

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального  
образования «Академия гражданской защиты»  
Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям  
и ликвидации последствий стихийных бедствий  
Донецкой Народной Республики

*ФАКУЛЬТЕТ «ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ»*

*Кафедра аварийно-спасательных  
работ и техники*

## ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТА

по теме: " Анализ технологии безопасной переработки техногенных угольных  
образований"

Руководитель НИРС,  
старший преподаватель \_\_\_\_\_  
(подпись)

Губарев Ю.А.  
(Ф.И.О.)

Исполнитель НИРС,  
студент гр. ЗЧС-166 \_\_\_\_\_  
(подпись)

Пилипенко В.Н.  
(Ф.И.О.)

Донецк 2019

## РЕФЕРАТ

Отчёт в 3-х частях содержит 22с, 7 рис,2 таблицы,3 источника.

Ключевые слова: промышленные отходы, угольные образования.

Объект исследования – Анализ технологии безопасной переработки техногенных угольных образований.

Цель работы – исследовать причины, характеристики и способы проведения мероприятий, направленных на технологию безопасной переработку угольных образований

В процессе исследования была проведена работа с открытыми источниками электронного ресурса Internet.

В результате исследования были рассмотрены, основные технологии переработки промышленных отходов, а также использование отходов для рекультивации ландшафтов. Рассмотрена технология и составление принципиальной технологической схемы получения топлива.

Для решения рассматриваемой проблемы требуется принципиальная новизна и высокая эффективность технических, организационных и иных мероприятий и оборудования. Использование топливных гранул в качестве твердого топлива взамен каменного угля в котельных установках и для нужд населения . В сложившейся ситуации решение проблемы в приемлемые сроки может быть осуществлено только с применением программно-целевого подхода.

Данный подход позволяет обеспечить снижение потерь населения и повышение экономического потенциала путём концентрации материальных и финансовых ресурсов на приоритетных направлениях создания условий безопасной переработки угольных образований.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Основные технологии переработки промышленных отходов.....	6
Использование отходов для рекультивации ландшафтов.....	6
Экспериментальное исследование кинетики и теплообмена при конверсии углей и шламов в потоке перегретого пара.....	6
Разработка технологии и составление принципиальной технологической схемы получения топлива.....	15
Заключение.....	19
Список литературы.....	20

## ВВЕДЕНИЕ

Отходы предприятий угледобывающей и углеперерабатывающей промышленности характеризуются значительными объемами, и присутствие в их составе пылевидных фракций способствует повышению их пожаро- и взрывоопасности, что достоверно подтверждается большим числом самовозгораний отвалов. Нередки взрывы на угольных отвалах и, как следствие, большие выбросы пыли и породы в воздух на значительные расстояния. Потому вопросы предупреждения возгораний отвалов в условиях повышенного внимания к экологии и безопасности угольного производства приобретают большое значение.

На сегодняшний день для ликвидации отходов угледобычи и углепереработки разработано множество методов. Внедряются способы получения и сжигания пыле-водоугольного топлива. Однако подобные технологии сами представляют потенциальную взрыво- и пожароопасность, поскольку основаны на измельчении сжигаемого топлива до мелкодисперсных размеров (до 90 мкм), особенно на стадиях его приготовления и подготовки сырья. Необходимо разработать пожаро- и взрывобезопасную технологию утилизации техногенных угольных образований, в сравнении с применяемыми способами сжигания пылевидных отходов добычи и переработки угля.

Анализ литературы, в том числе патентной, позволяет заключить, что эффективным методом утилизации пылевидных отходов являются гранулирование и брикетирование с получением бездымного топлива. При этом необходимо решить задачу поиска связующего вещества, которое бы не ухудшало теплотехнических характеристик получаемых продуктов.

## **ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ**

Все промышленные отходы и соответствующие им технологии подразделяются на относительно экологически безопасные и экологически опасные. Поэтому для каждого вида отходов существует своя оптимальная технология. Приступая к разработке технологий использования промышленных отходов, начинают с экологии – прежде всего определяют степень радиоактивности отходов. Затем определяют их химический, зерновой состав и объем. Только после этого определяют возможные виды продукции из них и возможных потребителей. Любая научно-исследовательская работа должна проводиться на высоком патентном уровне. Зная прототип и аналог, определяют свойства, которыми должна обладать разрабатываемая продукция. Для достижения требуемых свойств продукции обязательно используют методы и технологии компьютерных программ искусственного интеллекта. С их помощью строят математическую модель технологии ликвидации отходов: рассчитывают конкретные технологические параметры, необходимое оборудование, определяют ожидаемый эколого-технико-экономический эффект, место внедрения технологии и потребителей продукции. Только после этого приступают к физическому моделированию – изготовлению лабораторных образцов и определению их свойств, выбору оптимальных технологических параметров для достижения свойств, превышающих патентный уровень. Получив контрольные образцы, составляют заявку на патент, а затем ищут пути внедрения данного изобретения в производство, что в нынешних условиях совсем не просто. Назовем современные технологии переработки промышленных отходов:

– применение отходов с целью получения сырья для производства строительных материалов, использующих многотоннажные отходы других производств;

– использование отходов для рекультивации ландшафтов, планировки территорий, подсыпке дорог и др.;

– применение отходов в сельском хозяйстве в качестве удобрений или средств мелиорации;

– комплексная переработка сырья и отходов в качестве вторичных ресурсов для производства новых видов продукции по безотходным, экологически чистым технологиям;

– утилизация промышленных отходов.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОХОДОВ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЛАНДШАФТОВ**

В горнодобывающей промышленности при добыче полезных ископаемых образуется большое количество пустой породы. Так, при добыче 1 т угля образуется 2–4 т вскрышных пород и около 0,5– 0,8 т отходов обогащения. При добыче 1 т руды в отвалах остается 0,5–0,8 т пустой породы. Для рекультивации ландшафтов и подсыпки дорог используется всего лишь около 10 % общего объема отходов горнодобывающей промышленности.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ И ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КОНВЕРСИИ УГЛЕЙ И ШЛАМОВ В ПОТОКЕ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА**

В последнее десятилетие в связи с истощением запасов газообразного и жидкого топлива все более актуальной становится проблема энергетической независимости и безопасности производственных процессов и объектов жизнеобеспечения. Рост темпа добычи и увеличение доли обогащения угля влечет за собой возрастание количества угольных отходов, содержащих органическую составляющую в количестве, экономически целесообразном для использования, но не вполне пригодных для переработки с использованием существующих традиционных технологий.

К таким отходам можно отнести высокозольные шламы углеобогатительных фабрик, а также штыб, образующийся при угледобыче. Поэтому важное значение приобретает развитие технологий не топливного использования органической части отходов угольной промышленности. В частности, исследованию процессов газификации углеродсодержащих веществ в потоке перегретого пара в последнее время уделяется все большее внимание. Преимущество использования газифицирующего агента в виде водяного пара подтверждается недавними зарубежными исследованиями, представленными, в частности, в работах . Исследования направлены на реализацию технологий конверсии органического сырья на основе использования перегретого водяного пара с целью получения высококалорийного продуктового газа или синтез-газа для химических производств. Создание промышленной технологии переработки требует большого объема экспериментальных исследований, который может быть значительно сокращен при сочетании модельных экспериментальных исследований конверсии перегретым паром с численным моделированием процесса.



В данной работе исследования процесса паровой газификации углеродсодержащих отходов проводились на экспериментальном стенде, схема которого представлена на Рис. 1. Внутренний диаметр реактора составлял 21 мм. Конверсия образцов осуществлялась в плотном слое частиц в среде перегретого (до 1200°С) водяного пара без доступа кислорода при давлении, незначительно превышающем атмосферное. Перегретый пар получался при сгорании стехиометрической водородно-кислородной смеси в потоке насыщенного водяного пара. Расходы насыщенного пара и горючей смеси составляли соответственно 5...10 л/мин ( $T = 120\text{--}130^\circ\text{C}$ ) и 2...5 л/мин. В качестве исходного материала использовались отходы угля (штыб) шахты «Березовская» с влажностью  $W_a = 1,08\%$ , содержанием летучих веществ  $V_d = 19,27\%$ , зольностью  $A_d = 9,59\%$  и элементным составом  $N = 1,51\%$ ,  $C = 77,27\%$  и  $H = 3,94\%$ . Материал предварительно карбонизировали (удаление летучих веществ) путем прогрева при температуре 600°С в течении 30 минут. Фракционный состав частиц колебался в пределах 3-4 мм; масса образца около 2,5 г. Измерения концентраций продуктов реакции ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ) осуществлялись на поточном газоанализаторе Тест-1.

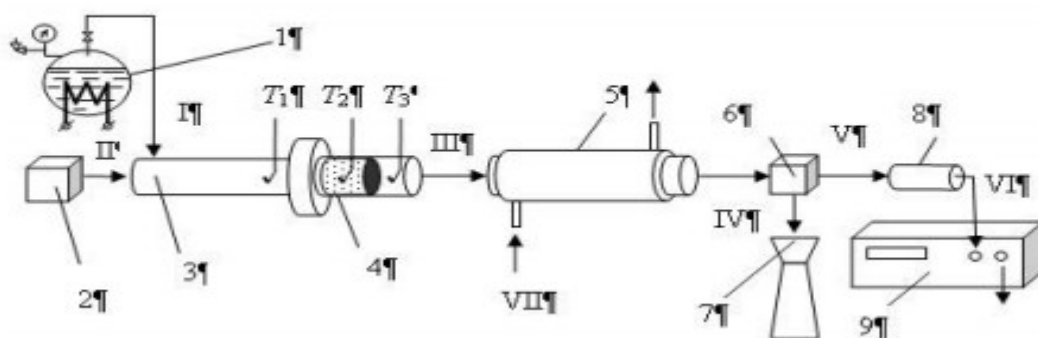


Рис.1. - Схема экспериментального стенда:

- I – вход низкотемпературного пара;
- II – вход высокотемпературного пара;
- III – выход паро-газовой смеси;
- IV – выход конденсата;
- V – выход влажного газа;

- VI – выход сухого газа;
- VII – охлаждающая вода .
- 1 – парогенератор;
- 2 – генератор горючей смеси;
- 3 – зона смешения рабочего участка;
- 4 – реакционная зона рабочего участка;
- 5 – конденсатор;
- 6 – емкость разделения;
- 7 – емкость сбора конденсата;
- 8 – емкость осушения газа;
- 9 – газоанализатор; T1, T2, T3 – соответственно измерение температуры перед реакционной зоной, в реакционной зоне и после нее.

В результате экспериментальных исследований были получены зависимости образования основных продуктов процесса паровой газификации от времени процесса при постоянных расходах пара, его температуры и исходного сырья. Уменьшение массы образца при конверсии за время эксперимента составляло от 12 % при температуре 735 °С до 58 % при температуре 1000 °С.

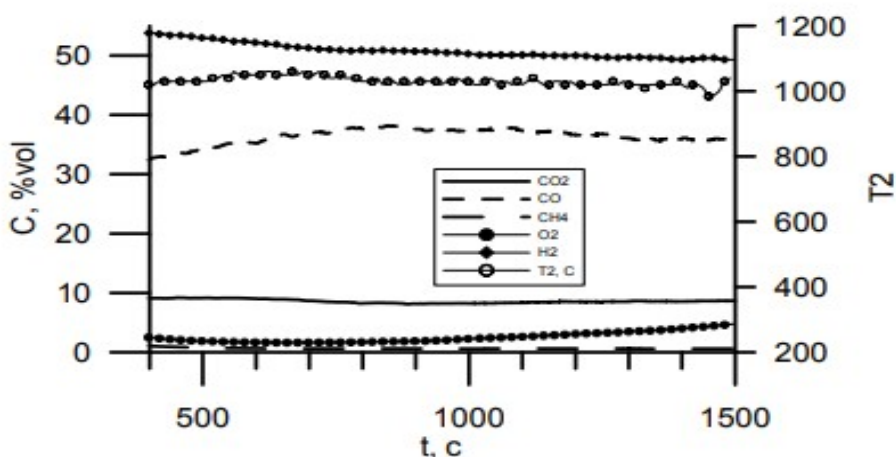
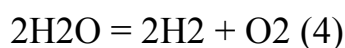
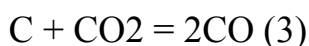
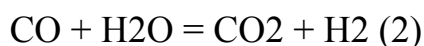
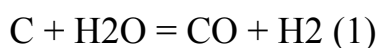


Рис.2. - Зависимости образования характерных продуктов реакций при газификации отходов шахты «Березовская» (стационарные условия);

температура в слое материала 1000°С

На Рис. 2 представлены типичные результаты изменения объемных концентраций продуктов и температуры в плотном слое материала. Обращает на себя внимание снижение концентрации водорода при одновременном увеличении содержания в смеси кислорода. Появление кислорода объясняется разложением пара на кислород и водород при каталитическом действии зольного скелета.

В данном случае рассматривается модель прочного зольного каркаса. По этой модели предполагается, что размер частицы остается постоянной величиной вплоть до полной конверсии кокса, но плотность частицы меняется за счет уменьшения доли кокса и увеличения доли зольного остатка к общей массе частицы. Так как содержание метана незначительное (оценка показала, что массовая доля выхода углерода в метан не превышает 3%), то при анализе кинетики паровой конверсии учитывались следующие реакции



Приведенные реакции являются стехиометрическими, т.е. характеризуют суммарные количественные соотношения исходных и конечных продуктов газификации углерода. Они не отражают реальной последовательности реакций материала с паром, которые проходят в определенной последовательности и с образованием промежуточных продуктов. Для получения количественных данных по скоростям реакций, необходимых для численного моделирования процесса, была разработана методика обработки экспериментальных данных. При разработке этой методики предполагалось, что на этапе конверсии объемный выход продуктов конверсии постоянен. Для определения массового выхода

компонент численным интегрированием произведений экспериментальных объемных концентраций CO и CO<sub>2</sub> на плотности этих компонент и объемный расход (неизвестный) вычислялся относительный массовый выход углерода в этих компонентах. Отношение изменения массы образца ΔM<sub>C</sub> к относительному выходу углерода M<sub>C</sub> позволяет определить нормировку временной зависимости выхода углерода Δm<sub>C</sub>(t) (кг/с), а также абсолютные временные зависимости массового выхода Δm<sub>O<sub>2</sub></sub>(t), Δm<sub>CO</sub>(t) и Δm<sub>CO<sub>2</sub></sub>(t), (кг/с). Обозначая массовые скорости реакций (1–4) ΔM<sub>j</sub> (кг/с), где j – номер реакции, для системы реакций получим следующую систему линейных уравнений для суммарных скоростей выхода компонент:

$$\Delta m_C = \frac{\mu_C}{\mu_C + \mu_{H_2O}} \Delta M_1 + \frac{\mu_C}{\mu_C + \mu_{CO_2}} \Delta M_3, \quad \Delta m_{CO} = \frac{\mu_{CO}}{\mu_{CO} + \mu_{H_2}} \Delta M_1 + \Delta M_3$$

$$\Delta m_{CO_2} = \frac{\mu_{CO_2}}{\mu_{CO_2} + \mu_{H_2}} \Delta M_2 - \frac{\mu_{CO_2}}{\mu_{CO_2} + \mu_C} \Delta M_3, \quad \Delta m_{O_2} = \frac{\mu_{O_2}}{2\mu_{H_2} + \mu_{O_2}} \Delta M_4.$$

Из этой системы линейных уравнений для каждого измерения по известным зависимостям выхода компонент вычисляются массовые скорости реакций (1–4).

Для проверки методики проводился расчет массового выхода H<sub>2</sub> по рассчитанным скоростям реакций (1-4) по следующей формуле:

$$\Delta m_{H_2} = \frac{\mu_{H_2}}{\mu_{CO} + \mu_{H_2}} \Delta M_1 + \frac{\mu_{H_2}}{\mu_{CO_2} + \mu_{H_2}} \Delta M_2 + \frac{2\mu_{H_2}}{2\mu_{H_2} + \mu_{O_2}} \Delta M_4.$$

Сравнение типичных результатов проверки с экспериментальными данными представлено на Рис. 3. Наибольшее расхождение составляет около 15 %, что показывает работоспособность примененной методики.

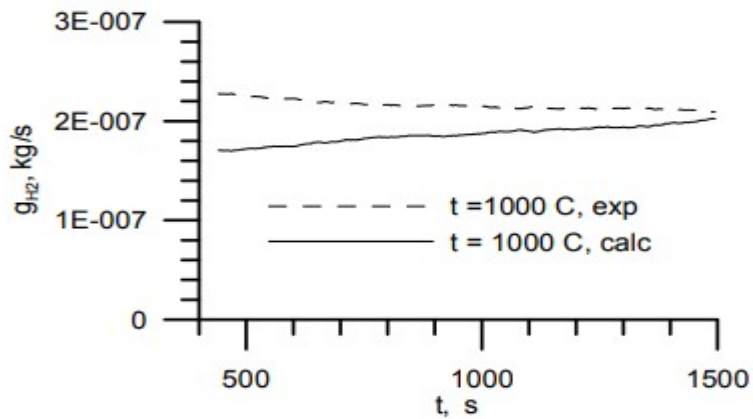


Рис.3. – Экспериментальная и расчетная зависимости массового выхода  $H_2$ .

На рис. 4 представлены графики массовых скоростей  $R_1 - R_4$  для реакций 1–4 соответственно при обработке экспериментальных данных для карбонизированных отходов угля шахты «Березовская».

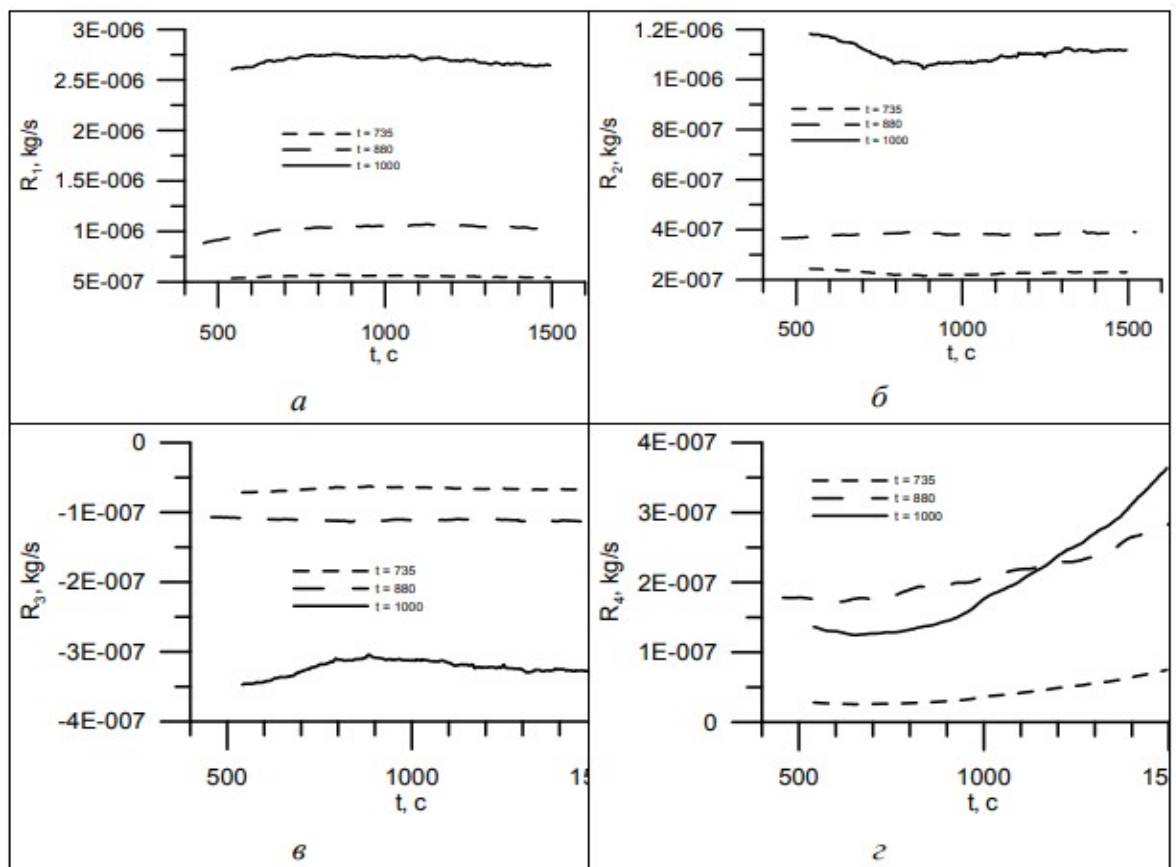


Рис.4. - Зависимость массовой скорости для реакций 1 – 4 (а–г, соответственно) от времени для карбонизированных отходов угля шахты

«Березовская» при температуре перегретого пара 735, 880, 1000 о С.

На этапе конверсии скорости реакций 1, 2 и 3 практически постоянны, причем скорость реакции 3 смещена в сторону образования исходных веществ, т.е. происходит образование CO<sub>2</sub> из CO. Для проверки методики проводился расчет выхода углерода по рассчитанным скоростям реакций. Результаты совпали с результатом расчета по исходным данным с погрешностью менее 1%.

По результатам обработки экспериментальных данных была определена зависимость скорости конверсии углерода от температуры. Параметры режимов и скорость конверсии представлены в таблице 1.

Таблица1 - Скорость массового выхода углерода при конверсии для карбонизированных отходов угля шахты «Березовская»

T, °C	dM/M <sub>0</sub>	G, л/мин	k(T), г/с
800	0.19	6.787	0.0001364098652
880	0.226	6.7	0.0001656542365
1000	0.581	6.509	0.0004386102158

Аппроксимация по Аррениусу зависимости скорости конверсии от температуры дает  $k(T) = 1.8 \cdot \exp(-10638.7/T)$  г/с. Эта формула может быть использована для оценки скорости конверсии в условиях, близких к условиям проведения эксперимента, т.е. при значительном стехиометрическом избытке пара. Исследование конвективного теплообмена между зернистым слоем углеродсодержащего материала и потоком перегретого пара было проведено с целью уточнения существующих зависимостей конвективного теплообмена для дальнейшего численного моделирования.

В работе проведен детальный анализ экспериментальных зависимостей  $Nu(Re, Pr, \epsilon)$  для конвективного теплообмена между зернистым слоем и потоком. Анализ показал, что при значительном количестве работ у разных авторов, данные их плохо согласуются между собой.

Таким образом, учёт всех обстоятельств, влияющих на конвективный

теплообмен в зернистом слое, при воздействии скрытых параметров для каждого конкретного аппарата представляет относительно сложную задачу. Поэтому основная цель данного исследования – это проведение экспериментальной оценки интенсивности конвективного теплообмена из соображений идеальной теоретической оценки, описанной в работе . Общую зависимость  $Nu(Re, Pr)$  при порозности засыпки  $\epsilon = 0,4$  можно записать в виде

$$Nu = c Re^n Pr^{1/3} .$$

Для определения воспользуемся аналогией Рейнольдса для шара, согласно которой  $Nu = 0.125 Re Re \zeta( )$  , где  $\zeta( ) Re$  – зависимость гидравлического сопротивления. При небольших числах Рейнольдса гидравлическое сопротивление  $\zeta( ) Re$  , по Четкин[9], равно  $0.2 \zeta( ) Re \sim Re$  при  $Re \sim 10-100$ .

В этой области чисел Рейнольдса можно использовать для аппроксимации экспериментальных данных зависимость:

$$Nu \sim Re^{0.8} .$$

Однако данная оценка справедлива лишь при условии:

- а)  $Pr = 1$ ;
- б) отсутствует градиент давления;
- в) обтекание безотрывно.

Методика определения конвективного теплообмена в зернистом слое при внезапном повышении температуры теплоносителя на входе в слой описана в работах ]. Для вычисления коэффициента теплообмена в этой методике использовалась аналитическая аппроксимация временной зависимости температуры тонкого слоя зернистой среды на начальном этапе нагрева. Теплофизические свойства предполагались постоянными. Предполагалось, что при нагреве зерен среды температура однородна по объёму зерна.

На Рис. 5 представлены экспериментальные данные (точки 1), полученные по описанной выше методике для зернистого слоя карбонизированного угля шахты Березовская. Кроме экспериментальных

данных на графике нанесена зависимость конвективного теплообмена  $Nu(Re)$  (линия 2), которая была построена по зависимости:

$$Nu = \frac{0.3}{Sd_0} Re^{0.8} \varepsilon^{0.75},$$

где  $S = \frac{\varepsilon}{\zeta d_0}$  – удельная контурная поверхность частиц,  $\varepsilon = 0,4$  – пористость частиц,  $\zeta = 0.1$  – эмпирический коэффициент,  $d_0$  – диаметр зерна,  $Re = \frac{ud_0}{\nu_g}$  критерий Рейнольдса,  $u$  – скорость потока смеси,  $\nu_g$  – вязкость газа. Данная зависимость конвективного теплообмена использовалась в численном моделировании для автотермических газификаторов [13]. Подставляя в формулу \*  $\varepsilon = 0.4$  – пористость и  $\zeta = 0.1$  – эмпирический коэффициент получаем:

$$Nu = 0,03772 Re^{0,8}. \quad (**)$$

Линия 3 на графике 5 построена по данным Четкина [9]:

$$Nu = 0,0575 Re^{0,83}. \quad (***)$$

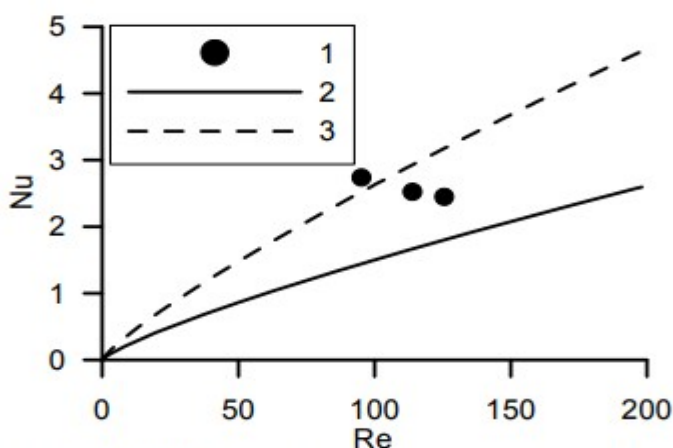


Рис. 5. Зависимость  $Nu(Re)$ : 1 – экспериментальные данные, 2 – зависимость по данным Виленского и др. [14], 3 – зависимость по данным Четкина [9]

Представлены результаты экспериментального исследования конверсии отходов угля в потоке перегретого пара. Разработана методика обработки экспериментальных данных, с использованием которой определены кинетические закономерности паровой конверсии. Получены оценки коэффициента конвективного теплообмена слоя зернистого материала с потоком пара.



## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И СОСТАВЛЕНИЕ ПРИНЦИПАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ ТОПЛИВА

Результаты экспериментальных исследований положены в основу технологии получения газообразных и твердых энергоносителей с использованием отходов биологических очистных сооружений и предприятий добычи и переработки угля. На Рис. 6 представлена блок-схема процесса получения твердотопливных гранул на основе отходов предприятий добычи и переработки угля.

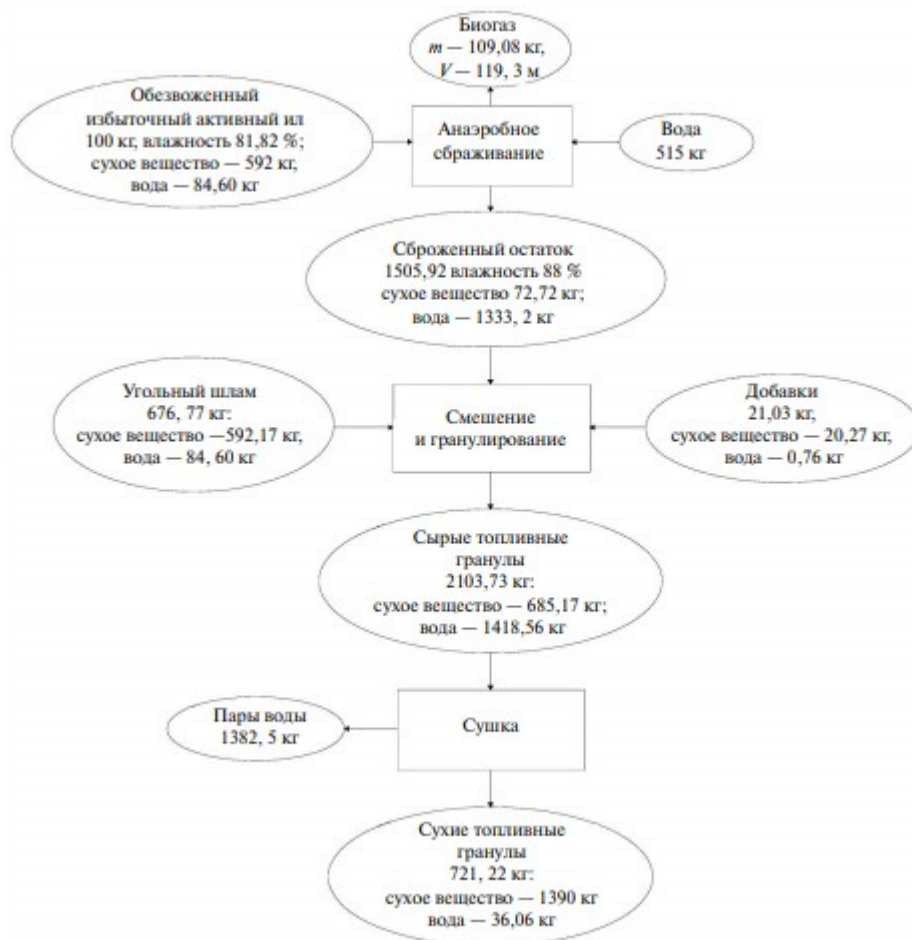


Рис.6. – Блок-схема технологии получения топливных гранул из

отходов предприятий добычи и переработки угля.

В качестве связующего вещества используется остаток от анаэробного сбраживания обезвоженного избыточного активного ила. Расчет представлен для переработки 1000 кг исходного сырья. В качестве исходных данных взят объем загрузки одного метантенка 10 м<sup>3</sup>, что соответствует масштабам переработки для опытной установки. Разработана принципиальная технологическая схема опытной переработки обезвоженного активного ила объемом 10000 м<sup>3</sup>/год с получением топливных гранул (Рис. 7). По данной схеме исходное сырье (кек) загружают в бункер 5, откуда героторным насосом перекачивают в метантенки 1, где происходит анаэробное сбраживание с получением биогаза. В схеме предусмотрено три метантенка, работающих параллельно. Период сбраживания составляет 16 дней.

*Материальный баланс технологии получения топливных гранул  
(расчет на переработку 10000 т обезвоженного избыточного активного  
ила).*

Приход				Расход			
Вещество	Состав	Масса, кг	%	Вещество	Состав	Масса, кг	%
<i>Стадия сбраживания</i>							
Кек	Сухое вещество кека	1818,0	12,0	Сброженный остаток	Сухое вещество кека	727,2	4,8
	Вода	8182,0	54,0		Вода	13332,0	88,0
Вода	Вода	5150,0	34,0	Биогаз	Биогаз	1090,8	7,2
Итого		15150,0	100,0	Итого		15150,0	100,0
<i>Стадия окатывания</i>							
Угольный шлам	Сухое вещество угля	5921,7	28,2	Топливные гранулы влажные	Сухое вещество угля	5921,7	28,2
	Вода	846,0	4,0		Сухое вещество кека	727,2	3,5
Сброж. остаток	Сухое вещество кека	727,2	3,5		Сухое вещество добавок	202,7	1,0
	Вода	13332,0	63,4		Вода	14185,6	67,4
Добавки	Сухое вещество добавок	202,7	1,0				
		Вода	7,6	0,04	Итого		21037,3
Итого		21037,3	100,0	Итого		21037,3	100,0
<i>Стадия сушки</i>							
Топливные гранулы влажные	Сухое вещество угля	5921,7	28,2	Топливные гранулы сухие	Сухое вещество угля	5921,7	28,2
	Сухое вещество кека	727,2	3,5		Сухое вещество кека	727,2	3,5
	Сухое вещество добавок	202,7	1,0		Сухое вещество добавок	202,7	1,0
	Вода	14185,6	67,4		Вода	360,6	1,7
Итого		21037,3	100,0	Вода испар.	Вода	13825,0	65,7
				Итого		21037,3	100,0

Для достижения оптимальной влажности смеси в аппараты добавляют воду, дозирование осуществляется автоматически весовыми дозаторами. Процесс сбраживания осуществляют при периодическом перемешивании. Эффективность анаэробной переработки определяется температурой сбраживания смеси, причем на этот параметр значительно влияет температура окружающей среды. Оптимальная температура смеси в аппарате составляет  $37 \pm 5$  °С. Выбор режима обусловлен экономическими затратами на подогрев метантенка и поддержание в нем постоянной оптимальной температуры, измеряемой термопарами; давление контролируют манометрами.

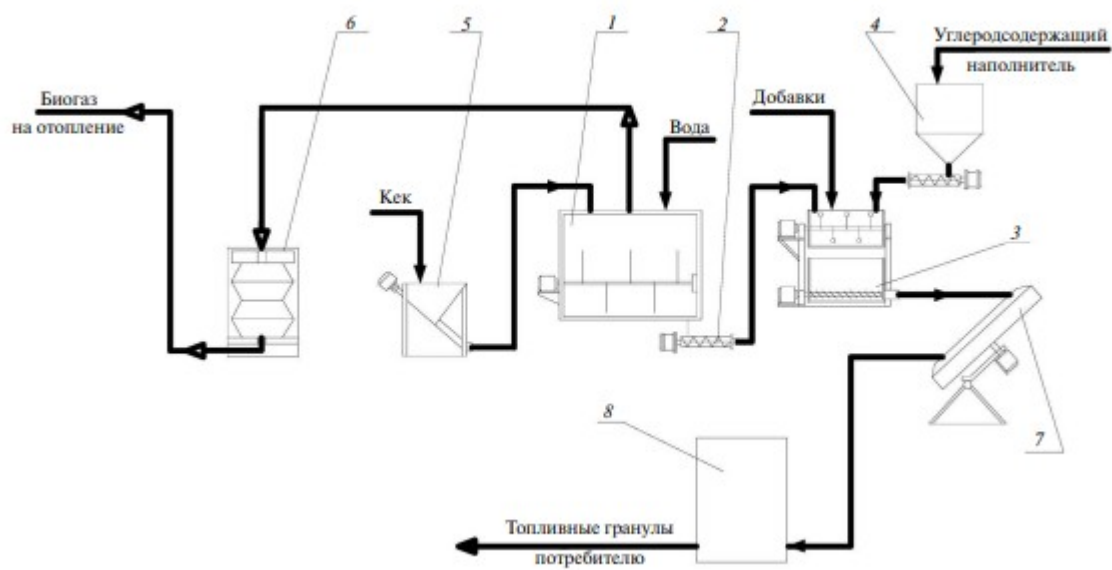


Рис.7. – Принципиальная технологическая схема опытной установки переработки техногенных угольных образований с получением топливных гранул: 1- метантенк; 2 – винтовой (героторный) насос; 3 – смеситель; 4 – бункер-дозатор угольного шлама; 5 – винтовой (героторный) насос с бункером; 6 – газгольдер; 7 – гранулятор; 8 – промышленный сшильный шкаф.

Метантенки снаружи утеплены изолирующим материалом. Биогаз, образующийся в процессе сбраживания, поступает в газгольдер 6, где накапливается и затем используется на технологические нужды.

Перед использованием биогаз подвергается очистке от кислых газов с использованием аммиачной воды, в которой углекислый газ, сероводород связываются аммиаком, при этом образуются аммонийные соли, применяемые в различных отраслях промышленности.

После очистки биогаз, содержащий преимущественно метан (до 98–99 %), предлагается использовать в качестве газообразного энергоносителя. По окончании периода переработки оставшуюся в аппарате сброженную массу насосом 2 перекачивают в емкость для приготовления формовочной смеси, которую подают в гранулятор 7.

После формования полученные топливные гранулы поступают в

сушильный аппарат. Высушенные гранулы направляют на упаковку и далее потребителю. В результате проведенных исследований разработана технологическая схема процесса получения топливных гранул на основе углеродсодержащих отходов угольных предприятий (угольная и коксовая пыль/мелочь, отсеvy, шламы и т. п.) и биологических очистных сооружений (избыточный активный ил). Получение связующего вещества, обеззараживание ила и формование топливных гранул не потребует значительных капиталовложений, и его можно реализовать на территории действующих предприятий. Необходимая для этого площадь составляет около 150 м<sup>2</sup>, включая подсобные помещения. Следовательно, осуществление переработки обезвоженного избыточного активного ила по предлагаемой технологии будет способствовать ресурсо- и энергосбережению. Ресурсосбережение заключается в использовании биогаза и получаемых топливных гранул как альтернативы традиционным природным энергоносителям — углю, природному газу и т. п. Перспективно использование топливных гранул в качестве твердого топлива взамен каменного угля в котельных установках и для нужд населения. Энергосбережение при реализации предлагаемых решений заключается в значительном сокращении потребления энергоносителей со стороны, что возможно благодаря использованию собственного получаемого газообразного и твердого топлива.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В работе содержится решение актуальной технологической задачи обеспечения безопасности при создании технологии получения топливных гранул из отходов предприятий добычи и переработки угля и биологических очистных сооружений. Разработаны решения, повышающие

промышленную безопасность получения топливных гранул и имеющие важное значение для экономики страны.

Основные научные результаты, выводы заключаются в следующем:

1) Экспериментально доказана возможность использования в качестве связующего вещества остатка анаэробного сбраживания избыточного активного ила городских станций аэрации. Установлены закономерности влияния влажности исходного обезвоженного избыточного активного ила, подвергаемого сбраживанию, на свойства получаемого сброженного остатка. Экспериментально определена оптимальная влажность исходного сырья (87 %) для получения связующего вещества.

2) Впервые установлены физико-механические характеристики топливных гранул, исследованы зависимости гранулометрического состава, прочностных и потребительских свойств получаемого топлива от различных соотношений вводимого угля, кокса, связующего и модифицирующих добавок.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Экология. Основы геоэкологии : учебник для академического бакалавриата / А. Г. Милютин, Н. К. Андросова, И. С. Калинин, А. К. Порцевский ; под редакцией А. Г. Милютин. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 542 с. — (Серия : Бакалавр. Академический курс). — ISBN

978-5-9916-3904-0. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://biblio-online.ru/bcode/425266>

2. Ушаков А.Г. Получение твердого топлива из отходов. Проблемы и способы реализации // Альтернативная энергетика и экология. 2011. №7. С. 106– 114.

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХСТАДИЙНОГО ГАЗИФИКАТОРА ДЛЯ КОНВЕРСИИ УГЛЯ И ШЛАМА В ПОТОКЕ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА

Богомолов А.Р. 1 , Алексеев М.В. 1 , Сорокин А.Л. 1 , Прибатурин Н.А. 1 , Кагакин Е.И. 2 , Шевырев С.А.