

концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны до уровня, не превышающего ПДК, применение оптических приборов (микроскопы, увеличительные очки) на всех этапах выполнения работ с нагрузкой на органы зрения (при работе с миниатюрными элементами, контроле качества изделий).

3. Строгий контроль в области охраны труда со стороны административного комплекса предприятия.

4. Гигиеническое нормирование профессиональных вредностей, предварительные и периодические медосмотры персонала, работающего в условиях вредных воздействий, при необходимости перевод сотрудника на работу, не связанную с воздействием вредных и опасных факторов производства, вызвавших заболевание;

5. Своевременная и объективная оценка условий трудового процесса, включающая производственный контроль и процедуру специальной оценки условий труда на предприятии, систематическая реализация работодателем мероприятий по улучшению условий труда, обеспечение сотрудников, трудящихся под воздействием вредных факторов производства индивидуальными и коллективными средствами защиты, необходимыми моющими средствами, специальным питанием.

Список цитируемых источников

1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 04.08.2023) // Собрание законодательства РФ. – 07.01.2002. № 1 (ч. 1) – Ст. 3.
2. Федеральный закон от 28.12.2013 № 426-ФЗ (ред. от 27.12.2019) «О специальной оценке условий труда» // Собрание законодательства РФ. - 30.12.2013. – № 52 (часть I). – Ст. 6991.
3. Фомин А. И., Ворошилов С. П., Макарова, Е. В., Седельников Г. Е. Оценка компетентности работников с учетом аттестации рабочих мест // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2011. – №1. – С. 50-54.
4. Ширяева Е.А., Беднов П.В., Любская О.Г. Актуальность вопросов создания здоровых и безопасных условий труда на производстве // Universum: технические науки : электрон.научн. журн. 2021. 2(83). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11279> (дата обращения: 25.02.2021)

УДК 628.312.1 : 519.85

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБРАЗОВАНИЯ ВЫБРОСОВ ПРИ СЖИГАНИИ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ТВЕРДОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД

Р. Н. Вострова¹, А. Н. Пехота²

¹ Доцент кафедры Водоснабжение, химия и экология Учреждения образования Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Республика Беларусь, vostrova@tut.by

² Зав. кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция», Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь, pehota.an@bntu.by

Аннотация

При сжигании брикетов на основе осадков сточных вод (ОСВ) очистных сооружений важным фактором является определение вредных веществ, попадающих в атмосферу с отходящими газами в зависимости от различных долей компонентов топлива с учетом технических параметров топливосжигающей установки.

Ключевые слова: вредные вещества, альтернативное топливо, осадок сточных вод, брикетирование, твердое топливо.

CONSTRUCTION OF A MATHEMATICAL MODEL OF EMISSIONS FORMATION DURING COMBUSTION OF TWO-COMPONENT SOLID FUEL BASED ON SEWAGE SLUDGE

R. N. Vostrova¹, A. N. Pekhota²

Abstract

When burning briquettes based on sewage sludge from treatment plants, an important factor is the determination of harmful substances entering the atmosphere with waste gases, depending on different proportions of components and fuel humidity.

Keywords: harmful substances, alternative fuels, sewage sludge, briquetting.

Введение. Наиболее доступным элементом комплексной схемы обращения с ОСВ является энергосберегающая технология брикетирования осадков с получением топливных брикетов. В этом случае ОСВ могут рассматриваться в качестве вторичного сырьевого энергетического ресурса, который можно подвергать дальнейшему сжиганию в котельных.

Но создаваемое альтернативное топливо должно соответствовать экологическим требованиям, поэтому вопрос определения спектра вредных веществ, поступающих в атмосферу при сжигании брикетов, а также их концентраций в зависимости от соотношения двух компонентов (ОСВ и древесных опилок) и влажности является весьма актуальным и составляет цель исследований.

Известно построение модели сжигания многокомпонентного твердого топлива [1,2], используя которое в данном исследовании произведено построение математической модели для определения вредных веществ, попадающих в атмосферу при сжигании твердого топлива на основе ОСВ в зависимости от различных долей компонентов и влажности.

Материалы и методы. Построение модели сжигания основывается на методиках, изложенных в [1,2,3,4]. Модель сжигания топлива, включающая несколько компонентов подобна модели для случая двухкомпонентного твердого топлива.

Результаты и обсуждение. В процессе горения топлива, наряду с выделением теплоты, с отходящими газами удаляется ряд веществ, оказывающих отрицательное воздействие на окружающую среду. Их характеристики представлены в таблице 1.

В результате проведения экспериментального исследования процесса брикетирования получено уравнение регрессии и установлено, что производительность этого процесса достигает максимального значения при влажности поступающей в шнековый пресс смеси $42,1 \pm 0,9 \%$, в диапазоне изменения доли древесных опилок от 10 до 30 % в смеси [5,6,7,8,9].

Таблица 1–Основные вещества, выбрасываемые в атмосферу энергетическими объектами

Наименование	Характеристика
Диоксид серы (SO ₂)	Вызывает окисление, разрушает материалы и вредно воздействует на здоровье человека (раздражает слизистую оболочку дыхательных путей). Используется для генерации ряда химикатов и консервирования фруктов
Оксид азота (NO ₂)	Оказывает вредное воздействие на здоровье человека, способствует образованию парникового эффекта и разрушению озонового слоя, что также отрицательно. Вызывает «вымирание лесов», «кислотные дожди»
Моноксид углерода (CO)	Выделяется при неполном сгорании топлива, взаимодействует с другими веществами, оказывает разнообразное вредное воздействие (угарный газ). Является высококалорийным топливом в процессе газификации угля
Углекислый газ (CO ₂)	Наличие CO ₂ – необходимое условие процесса горения (производства энергии). Однако экологические законы ограничивают уровень выбросов CO ₂ , так как он способствует созданию парникового эффекта. Применяется в пищевой и холодильной промышленности.
Твердые частицы (PM)	Пыль (аэрозоль, сажа и т.п.) недифференцированная по составу, имеющая твердое агрегатное состояние, органического и неорганического происхождения, выбрасываемая в атмосферный воздух.

Возникает задача изучения влияния различных долей древесных опилок и осадка сточных вод в брикете при условии обеспечения экологических требований при их сжигании.

Низшая рабочая теплота сгорания двухкомпонентного брикета Q , МДж/кг, определяется по формуле

$$Q(x_1, x_2) = Q_1x_1 + Q_2x_2, \quad (1)$$

где x_1 – массовая доля осадка сточных вод в брикете;
 x_2 – то же древесных отходов в брикете.

Расчетный расход B , кг/с, топлива-брикетов при максимальной нагрузке котла выражается формулой

$$B = \frac{100N}{[Q_1x_1 + Q_2(1 - x_2)] \eta_k}, \quad (2)$$

где N – расчетная нагрузка котла при сжигании брикетов, МВт;
 η_k – коэффициент полезного действия котла, $\eta_k = 67 - 90 \%$.

Принимаем $\eta_k = 80 \%$.

Для расчета максимального количества оксидов азота G_{1,NO_x} , кг/с, при сгорании древесный отходов использовалась формула [3]

$$G_{1,NO_x} = B_{1,s} Q_1 K_{1,NO_x} \beta_p, \quad (3)$$

где

$$B_{1,s} = \left(1 - \frac{q_{41}}{100}\right) x_1 B, \quad (4)$$

где q_{41} – коэффициент, зависящий от типа топки и топлива, $q_{41} = 1,5$;

K_{1,NO_2} – удельный выброс оксидов азота, г/МДж, определяемый по формуле

$$K_{1,NO_x} = 10^{-3} H_{1,T} K_{1,T} \alpha_T \sqrt{B_{1,s} Q_1^3}, \quad (5)$$

где $H_{1,T}$, $K_{1,T}$, α_T и β_p – коэффициенты [2, п. 6.2.2.2].

Таблица 2 - Используемые коэффициенты различных видов топлива и горючих отходов

Топливо	$H_{1,T}$
Уголь	16,5
лигнин, торф	15,4
опилки, стружки, дрова	14,3
отходы древесные	13,2
костра, солома, сланцы	12,1

Таблица 3 – Используемые коэффициенты для котлов различной мощности

Мощность	α_T
до 0,3 МВт включая	3,0
св. 0,3 до 2 МВт включая	2,5
св. 2 до 10 МВт включая	2,0
св. 10 до 25 МВт включая	1,5

Примечание: NO_x – собирательное название оксидов азота NO и NO_2 .

β_p – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов, подаваемых в смеси с дутьевым воздухом под колосниковую решетку, на образование азота оксидов. Значения коэффициента β_p приведены в [2, таблиц А Б.2 (приложение Б)].

Расчет максимального расхода оксидов азота G_{1,NO_x} , кг/с, сгорания в котлах производительностью до 25 МВт древесных отходов принимает вид

$$G_{1,NO_x} = \left(1 - \frac{q_{41}}{100}\right) \frac{100N}{[Q_1 x_1 + Q_2 (1 - x_1)] \eta_k} \times \\ \times x_1 Q_1 \left[10^{-3} H_{1,T} K_{1,T} \alpha_T \sqrt{\left(1 - \frac{q_{41}}{100}\right) \frac{100N}{[Q_1 x_1 + Q_2 (1 - x_1)] \eta_k} x_1 Q_1^3} \right] \beta_p. \quad (6)$$

где $H_{1,T} = 14,3$; $K_{1,T} = 0,4$; $\alpha_T = 1,5$; $\beta_p = 1$ [2].

В случае сгорания в котлах производительностью до 25 МВт осадка сточных вод максимальный расход G_{2,NO_x} , г/с, оксидов азота определяем по формуле, структура которой подобна формуле (6):

$$G_{2,NO_x} = \left(1 - \frac{q_{42}}{100}\right) (1 - x_1) \frac{100N}{[Q_1x_1 + Q_2(1 - x_1)]\eta_k} \times \\ \times Q_2 \left[10^{-3} H_{2,T} K_{2,T} \alpha_T \sqrt{\frac{100N}{[Q_1x_1 + Q_2(1 - x_1)]\eta_k}} (1 - x_1) Q_1^3 \right] \beta_p, \quad (7)$$

где согласно [2] $q_{42} = 0$, $H_{2,T} = 14,3$; $K_{2,T} = 0,4$; $\alpha_T = 1,5$; $\beta_p = 1$.

Для максимального расхода диоксидов серы (двуокиси серы) при сгорании древесных отходов справедлива формула, г/с

$$G_{1,SO_2} = 20 \frac{100N}{[Q_1x_1 + Q_2(1 - x_1)]\eta_k} x_1 S_{1,r} (1 - \eta_{s_1}) (1 - \eta_{s_2}), \quad (8)$$

где: согласно [2] $\eta_{s_1} = 0,55$, $S_{1,r} = 0,05$.

Подобная формула для максимального расхода диоксида серы (двуокиси серы) при сгорании осадка сточных вод имеет вид, г/с

$$G_{2,SO_2} = 20 \frac{100N}{[Q_1x_1 + Q_2(1 - x_1)]\eta_k} (1 - x_1) S_{2,r} (1 - \eta_{s_1}) (1 - \eta_{s_2}), \quad (9)$$

где $\eta_{s_2} = 0,1$; $S_{2,r} = 1,55$ [2].

Максимальный расход монооксида углерода при сгорании древесных отходов рассчитываем по формуле, г/с

$$G_{1,CO} = \frac{100N}{[Q_1x_1 + Q_2(1 - x_1)]\eta_k} x_1 C_{1,CO}, \quad (10)$$

а при сгорании осадка сточных вод – по формуле

$$G_{2,CO} = \frac{100N}{[Q_1x_1 + Q_2(1 - x_1)]\eta_k} (1 - x_1) C_{2,CO}, \quad (11)$$

где $C_{1,CO} = q_{13} R_1 Q_1$; $q_{13} = 0,3$; $R_1 = 1$; $C_{2,CO} = q_{23} R_2 Q_1$; $q_{23} = 0,2$; $R_2 = 0,825$.

Для расчета выбросов твердых частиц РМ, г/с, применяем формулу [2]

$$G = 10B (1 - \eta_{1c}) \left(\alpha_{ab} A_r + q_{ab} \frac{Q}{\tau} \right), \quad (12)$$

где A_r – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях, $A_r = 5$; τ – безразмерная константа, $\tau = 32,68$.

В случае сгорания древесных отходов эта формула принимает вид

$$G_{1,PM} = 10 \frac{100N}{[Q_1 x_1 + Q_2 (1 - x_1)] \eta_k} x_1 (1 - \eta_{1,c}) \left(\alpha_{1,ab} A_r + q_{1,ab} \frac{Q_1}{\tau} \right), \quad (13)$$

а в случае сгорания осадка сточных вод

$$G_{2,PM} = 10 \frac{100N}{[Q_1 x_1 + Q_2 (1 - x_1)] \eta_k} (1 - x_1) (1 - \eta_{2,c}) \left(\alpha_{2,ab} A_r + q_{2,ab} \frac{Q_2}{\tau} \right), \quad (14)$$

где: согласно [2, приложение В] $\alpha_{1,ab} = 0,2$; $q_{1,ab} = 0,7$; $\eta_{1,c} = 0,9$; $\alpha_{2,ab} = 0,05$, $q_{2,ab} = 0,02$; $\eta_{2,c} = 0,5$.

Заключение. Таким образом, получена математическая модель для расчета расхода выбросов оксидов азота, диоксидов серы (диоксида серы), монооксида углерода и твердых частиц при сжигании двухкомпонентного твердого топлива на основе осадка сточных вод, обеспечивающая возможность определения оптимальных составов многокомпонентного твердого топлива с учетом технических особенностей топливосжигающих устройств и долей компонентного состава в топливе [5,6,7,8,9].

Список цитированных источников

1. Б. М. Хрусталева Инженерная экология и очистка выбросов промышленных предприятий : учеб. пособие для вузов / Б. М. Хрусталева [и др.]; под общ. ред. Хрусталева Б. М. – Минск : Витпостер, 2014. – 488 с.
2. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности :ЭкоНиП 17.01.06-001-2017. от 18.07.2017 № 5-Т. (в ред. постановлений Минприроды от 20.12.2018 N 9-Т, от 18.12.2019 N 6-Т, от 21.09.2021 N 7-Т) //Нац реестр правовых актов, 2021 – № 7-Т – 8/32307.
3. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [Электронный ресурс] // НИИ Атмосфера. – СПб., 2005. – Режим доступа: http://www.infosait.ru/norma_doc/46/46202/. – Дата доступа: 05.09.2023.
4. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью до 25 МВт : ТКП 17.08-01–2006 (02120). – Введ. 28.02.2006. – Минск : Минприроды, 2006. – 49 с.
5. Хрусталева, Б.М. Твердое топливо на основе отходов малоиспользуемых горючих энергоресурсов / Б. М. Хрусталева, А. Н. Пехота, НгаТхуНгуен, ФапМиньБу// Наука и техника : междунар. науч.-практ. журнал. – 2021. – Т. 20, № 1. – С. 58–65.

6. Пехота, А.Н. Технология производства многокомпонентного твердого топлива с использованием отходов сточных вод / А. Н. Пехота [и др.]// Энергетика. Изв. высш. учеб.заведений и энерг. объединений СНГ. – 2021. – Т. 64, № 6. – С. 525–537.
7. Пехота, А.Н. Исследование энергетических характеристик многокомпонентного твердого топлива с использованием горючих малоиспользуемых коммунальных и производственных отходов / А. Н. Пехота // Наука и техника : Междунар. науч.-практ. журнал. – 2022. – № 2. – С. 164–174.
8. Пехота, А.Н. Эффективное использование твердых коммунальных отходов в энергетических целях: особенности MSF-технологии // Энергоэф-фективность : ежемесячный науч.-практ. журнал. – 2022. – № 5. – С. 26–32.
9. Пехота, А.Н. Оценка эффективности технологии многокомпонентного брикетирования топлива с использованием осадков сточных вод / А.Н. Пехота, Б.М. Хрусталев // Промышленная теплоэнергетика: ежемесячный науч.-практ. журнал. – 2022. – № 6. – С. 40–50.

УДК 628.316.12:663.43

К ВОПРОСУ ОБ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СОЛОДА

Э. А. Тур¹, С. В. Басов²

¹ Заведующий кафедрой инженерной экологии и химии, Брестский государственный технический университет, Брест, Республика Беларусь, tur.elina@mail.ru

² Доцент кафедры инженерной экологии и химии, Брестский государственный технический университет, Брест, Республика Беларусь, basovs@mail.ru

Аннотация

Объектом исследования являлись сточные воды, образующиеся на разных стадиях замачивания ячменя для производства солода. Определены фактические значения рН, фосфат-ионов, ХПК и взвешенных веществ. Проведены лабораторные исследования, направленные на снижение содержания загрязняющих веществ в сточных водах. Подобран реагент и диапазон оптимальных доз реагента для удаления фосфатов. Разработаны технологические рекомендации, позволяющие проводить локальную очистку сточных вод на территории предприятия без строительства отдельных очистных сооружений.

Ключевые слова: сточные воды, лабораторные исследования, технологические рекомендации.

ON THE QUESTION OF THE PURIFICATION OF WASTE WATER GENERATED IN THE PRODUCTION OF MALT

E. A. Tur¹, S. V. Basov²