

*А. А. Черно́в<sup>1,2\*</sup>, Н. В. Петро́ва<sup>1,3</sup>, Г. И. Багря́нцев<sup>1</sup>, Л. А. Демидова<sup>1</sup>*

## **Комплексный подход к снижению негативного воздействия ТКО на окружающую среду в малых поселениях Крайнего Севера**

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Институт химической кинетики и горения СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>3</sup> Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

\* e-mail: a.a.chernov@sgugit.ru

**Аннотация.** Федеральная программа снижения негативного воздействия на окружающую среду с помощью программы формирования комплексной системы обращения с твёрдыми коммунальными отходами рассчитана на центры федерального значения. Малые поселения со слабо развитой инфраструктурой системы обращения не могут рассчитывать на результаты действия национального проекта «Экология». В статье на примере поселка Угольный Верхнеколымский района Якутии приводится методика расчета комплекса по совместной утилизации отходов с ископаемым топливом с последующей выработкой электроэнергии. Социально-экономический эффект заключается в экономии топлива и улучшением экологической обстановки.

**Ключевые слова:** твердые коммунальные отходы, утилизация отходов, обращение с отходами, негативное воздействие на окружающую среду

*A. A. Chernov<sup>1,2\*</sup>, N. V. Petrova<sup>1,3</sup>, G. I. Bagryancev<sup>1</sup>, L. A. Demidova<sup>1</sup>*

## **An integrated approach to reducing the negative impact of MSW on the environment in small settlements in the Far North**

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Institute of Chemical Kinetics and Combustion SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>3</sup> Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

\* e-mail: a.a.chernov@sgugit.ru

**Abstract.** The federal program for reducing the negative impact on the environment with the help of the program for the formation of an integrated system for handling municipal solid waste is designed for centers of federal significance. Small settlements with an underdeveloped infrastructure of the circulation system cannot count on the results of the national project "Ecology". In the article, using the example of the village of Ugolny, Verkhnekolymsky district of Yakutia, a method for calculating a complex for the joint disposal of waste with fossil fuels with subsequent generation of electricity is given. The socio-economic effect is to save fuel and improve the environmental situation.

**Keywords:** municipal solid waste, waste disposal, waste management, negative impact on the environment

### ***Введение***

Во всем мире растут темпы образования отходов. По некоторым оценкам, в 2020 году в мире образовалось 2,24 миллиарда тонн твердых отходов, что состав-

ляет 0,79 килограмма на человека в день. Ожидается, что в связи с быстрым ростом населения и урбанизацией ежегодное образование отходов увеличится на 73% по сравнению с уровнем 2020 года до 3,88 млрд. тонн в 2050 году [1]. Размещение отходов на нерегулируемых свалках или их открытое сжигание оказывают негативное воздействие на здоровье человека и наносят значительный ущерб окружающей среде. Принятая в РФ программа формирования комплексной системы обращения с твердыми коммунальными отходами – Национальный проект «Экология» – направлена на уменьшение образования отходов и снижения их класса опасности в источниках образования, что позволяет значительно снизить негативное воздействие на окружающую среду [4].

Действие данной программы предусмотрено только в крупных городах и центрах федерального значения [2, 3]. Таким образом, тысячи малых поселений до 2050 года остаются вне программы использования наиболее доступных технологий обращения с отходами, которые могли бы значительно улучшить экологические условия проживания людей. При этом существует достаточно много технологий в области управления отходами, применимых в небольших городах, и они пополняются и совершенствуются [5]. Важным популяризатором методов эффективного управления отходами является международная сеть для обмена знаниями и опытом в области устойчивого управления отходами и смягчения последствий изменения климата International Solid Waste Association [6].

Основным механизмом реализации государственной политики в сфере экологической безопасности в Российской Федерации является внедрение наилучших доступных технологий (НДТ), что обусловило разработку информационно-технических справочников (ИТС) для передовых технологий в сфере управления и утилизации отходов, которые редактируются раз в 2-3 года:

1. ИТС 15-2021 Утилизация и обезвреживание отходов (кроме термических способов);
2. ИТС 9 - 2020 Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами;
3. ИТС 17-2021 Размещение отходов производства и потребления.

Данные справочники имеют статус национального стандарта и утверждаются федеральным органом исполнительной власти в сфере стандартизации (Росстандартом). Они включают в себя описание технологий, процессов и методов в области обращения и утилизации отходов.

Современная отечественная структура обращения с отходами, базирующаяся на размещении отходов на полигонах либо на их сжигании, не решает несколько основных проблем: продолжающееся негативное воздействие на окружающую среду, особенно на атмосферный воздух и стоимость компостирования отходов. Их решение необходимо для рационального управления окружающей средой в малых поселениях.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью поиска способов утилизации промышленных и коммунальных отходов, позволяющих решить вышеуказанные проблемы. Одним из возможных подходов к решению этих проблем является термическая утилизация измельченного ТКО в специальных

устройствах совместно с природным топливом с образованием пиролизного горючего газа. Далее пиролизный газ используется в газопоршневых электростанциях, тем самым получается электроэнергия для измельчения ТКО и функционирования установки в целом. Такой подход является наиболее простым и доступным, особенно для малых городов и поселений Крайнего Севера.

Цель статьи – разработать алгоритм технологического расчета и оценить экономическую эффективность термической утилизации ТКО для малых городов и поселений.

### *Методика утилизации ТКО*

Получение пиролизного газа, или синтез-газа из ТКО является сложной задачей из-за сложности соблюдения требований взрывопожарной безопасности. Ранее попытки создания установок термического разложения отходов с выработкой синтез-газа приводили к взрывам. Только внедрение автоматики и новых способов организации процессов позволили создать способ безопасного получения горючего газа в пиролизных установках, которые можно устанавливать в поселках и малых городах (рис. 1). На рисунке 1 в качестве наглядного примера показан типичный пиролизный комплекс, установленный в п. Коченево Новосибирской области.



Рис.1. Пиролизная установка [7]

Основной проблемой, связанной со сжиганием отходов, является загрязнение воздуха из-за выброса в него токсичных соединений, таких как диоксины, и веществ, содержащих тяжелые металлы, что привело к общественному недоверию этой технологии. В нормативном документе ИТС 9 – 2020 отмечено, что для

исключения такого негативного воздействия термическое разложение должно происходить в стационарном режиме при температуре ниже 1000 °С, как, например, в установке «Биокарбон» с температурой продуктов в турбореакторе 750-770 °С.

### ***Расчет энергетической эффективности утилизации ТКО***

Для одновременного обезвреживания твердых, пастообразных и жидких отходов определяется способ их подачи на термообработку. Жидкие отходы, как правило, поступают на сжигание в распыленном виде. Пастообразные и твердые проходят линию по измельчению ТКО.

Для технологических расчетов процесса обезвреживания отходов применяются данные физико-химического состава отходов. Данные по количественному и качественному составу отходов могут отличаться в зависимости от места образования отходов и условий их получения. Поэтому могут быть применены различные технологические схемы обезвреживания отходов. Для того, чтобы определить схему обезвреживания, проводятся специальные предварительные расчеты.

Таким образом, разработка технологической схемы процесса и конструкторская документация на специальное нестандартное оборудование проводится в соответствии со следующим алгоритмом технологического расчета:

1. Получение исходных данных по ТКО;
2. Определение расхода атмосферного воздуха на горение отходов с неполным сгоранием в камере сгорания;
3. Определение компонентного состава дымовых газов на выходе из камеры сгорания при неполном сгорании отходов;
4. Определение расхода атмосферного воздуха на горение дополнительного топлива (природный газ) в горелке при коэффициенте избытка воздуха 1,05;
5. Определение компонентного состава дымовых газов на выходе из камеры сгорания при сгорании дополнительного топлива;
6. Компонентный состав дымовых газов на выходе из камеры сгорания;
7. Тепловой баланс камеры сгорания. Определение расхода дополнительного топлива (природный газ);
8. Подбор горелки для камеры сгорания;
9. Тепловой баланс дожигателя. Определение расхода дополнительного топлива для дожигателя;
10. Подбор горелки для дожигателя;
11. Нейтрализация в скруббере. Определение расхода щелочных и кислых компонентов;
12. Тепловой расчет скруббера. Определение расхода воды для охлаждения дымовых газов;
13. Аэродинамический расчет установки. Подбор стандартного оборудования (фильтр, вентиляторы, дымососы, насосы и др.).

В качестве примера малого поселения Крайнего Севера нами взят поселок Угольный, который находится в непосредственной близости от Зырянского ме-

сторождения угольного разреза. В ближайшие годы намечена модернизация его устаревших котельных. Рассматривается создание комплекса по одновременной генерации электроэнергии и термической утилизации ТКО, образуемых в поселке. Основные необходимые для технологического расчета показатели поселения:

- энергетическое потребление, мощность ДЭС – 5,8 МВт;
- количество жителей – 200 человек;
- количество образующихся ТКО в день – от 200 до 400 кг.

Также для расчета необходимы первоначальные знания о составе и энергетической ценности ТКО. В табл. 1. представлен усредненный морфологический состав ТКО, из которого видно, что основными компонентами в составе ТКО (более 60 %) являются картон и пищевые отходы.

*Таблица 1*

Усредненный морфологический состав ТКО (ориентировочный), % по массе

№	Состав отходов	%
1	Бумага, картон	36,6
2	Пищевые отходы	27,5
3	Дерево и древесные материалы	4,1
4	Текстиль	5,1
5	Полимерные материалы	6
6	Стекло	3,3
7	Резина, кожа	1,5
8	Кости	1,7
9	Металл	4
10	Гипс, камни, керамика	1,2
11	Отсев менее 16 мм	9

В табл. 2 представлен типичный элементный состав ТКО в зависимости от времени года, из которой видно, что зольность и влажность является существенной его частью. Элементный состав изменяется слабо.

*Таблица 2*

Элементный состав ТКО, % по массе

Время года	Углерод, С	Водород, Н	Кислород, О	Азот, N	Сера, S	Зольность, А	Влага, W
Зима	20,9	2,8	15,4	0,5	0,16	27,1	33,1
Весна	21	2,8	16,1	0,6	0,18	26,9	33,7
Лето	21,2	2,8	15,7	0,5	0,17	27,5	32,2
Осень	15	1,9	10,1	0,3	0,12	22,5	50

Для определения теплотворной способности ТКО и проведения технологического расчета термической утилизации в соответствии с алгоритмом необходимо исходные данные по морфологическому и элементному составу перевести в среднемассовый элементный состав с учетом углерода в золе. Эти данные представлены в табл. 3.

Таблица 3

Исходные данные для расчета теплотворной способности ТКО

Параметр	Среднемассовый элементный состав ТКО	Масса элементов	Среднемассовый элементный состав с учетом углерода в золе
	%	М, кг	%
С <sub>p</sub>	20,89	41,78	20,37
Н <sub>p</sub>	2,65	5,30	2,65
Sp	0,07	0,14	0,07
Np	0,83	1,66	0,83
O <sub>p</sub>	14,13	28,26	14,13
A <sub>p</sub>	10,40	20,80	10,92
W <sub>p</sub>	48,94	97,88	48,94
Cl	2,08	4,16	2,08
Σ	99,99	199,98	100,00

Для расчета теплотворной способности ТКО необходимо воспользоваться формулой Д. Менделеева для низшей теплоты сгорания [8] и подставить данные из таблицы 3 в формулу 1:

$$Q_n = 81[C] + 300[H] + 26([S] - [O] - [N]) - 6(9[H] + W) \text{ [ккал/кг]}, (1)$$

где [S], [N], [C], [H], [O], [W] – массовое содержание (%) в горючем веществе серы, азота, углерода, водорода, кислорода и влаги соответственно.

Результаты расчета по формуле 1 показывают, что теплотворная способность ТКО составляет порядка 1600 ккал/кг. Соответственно, можно получить при утилизации дополнительное количество тепла  $Q = 0,12 \times 10^3$  Гкал в год.

### Обсуждение

Постановлением Правительства Республики Саха (Якутия) [9] поселок Угольный Верхнеколымского района отнесен к IV погодной зоне – от 10 800 до 11 550 градусо-дней. Расходы тепла на приготовление горячей воды определены в зависимости от способов водоснабжения: из сети холодного водопровода, круглогодичного использования естественных водоемов, сезонного использования воды и льда. Удельные расходы тепла на приготовление горячей воды в среднем по республике составляют соответственно 48,4 и 50,2 ккал/л воды и 147,9 ккал/кг льда. В соответствии с [9] годовой расход условного топлива на отопление при

КПД отопительной установки 0,80 с учетом надбавки 1,35 составляет 5,6 у.т. Таким образом годовой норматив потребления тепла ориентировочно составляет  $Q = 1,2 \times 10^3$  Гкал в год.

Так как при утилизации ТКО образуется 0,12 Гкал в год, для компенсации недостающей энергии необходимо использовать уголь близлежащего разреза Зырянского бассейна. Экономически это целесообразно, поскольку замещается порядка 10 % добываемого или завозимого органического топлива для выработки энергии и уменьшаются затраты на создание полноценной инфраструктуры обращения с отходами, базирующейся на размещении отходов на полигонах.

### ***Заключение***

Таким образом, термическая утилизация в специальных устройствах ТКО совместно с природным топливом с образованием синтез-газа является социально-экономическим методом решения проблем негативного воздействия на окружающую среду, компостирования отходов и минимизации загрязняющего воздействия. Дополнительный эффект появится при переводе энергообеспечения на использование синтез-газа вместо дорогостоящего мазутного топлива, что подтверждается выводами работ ряда авторов [10, 11]: показано, что перевод существующих малых промышленных котельных на сжигание синтез-газа дает положительный экономический и экологический эффект.

Результаты нашего исследования показывают, что в условиях Крайнего Севера одновременная экономия 10% топлива и утилизация ТКО без захоронения может стать важным элементом его развития. Для исключения негативного воздействия на биосферу термическое разложение должно происходить в стационарном режиме с температурой продуктов разложения 750-770 °С, причем с помощью электрического высокочастотного тока эффективность утилизации может быть повышена [12, 13].

### ***Благодарности***

Выражаем благодарность Вере Васильевне Фадеевой и Геннадию Ивановичу Багрянцеву за поддержку магистерской программы СГУГиТ «Управление технологическими процессами в сфере обращения с отходами на объекте экономики».

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management>.
2. <http://static.government.ru/media/files/pgU5Ccz2iVew3Aoel5vDGSBjbDn4t7FI.pdf>
3. [https://www.mnr.gov.ru/activity/directions/natsionalnyy\\_proekt\\_ekologiya/](https://www.mnr.gov.ru/activity/directions/natsionalnyy_proekt_ekologiya/)
4. ФЗ-89 «Об отходах производства и потребления (с изменениями на 19 декабря 2022 года) (редакция, действующая с 1 марта 2023 года)»
5. Kaza, Silpa; Yao, Lisa C.; Bhada-Tata, Perinaz; Van Woerden, Frank. 2018. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development;. © Washington, DC: World Bank
6. <https://www.iswa.org/services/>

7. <https://speczavod.com/tekhnologii/>
8. Чернов, А.А., Шмаков, А.Г., Петрова Н.В. Теория горения и взрыва (учебное пособие к практическим работам). [Текст]: учеб. пособие / А.А. Чернов – Новосибирск: СГУГиТ, 2020. – 227 с.
9. Постановление №186 Правительства Республики Саха (Якутия) от 22 апреля 1986 «О нормировании расхода тепла и топлива на отопление и горячее водоснабжение зданий в якутской АССР»
10. Жуйков, А.В., Матюшенко, А.И. Способы получения и практического применения синтез-газа (обзор), Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2020 – Т. 13, №4. – 383-405. DOI: 10.17516/1999-494X-0232
11. Михайлов, Б.И., Буянтуев, С.Л., Михайлов, А.Б. Получение синтез-газа с заданным СО-водородным числом, Вестник бурятского государственного университета. – 2014. – № 3. – С. 165.
12. Yao, L., King, J., Wu, D. Non-thermal plasma-assisted rapid hydrogenolysis of polystyrene to high yield ethylene. Nat Commun. – 2022. – Vol. 13. – P. 885. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28563-7>
13. Dong, Q., Lele, A.D., Zhao, X. Depolymerization of plastics by means of electrified spatiotemporal heating. Nature. – 2023. – Vol. 616. – P. 488–494. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-05845-8>

© А. А. Чернов, Н. В. Петрова, Г. И. Багрянцев, Л. А. Демидова, 2023