

ЭКОЛОГИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЖКХ. РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОМИНИМИЗАЦИЯ

DOI: 10.15593/2409-5125/2015.03.08

УДК 504.062.2

**Я.В. Базылева, С.В. Полыгалов,
Г.В. Ильиных, В.Н. Коротаев**

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

ЗАВИСИМОСТЬ КАЧЕСТВА И КОЛИЧЕСТВА ВТОРИЧНОГО ТОПЛИВА ОТ СПОСОБА ВЫДЕЛЕНИЯ И СОСТАВА ИСХОДНОГО ПОТОКА ОТХОДОВ

Рассмотрена возможность получения вторичного топлива при сортировке смешанных и отдельно собранных отходов, а также возможности получения вторичного топлива непосредственно из потока исходных отходов либо из «хвостов» сортировки после выделения компонентов вторичного сырья. Представлен алгоритм выделения энергетической фракции, а также построены балансы материальных потоков отходов в зависимости от способа получения топлива и входящего потока. Рассчитано примерное количество образования вторичного топлива из отходов, проанализированы различия в его составе и определена теплотворная способность расчетным методом. Сделаны выводы о наиболее рациональном способе производства вторичного топлива в будущем в зависимости от требований к нему. Рассмотрена зависимость между долями компонентов на этапе отбора вторичного топлива и их долями непосредственно в потоке энергетической фракции.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, вторичное топливо из отходов, раздельный сбор, энергетический потенциал, вторичное сырье, сортировка.

В связи с ежегодным ростом объемов образования твердых коммунальных отходов (ТКО) создаются и развиваются дополнительные методы их переработки. Наиболее распространенным является извлечение вторичного сырья – компонентов, которые можно переработать и использовать вторично – из потока отхо-

дов. Помимо ресурсного потенциала часть компонентов ТКО обладает энергетическим потенциалом – высокой калорийностью, что обеспечивает возможность их энергетической утилизации.

Вторичное топливо из отходов используется в качестве энергетического ресурса во многих развитых странах, например, США, Японии, Германии и т.д. Существует несколько направлений его использования: тепловая энергетика, черная металлургия, производство строительных материалов. За счет частичной замены традиционного топлива на твердое топливо из отходов в промышленных печах достигается снижение захораниваемых отходов. Кроме того, использование горючих компонентов отходов способствует экономии ископаемых ресурсов [1].

Существуют различные схемы производства вторичного топлива из отходов – аэросепарация, механобиологическая стабилизация, ручная и автоматическая сортировка [2]. В России на сегодняшний день чаще всего используется ручная сортировка отходов либо в комбинации с автоматической.

Входящий поток ТКО, который используется в качестве сырья для производства вторичного топлива, также будет влиять на количество и качество получаемого продукта. Морфологический состав отходов зависит от климатических условий территории и изменяется со временем под действием экономических, социальных и прочих факторов [3]. Кроме того, во многих странах отходы собираются отдельно, т.е. компоненты вторичного сырья частично отделяются на этапе сбора ТКО. Многие города России стремятся к отдельному сбору ТКО, проводят пилотные проекты и эксперименты по внедрению отдельного сбора. Поэтому для принятия управленческих решений важно оценить, насколько изменяется качество и количество производимого вторичного топлива, полученного из разных входящих потоков.

Для анализа морфологического состава отходов с точки зрения содержания вторичного сырья и горючих компонентов, проводившегося в июле 2014 г., использовались отходы с контейнерных площадок г. Перми. При этом пробы были подготовлены как из смешанных, так и из отдельно собранных отходов. Проект по отдельному сбору функционирует в Перми в тестовом режиме, поэтому эффективность разделения отходов пока не дости-

гает аналогичного показателя европейских стран. Тем не менее отходы из контейнера для раздельного сбора значительно отличаются по составу и характеризуются большей долей компонентов вторичного сырья [4].

Алгоритм эксперимента определения качества и количества вторичного топлива в зависимости от входящего потока представлен на рис. 1.

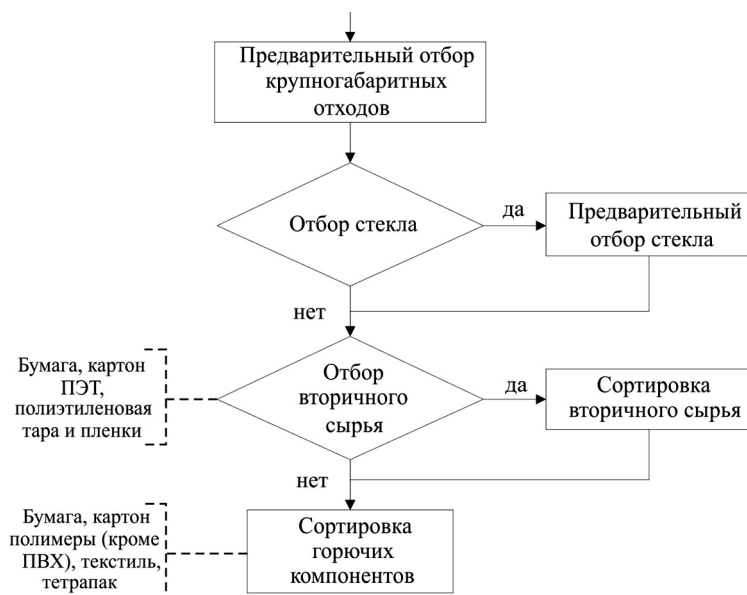


Рис. 1. Алгоритм проведения эксперимента по определению количественных и качественных характеристик вторичного топлива из отходов на примере г. Перми

Для эксперимента было подготовлено по 4 пробы смешанных и раздельно собранных отходов массой 200–250 кг. По две пробы каждого потока было предназначено для непосредственного выделения вторичного топлива из отходов, еще по две – для выделения вторичного сырья с последующей сортировкой горючих компонентов.

Вторичное сырье – это компоненты отходов, обладающие материальным потенциалом, за счет которого их можно использовать повторно. В настоящее время такие компоненты вторичного сырья, как бумага, ПЭТ-бутылки, полиэтилен, пользуются спросом на рынке, поэтому целесообразно сначала выделять вторич-

ное сырье, а затем из «хвостов» отбирать горючие компоненты [5]. В случае, когда нет потребности во вторичном сырье (низкий спрос, проблемы с логистикой или производство вторичного топлива является более выгодным за счет большого количества потребителей), отбор только вторичного топлива из потока ТКО может оказаться предпочтительным вариантом. Схемы движения материальных потоков в зависимости от схемы производства представлены на рис. 2.

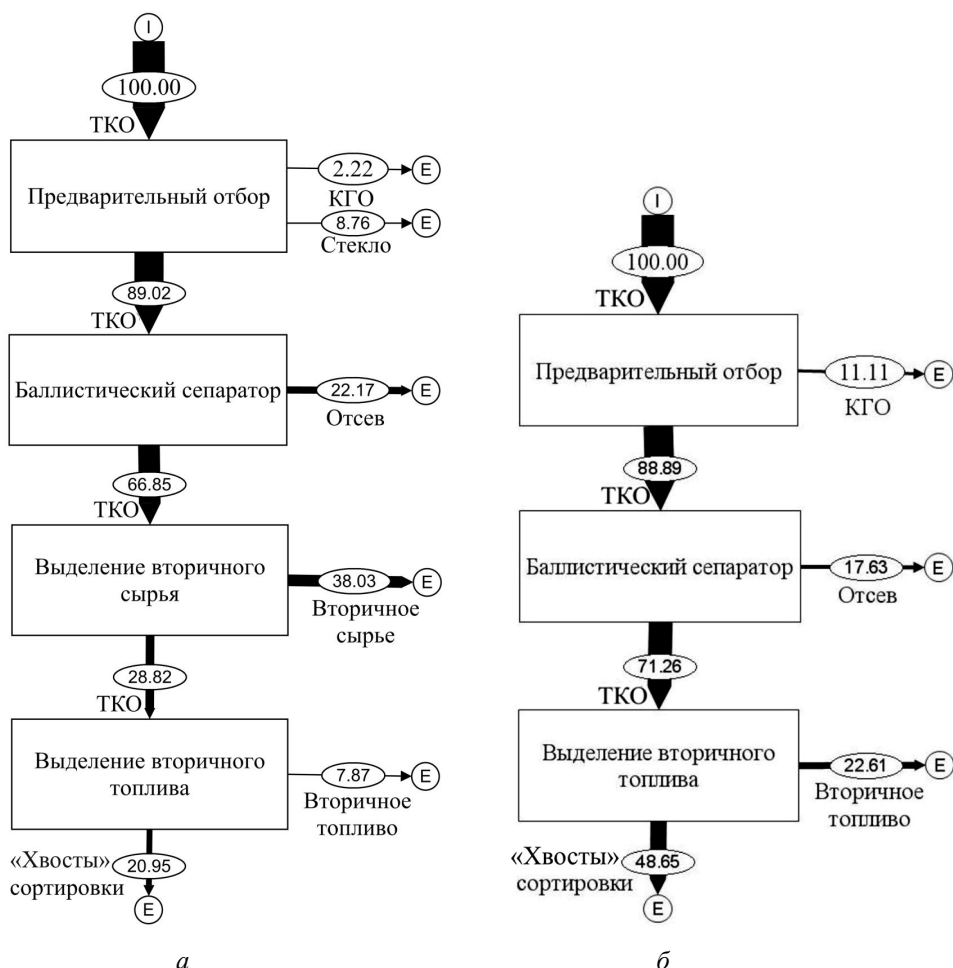


Рис. 2. Материальная схема процесса выделения вторичного топлива:
 а – после этапа выделения вторичного сырья; б – без этапа выделения вторичного сырья

В случае выделения вторичного сырья доля вторичного топлива значительно ниже (7,9 % от всего объема ТКО), чем при непосредственном отборе горючих компонентов, это связано с тем, что большая часть компонентов вторичного топлива входит в состав вторичного сырья. Поэтому если выделение вторичного сырья является приоритетной операцией, извлекается меньшее количество вторичного топлива.

При этом в случае, когда вторичное сырье не выделяется, доля извлекаемого вторичного топлива возрастает до 22,6 %, так как в его состав входят все горючие компоненты. Соотношение доли вторичного топлива, произведенного по схемам рис. 2, определяется как 1:3,5. Соответственно выбор схемы производства непосредственно зависит от рыночных условий – спроса, цен и потребностей потребителя. Таким образом, схема производства рис. 2, б может быть использована в случае экономической целесообразности.

Помимо схемы производства на количество и состав вторичного топлива влияет также состав входящего потока ТКО, из которого извлекается вторичное топливо из отходов [6]. Поток отходов для производства вторичного топлива может быть как смешанным, так и отдельно собранным в зависимости от системы сбора ТКО. В рамках данного исследования под смешанными отходами понимаются ТКО со стационарных контейнерных площадок города, расположенных вблизи жилых домов. Раздельно собранные отходы – отходы из контейнеров, установленных около жилых домов в рамках проекта по внедрению раздельного сбора в г. Перми.

Раздельный сбор – система организованного сбора ТКО в разные контейнеры, в результате которого компоненты вторичного сырья выделяются отдельно. При этом отходы могут собираться как в отдельный контейнер для каждого компонента (подобная практика реализуется в Европе), так и в два контейнера – компоненты вторичного сырья и прочее [7]. В рамках проекта по раздельному сбору ТКО в г. Перми вторичное сырье (металлы, макулатура и пластики) собирается в один контейнер. При этом стекло в качестве вторичного сырья не выделяется, несмотря на то, что этот компонент может быть переработан. Причинами

в первую очередь служат низкая стоимость данного вторичного продукта и низкий рыночный спрос. Несмотря на медленные темпы развития эксперимента, достигнуты первые результаты. Материальные схемы процессов выделения вторичного топлива из разных потоков отходов продемонстрированы на рис. 3.

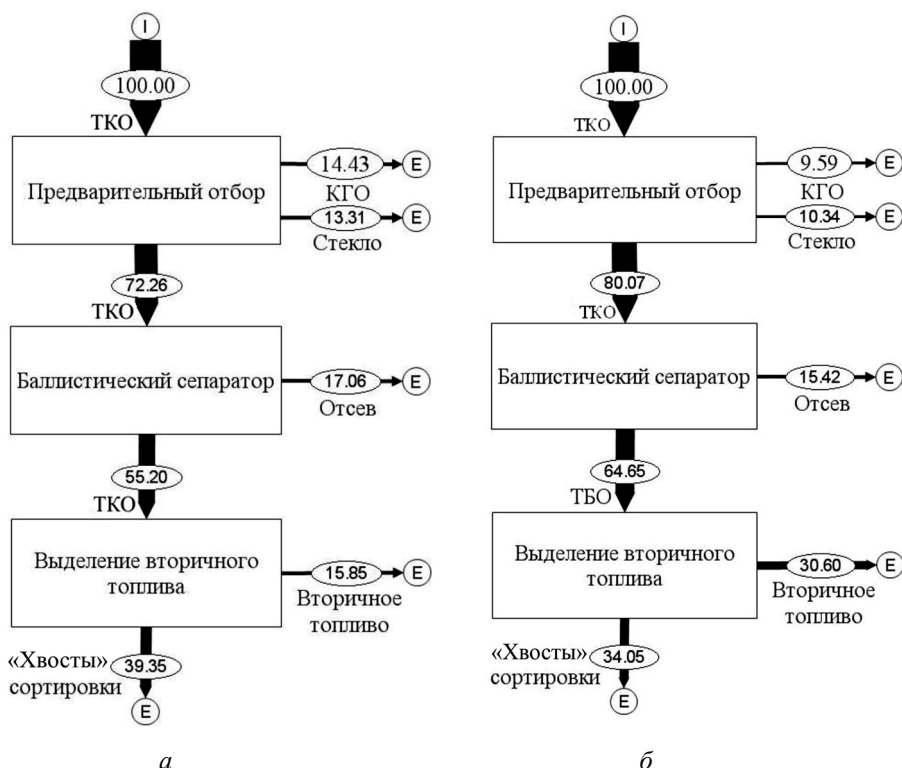


Рис. 3. Материальная схема процесса выделения вторичного топлива из разных входящих потоков: *а* – смешанные отходы; *б* – отдельно собранные отходы

Исходя из схем можно сделать вывод, что доля вторичного топлива в отдельно собранных отходах (15,9 %) в два раза выше, чем в смешанных ТКО (30,6 %). Соответственно, отдельный сбор отходов способствует не только выделению вторичного сырья, но и производству вторичного топлива из отходов. В схемах процессов выделения компонентов для вторичного топлива используются только горючие материалы, поэтому металлы относятся к «хвостам» сортировки.

Помимо количественных характеристик необходимо оценить качество вторичного топлива в зависимости от сырья и нали-

чия отбора вторичного сырья. На качество производимого вторичного топлива из ТКО влияет наличие стадии отбора вторичного сырья и состав входящего потока (смешанные или отдельно собранные отходы) [8, 9].

В случае, когда вторичное сырье отбирается, в состав вторичного топлива преимущественно входят те компоненты, которые не являются компонентами вторичного сырья. В обратном случае состав топлива из отходов представлен всеми горючими компонентами [10]. Сравнение качества и количества вторичного топлива в зависимости от наличия предварительного отбора вторичного сырья представлено на рис. 4.

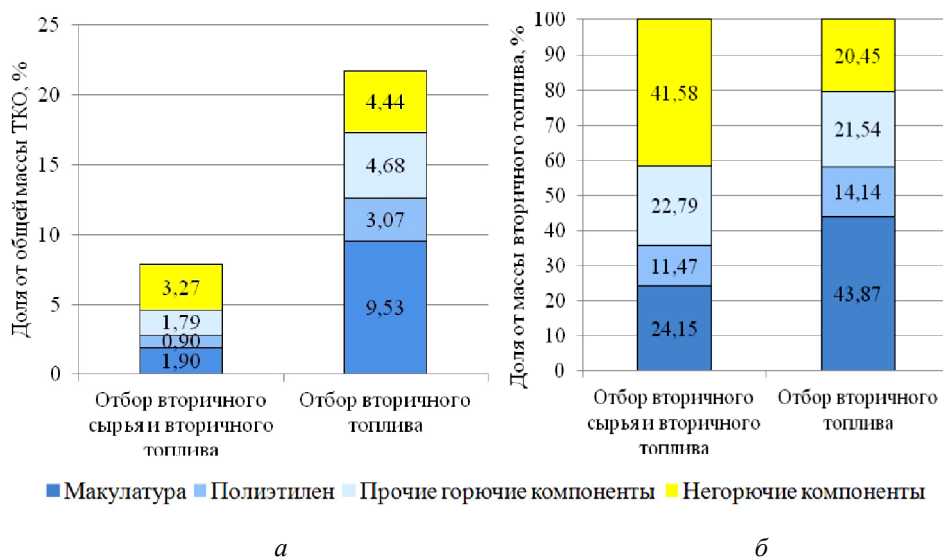


Рис. 4. Качество вторичного топлива из отходов, подготовленного по разным схемам: *а* – в пересчете на общую массу ТКО; *б* – в пересчете на массу вторичного топлива

На рис. 4 видно, что в случае отбора непосредственно компонентов вторичного топлива из потока ТКО доля вторичного топлива значительно выше, но при этом и выше доля негорючих компонентов. Это можно объяснить тем, что когда сначала отбирается вторичное сырье, а затем вторичное топливо, отходы проходят два цикла оптико-механической сортировки, соответственно отбор осуществляется точнее. Во втором случае в составе топлива содержится большее количество бумаги и полиэтилена, так как в первом случае значительная часть этих компонентов от-

бирается во вторичное сырье. Основными компонентами в первом случае являются бумага, текстиль и прочие полимеры, средняя теплотворная способность этого топлива составляет 14,3 МДж/кг. Высокое содержание органических отходов будет отрицательно влиять на качество топлива за счет высокой влажности [11]. Во втором случае в состав топлива преимущественно входит бумага, полиэтиленовые пленки и тара, картон, при этом достигается средняя теплотворная способность 17,1 МДж/кг. Картон, бумага и полиэтилен характеризуется более высокими энергетическими показателями, чем текстиль и прочие полимеры, поэтому энергетический показатель топлива во втором случае будет выше.

Важно оценить влияние входящего потока на состав получаемого топлива из ТКО. В составе смешанных отходов представлены все компоненты ТКО, а в раздельно собранных содержание таких компонентов, как органические отходы, стекло, инертные материалы минимально. Это способствует более точному определению, а также при приблизительно равных пробах должно обеспечить большее количество получаемого продукта. Качественный состав вторичного топлива, получаемого из разных потоков ТКО, представлен на рис. 5.

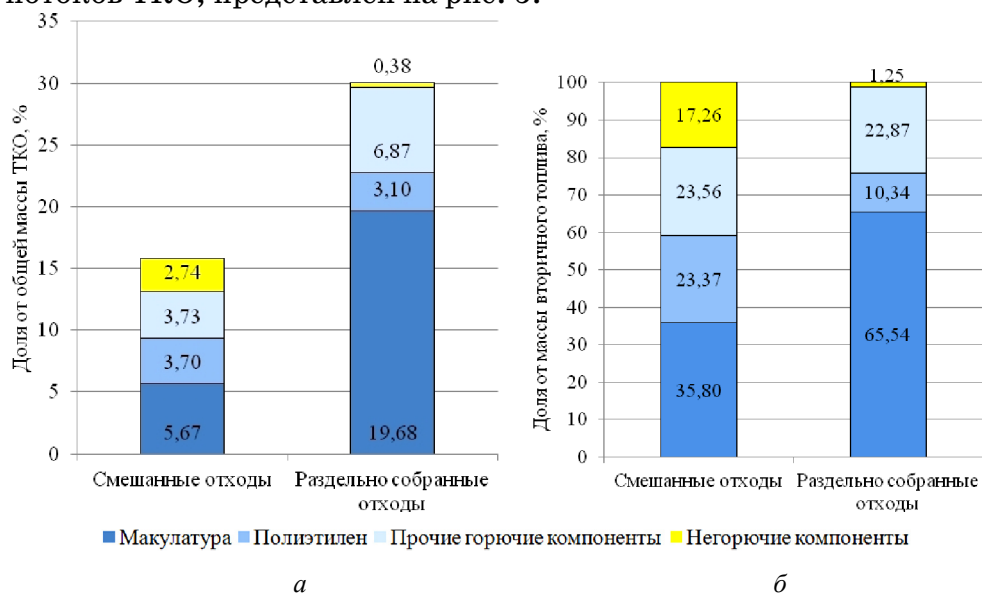


Рис. 5. Качество вторичного топлива из смешанных и раздельно собранных отходов: а – в пересчете на общую массу ТКО; б – в пересчете на массу вторичного топлива

В составе топлива из смешанных отходов доля негорючих компонентов намного выше, чем в отдельно собранных. В топливе из смешанных отходов преобладают бумага, полиэтиленовые пленки и органические отходы, при этом средняя теплотворная способность составляет примерно 18,5 МДж/кг. В топливе из отдельно собранных отходов основными компонентами являются бумага, картон, ПЭТ, полиэтилен, что обеспечивает теплотворную способность, равную 20,2 МДж/кг. В результате сортировки отдельно собранных отходов вторичное топливо получается в больших объемах и лучшего качества, чем при производстве из смешанных ТКО. Это обусловлено тем, что чистота входящего потока выше.

Поток отходов, поступающий на этап отбора компонентов вторичного топлива, каждый раз отличается в зависимости от схем производства и от состава входящего потока, что может непосредственно влиять на качество производимого продукта [12]. Для оценки влияния необходимо определить долю каждого компонента на входе в стадию отбора компонентов вторичного топлива и рассчитать, какая часть потока попадает в поток вторичного топлива. Анализ был проведен по компонентам «Бумага» и «Полиэтиленовые пленки», так как они являются одними из самых распространенных компонентов вторичного топлива из ТКО. На рис. 6 представлена зависимость доли бумаги в потоке вторичного топлива от доли этого компонента на входе в этап отбора вторичного топлива.



Рис. 6. Зависимость доли бумаги в потоке вторичного топлива от его доли на стадии производства вторичного топлива

На рис. 6 видно, что четко выраженной зависимости между показателями нет, так как точки расположены хаотично и не выстраиваются в линейную зависимость. Соответственно доля бумаги во вторичном топливе практически не связана с долей бумаги в потоке, поступающем на этап сортировки вторичного топлива из ТКО, а обусловлена в большей мере качеством входящего потока отходов.

Для сравнения на рис. 7 представлен аналогичный график по компоненту «ПЭНД-пленки». Как можно видеть, зависимость аналогичных показателей по компоненту «ПЭНД-пленки» более выражена, о чем свидетельствует линия тренда.

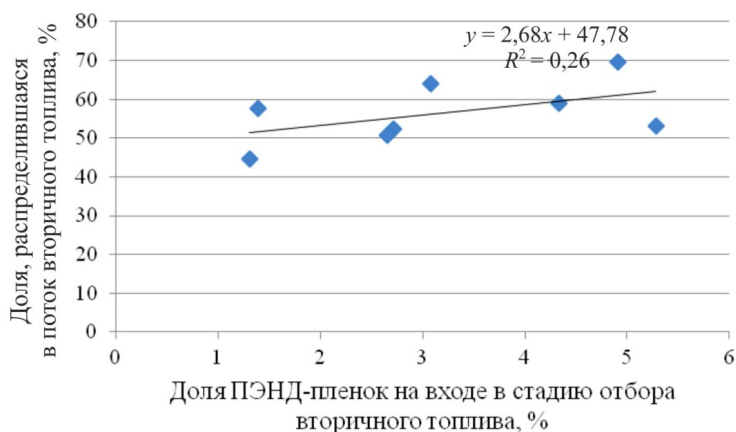


Рис. 7. Зависимость доли ПЭНД-пленок в потоке вторичного топлива от его доли на стадии производства вторичного топлива

Производство и реализация вторичного топлива из отходов позволили бы решить ряд актуальных проблем в области обращения с твердыми коммунальными отходами и ресурсосбережения. Вторичное топливо можно выделять как наряду с компонентами вторичного сырья, так и непосредственно из потока ТКО в зависимости от поставленных задач и требований потребителя [13]. При этом качество вторичного топлива с точки зрения калорийности при отсутствии стадии сортировки вторичного сырья несколько лучше и количество получаемого продукта больше [14].

При использовании в качестве сырья для получения вторичного топлива отдельно собранных отходов доля продукта возрастает в два раза по сравнению со смешанными отходами, при этом

доля негорючих компонентов существенно снижается. Повышение эффективности раздельного сбора отходов будет приводить также к пропорциональному улучшению качества и максимизации объемов вторичного топлива из отходов [15].

Для выявления более явных зависимостей между потоком компонентов, входящим на стадию сортировки вторичного топлива из отходов и долей компонента в топливе, необходимо изучить дополнительные параметры, влияющие на стадию производства, провести дополнительные исследования. Предварительный анализ позволяет сделать вывод, что зависимость между этими параметрами прослеживается, но не для всех компонентов.

Настоящая 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. Базылева Я.В., Куликова Ю.В., Слюсарь Н.Н. Анализ российского рынка потребителей вторичного топлива из отходов // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика: материалы XI Всерос. науч.-практ. конф. студ., асп. и молодых ученых (с международным участием). – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – С. 21–31.
2. Беспалов В.И., Адамян Р.Г. Оценка условий размещения полигонов по захоронению твердых отходов потребления // European Applied Sciences. – 2013. – № 2. – С. 190–194.
3. Denafas G. Seasonal aspects of municipal solid waste generation and composition in East-European countries with respect to waste management system development // Third International Symposium on Energy from Biomass and Waste. – Venice, 2010.
4. Внедрение раздельного сбора отходов в г. Перми / Я.В. Базылева, С.В. Пылыгалов, Г.В. Ильиных, Н.Н. Слюсарь // Твердые бытовые отходы. – 2014. – № 10. – С. 56–59.
5. Анопченко Т.Ю., Кирсанов С.А., Чернышев М.А. Зарубежный опыт управления в сфере твердых бытовых отходов // Российский академический журнал. – 2014. – № 1. – С. 8–14.
6. Лученко Ф.В., Абашина Е.А. Внедрение системы раздельного сбора ТБО – эффективный путь снижения экологической нагрузки на окружающую среду // Санитарный врач. – 2011. – № 2. – С. 67–70.

7. Standard for the production and use of Refuse Derived Fuel. – URL: www.epa.sa.gov.au (accessed 14 June 2015).
8. Ложечко В.П., Крицын М.С. О методах получения альтернативного топлива из твердых бытовых отходов // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2013. – № 3. – С. 982–991.
9. Степанчикова И.Г., Деревянко А.В., Зайцев В.А. Вторичное топливо из отдельных компонентов бытовых отходов // Энергия: экономика, техника, технология. – 2014. – № 2. – С. 40–45.
10. Данилов И.В., Слюсарь Н.Н., Ильиных Г.В. Сравнительный анализ возможности использования «хвостов» ручной и автоматической сортировки ТБО для производства вторичного топлива из отходов // Научные исследования и инновации. – 2010. – № 4. – С. 42–47.
11. Refuse derived fuel market in England. – URL: www.gov.uk/defra (accessed 7 July 2015).
12. Johari A. Combustion Characteristics of Refuse Derived Fuel (RDF) in a Fluidized Bed Combustor // Sains Malaysiana. – 2014. – № 43(1). – P. 103–109.
13. Байер Х. Успешный опыт использования альтернативных видов топлива в печах обжига клинкера // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. – 2014. – № 1 (33). – С. 12–19.
14. Wunsch C., Jenkins P. Bestimmung von Wassergehalten unterschiedlicher Abfallfraktionen mittels NIR-Technologie // Nordhäuser Sekundärrohstoff-Workshop. – Fachhochschule Nordhause, 2013.
15. Бигессе С.В. Раздельный сбор отходов: опыт Саранска // Санитарный врач. – 2013. – № 5. – С. 64–67.

References

1. Bazyleva Ja.V., Kulikova Yu.V., Slyusar N.N. Analiz rossijskogo rynka potrebitel'ej vtorichnogo topliva iz otkhodov [Analysis of the Russian market of consumers of secondary fuels from waste]. *Materialy XI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (s mezhdunarodnym uchastiem) „Ekologiya i NTP. Urbanistika”*. Permskij natsionalnyj issledovatel'skij politekhnicheskij universitet, 2014, pp. 21–31.
2. Bepalov V.I., Adamyan R.G. Otsenka uslovij razmeshcheniya poligonov po zakhoroneniyu tverdykh otkhodov potrebleniya [Assessment of the conditions of accommodation landfills for disposal of solid waste consumption]. *European Applied Sciences*, 2013, no. 2, pp. 190–194.
3. Denafas G. Seasonal aspects of municipal solid waste generation and composition in East-European countries with respect to waste management system development. *Third International Symposium on Energy from Biomass and Waste*. Venice, 2010.
4. Bazyleva Ya.V., Polygalov S.V., Il'nykh G.V., Sljusar N.N. Vnedrenie razdel'nogo sbora otkhodov v g. Permi [The introduction of separate waste collection in Perm]. *Tverdye bytovye otkhody*, 2014, no. 10, pp. 56–59.

5. Anopchenko T.Yu., Kirsanov S.A., Chernyshev M.A. Zarubezhnyj opyt upravleniya v sfere tverdykh bytovykh otkhodov [Foreign experience in the field of municipal solid waste management]. *Rossijskij akademicheskij zhurnal*, 2014, no. 1, pp. 8–14.
6. Luchenko F.V., Abashina E.A. Vnedrenie sistemy razdel'nogo sbora TBO – effektivnyj put snizheniya ekologicheskoy nagruzki na okruzhayushchuyu sredu [The introduction of separate waste collection – effective way to reduce the ecological burden on the environment]. *Sanitarnyj vrach*, 2011, no. 2, pp. 67–70.
7. Standard for the production and use of Refuse Derived Fuel, available at: www.epa.sa.gov.au (accessed 14 June 2015).
8. Lozhechko V.P., Kritsyn M.S. O metodakh polucheniya alternativnogo topliva iz tverdykh bytovykh otkhodov [On the methods of producing alternative fuel from municipal solid waste]. *Sovremennoe mashinostroenie. Nauka i obrazovanie*, 2013, no. 3, pp. 982–991.
9. Stepanchikova I.G., Derevyanko A.V., Zajcev V.A. Vtorichnoe toplivo iz otdel'nykh komponentov bytovykh otkhodov [Secondary fuel from the individual components of municipal waste]. *Energiya: ekonomika, tekhnika tekhnologiya*, 2014, no. 2, pp. 40–45.
10. Danilov I.V., Sljusar N.N., Ilinykh G.V. Sravnitel'nyj analiz vozmozhnosti ispol'zovaniya «khvostov» ruchnoj i avtomaticheskoy sortirovki TBO dlya proizvodstva vtorichnogo topliva iz otkhodov [Comparative analysis of the possibility of using the “tails” from the manual and automatic sorting of solid waste for the production of secondary fuels from waste]. *Nauchnye issledovaniya i innovatsii*, 2010, no. 4, pp. 42–47.
11. Refuse derived fuel market in England, available at: www.gov.uk/defra (accessed 7 July 2015).
12. Johari A. Combustion Characteristics of Refuse Derived Fuel (RDF) in a Fluidized Bed Combustor. *Sains Malaysiana*, 2014, no. 43(1), pp. 103–109.
13. Bajer H. Uspeshnyj opyt ispol'zovaniya alternativnykh vidov topliva v pechakh obzhiga klinkera [The successful experience of the use of alternative fuels in clinker kilns]. *ALITinform: Tsement. Beton. Sukhie smesi*, 2014, no. 1 (33), pp. 12–19.
14. Wunsch C., Jenkins P. Bestimmung von Wassergehalten unterschiedlicher Abfallfraktionen mittels NIR-Technologie. *Nordhäuser Sekundärrohstoff-Workshop*, Fachhochschule Nordhause, 2013.
15. Bigesse S.V. Razdelnyj sbor otkhodov: opyt Saranska [Separate waste collection: the experience of Saransk]. *Sanitarnyj vrach*, 2013, no. 5, pp. 64–67.

Получено 6.07.2015

**Y. Bazyleva, S. Polygalov,
G. Ilinykh, V. Korotaev**

**DEPENDENCE OF THE QUALITY AND THE AMOUNT
OF SECONDARY FUEL FROM THE METHOD
OF EXTRACTION AND COMPOSITION
OF THE ORIGINAL WASTE STREAM**

The article analyzes the possibility of recovering a secondary fuel from sorting mixed and separately collected waste, and from the feed stream of waste, or from the “tails” of the sort after separating recycled waste streams. The algorithm of allocation of energy fraction and material flow balances are represented, the approximate quantity of secondary fuels from waste composition is calculated, the differences in composition are analyzed and calorific value with calculation method is defined. The conclusions of the most rational method of production of secondary fuels in the future, depending on the requirements are made. The article discussed the dependences between the proportions of the components in the composition of secondary fuels and their shares directly in the flow of energy fraction.

Keywords: municipal solid waste, secondary fuel from waste, separately collected waste, energy potential, secondary raw materials, waste sorting.

***Базылева Яна Вадимовна** (Пермь, Россия) – аспирант кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: Bazyleva.jana@gmail.com).*

***Полыгалов Степан Владимирович** (Пермь, Россия) – аспирант кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: Polyste17@mail.ru).*

***Ильиных Галина Викторовна** (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: Galina.perm.59@yandex.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).*

Bazyleva Yana (Perm, Russian Federation) – Postgraduate Student Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: Bazylevajana@gmail.com).

Polygalov Stepan (Perm, Russian Federation) – Postgraduate Student Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: Polyste17@mail.ru).

Ilinykh Galina (Perm, Russian Federation) – Senior Lecturer, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: Galina.perm.59@yandex.ru).

Korotaev Vladimir (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29).