

оребранными пучками: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.14 / А. В. Самородов. Архангельск, 1999. – 176 с.

10. Маршалова, Г. С. Тепловой расчет и проектирование аппаратов воздушного охлаждения с вытяжной шахтой :дис. ... канд. техн. наук : 01.04.14 / Г. С. Маршалова. – Минск, 2019. – 153 л.

11. Сидорик, Г. С. Экспериментальный стенд для исследования тепловых и аэродинамических процессов смешанно-конвективного теплообмена круглоребристых труб и пучков // Труды БГТУ. Серия 1. Лесн. хоз-во, природопольз. и перераб. возоб. рес. – 2018. – № 1. – С. 85–93.

УДК 620.97

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Хутская Н.Г., Пальченок Г.И.

Белорусский национальный технический университет

Проблемы утилизации осадков сточных вод связаны с постоянным ростом количества стоков, причем в городских условиях величина этих отходов составляет от 30 до 45% от общего количества отходов. Для их хранения и складирования необходимы свободные территории вблизи городов, ресурсы для строительства и эксплуатации очистных сооружений, в противном случае это приводит к экологическому ущербу для окружающей среды. С другой стороны, осадки сточных вод могут быть использованы в качестве альтернативных источников энергии. Размещение осадков сточных вод на иловых площадках требуют значительных площадей рядом с источниками загрязнения.

По данным Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды, за последние 15 лет в Беларуси объёмы добычи воды сократились на 23%. На производственные нужды воды теперь тратится на 50% меньше, или на 393 млн м³. Благодаря введению в эксплуатацию 94 очистных сооружений канализации в некоторых городах объём сброса недоочищенных сточных вод в поверхностные водотоки сократился на 78% (19,3 млн м³) [1].

Годовой объём водоотведения в Республике Беларусь составляет 1281 млн. м³ сточных вод (2021 г.). Количество осадков сточных вод составляет от 2 до 10 % от расхода поступающих вод, что составляет 180-197 тыс. тонн осадков, причем используется не более 4-5%.

Главной причиной создавшегося положения является тот факт, что рассматриваемая проблема не была сформулирована первоначально во всех аспектах, не был продуман вопрос о том, что накопление отходов на ограниченной территории в будущем приведет к необходимости решать проблему при значительно больших затратах. Нельзя завершить процесс очистки сточных вод, не имея эффективного и экологически безопасного способа утилизации осадков. Вместе с тем осадок сточных вод может послужить добрую службу в различных областях народного хозяйства [2].

Осадки сточных вод – масса, влажностью около 80 %, черного цвета с неприятным запахом. Химический состав: сухое вещество – 23-45 %; зольность – 49-56 %; углерод – 16-27 %; азот– 1,5-2,5 %; фосфор– 2-4 %; калий– 0,5-1,0 %, причем содержание элементов в ОСВ изменяется значительно и определяется в основном соотношением промышленных и коммунально-бытовых стоков, поступающих на очистные сооружения.

Кроме полезных веществ ОСВ могут содержать «тяжелые металлы» (ртуть, кадмий, свинец, мышьяк)

Существующие нормативные документы в области обращения с отходами определяют требования как ценности сточных вод в качестве удобрений, так и ограничения по содержанию тяжелых металлов [3]. Нельзя использовать не переработанные осадки сточных вод в качестве удобрения для сельскохозяйственного производства [5]. Выбор путей утилизации ОСВ должен основываться на нормативной документации. В настоящее время в Беларуси самым мощным источником загрязнения водных объектов являются бытовые стоки.

В классификаторе отходов, утвержденном в соответствии со статьей 11 Закона Республики Беларусь «Об обращении с отходами», осадки (шламы) биомеханической обработки сточных вод определяются как отходы. Осадки городских очистных сооружений представляют собой органические (до 80%) и минеральные (около 20%) примеси, выделенные из воды в результате механической, биологической и физикохимической очистки. ОСВ содержат также значительное количество элементов питания растений, таких как азот, фосфор, калий, кальций [10,11]. ОСВ после обезвоживания на иловых площадках не уступают по содержанию органического вещества некоторым видам органических удобрений. Как показывает зарубежный и отечественный опыт, большое количество ОСВ успешно визировать в одном каком-либо направлении не удастся. Необходимо внедрять комплексный подход к утилизации осадков: часть их подвергать термической переработке, часть; использовать в качестве удобрения, часть складировать перед дальнейшим использованием.

Гетерогенная природа осадков сточных вод, образующихся на разных очистных сооружениях и различия между сезонами требуют знаний

химического состава осадка сточных вод до внесения в почву. Характеристики осадка сточных вод зависят на процессах очистки сточных вод и обработки осадка. Как правило, осадок сточных вод состоит из органических соединения, макроэлементы, широкий спектр микроэлементов, микроэлементы, не являющиеся необходимыми микроэлементами, органические микрозагрязнители и микроорганизмы [7].

Элементом комплексной схемы обращения с ОСВ является технология высушивания и прессования осадков с образованием брикетов которые можно сжигать в котельных и ТЭЦ.

Анаэробная стабилизация осадка сточных вод позволяет получить биогаз для выработки тепловой и электрической энергии. Сжигание осадка сточных вод обладает преимуществами: уменьшение объема и массы за счет испарения воды и минерализация органических соединений в ОСВ, разрушение вредных соединений в ОСВ, связывание вредных соединений в осадке и газовых выбросах. Образующаяся зола и шлак могут быть использованы в производстве строительных материалов.

Особый интерес представляет разработка инновационных технологий термохимическая конверсия ОСВ для получения высококачественного вторичного топлива с высокой реакционной способностью, с низким содержанием золы и высокой теплотворной способностью.

Перспективным является использование процесса пиролиза в печах с кипящим слоем, который позволяет получать качественное жидкое и (или) твердое биотопливо. В качестве возобновляемого сырья для процессов пиролиза и газификации могут быть использованы такие углеродсодержащие отходы как твердый осадок сточных вод. Этот тип сырья характеризуется «отрицательной стоимостью», так как требует значительных затрат на захоронение. Производство вторичного биотоплива из него одновременно решает эту проблему [4], а присутствие в газах при сжигании осадков токсичных компонентов вызывает трудности при очистке этих газов перед выбросом их в атмосферу.

Процесс сжигания осадков состоит из следующих стадий: нагревание, сушка, отгонка летучих веществ, сжигание органической части и прокаливание для выгорания остатков углерода. Возгорание осадка происходит при температуре 200-500°C. Прокаливание зольной части осадка завершается его охлаждением. Температура в топке печи должна быть в пределах 700-1000 °C. Установки для сжигания осадков должны обеспечивать полноту сгорания органической части осадка и утилизацию теплоты отходящих газов. Для сжигания осадков наибольшее распространение получили многоподовые печи, печи кипящего слоя и барабанные вращающиеся печи.

Газификация - это получение газообразных продуктов из твердых или жидких веществ, содержащих углеводород с использованием средств газификации (кислорода, воздуха, водяного пара). Результатом является получение синтез-газа содержащего основные компоненты H_2 , H_2O , CO , CO_2 , CH_4 . Кроме основных компонентов синтез-газ может содержать H_2S , COS , HCl , NH_3 , HCN в зависимости от способов получения: средств газификации, режимных параметров и кинетических условий.

При газификации ОСВ наряду с синтез-газом могут быть получены также склонные к образованию отложений и пригодные к применению (например, в производстве стройматериалов) грануляты либо шлаки. Температура должна составлять не менее $850\text{ }^\circ\text{C}$, а при газификации с последующим расплавлением шлака – не менее $1300\text{ }^\circ\text{C}$. Обычно требуется сушка ОСВ. (Таблица 1) [5].

В работе приведены результаты расчетов равновесного состава продуктов конверсии осадков сточных вод при температурах ($T = 573\text{--}1173\text{ K}$) и давления ($p = 0,02\text{--}1,2\text{ МПа}$). Расчеты выполнены с помощью программы *NASA CEA* методом минимизации свободной энтальпии Гиббса для равновесной смеси газовых и конденсированных компонентов. В программе используется метод минимизации термодинамических потенциалов – свободной энтальпии Гиббса (для изобарно-изотермических процессов) или свободной энергии Гельмгольца (для изохорно-изотермических процессов) для равновесной смеси газовых и конденсированных компонентов [6]. Функция Гиббса для смеси компонентов имеет вид:

$$G = \sum_{k=1}^K \bar{g}_k N_k, \quad (1)$$

где \bar{g}_k - энергия Гиббса k -го компонента, N_k - число молей k -го компонента в системе, K – число химических компонентов в системе.

Для смесей идеальных газов и идеальных растворов функция Гиббса k -го компонента задается выражением:

$$\bar{g}_k = g_k(T, P) + RT \ln X_k, \quad (2)$$

где $g_k(T, P)$ - функция Гиббса чистого компонента, определенная при заданных температуре и давлении, R – универсальная газовая постоянная, X_k - мольная доля k -го компонента.

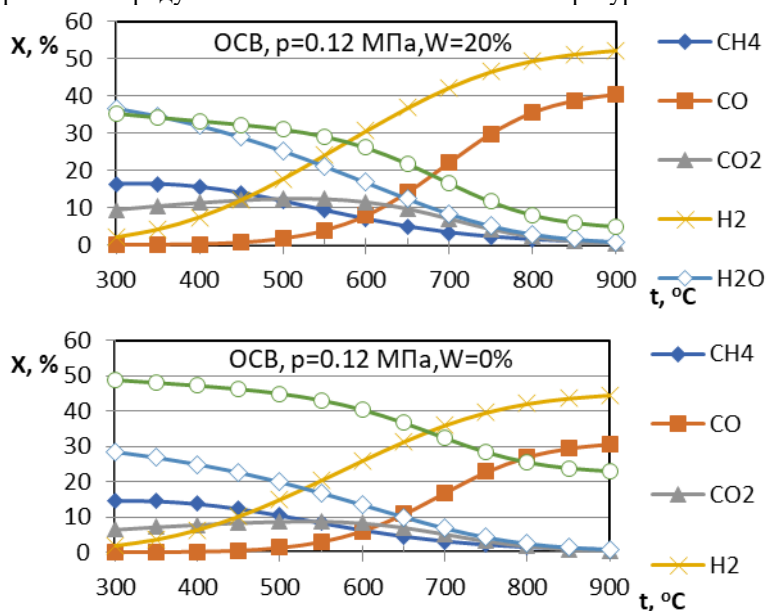
Равновесный состав системы при заданных температуре и давлении определяется путем минимизации выражения (1) при ограничениях, накладываемых исходным атомарным составом реагентов. Значения компонентов и состав осадка сточных вод представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Состав модельных топлив, масс.%

Компонент	Осадки сточных вод (ОСВ)
W ^p	≤ 80
C ^c	43.4
H ^c	6.2
O ^c	34.2
N ^c	1.8
S ^c	0.5
A ^c	14.0
Расчетная формула горючей массы*	CH _{1.71} O _{0.59}

* В связи с малым содержанием азота и серы в модельных топливах эти элементы не учитывались в равновесных расчетах.

В процессе работы проведены расчеты и анализ равновесного состава осадков сточных вод в зависимости от температуры, давления, влажности сырья. На рисунке 1 представлены результаты расчета мольного состава гетерогенных продуктов ОСВ в зависимости от температуры и влажности.



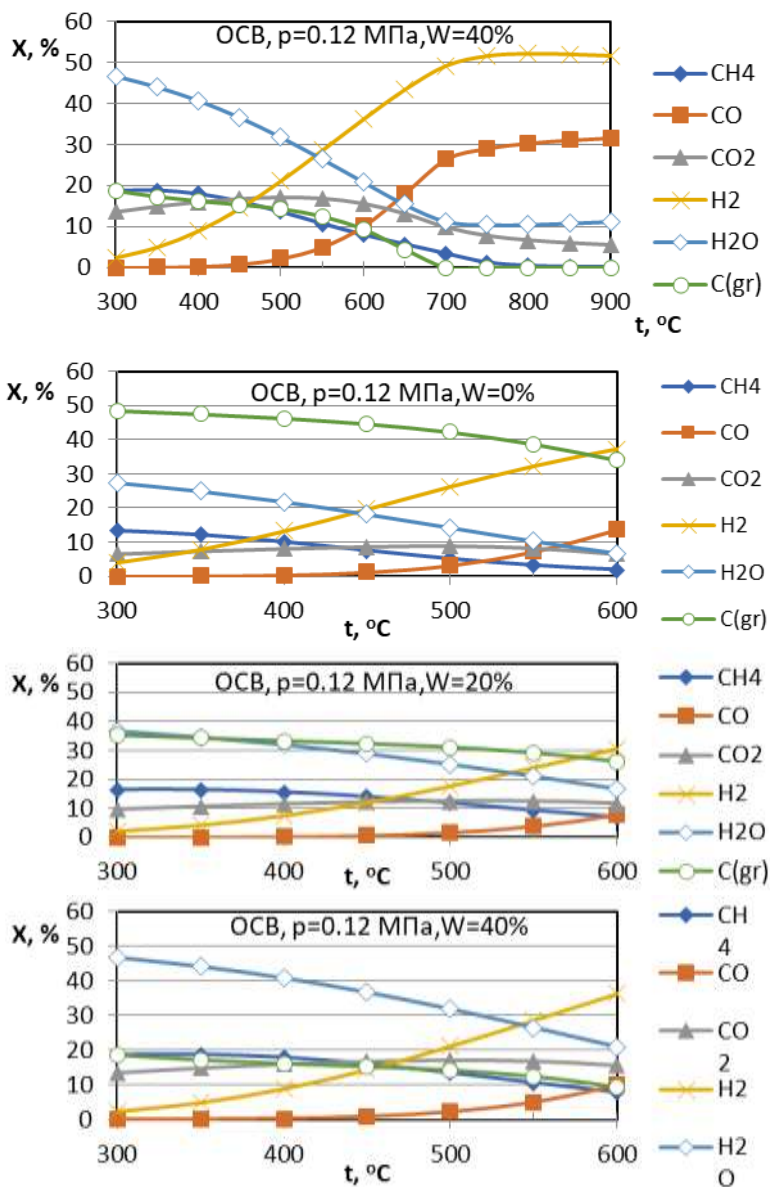


Рис. 1 – Мольный состав гетерогенных продуктов ОСВ в зависимости от температуры и влажности при $p=0,12$ МПа

Рассмотрим массовый выход твердого углерода от температуры, давления и влажности, представленный на рисунке 2. Из рисунка 2 следует, что при повышении влажности массовый выход твердого углерода значительно снижается от 50% до 19%. Так же выход твердого углерода снижается при высоких температурах. Значительное снижение происходит от 600 °С и выше. В области низких температур от 300 °С до 500 °С изменение выхода твердого углерода от давления фактически не изменяется. Но если рассмотреть диапазон, высоких температур, а именно, температуру равную 700 °С при влажности $W=0\%, 20\%$ и 40% , наблюдаем, что выход твердого углерода снижается приблизительно на 16%.

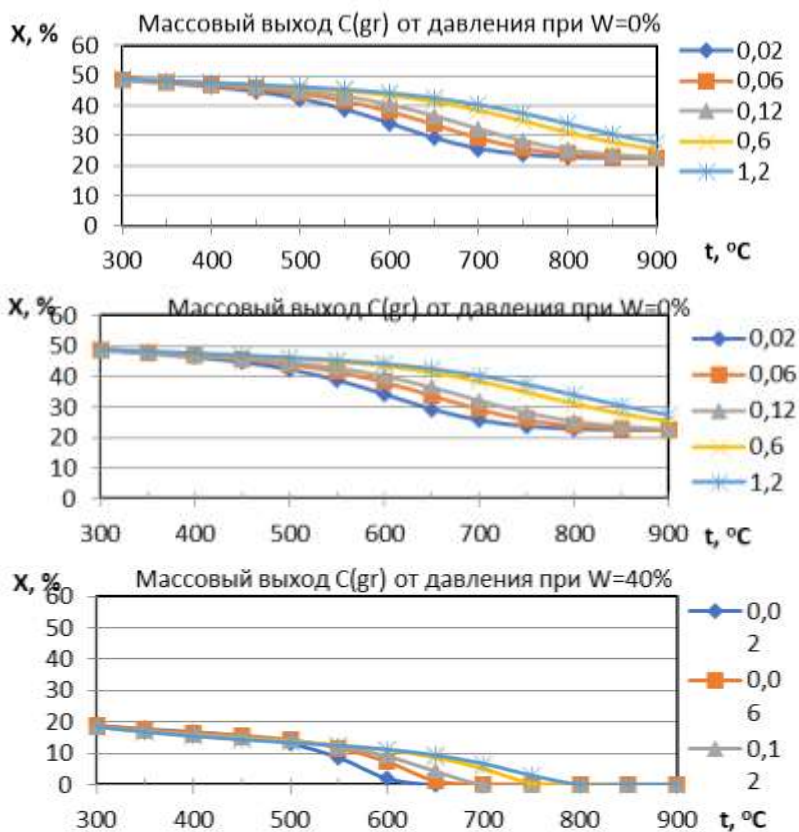


Рис. 2 – Массовый выход твердого углерода от температуры, давления и влажности

На рисунке 3 приведена низшая теплотворная способность влажных газообразных продуктов пиролиза ОСВ различной влажности в зависимости от температуры и давления

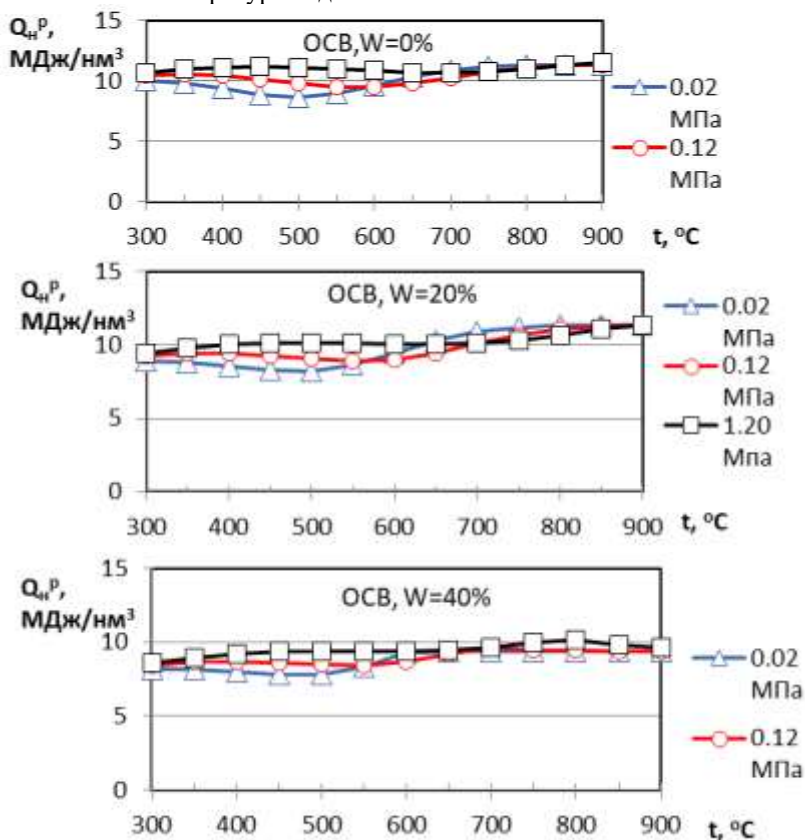


Рис. 3 – Низшая теплотворная способность влажных газообразных продуктов пиролиза ОСВ различной влажности в зависимости от температуры и давления

Было установлено, что исследованный вид отхода может эффективно использоваться для получения твердого биотоплива путем пиролиза в диапазоне температур 300–600 °C при давлениях от 0,02-1,2 МПа. Наибольший выход твердого углерода наблюдается при давлении 1,2 МПа и влажности $W=0\%$. Мольный и массовый выход твердого углерода может достигать до 50 % осадков сточных вод при данных параметрах. Поэтому эти условия являются оптимальными для получения твёрдого углерода. Теплотворная способность влажных газообразных продуктов пиролиза

ОСВ близка к 8–12 МДж/м³. Теплотворная способность сухих газообразных продуктов пиролиза ОСВ составляет 12–25 МДж/м³. Также стоит отметить, что в диапазоне температур 600–900°C основным продуктом является водород и монооксид углерода, что в сумме дает нам синтез-газ, наилучший выход которого мы наблюдаем при влажности W=40%. Синтез-газ так же можно использовать в качестве биотоплива.

Литература

1. Волчек А. А. Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания: Сборник научных статей Международной научно-практической конференции, 6—8 апреля 2016 г / А. А. Волчек (председ.) и др.— Брест: БрГТУ, 2016. — 307 с.
2. Вострова, Р. Н. Вторая жизнь осадка сточных вод городских очистных сооружений / Р. Н. Вострова // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. — 2009. — № 3, ч. 1. — С. 92—98.
3. Куликова А.Х. Проблема утилизации осадков сточных вод в качестве удобрений сельскохозяйственных культур / А.Х. Куликова, Н.Г. Захаров, И.А. Вандышев, С.В. Шайкин // УДК 631.863. —Ульяновск. —2010. — С.8
4. Пальченко, Г. И. Равновесный состав продуктов термохимической конверсии растительной биомассы и углеродсодержащих отходов / Г. И. Пальченко, Н. Г. Хутская, Н. С. Лейченко // Энергоэффективность. — 2013. — № 3. —С. 28 —30.
5. Кулагин В.В. Очистка городских сточных вод. / В.В. Кулагин // НПЦ ПромВодОчистка. – Москва: –2014.
6. The NASA Computer program CEA (Chemical Equilibrium with Applications) // <http://www.grc.nasa.gov/WWW/CEAWeb/>.
7. Singh R.P. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge/ R.P. Singh, M. Agrawal // Waste Management. – 2008. – Vol. 28. – P. 347–358.
8. Закон Республики Беларусь «Об обращении с отходами» от 20 июля 2007 г. № 271-З: принят Палатой представителей 7 июня 2007 г.: одобрен Советом Респ. 22 июня 2007 г.
9. Указ Президента Республики Беларусь от 28 июля 2014 г. №381 «О внесении дополнений и изменений в указы Президента Республики Беларусь по вопросам совершенствования системы обращения с отходами потребления».
10. Жмыхов И.Н. Обращение с отходами / И.Н. Жмыхов, А.А. Челноков, Л. Ф. Ющенко, К.К. Юрашик— Минск: Вышэйшая школа, – 2018. – 149 с.

Музыченко О.В. Современные методы обработки осадков сточных вод / О.В. Музыченко // Журнал «Известия Московского государственного технического университета МАМИ». – 2012. – с.295-296.

УДК 504.7

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ГЛОБАЛЬНОМ И РЕГИОНАЛЬНОМ МАСШТАБАХ

Каменская Е.О.

Белорусский национальный технический университет

Одной из ключевых движущих сил развития возобновляемой энергетики является желание максимально уменьшить последствия воздействия традиционной энергетики на окружающую нас среду. Возобновляемая энергетика в том или ином виде используется уже достаточно давно, и всё это время было принято считать, что она является экологически чистой и безопасной, и её будущее однозначно предрешено. Однако появились новые факторы, которые могут говорить об ошибочности принятых ранее утверждений. Первый фактор заключается в том, что возобновляемая энергетика может наносить достаточно серьёзный вред окружающей среде. Второй фактор в неготовности и неспособности перейти на полноценную альтернативную энергетику. Данные вопросы необходимо детально и объективно проработать, отбросив политический и научный популизм, так как от этого напрямую будут зависеть перспективы развития альтернативной энергетики, как в региональном, так и в глобальном масштабе.

Цель исследования заключается в анализе факторов препятствующих развитию альтернативной энергетики, а также оценке её текущего состояния и возможным перспективам развития.

У любого вида альтернативной энергетики, есть свои характерные особенности экологического воздействия, однако общими проблемами у них будет две:

– Загрязнение окружающей среды заводами, выпускающими/утилизирующими комплектующие для энергетических систем.

– Использование больших земельных участков или иного пространства.

– Соответствующее воздействие на флору и фауну.