

УПРАВЛЕНИЕ БЫТОВЫМИ И ПРОМЫШЛЕННЫМИ ОТХОДАМИ

УДК 504.064.47

Н.Н. Слюсарь, В.Н. Коротаев, О.А. Галкина

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

Ю.Б. Матвеев, А.Ю. Пухнюк

Институт технической теплофизики
Национальной академии наук Украины

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ СОРТИРОВКИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ НА ОБРАЗОВАНИЕ МЕТАНА В МАССИВЕ ПОЛИГОНА ЗАХОРОНЕНИЯ

Состав и уровень эмиссий на полигонах захоронения твердых бытовых отходов (ТБО) зависит, в том числе, от морфологического состава отходов, направляемых на захоронение, в частности от содержания биоразлагаемых фракций. Проведенные расчеты показали, что использование ручной и оптико-механической сортировки совместно с механо-биологической обработкой отсева позволяет не только извлечь вторичное сырье из потока отходов, но и снизить объем образования метана на полигоне.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, сортировка отходов, полигон захоронения отходов, парниковые газы.

Захоронение твердых бытовых отходов (ТБО) на полигонах сопровождается эмиссиями биогаза, в состав которого входит до 60 % метана. Будучи парниковым газом, метан является одним из продуктов деградации органических веществ в ходе физико-химических и биологических процессов.

Количество и состав органической фракции, поступающей на захоронение, можно оценить на основании изучения морфологического состава образующихся ТБО и данных об использовании технологий предварительной обработки отходов перед захоронением

(сортировка ТБО с выделением вторичного сырья, механо-биологическая обработка).

В составе ТБО можно выделить как легкоразлагаемые (пищевые отходы, офисная и журнальная бумага), так и трудноразлагаемые фракции (гофрированный картон, газеты, дерево, пластмасса), время разложения которых зависит от условий, сложившихся в теле полигона, а именно от содержания влаги в массиве отходов.

Если представить усредненный морфологический состав ТБО г. Перми (рис. 1, а) как сумму биodeградируемых фракций отходов (пищевые, садово-парковые отходы, бумага, древесина, некоторые виды текстиля), фракций, подвергающихся химической и фотохимической деструкции (черные и цветные металлы, пластмассы) и балластных фракций (камни, стекло, строительные материалы) (рис. 1, б), можно увидеть, что около 50 % приходится на фракции, подверженные биodeградации.

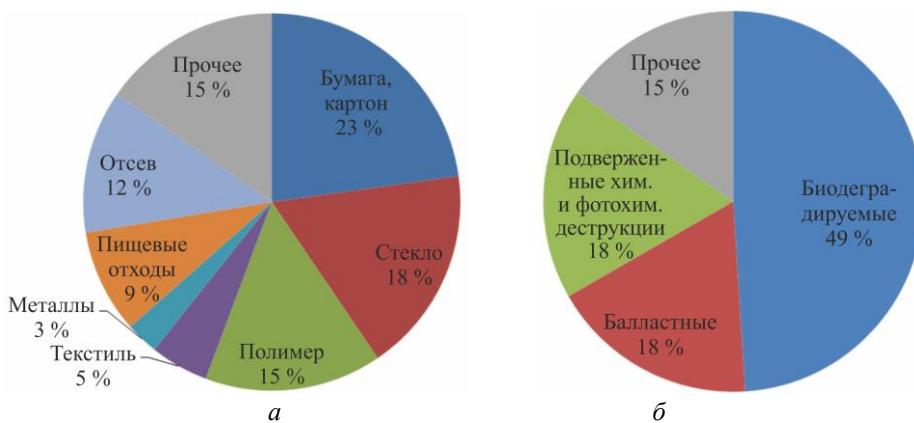


Рис. 1. Морфологический состав ТБО г. Перми

Следует отметить, что за последнее время в составе отходов увеличилось содержание трудно- и неразлагаемых фракций отходов, таких как полимерные материалы и стекло. При этом большинство полимерных материалов не подвергается биохимической деструкции. Они медленно разрушаются в результате деполимеризации, фотохимических и химических процессов, теряя менее 1 % от массы после 10 лет захоронения [1, 2].

Учитывая, что основное воздействие полигонов на окружающую среду связано с эмиссиями фильтрата и биогаза, образующимися в результате разложения органических фракций ТБО, одним из путей сокращения эмиссий является снижение объемов захоро-

нения биоразлагаемых отходов. Директива Совета Европейского союза 1999/31/ЕС от 26 апреля 1999 г. по полигонам захоронения отходов устанавливает снижение массы захораниваемых биоразлагаемых отходов до 75, 50 и 35 % в 2006, 2009 и 2016 г. соответственно. Законодательно и экономически Россия не готова к введению ограничений на размещение биоразлагаемых или непереработанных отходов. В то же время в России широко развиваются технологии сортировки ТБО [3–5], которые позволяют извлечь биоразлагаемые компоненты отходов (картон, бумага, текстиль) и снизить объем биodeградируемых фракций, направляемых на захоронение.

В качестве примера были рассмотрены технологии ручной и оптико-механической сортировки ТБО, для которых на основании натурных исследований по определению эффективности работы мусоросортировочных заводов и лабораторного комплекса глубокой оптико-механической сортировки ТБО [3–5] были определены коэффициенты отбора отдельных фракций отходов и построены материальные балансы процессов. Схемы потоков отходов, направляемых на захоронение после извлечения вторичного сырья в результате ручной или оптико-механической сортировки, представлены на рис. 2.

За счет автоматизации процесса распознавания и извлечения вторичного сырья эффективность оптико-механической сортировки выше, чем ручной сортировки ТБО. В результате сокращается поток отходов, направляемых на захоронение. При этом наибольшая доля отсортированных отходов приходится на трудноразлагаемые фракции, извлечение которых из потока ТБО, направляемых на захоронение, позволяет снизить долгосрочные эмиссии на полигонах. Изменение массы и состава ТБО, вывозимых на полигон, приводит к изменению их метанового потенциала и величины эмиссии метана в окружающую среду на протяжении жизненного цикла полигона.

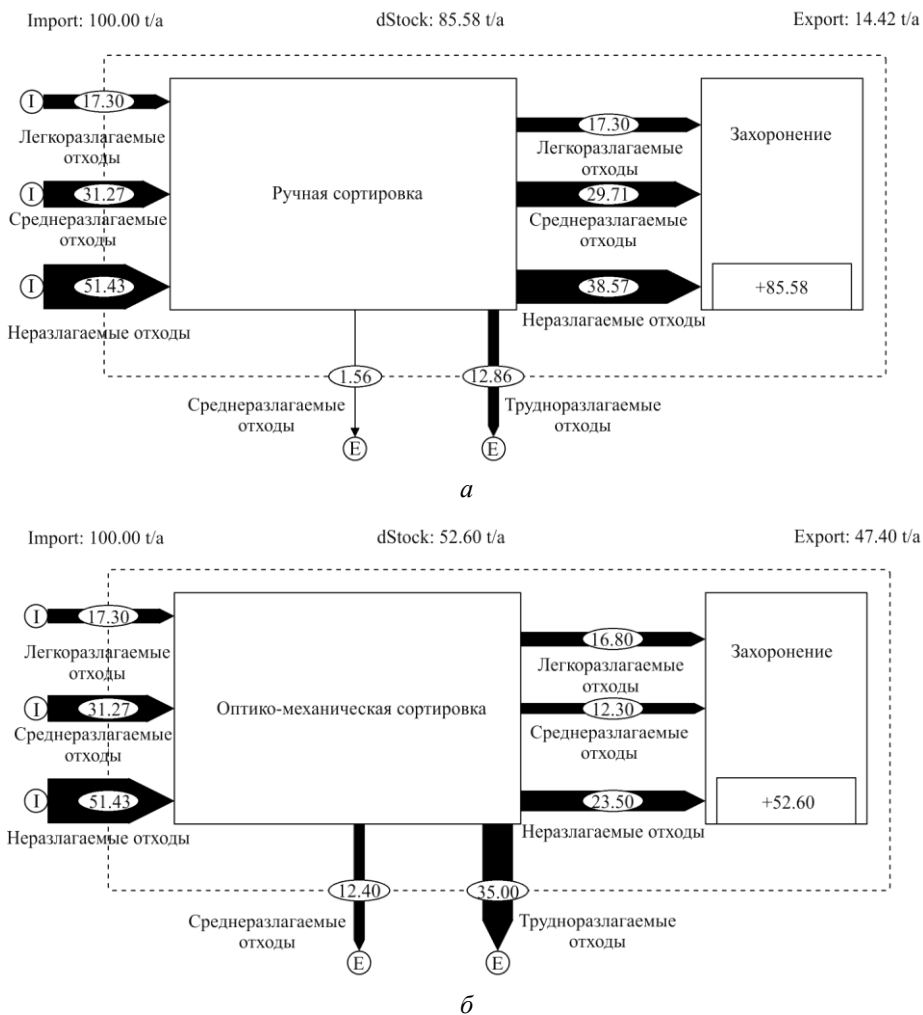


Рис. 2. Схема материальных потоков ручной (а) и опτικο-механической (б) сортировки (на примере заводов мощностью 100 тыс. т ТБО/год)

Для расчетов газообразования на полигонах ТБО наиболее часто используются варианты экспоненциальной модели разложения 1-го порядка, предполагающей, что выход метана зависит от остаточного количества разлагаемого субстрата, которое изменяется следующим образом:

$$\frac{-dC}{dt} = kC, \quad (1)$$

где C – количество разлагаемого субстрата (органического углерода); k – коэффициент скорости образования метана.

Наиболее широко используемой в настоящее время моделью разложения 1-го порядка является модель Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC [6]), описываемая уравнением

$$M E_{CH_4,y} = (1-OX) \cdot 16/12 \cdot F \cdot DOC_f \times \\ \times MCF \cdot \sum_{x=1}^y \sum_{j=1}^j W_{j,x} \cdot DOC_j \cdot (e^{-k(y-x)} \cdot (1 - e^{-k_j})), \quad (2)$$

где $ME_{CH_4,y}$ – эмиссия метана с полигона ТБО в году y ; OX – коэффициент окисления метана в поверхностном слое; F – содержание метана в биогазе (принимается 50 об.%); DOC_f – доля биологически разлагаемого в анаэробных условиях углерода; DOC_j – содержание органического углерода в категории отходов j (% влажного вещества отходов ВВ); MCF – поправочный коэффициент образования метана, определяющий долю ТБО, находящихся в анаэробных условиях; x – годы захоронения отходов на полигоне (от $x = 1$ до $x = y$); $W_{j,x}$ – количество отходов категории j , вывезенное на полигон в год x (т).

С использованием данной модели был проведен расчет метанового потенциала ТБО г. Перми и изменения величины газообразования во времени для различных сценариев сортировки и обработки отходов [7]:

- ручная сортировка ТБО;
- оптико-механическая сортировка ТБО;
- ручная сортировка и механо-биологическая обработка (МБО) отсева сортировки;
- оптико-механическая сортировка и МБО отсева сортировки.

Результаты расчетов (рис. 3) показали, что содержание органической фракции в отходах, вывозимых на полигон, снижается на 4 % в результате ручной сортировки и на 10,5 % в результате оптико-механической сортировки. При этом удельный потенциал метанообразования общего потока «хвостов» сортировки изменяется в пределах $\pm 2-6$ % потенциала исходной массы отходов за счет изменения удельного соотношения инертных и органических компонентов в результате сортировки. Для оптико-механической сортировки этот показатель на 8 % ниже, чем для ручной, за счет меньшего содержания отходов макулатуры. Удельный метановый потенциал «хвостов» увеличивается в случае ручной сортировки за

счет изъятия большого объема инертных компонентов вторсырья (стекла и пластика) и соответствующего увеличения в «хвостах» сортировки удельного содержания метанообразующих компонентов.

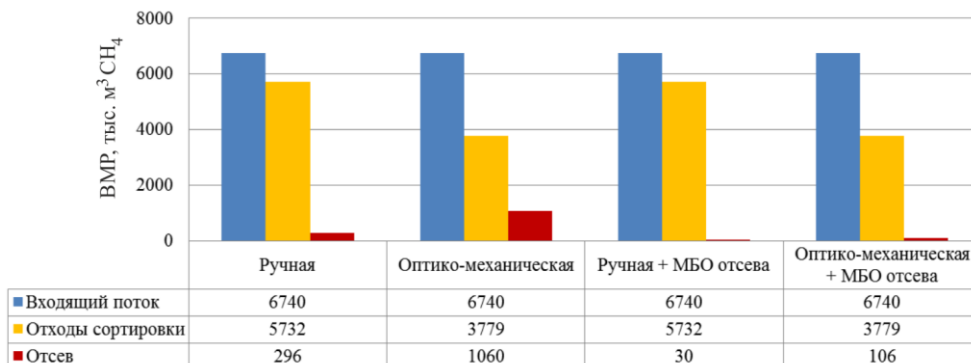


Рис. 3. Метановый потенциал ТБО при различных технологиях сортировки/обработки

Уменьшение образования метана на полигоне достигается, в основном, за счет уменьшения количества вывозимых на полигон метанообразующих категорий отходов, в основном картона и бумаги. Общий потенциал газообразования отходов уменьшается на 11 % при использовании технологии ручной сортировки и на 30 % в случае использования оптико-механической сортировки ТБО.

Помимо определения метанового потенциала ТБО практический интерес представляет анализ изменения величины газообразования ТБО во времени. Расчет вариантов проведен с использованием модели IPCC [6] для исходного потока ТБО 100 тыс. т в год, вывозимых на условный полигон с предварительной сортировкой или без нее на протяжении 10 лет в период с 2014 по 2023 г. Величина окисления метана в поверхностном слое массива полигона принималась равной $OX = 0$, доля биологически разлагаемого углерода $DOC_f = 0,5$ [5]. Значение поправочного коэффициента образования метана принято равным $MCF = 1$.

На рис. 4 приведена временная зависимость образования метана с сортировкой и без нее, на рис. 5 – соответствующее снижение образования метана при внедрении двух видов сортировки по сравнению с образованием метана от захоронения всей исходной массы ТБО.

Внедрение ручной сортировки позволяет сократить ежегодное образование метана во время эксплуатации и послеэксплуатационного обслуживания полигона ТБО на 8–12 %. В результате оптико-механической сортировки ежегодное образование метана на полигоне сокращается на 23–35 %, что связано с более эффективной сортировкой и снижением содержания в отходах картонно-бумажной фракции.

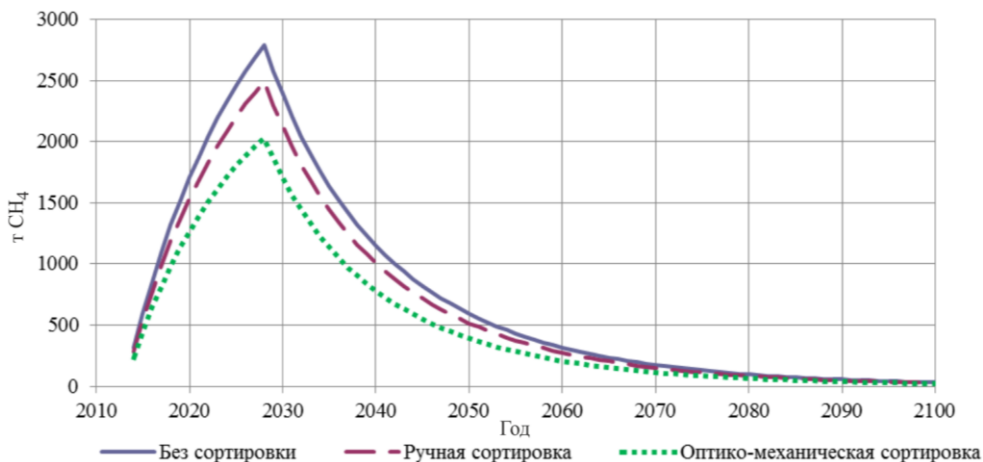


Рис. 4. Динамика образования метана на полигоне ТБО (захоронение смешанных ТБО и «хвостов» сортировки)

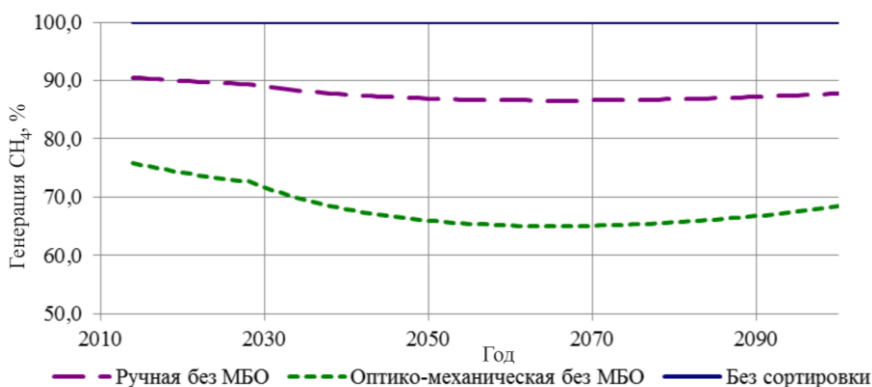


Рис. 5. Снижение образования метана на полигоне ТБО при использовании предварительной сортировки отходов по сравнению с прямым захоронением

На рис. 6, 7 приведены зависимости образования метана и снижение газообразования при использовании МБО отсева сортировки. При ручной сортировке достигается сокращение образо-

вания метана примерно на 14 % по сравнению с исходными значениями, при автоматической – на 32–47 %.

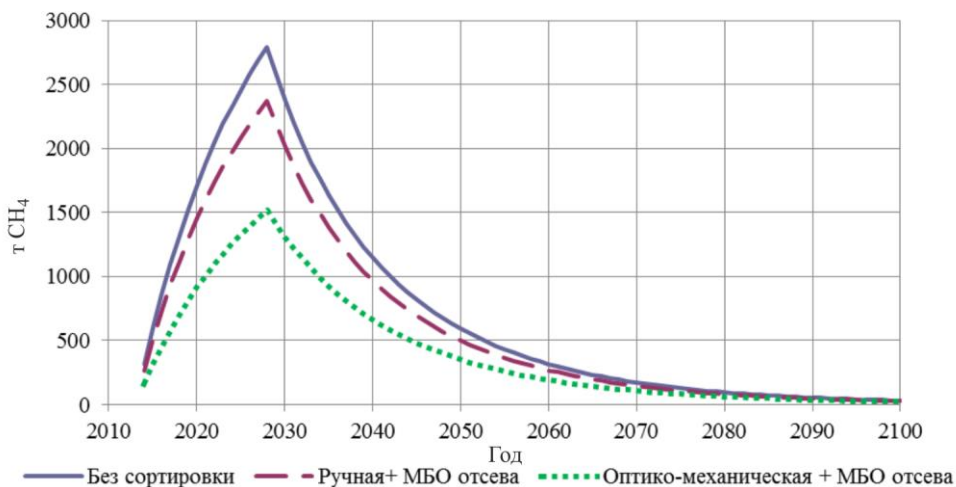


Рис. 6. Динамика образования метана на полигоне ТБО (захоронение смешанных ТБО и «хвостов» сортировки после МБО отсева)

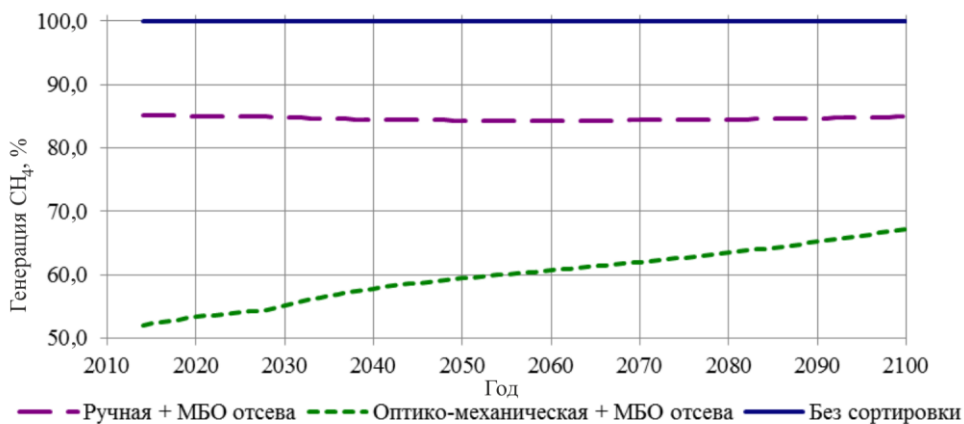


Рис. 7. Снижение образования метана на полигоне ТБО при использовании предварительной сортировки ТБО и МБО отсева по сравнению с прямым захоронением

Таким образом, в процессе ручной сортировки достигается снижение потенциала газообразования «хвостов» (отходы сортировки и отсева) более чем на 10 %. Остаточный потенциал газообразования отходов сортировки и отсева составляет примерно 90 %

от первоначального, причем этот потенциал в основном формируется отходами сортировки – 85 %, на долю отсева приходится только 4 %. В случае применения МБО отсева перед захоронением на полигон общий потенциал метанообразования размещаемых на полигоне ТБО составит 86 % от первоначального.

В процессе оптико-механической сортировки потенциал газообразования хвостов снижается почти на 30 %. Остаточный потенциал отходов сортировки и отсева составляет 71 % от первоначального, причем этот потенциал перераспределяется более равномерно между отходами сортировки (55 %) и отсевом (16 %). В случае применения МБО отсева перед его захоронением на полигоне общий потенциал метанообразования размещаемых на полигоне ТБО составит 58 % от первоначального.

С точки зрения снижения потенциала метанообразования МБО отсева целесообразно проводить после оптико-механической сортировки ТБО, однако окончательное решение о выборе технологии переработки отходов должно приниматься на основании комплексной технико-экономической оценки различных вариантов.

Работа выполнена в рамках реализации соглашений о предоставлении и целевом использовании субсидии для реализации научных проектов международными исследовательскими группами ученых на базе государственных образовательных учреждений Пермского края.

Библиографический список

1. Mersiowsky I., Stegmann R. Long-term Behavior of PVC Products and Fate of Phthalate Plasticizers under Landfill Conditions // VII International waste management and landfill symposium. – Sardinia, 1999. – Vol. I. – P. 193–199.
2. Micales J.A., Skog K.E. The Decomposition of Forest Products in Landfills // International Biodeterioration & Biodegradation. – 1997. – Vol. 39, no. 2–3. – P. 145–158.
3. Слюсарь Н.Н., Борисов Д.Л., Григорьев В.Н. Разработка комплексной технологической схемы сортировки твердых бытовых отходов // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Урбанистика. – 2011. – № 3. – С. 75–82.
4. Коротаев В.Н., Слюсарь Н.Н., Ильиных Г.В. Оптимизация технологической схемы сортировки ТБО для урбанизированных территорий // Экология и промышленность России. – 2010. – № 5. – С. 22–25.
5. Ильиных Г.В., Устьянцев Е.А., Вайсман Я.И. Построение материального баланса линии ручной сортировки твердых бытовых отходов // Экология и промышленность России. – 2013. – № 1. – С. 22–25.

6. Methodological tool «Tool to determine methane emissions avoided from disposal of waste at a solid waste disposal site» (Version 06.0.1) // UNFCCC CDM Executive Board, EB 66 Report, Annex 46. – 2012. – 16 p.

7. Управление метановым потенциалом ТБО путем их предварительной обработки / Н.Н. Слюсарь, Г.В. Ильиных, Я.И. Вайсман, А.Ю. Пухнюк, Ю.Б. Матвеев // Экология и промышленность России. – 2013. – № 11. – С. 38–42.

References

1. Mersiowsky I., Stegmann R. Long-term Behavior of PVC Products and Fate of Phthalate Plasticizers under Landfill Conditions. *VII International waste management and landfill symposium*. Sardinia, 1999, vol. I, pp. 193–199.

2. Micales J.A., Skog K.E. The Decomposition of Forest Products in Landfills. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 1997, vol. 39, no. 2–3, pp. 145–158.

3. Sljusar N.N., Borisov D.L., Grigorev V.N. Razrabotka kompleksnoj tehnologicheskoy skhemy sortirovki tverdykh bytovykh otkhodov [Development of aggregate technology for msw sorting]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Urbanistika*, 2011, no. 3, pp. 75–82.

4. Korotaev V.N., Sljusar N.N., Ilinykh G.V. Optimizatsiya tehnologicheskoy skhemy sortirovki TBO dlya urbanizirovannykh territorij [Optimization of the Technological Scheme of Solid Household Waste Sorting for Urbanized Territories]. *Ekologiya i promyshlennost Rossii*, 2010, no. 5, pp. 22–25.

5. Ilinykh G.V., Ustjancev E.A., Vajsman Ja.I. Postroenie materialnogo balansa linij ruchnoj sortirovki tverdykh bytovykh otkhodov [Development of material balance for manual sorting line of municipal solid waste]. *Ekologiya i promyshlennost Rossii*, 2013, no. 1, pp. 22–25

6. Methodological tool “Tool to determine methane emissions avoided from disposal of waste at a solid waste disposal site” (Version 06.0.1). *UNFCCC CDM Executive Board, EB 66 Report, Annex 46*, 2012, 16 p.

7. Sljusar N.N., Ilinykh G.V., Vajsman Ja.I., Puhnjuk A.Ju., Matveev Ju.B. Upravlenie metanovym potentsialom tverdykh bytovykh otkhodov putem ih predvaritel'noj obrabotki [Management of Solid Municipal Wastes Methane Potential by Means of its Pre-treatment]. *Ekologiya i promyshlennost Rossii*, 2013, no. 11, pp. 38–42.

Получено 24.02.2014

**N. Sliusar, V. Korotaev, O. Galkina,
Y. Matveev, A. Pukhnyuk**

ASSESSMENT OF MSW PRELIMINARY TREATMENT EFFECT ON METHANE GENERATION ON LANDFILLS

Composition and level of emissions from MSW landfills depends on waste composition, in particular the biodegradable fraction content. Assessment has shown that MSW preliminary treatment (manual and sensor-based sorting, MBT technologies) allows extracting secondary raw materials and reducing the amount of methane generation on landfills

Keywords: municipal solid waste, waste sorting, landfill, methane, greenhouse gases.

Слюсарь Наталья Николаевна (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: slyusar@eco.pstu.ac.ru).

Коротаев Владимир Николаевич (Пермь, Россия) – д-р техн. наук, профессор кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: korotaev@pstu.ru).

Галкина Ольга Александровна (Пермь, Россия) – студентка, кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29).

Матвеев Юрий Борисович (Киев, Украина) – канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник, Институт технической теплофизики Национальной академии наук Украины (03680, г. Киев, ул. Желябова, д. 2а, e-mail: mtv@biomass.kiev.ua).

Пухнюк Александра Юрьевна (Киев, Украина) – канд. техн. наук, науч. сотрудник, Институт технической теплофизики Национальной академии наук Украины (03680, г. Киев, ул. Желябова, д. 2а, e-mail: alexa_pukhnyuk@ukr.net).

Sliusar Natalia (Perm, Russia) – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29. e-mail: slyusar@eco.pstu.ac.ru).

Korotaev Vladimir (Perm, Russia) – Doctor of Technical Sciences of «Environmental protection», Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: korotaev@pstu.ru).

Galkina Olga (Perm, Russia) – Student, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29).

Matveev Yuriu (Kiev, Ukraine) – Ph.D. in Physics and Mathematics Sciences, senior staff scientist, Institute of Engineering Thermophysics, National Academy of Science of Ukraine (03680, Kiev, Zhelyabova str., 2, e-mail: mtv@biomass.kiev.ua).

Pukhnyuk Alexandra (Kiev, Ukraine) – Ph.D. in Technical Sciences, staff scientist, Institute of Engineering Thermophysics, National Academy of Science of Ukraine (03680, Kiev, Zhelyabova str., 2, e-mail: alexa_pukhnyuk@ukr.net).