного совета РАН по физической химии 2010 г. (поз. 2.15.3У).

Цель и задачи работы

Целью работы является разработка и научное обоснование связанных с процессом карбонизации проблем технологии ТПАУ, ориентированных на повышение её технико-экономической и природоохранной эффективности, путём решения следующих задач:

- изучения формовочных свойств и распределения продуктов пиролиза сырьевых паст с выбором композиции базового состава;
- выявления оптимальных условий обработки сырьевой композиции базового состава по критериям пористой структуры и прочности карбонизатов и активных углей;
- разработки аналитического обеспечения и выполнения исследований состава газов, конденсатов и карбонизатов реализуемой в оптимальных условиях термообработки сырьевой композиции, в т.ч. количественного определения неорганических соединений серы;
- обоснования выбора технологического решения метода утилизации побочных продуктов пиролиза;
- технико-экономического обоснования реализации промышленного производства активных углей на торфополимерной основе с использованием результатов выполненных исследований;
- сопоставительных испытаний полученных активных углей в решении прикладных задач.

Научная новизна. В работе впервые применительно к технологии ТПАУ на основе торфа, служащего сырьём для производства активных углей СКТ, полиуретанполиамидных отходов и серной кислоты:

- определены реологические свойства сырьевой композиции и с привлечением реологической модели Максвелла-Кельвина-Шведова выполнена оценка её способности к формованию в шнековом экструдере;
- выявлено влияние факторов приготовления и термообработки сырьевой композиции на распределение масс основного и побочных продуктов пиролиза;

- найдены зависимости показателей пористой структуры и прочности карбонизатов от фракции и влажности торфа, длительности вылёживания и факторов выдержки сырьевой композиции в окислительной и инертной атмосферах, скорости нагрева, конечной температуры и времени выдержки при пиролизе;
- установлены количественная связь содержания в пиролизных газах и конденсате неорганических соединений серы – продуктов взаимодействия серной кислоты с торфополимерной составляющей сырья в процессе пиролиза с условиями его осуществления и состав углеводородов в газах пиролиза;
- научно обосновано решение задачи переработки побочных продуктов пиролиза в рассматриваемой технологии;
- предложен гипотетический механизм поглощения хрома (VI) полученным активным углём в процессе адсорбционной очистки модельной сточной воды гальванического производства.

Практическая значимость работы состоит в:

- обосновании оптимального состава сырьевой композиции с позиций качества гранулята и максимального выхода карбонизата;
- выявлении оптимальных условий подготовки сырьевой композиции к термообработке, обеспечивающих получение карбонизатов с рациональным сочетанием прочности и пористой структуры;
- оценке пористой структуры и величины удельной поверхности полученных карбонизата и активных углей различных степеней обгара методами электронной микроскопии и низкотемпературной адсорбции азота;
- определении количественного состава неорганических соединений серы, азота и горючих компонентов в побочных продуктах пиролиза сырьевой композиции базового состава и установлении материального баланса распределения серы по продуктам этого процесса;
- разработке технологического узла обезвреживания и утилизации побочных продуктов пиролиза с получением товарных сероуглерода и серной кислоты;

- демонстрирующей конкурентоспособность ТПАУ в итоге технико-экономической оценки его производства по технологии, включающей переработку побочных продуктов с учётом результатов исследований;
- доказательстве возможности эффективного использования полученного адсорбента для глубокой очистки стоков гальванического производства от хрома (VI) и СПАВ.

Апробация

Основные результаты работы представлены на:

4-й Международной научно-практической конференции «Рециклинг, переработка отходов и чистые технологии» (Москва, 2008); 11-м Международном форуме «Высокие технологии XXI века» (Москва, 2010); XXIII-XXV Международных конференциях молодых учёных «Успехи в химии и химической технологии» (Москва, 2009-2011); 72-й Московской открытой конференции учёных-эсперантистов (Москва, 2011).

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 7 подготовленных в соавторстве статей и тезисов докладов, в т.ч. 2 статьи в журналах перечня ВАК.

Структура диссертации

Диссертация изложена на 180 с., состоит из введения, 4 глав, выводов и списка литературы из 182 позиций, содержит 24 рисунка и 50 таблиц; включает 3 приложения на 40 с.

Положения, выносимые на защиту

- результаты определения реологических свойств сырьевой композиции для получения активных углей на торфополимерной основе;
- базовый состав сырьевой композиции, выбранный по качеству гранулята и максимальному выходу карбонизата;

- закономерности изменения выходов целевого и побочных продуктов пиролиза сырьевых композиций базового состава как функций фракции и влажности торфа, времени вылёживания гранулята и факторов его термической обработки;
- зависимости показателей пористой структуры и прочности получаемых карбонизатов и активных углей от названных факторов;
- результаты анализа жидких и газообразных продуктов пиролиза сырьевой композиции базового состава и распределения в них неорганических соединений серы;
- технологическое решение проблемы обезвреживания и утилизации побочных продуктов пиролиза сырьевой композиции в виде установки, обеспечивающей получение сероуглерода и серной кислоты;
- итоги ориентировочной технико-экономической оценки промышленного производства ТПАУ с внедрением названной установки;
- результаты сопоставительных испытаний эффективности использования полученных адсорбентов в решении прикладных задач водоочистки.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность совершенствования переработки не утилизируемых полимерных отходов на углеродные адсорбенты согласно разработанной в РХТУ им. Д.И. Менделеева технологии активных углей на торфополимерной основе и подчёркнута важность проблемы утилизации продуктов пиролиза в этой технологии.

В главе I выполнен литературный обзор, включающий сведения о строении, свойствах, получении и применении активных углей. Рассмотрены активные угли на основе торфа и полимерных отходов, представлена сравнительная характеристика условий их получения и адсорбционных свойств. Изложены основы и выделены особенности технологии гранулированных активных углей на основе торфа, полиуретанполиамидных отходов и серной кислоты. Охарактеризованы традиционные и современные

методы анализа серы и её соединений, ориентированные на определение их в продуктах пиролиза сырья. Особое внимание уделено практикуемым методам рекуперации соединений серы из газовых выбросов и деструкции их в сточных водах. Обзор завершён формулировкой цели и задач исследования.

В главе II описаны объекты исследований, методики приготовления адсорбентов, осуществления экспериментов и аналитических определений.

В главе III в 4 разделах представлены и обсуждены результаты выполненных исследований.

В разделе I охарактеризовано влияние физических свойств используемого торфа (гранулометрия, влагосодержание), концентрации кислоты и состава сырьевой композиции (пасты) на качество гранулятов. Для сырьевой пасты с наилучшим качеством гранул рассчитаны параметры реологической модели Максвелла-Кельвина-Шведова

$$\varepsilon = \frac{P}{1,3 \cdot 10^6} + \frac{P}{1,1 \cdot 10^6} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{150}\right) \right] + \frac{P-500}{2,8 \cdot 10^9} t$$

(где ε – деформация сдвига под действием напряжения P за время t) и показана её принадлежность к структурно-механическому типу 2, наиболее благоприятному для формования в шнековом экструдере.

Установлено, что влияние фракции и влажности торфа, как и времени вылёживания сырьевых паст на выход карбонизата (целевого продукта пиролиза) несущественно. При варьировании факторов термообработки массовый выход карбонизата может составлять 21-39 %. По сочетанию критериев лучшей формуемости и максимального выхода карбонизата выбран оптимальный (далее – базовый) состав сырьевой пасты: (полиуретанполиамидные отходы : 92,5 % H₂SO₄) : торф = (1 : 1,5) : 1,2.

В разделе 2 представлены зависимости важнейших показателей качества карбонизатов – объёмов разных видов пор и прочности при истирании – от факторов приготовления и термообработки образцов (табл. 1 и 2).

Табл. 1

Условия приготовления и термообработки сырьевой пасты базового состава

Свойства торфа		Время вылеживания, сутки	Предварительная обработка (10 °С/мин, 5 ч)		Режим пиролиза			№ образца
Влажность, %	Фракция, мкм		Атмосфера	Температура, °С	Скорость нагрева, °С/мин	Конечная температура, °С	Выдержка при 800 °С, ч	
0	<100	0	X		10	800	1,0	1*
			воздух	50				2
				150				3
			N ₂	50				4
				150				5
0	<100	1	X		10	800	1,0	6
		2	7					
		4	8					
		7	9					
		14	10					
0	100-250	0	X		10	800	1,0	11
	250-400		12					
9-13	<100	0	X		10	800	1,0	13
21-25			14					
0	<100	0	X		2,5	800	1,0	15
			5,0	16				
			20	17				
0	<100	0	X		10	800	0	18
			0,5	19				
			2,0	20				

* Базовый образец

Предварительная 5-часовая обработка сырьевой пасты в атмосфере азота (воздуха) при 50 °С повышает только объём микропор (мезопор), а при 150 °С ухудшает показатели пористой структуры и прочности.

Влияние влажности W (%), фракции с максимальным размером частиц r_{max} (мкм) торфа и времени вылеживания пасты $t_{ввл}$ (сут) на суммарный объём пор и объём сорбирующих пор карбонизатов выражают следующие уравнения:

$$V_{\Sigma H_2O} = 0,428 - 0,068x_1 - 0,03x_2 - 0,018x_3 + 0,05x_1x_2 + 0,03x_1x_2x_3,$$

$$V_{C_6H_6}^S = 0,102 - 0,0046x_1 - 0,0055x_2 - 0,0059x_1x_2 + 0,0134x_1x_2x_3,$$

где $x_1 = (W - 11,5)/11,5$; $x_2 = (r_{max} - 250)/150$; $x_3 = (t_{ввл} - 3,5)/3,5$.

Увеличение W , r_{max} , $t_{ввл}$ относительно образца 1 снижает прочность карбонизата.

Табл. 2

Показатели пористой структуры и прочности при истирании карбонизатов

№ образца карбонизата	Суммар- ный объём пор $V_{\Sigma H_2O}^*$, $см^3/г$	Объём сорбирующих пор ^{**} , $см^3/г$			Прочность при истирании P , %
		$V_{C_6H_6}^S$	$V_{CCl_4}^S$	$V_{H_2O}^S$	
1	0,42	0,15	0,042	0,32	82
2	0,62	0,16	0,13	0,20	78
3	0,74	0,17	0,15	0,26	48
4	0,46	0,21	0,048	0,22	83
5	0,62	0,12	0,022	0,19	83
6	0,47	0,11	0,027	0,32	70
7	0,63	0,11	0,021	0,21	63
8	0,61	0,14	0,034	0,21	57
9	0,64	0,12	0,046	0,24	63
10	0,58	0,098	0,020	0,22	44
11	0,50	0,05	0,065	0,23	79
12	0,52	0,079	0,064	0,21	77
13	0,53	0,088	0,049	0,19	42
14	0,78	0,12	0,035	0,26	12
15	0,61	0,13	0,040	0,18	82
16	0,60	0,12	0,041	0,22	76
17	0,53	0,098	0,040	0,12	75
18	0,51	0,10	0,059	0,15	79
19	0,54	0,066	0,056	0,12	80
20	0,55	0,14	0,043	0,18	78

* Суммарный объём пор по воде $V_{\Sigma H_2O}$ выражает объём пор всех размеров.

** Объёмы сорбирующих пор по воде $V_{H_2O}^S$, бензолу $V_{C_6H_6}^S$, тетрахлорметану $V_{CCl_4}^S$ служат оценками объёмов микропор и мезопор, доступных по размерам соответствующим молекулам: $H_2O < C_6H_6 < CCl_4$.

Варьирование скорости нагрева и времени изотермической выдержки при пиролизе не позволяет повысить объёмы пор и прочность при истирании карбонизатов по сравнению с образцом 1, хотя изменение этих факторов можно использовать для регулирования показателей качества адсорбентов.

Исследование пористой структуры адсорбентов выполнено в Центре коллективного пользования РХТУ. Для получения активных углей карбонизаты с максимальными значениями прочности при истирании, $V_{\Sigma H_2O}$, $V_{C_6H_6}^S$, $V_{CCl_4}^S$ и $V_{H_2O}^S$ необходимо активировать водяным паром при 800 °С до степени обгара 34-44 % (табл. 3), обеспечивающей развитие микро- и мезопор адсорбентов.

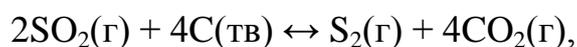
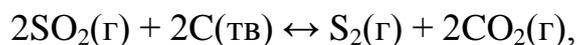
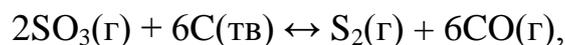
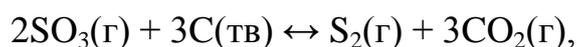
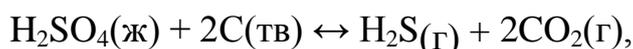
Показатели пористой структуры и адсорбционной ёмкости активных углей

Критерий выбора карбонизатов	Характеристики ТПАУ							
	Степень обгара α , %	Суммарный объём пор $V_{\Sigma H_2O}$, cm^3/g	Объём сорбирующих пор V^S , cm^3/g			Адсорбционная ёмкость		Прочность при истирании, %
			$V^S_{C_6H_6}$	$V^S_{CCl_4}$	$V^S_{H_2O}$	по йоду F, %	по МГ Амг, мг/г	
$V^S_{H_2O}=0,32 \text{ cm}^3/g$	43	0,50	0,16	0,089	0,17	21	12	60
$V_{\Sigma H_2O}=0,62 \text{ cm}^3/g$	44	1,08	0,29	0,16	0,28	45	17	30
$V^S_{C_6H_6}=0,21 \text{ cm}^3/g$	34	1,04	0,31	0,11	0,27	29	20	45
$\Pi = 82 \%$	40	1,00	0,28	0,22	0,19	18	33	50

Итоги раздела 2 позволяют рекомендовать получение активных углей с развитой пористой структурой и прочностью при истирании не менее 60 % из сырьевой композиции базового состава с фракцией <100 мкм сухого торфа без вылёживания её карбонизацией со скоростью нагрева 10 °С/мин до 800 °С и выдержкой 1 час при этой температуре с последующей активацией карбонизата водяным паром до обгара 40 % (далее – оптимальные условия).

Раздел 3 содержит результаты исследований состава пиролизных газов и конденсата (побочных продуктов пиролиза), приоритетными компонентами которых считаются неорганические соединения серы.

Качественным анализом установлено присутствие в пиролизных газах H_2S , SO_2 , SO_3 , COS , CS_2 и следов элементной серы – предполагаемых продуктов реакций углеродной основы сырья с серной кислотой и оксидами серы:



Температурные зависимости содержания этих соединений в газах пиролиза (рис. 1) указывают на крайне неравномерное их образование.

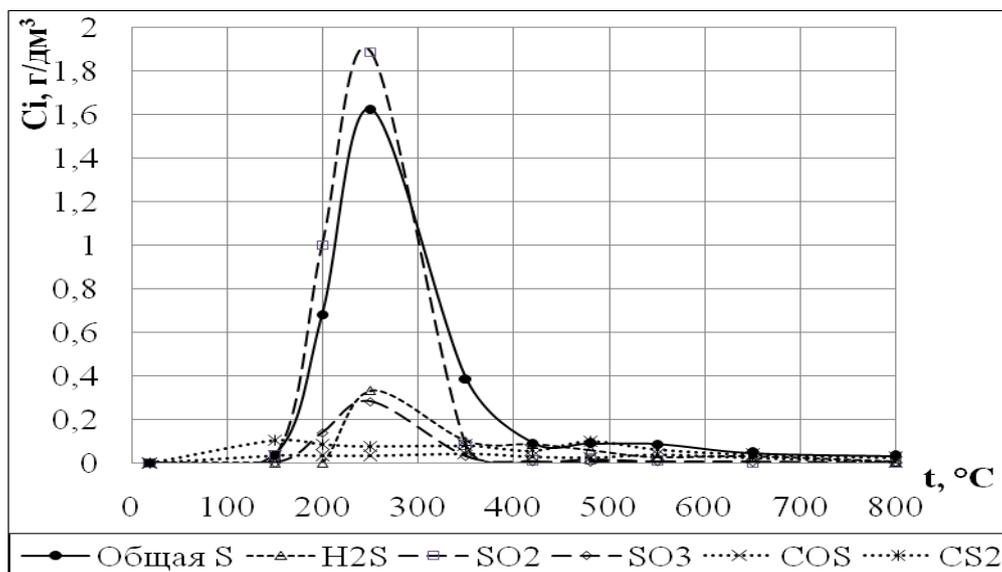


Рис 1. Концентрация неорганических соединений серы в газах пиролиза сырьевой пасты в оптимальных условиях

Температурная зависимость содержания общей серы имеет пиковый участок в интервале 150-420 °C с наибольшим вкладом диоксида серы. Средние объёмные доли анализируемых соединений в газах пиролиза в области температур 20-800 °C составляют (об. %): SO₂ – 9,86; H₂S – 2,57; CS₂ – 3,79; SO₃ – 0,55; COS – 0,37. Таким образом, газовый поток является достаточно концентрированным по соединениям серы, представляя вторичный ресурс для его переработки рекуперационными методами.

Содержание в пиролизных газах 37 об. % CH₄, C₂H₄ и C₂H₆ предопределяет направление их использования в качестве топлива для обеспечения энергетических потребностей рассматриваемого технологического процесса.

Пиролизный конденсат представляет собой смесь органической, водной и твёрдой фаз, каждая из которых содержит соединения серы, причём в водной фазе они представлены SO₃²⁻, SO₄²⁻, S₂O₃²⁻ в присутствии соединений азота преимущественно в форме NH₄⁺. Содержание общей серы в жидких фазах конденсата охарактеризовано в табл. 4.

Содержание общей серы и общего азота в конденсате пиролиза
сырьевой пасты в оптимальных условиях

Температура пиролиза, °С	Водная фаза*		Органическая фаза		Конденсат	Водная фаза
	% от конденсата	S, масс. %	% от конденсата	S, масс. %	S, масс. %	N, масс. %
20-150	74,7	0,47	25,2	2,28	0,92	1,91
150-200	78,4	0,93	21,6	3,51	1,48	0,26
200-250	72,5	3,32	27,5	2,10	2,98	0,10
250-350	74,3	3,88	25,2	5,59	4,29	0,04
350-420	69,3	4,25	30,5	10,9	6,27	0,03
420-480	23,1	5,33	76,7	6,12	5,92	0,30
480-550	16,7	-	82,0	8,82	7,23	-
550-650	7,2	-	89,5	7,90	7,07	-
650-800	16,8	-	80,1	9,34	7,48	-
20-800 (среднее)	-	2,43	-	7,23	5,03	0,44

* При температуре >480 °С количество водной фазы конденсата недостаточно для анализа на общую и неорганическую серу и азот.

Поступление соединений серы в жидкие фазы конденсата в процессе пиролиза тоже протекает неравномерно, конденсат в целом содержит серу на уровне 5 и азот не менее 2,2 масс. %. Учитывая сложный переменный по температуре состав конденсата и токсичность его органической фазы, рационально его сжигание с получением обогащённых SO₂ дымовых газов.

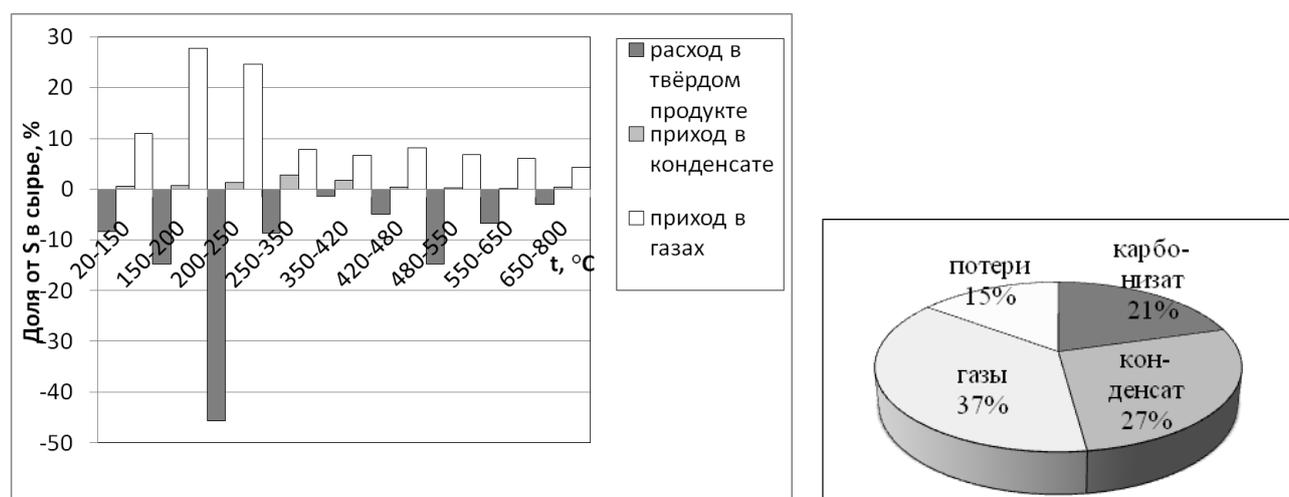


Рис. 2. Материальный баланс распределения серы в продуктах пиролиза сырьевой пасты

По результатам анализа составлен материальный баланс распределения серы в процессе пиролиза сырьевой пасты в оптимальных условиях (рис. 2), выявляющий области интенсивного (до 350 °С) и умеренного (350-800 °С) перехода серы из твёрдого в жидкий и газообразный продукты термообработки.

В разделе 4 представлены результаты сопоставительных испытаний полученных в работе активных углей в процессах очистки сточных вод гальванического производства от хрома (VI) и СПАВ.

В решении задачи очистки модельного раствора от ионов Cr (VI) (25 мг/л) ТПАУ в порошковой форме обеспечивает достижение ПДК_в = 0,1 мг/л при дозе 2,5 г/л и pH=2. Эффект очистки обусловлен комплексным механизмом поглощения Cr(VI) в форме Cr₂O₇²⁻:

сочетанием адсорбции $Cr_2O_7^{2-} + Сакт \leftrightarrow (Cr_2O_7^{2-} адс) \cdot Сакт$,

ионного обмена $Cr_2O_7^{2-} + СактR-OH \leftrightarrow (СактR)_2(Cr_2O_7) + 2OH^-$

и восстановления $Cr_2O_7^{2-} + 1,5Сакт + 8H^+ \leftrightarrow 2Cr^{3+} + 1,5CO_2 + 4H_2O$.

Выраженные ионообменные свойства полученных ТПАУ (статическая обменная ёмкость по катионам – 1,31, по анионам – 0,98 ммоль-экв/г) делают перспективным их применение для адсорбционной доочистки гальванических стоков и от ионогенных, и от неионогенных ПАВ. Так при обработке модельного раствора с содержанием ПЭО-1500 100 мг/л и Cu²⁺ 50 мг/л при pH=9,5 порошковым ТПАУ с дозой 20 г/л достигнута степень очистки 80 %, сравнимая с показателем 85 % для промышленного адсорбента ОУ-А.

В главе IV приведено технико-экономическое обоснование усовершенствованной по результатам выполненных исследований технологии активных углей на торфополимерной основе. На базе известных методов с целью получения технической H₂SO₄, расходуемой в самом производстве ТПАУ, предложены обезвреживание побочных продуктов пиролиза и утилизация соединений серы, реализуемые в различных вариантах (табл. 5).

Табл. 5

Характеристики вариантов переработки побочных продуктов пиролиза

Вариант	Выпуск, т/год		Себестоимость руб./т	
	CS ₂	H ₂ SO ₄	CS ₂	H ₂ SO ₄
Выпуск ТПАУ 1000 т/год				
Сжигание пиролизных паров и газов и получение концентрированной H ₂ SO ₄ контактным способом	-	1219	-	849
Предварительное выделение CS ₂ , сжигание пиролизных конденсата и газов и получение концентрированной H ₂ SO ₄ контактным способом	106	930	5790	876
Предварительное выделение CS ₂ , сжигание пиролизных конденсата и газов в техническом кислороде и получение концентрированной H ₂ SO ₄ контактным способом	106	930	5790	6148
Предварительное выделение CS ₂ , сжигание пиролизных паров и газов и получение 70 % H ₂ SO ₄ адсорбционно-каталитическим способом	106	1213	5790	1701
Предварительное выделение CS ₂ , сжигание пиролизных конденсата и газов с введением технической серы и получение концентрированной H ₂ SO ₄ контактным способом	106	1380	5790	975

Результаты сравнительных технико-экономических расчётов вариантов переработки побочных продуктов пиролиза сырья позволяют рекомендовать комбинированный метод (схема на рис. 3), включающий последовательные процессы: 1) охлаждения парогазовых продуктов пиролиза с выделением технического сероуглерода конденсацией; 2) сжигания пиролизных газов и конденсата с целью их обезвреживания и трансформации соединений серы в её оксиды и с утилизацией тепловой энергии; 3) конверсии SO₂ с получением технической серной кислоты методом «двойное контактирование-двойная абсорбция» для использования в производстве ТПАУ.

Внедрение соответствующей системы в предполагаемое производство 1000 т/год ТПАУ по сравнению с существующим вариантом (патент РФ № 2346889) обеспечивает снижение себестоимости продукции на 26 %, предотвращает экологический ущерб в размере 14,28 млн. руб./год и экологические платежи в размере 1,37 млн. руб./год.

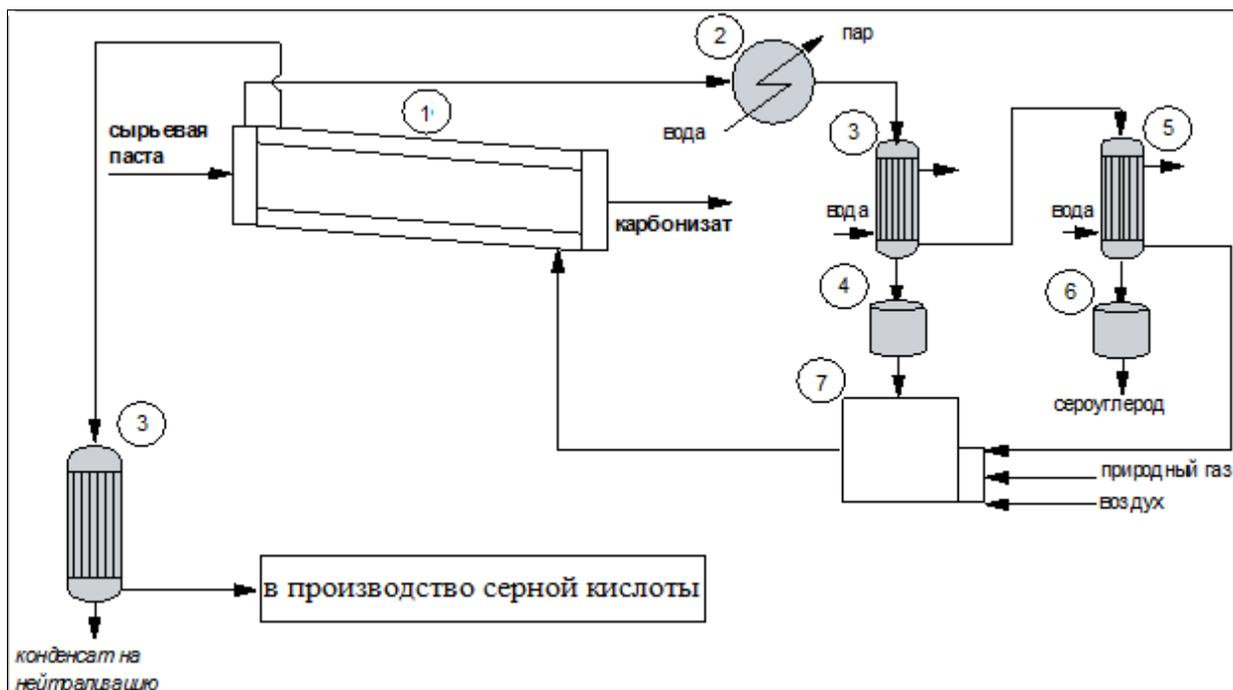


Рис. 3. Технологическая схема системы обезвреживания и утилизации продуктов пиролиза в производстве активных углей на торфополимерной основе: 1 – печь карбонизации; 2 – котёл-утилизатор; 3 – холодильники-конденсаторы; 4 – сборник конденсата; 5 – конденсатор сероуглерода; 6 – сборник сероуглерода; 7 – печь.

Выводы

1. Выполнен комплекс исследований по оптимизации процессов обработки сырьевых композиций в технологии активных углей на торфополимерной основе: впервые рассчитаны параметры реологической модели сырьевой пасты и получены математические модели функций распределения продуктов пиролиза и объёмов пор карбонизатов.

2. Установлен оптимальный состав сырьевой композиции для приготовления ТПАУ: (полиуретанполиамидные отходы : 92,5 % H_2SO_4) : торф = (1 : 1,5) : 1,2. Получение карбонизата с удовлетворительным сочетанием микропористой структуры и прочности при истирании требует использования фракции <100 мкм сухого торфа в указанной сырьевой пасте, её гранулирования и последующей карбонизации со скоростью нагрева 10 °С/мин и выдержкой при 800 °С в течение 1 часа.

3. Показано, что активация карбонизатов водяным паром при 800 °С до обгара 40 % обеспечивает максимальное развитие их сорбирующих пор. Полученные адсорбенты дополнительно обладают ионообменными свойствами, что расширяет область их применения.

4. Определены качественный состав газов и конденсата пиролиза и закономерности образования неорганических соединений серы и азота в процессе пиролиза сырьевой пасты. Газы пиролиза рассматриваются как вторичный источник серосодержащих компонентов и топливо, а конденсат предлагается обезвреживать сжиганием.

5. Предложена система обезвреживания и утилизации парогазовых продуктов пиролиза сырьевых композиций в производстве активных углей на торфополимерной основе.

6. Выполнена технико-экономическая оценка производства мощностью 1000 т/год ТПАУ с системой утилизации побочных продуктов пиролиза, доказывающая эколого-экономическую эффективность предложенной системы.

7. Показана эффективность использования ТПАУ в процессах доочистки гальванических стоков от хрома (VI) и СПАВ, сравнивая с таковой промышленных аналогов.

Публикации, содержащие результаты работы

1. Хомутов А.Н., Клушин В.Н., Нистратов А.В. Оценка реологических свойств торфополимерной пасты, используемой для получения высокопрочных гранулированных активных углей // Журнал прикладной химии. 2008. Т. 81. № 9. С. 1503-1507.

2. Нистратов А.В., Клушин В.Н., Лосева Д.С. и др. Утилизация серосодержащих продуктов пиролиза сырьевой композиции на торфополимерной основе // Журнал общей химии. 2012. Т. 85. № 2. С. 302-308.

3. Клушин В.Н., Хомутов А.Н., Нистратов А.В. и др. Сырьевые композиции активных углей, модифицированные отходами полимерных изделий // Сборник научных трудов по материалам междунар. научно-практ. конф. «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2008». Одесса, 2008. Т. 4. С. 19-24.

4. Клушин В.Н., Хомутов А.Н., Нистратов А.В. и др. Модифицирование сырьевых композиций для получения активных углей не утилизируемыми отходами полимерных изделий как эффективное направление их вовлечения в материальное производство // Сборник материалов 4-й Междунар. научно-практ. конф. «Рециклинг, переработка отходов и чистые технологии». М.: ФГУП «Институт «Гинцветмет», 2008. С. 20-27.

5. Нистратов А.В., Хомутов А.Н., Клушин В.Н. и др. Формирование пористой структуры карбонизатов на основе торфа и полимерных отходов в процессе ступенчатого пиролиза // Успехи в химии и химической технологии: Сборник научных трудов XXIV Междунар. конф. молодых учёных. М.: Изд-во РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2010. С. 29-34.

6. Нистратов А.В., Клушин В.Н., Хомутов А.Н. и др. Высокоэффективная альтернатива утилизации полимерных отходов – переработка их в углеродные адсорбенты // VII Научно-практ. конф. «Инженерные изыскания в строительстве». М.: ПНИИИС, 2011. С. 224-232.

7. Нистратов А.В., Клушин В.Н., Самодуров В.М. Оптимизация пористой структуры и прочности углеродных адсорбентов на основе торфа и полимерных отходов // Сборник научных трудов XXV Междунар. конф. молодых учёных «Успехи в химии и химической технологии». М.: Изд-во РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2011. С. 11-15.

Заказ №

Объем 1,0 п.л.

Тираж 100 экз.

Издательский центр РХТУ им. Д.И. Менделеева