

УДК 504.064:628.4.04

ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОГО РИСКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ¹Салова Т.Ю., ²Громова Н.Ю.¹Санкт-Петербургский аграрный университет, Санкт-Петербург, e-mail: gnug@mail.ru;²Тверской технической университет, Тверь

Предложена методология количественной оценки техногенного риска, в основе которой использовали термодинамический метод моделирования экологических показателей дизельных энергоустановок при сгорании жидкого топлива для обоснования минимизации концентрации оксидов азота в отработавших газах. Применение методов физико-химического анализа позволило обосновать снижение содержания летучих растворителей в составе водоразбавляемых пленкообразующих систем. Для безопасного функционирования техногенных систем целесообразно использовать мониторинг объектов риска биотестированием для интегральной оценки факторов риска на экосистему. Регулирование стабильности природных экосистем, продуктивности почв и фитоценозов рекомендуется внесением гумификатора, полученного анаэробной ферментацией эффективными микроорганизмами целлюлозо-лигниновых отходов. Для усовершенствования методологии биоконверсии была разработана технологическая схема модуля ферментации целлюлозосодержащих отходов в биогаз, выдвинута гипотеза механизма биоконверсии СО сложных биохимических реакций, протекающих последовательно в виде системы уравнений, решение которой с помощью термодинамического метода позволит оценить выход и качество биогаза.

Ключевые слова: техногенный риск, физико-химический анализ, биотестирование, биоконверсия, целлюлозо-лигниновые отходы, биогаз, биогумус

EVALUATION OF TECHNOGENIC RISK OF ENERGY SYSTEMS¹Salova T.Yu., ²Gromova N.Yu.¹St. Petersburg State Agricultural University, St. Petersburg, e-mail: gnug@mail.ru;²Tver State Technical University, Tver

The methodology of quantitative assessment of man-caused risk is proposed, which was based on the thermodynamic method of modeling the ecological indicators of diesel power plants during the combustion of liquid fuel to justify the concentration of nitrogen oxides in the exhaust gases. Application of methods of physical and chemical analysis allowed to justify the decrease in the content of volatile solvents in the composition of water-dilutable film-forming systems. For the safe operation of technogenic systems, it is advisable to use monitoring of biotesting risk objects for an integrated assessment of risk factors on the ecosystem. Regulation of the stability of natural ecosystems, productivity of soils and phytocenoses is recommended by introducing a humifier, obtained by anaerobic fermentation with effective microorganisms of cellulose-lignin waste. To improve the methodology of bioconversion, a technological scheme was developed for the fermentation of cellulose-containing waste into biohumus and biogas, and a hypothesis was proposed for the bioconversion of the CO of complex biochemical reactions, proceeding successively in the form of a system of equations, whose solution, using a thermodynamic method, would assess the yield and quality of biogas.

Keywords: technogenic risk, physical and chemical analysis, biotesting, bioconversion, cellulose-lignin waste, biohumus, biogas

Важными факторами техногенного риска являются реальные и потенциальные опасности, которые возникают при функционировании энергетических систем и оцениваются органами чувств. Вероятность опасности, порождаемая тем или иным техногенным объектом, как правило, определяется частотой возникновения аварий. При вторжении в биосферу без учета закономерностей ее развития возникают природные катастрофы и техногенные аварии, приводящие к материальному ущербу, риску для здоровья и гибели людей. Концепция преобладающей роли человека в биосфере привела к возникновению глобальных проблем, решение которых затрагивает многие отрасли техносферы и агросферы. В том числе следствием антропогенной деятельности является нарушение динамического равновесия биосферы. При этом происходит из-

менение параметров состояния биосферы как абиотической части (изменение климата), так и биотической части (снижение общей продуктивности живых организмов, замещение высших форм жизни низшими формами) природных экосистем [1, с. 46].

Глобальные проблемы связаны с интересами всего человечества (ноосферы) и взаимосвязаны друг с другом. Нельзя решать продовольственную проблему, не затрагивая энергетику, использующую природные ресурсы (рис. 1). Чрезмерное использование природных ресурсов приводит к исчезновению мест обитаний живых организмов и их гибели, нарушению гомеостаза природных экосистем, загрязнению биосферы токсичными отходами с длительным периодом распада и элементами, не свойственными среде обитания. Таким образом, функционирование техносферы,

направленное на улучшение условия жизни людей, увеличивает риск возникновения условий разрушения и гибели экосистем.

Цель исследования

Усовершенствование методологии биоконверсии твердых целлюлозосодержащих отходов переработки целлюлозосодержащих отходов (ЦО) в гумифицированный продукт и биотопливо.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта наблюдения были использованы техногенные почвы в радиусе санитарно-защитных зон, наиболее распространенные отходы техногенных систем (целлюлозо-лигниновые). Биоконверсию отходов проводили в анаэробных условиях с использованием эффективных микроорганизмов препарата «Тамир». Биотестирование техногенных почв и оценку эффективности гумифицированной почвы проводили в соответствии с международным стандартом ИСО 11269-2. Выбор направлений рекультивации определяется в соответствии с требованиями ГОСТ 17.5.1.02-85.

Результаты исследования и их обсуждение

На основании многолетних исследований выброса токсичных веществ в атмосферный воздух передвижными и стационарными источниками загрязнений, загрязнения дерново-подзолистых почв предложена методология количественной оценки техноген-

ного риска, основанная на концепции максимально приемлемого риска и принципах безопасного и стабильного функционирования техногенных экосистем (рис. 2).

Для обеспечения безопасности и качества атмосферного воздуха техногенных систем предложена методология минимизации токсичных веществ в отработавших газах двигателей внутреннего сгорания [2, с. 38]. Использован термодинамический метод моделирования образовавшейся в процессе горения топлива (500...700 К и выше) в дизелях равновесной многокомпонентной смеси газообразных веществ (N_2 , N_2O , NO_2 , NO , NH_3 , C_nH_m и других соединений). Горение топлива представлено как многостадийный динамический равновесный процесс последовательных, обратимых и параллельных химических реакций. Определена лимитирующая стадия горения – деструкции азотсодержащих веществ. Разработан алгоритм расчета концентраций оксидов азота в отработавших газах и обоснован способ снижения концентрации оксидов азота.

Использование методов физико-химического анализа позволило обосновать снижение содержания летучих растворителей в составе водоразбавляемых смол [3, с. 130], что позволило снизить содержание летучих токсичных пожаро- и взрывоопасных веществ в воздухе рабочей зоны окрасочных цехов.



Рис. 1. Модель взаимосвязи глобальных проблем



Рис. 2. Методология минимизации техногенного риска

В связи с тем, что почвы являются универсальным регулятором состояния стабильности природных экосистем, продуктивности почв и фитоценозов (возобновляемых пищевых, технических, энергетических ресурсов) агропромышленного комплекса, особое внимание уделено методам экологического мониторинга [4, с. 61], исследованию агрохимических свойств почв [5, с. 30]. Критерием качества почв является плодородие (содержание гумуса), ее энергетический потенциал, который возобновляется в течение 10...100 тыс. лет. Накопление опасных веществ в почвенно-биотической системе приводит к нарушению биохимической деструкции органических отходов и локализации подвижных форм токсичных веществ в почвенных коллоидах с последующим переводом в недоступную форму для биотического круговорота. При этом происходит изменение состава и структуры почвы и формирование опасностей для последующих фитоценозов. Обнаружить первичный эффект снижения защитных функций растений методами химического мониторинга бывает чрезвычайно трудно из-за длительного периода полувыведения из почв, который для цинка составляет 50...510, меди – 310...1500, кадмия – 13...1100, свинца – 740...5900 лет. При длительном воздействии данного фактора риска на растения тормозится экспрессия генов, усиливаются гидролитические процессы, нарушается биосинтез фитогормонов, синтезируются стрессовые белки. Поэтому нами предлагается оценку безопасности функционирования техногенных систем проводить методом биотестирования с использованием тест-растений наиболее типичных для данного региона.

Приоритет данного метода заключается в интегральной оценке факторов риска на экосистему без использования дорогостоящего оборудования, трудоемких физических и химических методов для регистрации биологических параметров. Все методы биотестирования основаны на регистрации выживаемости, плодовитости, скорости роста или реакций, связанных с изменением клеточных функций. Преимущество живых индикаторов состоит в том, что они быстро реагируют на изменения в экосистеме.

Использование биотестов позволило оценить качества техногенных почв г. Твери и выявить наиболее опасные источники загрязнения [6, с. 137]. Для повышения качества техногенных почв и стабилизации гумуса в рамках биологической концепции (синтеза и биосинтеза гумусовых веществ в почве) гумусообразования особую роль отводят факторам, активизирующим деятельность почвенных микроорганизмов, продуктам биоконверсии органического сырья, эффективным сидеральным культурам (бобовым и мятликовым травостям) [7, с. 43]. В данной работе возобновление органического вещества дерново-подзолистой почвы в техногенных биоценозах предлагается осуществлять путем внесения гумифицированной почвы, полученной анаэробной ферментацией эффективными микроорганизмами целлюлозо-лигнинных отходов (ЭМ-технологии) [8, с. 42]. Внесение гумификатора позволило ускорить процесс гумификации, повысить продуктивность энергетических растений и снизить материальные и энергетические затраты на гумификацию почв техногенных систем. Эффективность действия гумификатора почв оценивали приростом урожая тест-культур [9, с. 6].

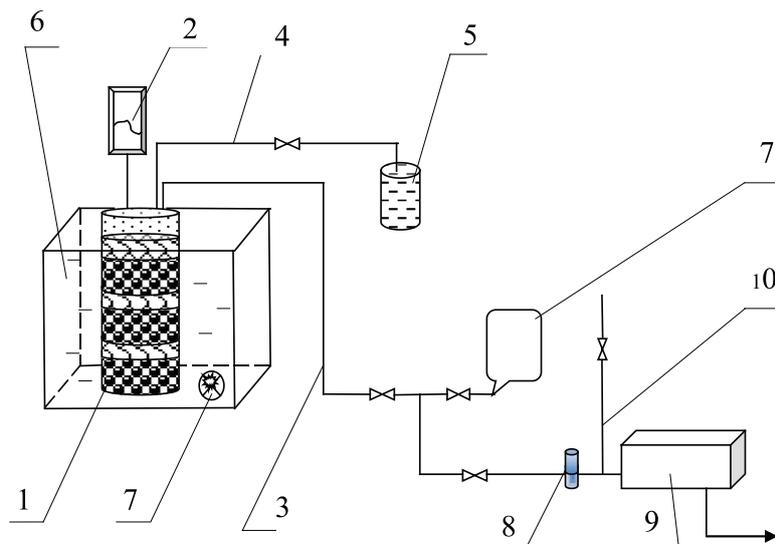


Рис. 3. Схема установки по переработке целлюлозосодержащих отходов

Для снижения техногенного давления, создаваемого за счет накопления токсичных отходов с длительным периодом разложения, была предложена методология биоконверсии твердых целлюлозосодержащих отходов (ЦО) в гумифицированный продукт и биотопливо [10, с. 73]. В основу методологии положены принципы, основанные на анализе состава, свойств и реакционной способности вторичного сырья; изучении механизма и методов деструкции [11, с. 50], выборе рациональной технологической схемы и метода очистки целевого соединения; идентификации и эффективности энергетических материалов, использования биогаза в качестве нетрадиционного вида топлива [12, с. 22]. Усовершенствование методологии биоконверсии связано с разработкой технологической схемы модуля, где целлюлозосодержащие отходы подвергаются ферментации, в результате которой получают биогумус и биогаз (рис. 3).

В ферментатор (1) герметично закрытый крышкой, были установлены термометр и рН-мер (2), а также трубопроводы для выхода биогаза (3) и для подачи рабочих растворов (4). Для поддержания температуры процесса биоконверсии ферментатор был помещен в водяную баню (6), имеющую терморегулятор (7). Трубопровод 3 соединяет ферментатор с емкостью для сбора газа (7), а затем через ротаметр (8) с газоанализатором (9). Расход биогаза регулируется кранами, установленными в трубопроводе (3). Для измерения концентрации метана в биогазе проба биогаза разбавлялась воздухом (10) при ее посту-

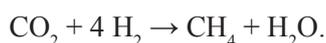
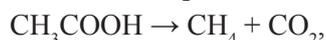
плении в газоанализатор. Суспензия ЭМ и рабочий раствор подготавливается в инокуляторе (5) и подается в ферментатор по трубопроводу (4). Отходы ЦО послойно укладываются в ферментатор, чередуя с почвой, высота каждого слоя 3...5 см, и обрабатываются рабочим раствором суспензии ЭМ, полученной в инокуляторе.

Удельный выход биогаза $G_{\text{бр}}$ из ЦО определяется в зависимости от содержания органической компоненты M_c и физических параметров процесса биоконверсии – температуры, рН раствора по эмпирической зависимости

$$G_{\text{бр}} = \frac{M_c(1 - e^{-k\tau})}{(\text{Ph})^4},$$

где Ph – рН раствора, k – постоянная разложения, определяемая по отношению углерода к общему азоту, τ – продолжительность периода стадии процесса биоконверсии. Содержание органической компоненты M_c определяется интенсивностью реакций образования биогаза, которая обеспечивается обменом веществ на границах поверхности фаз и вязкостью сырья. Вязкость сырья допускает свободное перемещение бактерий в среде, содержащей твердые частицы. Бактериальное сообщество может самостоятельно регулировать такие критерии, как значение рН, окислительно-восстановительного потенциала для поддержания своего роста [13, с. 35], а как следствие, обеспечивая стабильность процесса разложения ЦО. Реакции разложения ЦО в зависимости от их биополимерной природы [14, с. 425],

разделяются на распад белков, липидов, углеводов с образованием летучих органических кислот: муравьиной, уксусной, пропионовой, молочной, янтарной; и низкомолекулярных спиртов: $C_2 - C_4$ [15, с. 386], которые в свою очередь разлагаются до уксусного (ацетат) или муравьиного (формиат) альдегидов, а затем до водорода (H_2) и углекислого газа (CO_2):



По первому пути образуется 73% метана, а по второму – 30%. Для повышения эффективности метанового брожения процесс проводят ступенчато. Лимитирующей стадией деструкции белков является ферментативный гидролиз, катализируемый протеолитическими ферментами с образованием аминокислот, которые используются в этом же процессе. Деструкция липидов протекает с образованием многоатомных спиртов и высших жирных кислот. Биоконверсию углеводов в анаэробных условиях можно представить в виде гидролиза полисахаридов, с последующим гликолизом глюкозы с образованием пировиноградной кислоты, которая затем восстанавливается до молочной кислоты. По результатам проведенных теоретических исследований была выдвинута гипотеза механизма биоконверсии ЦО сложных биохимических реакций, протекающих последовательно в виде системы уравнений, решение которой с помощью термодинамического метода позволит оценить выход биогаза.

Заключение

Предложена методология количественной оценки техногенного риска, в основе которой использовали термодинамический метод моделирования экологических показателей дизельных энергоустановок при сгорании жидкого топлива для обоснования минимизации концентрации оксидов азота в отработавших газах. Применение методов физико-химического анализа позволило обосновать снижение содержания летучих растворителей в составе водоразбавляемых пленкообразующих систем. Для безопасного функционирования техногенных систем целесообразно использовать мониторинг объектов риска биотестированием для интегральной оценки факторов риска на экосистему. Регулирование стабильности природных экосистем, продуктивности почв и фитоценозов рекомендуется внесением гумификатора, полученного анаэробной ферментацией эффективными микроорганизмами целлю-

лозо-лигниновых отходов. Для усовершенствования методологии биоконверсии была разработана технологическая схема модуля ферментации целлюлозосодержащих отходов в биогаз, выдвинута гипотеза механизма биоконверсии ЦО сложных биохимических реакций, протекающих последовательно в виде системы уравнений, решение которой с помощью термодинамического метода позволит оценить выход и качество биогаза.

Список литературы

1. Громова Н.Ю. Техногенные системы и экологический риск / Н.Ю. Громова, Т.Ю. Салова. – СПб.: Политехнический университет. – 2011. – 305 с.
2. Салова Т.Ю. Использование термодинамического метода в минимизации энергетических затрат / Т.Ю. Салова, Н.Ю. Громова // Вестник АПК Ставрополя. – 2017. – № 2 (26). – С. 34–39.
3. Громова Н.Ю. Теоретические аспекты минимизации опасностей лакокрасочных материалов / Н.Ю. Громова // Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности и экологии. – Тверь: Тверской государственный технический университет, 2016. – С. 129–132.
4. Инженерная защита окружающей среды / Ю.А. Бирман, Н.Г. Вурдова. – М.: АСВ, 2002. – 296 с.
5. Иванов Д.А. Мониторинг агрохимических свойств почв в пределах агроэкологического стационара / Д.А. Иванов, В.А. Тюлин, М.В. Рублюк [и др.] // Агрохимия. – 2014. – № 5. – С. 27–31.
6. Громова Н.Ю. Оценка эффективности гумифицированной почвы методом биотестирования / Н.Ю. Громова // Вестник Тверского государственного университета. – Серия: Биология и экология. – 2016. – № 1. – С. 135–141.
7. Иванов Д.А. Влияние продуктов биоконверсии органического сырья на продуктивность зерноотраваемого звена севооборота в различных ландшафтных условиях / Д.А. Иванов, Н.Г. Ковалев, В.А. Тюлин [и др.] // Вестник Тверского государственного университета. – Серия: География и геоэкология. – 2015. – № 1. – С. 37–43.
8. Патент РФ № 2508281 / Салова Т.Ю., Громова Н.Ю., Громова Е.А. Способ получения гумифицированной почвы. – от 27.11.2013.
9. ГОСТ Р ИСО 22030-2009 Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. – М.: Стандартинформ, 2010. – 20 с.
10. Gromova E.A. Modern instruments for stabilizing soil fertility / E.A. Gromova // Znanstvena misel journal. – Slovenia, 2017. – № 5. – Vol. 2. – P. 72–77.
11. Седнин В.А. Анализ факторов, влияющих на производство биогаза при сбрасывании осадка сточных вод / В.А. Седнин, А.В. Седнин, И.Н. Прокопья, А.А. Шимкович // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – Минск: БНТУ, 2009. – С. 49–58.
12. Алешина А.С. Газификация твердого топлива / А.С. Алешина, В.В. Сергеев. – СПб.: Изд-во Политехн. унта, 2010. – 202 с.
13. Корнеев Е.А. ЭМ-технология – новый раздел биотехнологии / Е.А. Корнеев, Р.Р. Бадаев, К.Н. Пронин, В.С. Васильев, М.Ю. Кириллов, Д.А. Васильев // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2004. – № 15. – С. 34–39.
14. Прикладная экобиотехнология / А.Е. Кузнецов [и др.]. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – Т. 1. – 629 с.
15. Емцев В.М. Микробиология / Е.М. Емцев, Е.Н. Мишустин. – М.: Дрофа, 2005. – 445 с.