

## Зависимость теплотехнических свойств твёрдых коммунальных отходов от их компонентного и фракционного состава

© 2018. С. В. Польшгалов, аспирант, Г. В. Ильиных, к. т. н., доцент,  
В. Н. Коротаев, д. т. н., профессор,  
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29,  
e-mail: eco@pstu.ru

Теплотехнические свойства твёрдых коммунальных отходов (ТКО), в частности, их влажность, зольность и теплота сгорания определяют эффективность методов термической утилизации отходов, интерес к которым в России в настоящее время растёт. Разнородность ТКО приводит к сложностям определения их теплотехнических свойств и обуславливает актуальность проведения комплексных исследований фракционного и компонентного состава ТКО с выделением достаточно однородных компонентов, отбором и лабораторными исследованиями проб таких компонентов на содержание влаги и зольного остатка. В статье представлен апробированный методический подход к исследованиям ТКО, включающий проведение натурных полевых исследований компонентного и фракционного состава ТКО и анализ их влажности и зольности в условиях лаборатории с последующим расчётом теплотехнических свойств потока ТКО в целом. Отличительной особенностью данного подхода являются обеспечение представительности отбираемых проб ТКО и отдельных компонентов, учёт сезонных и недельных колебаний состава отходов, а также выделение большого числа компонентов в составе ТКО и отдельные исследования их влажности и зольности во фракциях разного размера. Полученные в ходе таких исследований результаты и установленные зависимости позволяют максимально информативно моделировать состав, теплоту сгорания и другие свойства потоков, получаемых при разных технологиях обработки ТКО, в том числе механической, ручной и оптической сортировке, а также обоснованно подбирать технологии и оборудование для достижения заданных показателей качества отходов.

**Ключевые слова:** твёрдые коммунальные отходы, компонентный состав отходов, фракционный состав отходов, влажность, зольность, теплота сгорания.

## Thermotechnical properties of municipal solid waste depending upon component and fractional composition

© 2018. S. V. Polygalov, G. V. Ilinykh, V. N. Korotaev,  
Perm National Research Polytechnic University,  
29, Komsomolskiy Prospect, Perm, Russia, 614000,  
e-mail: eco@pstu.ru

Thermotechnical properties of municipal solid waste (MSW), in particular their moisture, ash content and heating value, determine the effectiveness of methods of thermal utilization of waste, interest in which is currently growing in Russia. The MSW heterogeneity leads to difficulties in determining their thermotechnical properties and causes the urgency of carrying out complex researches of MSW fractional and component composition with the isolation of sufficiently homogeneous components, the selection and laboratory researches of samples of such components. The article presents an approved methodological approach to MSW analysis, which includes full-scale field investigation of MSW component and fractional composition and analysis of their moisture and ash content in a laboratory with the subsequent calculation of the thermotechnical properties of the MSW flow as a whole. A distinctive feature of this approach is the provision of representative samples of MSW and individual components, consideration of seasonal and weekly fluctuations in waste composition, as well as the allocation of a large number of MSW components and separate investigation of their moisture and ash content in fractions of different sizes. Moisture and ash content of individual components within the same category differ significantly from each other and depend on the component's material, properties and size. Heating value an individual component category depends on the component composition within the category and vary with the same water and ash content of the individual components. The obtained results allow modeling of MSW composition, heating value and other properties after different treatment technologies, including mechanical, manual and optical sorting, and select technologies and equipment for achieving specified waste quality parameters.

**Keywords:** component composition of waste, fractional composition of waste, moisture, ash content, heating value.

В настоящее время термическая утилизация твёрдых коммунальных отходов (ТКО) рассматривается как один из перспективных методов в решении проблемы санитарной очистки крупных городов в регионах России, что отражает общемировые тенденции в области обращения с отходами. В последние годы в мире устойчиво прослеживается динамика увеличения доли ТКО, утилизируемых термическими методами [1–4]. Для обоснованного выбора эффективных методов и технологий термической утилизации отходов необходимо изучить теплотехнические свойства ТКО, в частности, их влажность, зольность и теплоту сгорания. Поэтому проведение исследований данных параметров представляет особый интерес в настоящее время [5, 6].

Экспериментальные исследования по определению компонентного и фракционного состава ТКО и их теплотехнических свойств выполнены для отходов г. Москвы, г. Архангельска, г. Стерлитамак и г. Иваново [7–10].

Специалистами технического университета г. Санкт-Петербург предложена методика прогнозирования морфологического состава отходов [11], которая рассчитывается, исходя из предполагаемого значения валового внутреннего продукта на рассматриваемый период, однако она не учитывает реальные данные компонентного состава ТКО.

Для определения состава и теплотехнических свойств ТКО предложено и используется несколько подходов: Методика исследования и свойств твёрдых отходов АКХ (Академии коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова, 1970) и ПНД Ф 16.3.55-08. «Количественный химический анализ почв. Твёрдые бытовые отходы. Определение морфологического состава гравиметрическим методом», в которых отсутствует единый подход к определению состава ТКО, чтобы получить достоверные и сравнимые результаты.

В работах иностранных учёных представлены методические подходы и результаты исследований теплотехнических свойств ТКО, выполнены расчёты теплоты сгорания для разных анализируемых проб и проведена оценка их использования в качестве энергоресурса [12–14].

Теплота сгорания ТКО может быть определена несколькими расчётными способами на основе результатов исследований других свойств отходов. В частности, можно рассчитать теплоту сгорания по формуле, предложенной АКХ, но она не учитывает компонентный состав ТКО, а оперирует только влажностью и зольностью отходов.

Некоторые методики позволяют рассчитать теплоту сгорания на основании элементного состава отходов (содержания углерода, водорода, кислорода, азота и серы), их влажности и зольности [15, 16]. При этом элементный состав ТКО достоверно определить очень сложно, поэтому его зачастую рассчитывают, исходя из справочных данных об элементном составе сухой беззольной массы отдельных компонентов.

Методики, разработанные в ОАО «ВТИ» и Техническом университете г. Астурия (Испания), заключаются в выделении компонентных групп, определении их массовой доли в общем потоке [17, 18], а также содержания влаги и золы в каждой группе [17] или влажности отходов в целом [18]. На основании проведённых экспериментов для каждой компонентной группы рассчитывается теплота сгорания отходов в целом.

Таким образом, анализ фракционного и компонентного состава ТКО с выделением достаточно однородных компонентов, отбором и лабораторными исследованиями проб таких компонентов на содержание влаги и золы представляет собой оптимальный подход к исследованиям теплотехнических свойств ТКО. Однако при этом возникает вопрос о том, насколько детальными должны быть такие исследования, чтобы, с одной стороны, получить максимум полезной и достоверной информации и, с другой стороны, минимизировать временные и финансовые затраты на её получение.

## Материалы и методы

Предлагаемый подход к исследованиям теплотехнических свойств ТКО включает в себя несколько этапов: 1) развёрнутые полевые исследования фракционного и компонентного состава ТКО; 2) отбор проб отдельных компонентов и лабораторные исследования влажности и зольности отдельных компонентов; 3) оценка влажности, зольности и теплоты сгорания ТКО; 4) установление зависимостей теплотехнических свойств ТКО от их фракционного и компонентного состава.

**Определение компонентного и фракционного состава ТКО.** Для выполнения экспериментальных исследований по определению компонентного и фракционного состава ТКО с целью исследований теплотехнических свойств и оценки энергетического потенциала отходов нами ранее были разработаны методические подходы [19], которые определяют сле-

дующие ключевые параметры выполняемых работ: перечень определяемых компонентов, точность и погрешность измерений, место отбора проб, стратификацию источников, временные показатели, минимальную массу пробы, общее число проб, требования к приборам и методам обработки первичных данных. Для обеспечения точности и достоверности результатов экспериментальные исследования проводили в течение 7 дней с ежедневным отбором 5 проб в каждый сезон (весна, лето, осень, зима). Масса проб была обоснована с учётом детальности проводимых исследований и составляла  $100 \pm 20$  кг.

Тщательно спланированное натурное определение состава ТКО позволило получить развёрнутую характеристику ТКО, опираясь на которую может быть выполнено моделирование других свойств отходов и их изменения при подготовке отходов разными методами.

Для оценки энергетического потенциала ТКО в соответствии с методикой [20] достаточно определить 12 категорий компонентов. Для повышения точности данных и возможности последующего моделирования изменений состава и свойств отходов при использовании разных технологий и оборудования по их подготовке перечень определяемых компонентов был нами детализирован.

При проведении исследований состава ТКО дополнительно выделяли категорию «вода», находящуюся в бутылках, банках и ёмкостях, так как на её испарение затрачивается теплота и тем самым снижается общая теплота сгорания ТКО.

Общий перечень определяемых компонентов для разных городов составлял 40–43 наименований. Для определения фракционного состава ТКО использовали несколько типоразмеров сит: 250, 100, 50, 15 мм или 250, 80, 20 мм.

Полученные результаты статистически обработаны, относительная погрешность выполненного анализа содержания основных категорий составляет в среднем 20%, а относительная ошибка выборки – 12% (при  $P \geq 0,95$ ).

**Определение влажности и зольности компонентов ТКО.** Лабораторные исследования содержания влаги в компонентах ТКО выполняли в соответствии с требованиями ГОСТ 33512.3-2015 «Топливо твёрдое из бытовых отходов. Определение содержания влаги высушиванием. Часть 3. Влага аналитическая». Зольность компонентов ТКО определяли по ГОСТ 33511-2015 «Топливо твёрдое из бытовых отходов. Определение зольности».

**Оценка влажности, зольности и теплоты сгорания ТКО.** Общая влажность или зольность рассчитываются как средневзвешенное значение на основании доли отдельных компонентов в составе ТКО и влажности или зольности отдельных компонентов.

Для расчёта низшей теплоты сгорания ТКО используются значения низшей теплоты сгорания отдельных компонентов на сухую беззольную массу. Для металлов, стекла и неорганических компонентов теплота сгорания принята равной нулю. При расчёте теплоты сгорания ТКО на рабочую массу учитывали влажность и зольность отдельных компонентов (в том числе затраты тепла на испарение влаги, содержащейся в отходах) [17].

### Результаты и обсуждение

Предложенный подход позволяет получить точные и достоверные результаты и был апробирован нами при исследованиях состава и теплотехнических свойств ТКО нескольких крупных городов РФ в 2009–2018 гг.

**Компонентный и фракционный состав ТКО.** На основании проведённых исследований для разных городов в 2017–2018 гг. доля крупной фракции (более 250 мм) составляет 6–14%, доля фракции размером 250–80 (50) мм составляет 53–55%, на мелкую фракцию 0–50 (80) мм приходится 33–39% всех ТКО. В компонентном составе основная доля отходов приходится на пищевые отходы – 21–25%, отсев – 15–20%, полимеры – 16–19%, бумагу – 11,2–12,2%.

**Влажность и зольность отдельных компонентов ТКО.** По результатам лабораторных исследований влажность отдельных компонентов существенно отличается. Наиболее влажными компонентами ТКО являются пищевые и растительные отходы, наименьшей влажностью на уровне нескольких процентов отличаются компоненты, которые не обладают способностью к намоканию – стекло и металлы. Содержащаяся в них влага – это, как правило, остатки напитков на дне тары.

Исследования влажности отдельных компонентов внутри одной категории позволили выявить закономерные различия, обусловленные особенностями отдельных материалов. В качестве примера, влажность бумаги в целом существенно отличается от значений содержания влаги в отдельных компонентах и зависит от размера фракции – мелкие обрывки бумаги намокают сильнее. Наиболее влажный компонент – так называемая прочая бумага

(влажность составляет 29% для фракции от 50 мм и 56% для фракции до 50 мм), в составе которой много рыхлой и гигроскопичной гигиенической бумаги, наименее влажный – книги и тетради в обложке (влажность – 11%), плотное сложение листов в которых препятствует проникновению влаги. Соответственно, соотношение этих компонентов в категории «бумага» будет определять влажность бумаги в целом. Влажность этих компонентов обусловлена как проникновением атмосферных осадков, так и контактом с влажными пищевыми отходами.

Влажность компонентов полимеров также существенно меняется – от 2,3% для полиэтиленовой бутылки до 45,5% для плёнки полиэтиленовой. Несмотря на то, что полимерные плёнки сами по себе не гигроскопичны, на их большой поверхности хорошо прилипают капельки влаги и кусочки пищевых остатков. В отличие от бумаги, влажность полимеров меньше зависит от размера фракции.

Зольность отдельных компонентов бумаги и полимеров составляет от 7 до 35% и от 0,5 до 8,0%, соответственно, что также обусловлено особенностями состава отдельных компонентов. Например, глянцевая бумага, содержит большое число неорганических добавок (из-за добавления мела её ещё называют «мелованной» бумагой), поэтому имеет высокую зольность. Зольность бумаги также зависит от размера фракции, что не свойственно полимерам.

**Влажность, зольность, теплота сгорания ТКО.** Общее содержание влаги и золы в отдельных компонентах позволяют рассчитать влажность и зольность ТКО в целом. Влажность ТКО меняется по сезонам и составляет 30–50%, большая часть влаги содержится в пищевых отходах. Соответственно, чем выше содержание пищевых отходов, – тем более влажными будут ТКО. Общая зольность на сухую массу ТКО колеблется от 37 до 47%, на рабочую массу – от 18 до 27%, что обусловлено высоким содержанием негорючих компонентов (инертных материалов, стекла и т.п.).

Низшая теплота сгорания ТКО по результатам выполненных исследований состава отходов, влажности и зольности отдельных компонентов составляет на горючую массу 22–27 МДж/кг, на сухую массу – 13–16 МДж/кг, на рабочую массу – 6–8 МДж/кг.

**Зависимость теплотехнических свойств ТКО от компонентного и фракционного состава.** Разработанный подход и выполненные исследования позволяют установить общие закономерности изменения теплоты сгора-

ния отходов в зависимости от компонентного и фракционного состава ТКО.

**Теплота сгорания отдельных компонентов.** Как было описано выше, влажность и зольность отдельных видов бумаги и полимеров существенно отличаются, а их соотношение в общих категориях «бумага» и «полимеры» также меняется. Соответственно, влажность, зольность и теплота сгорания на рабочую массу для бумаги и полимеров тоже будут меняться. Для примера рассчитана теплота сгорания бумаги в отходах г. Перми, г. Мегиона и г. Санкт-Петербург на основании отличающихся составов бумаги. Для расчётов приняты одинаковые характеристики отдельных компонентов бумаги (как уже было установлено, влажность макулатуры колеблется от 13% для глянцевой бумаги до 45% для газетной бумаги, зольность изменяется от 7% для газетной бумаги до 35% для глянцевой бумаги) для всех городов, но разный компонентный состав бумаги (на основании ранее проведённых работ). Теплота сгорания на сухую беззольную массу бумаги принята равной 16,90 МДж/кг. Результаты расчётов теплоты сгорания бумаги в целом для разных городов представлены на рисунке 1.

Теплота сгорания бумаги на рабочую массу для разных городов при одинаковой влажности и зольности отдельных видов бумаги колеблется от 9,6 до 10,4 МДж/кг. Из рисунка 1 следует, что теплота сгорания отдельных категорий компонентов зависит от содержания отдельных видов материалов в её составе и отличается даже при одинаковых влажности и зольности отдельных компонентов).

**Теплота сгорания ТКО партий разного компонентного и фракционного состава.** Для определения зависимости теплоты сгорания ТКО, их влажности и зольности от компонентного состава были выбраны результаты исследований двух партий ТКО. В первой партии анализировали образцы №№ 1–3, во второй – №№ 4–6, их обобщённые характеристики представлены в таблице 1. Партии были рассортированы при помощи сита на два потока: мелкую фракцию (0–50 мм) и крупную фракцию (от 50 мм), и далее все свойства определялись отдельно для разных фракций, а затем пересчитывались на ТКО в целом. Рассчитанная теплота сгорания ТКО, содержание органического вещества, зольность и влажность образцов разного компонентного и фракционного состава представлены в таблице 1.

Мелкая фракция отходов (0–50 мм) имеет значительно меньшую теплоту сгорания

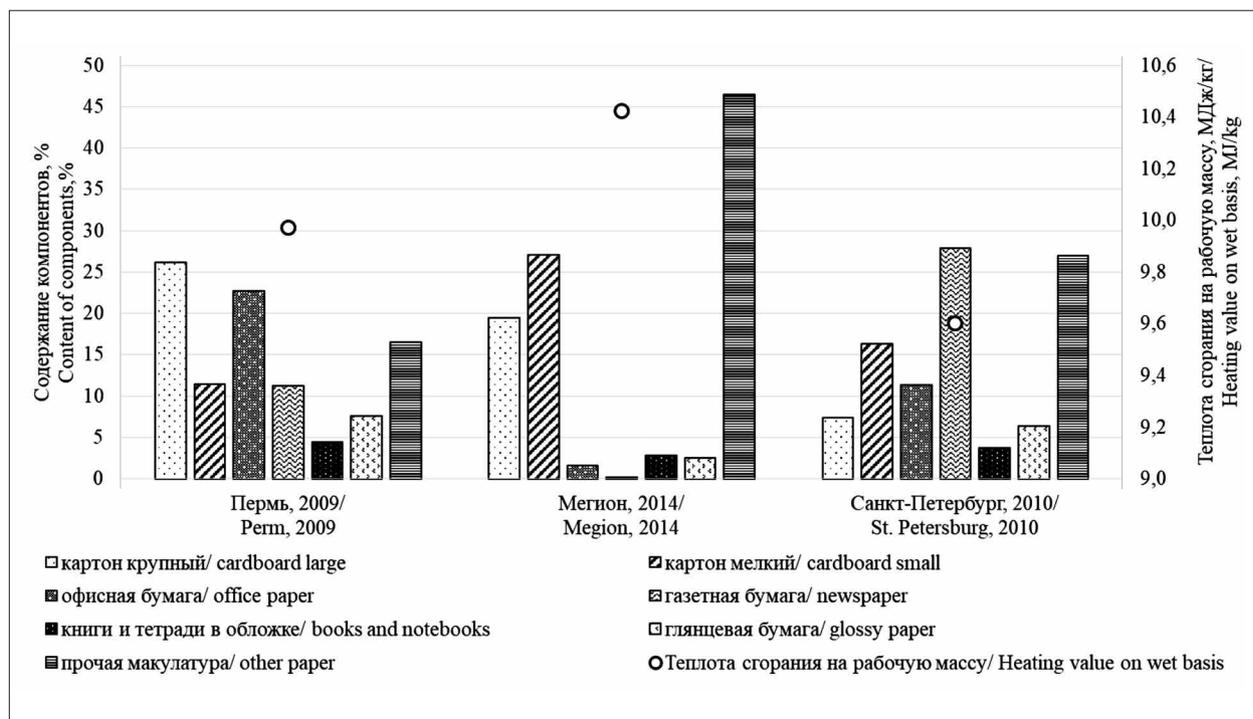


Рис. 1. Теплота сгорания бумаги на рабочую массу при одинаковой влажности и зольности отдельных компонентов / Fig. 1. Heating value of paper on wet basis with the same moisture and ash content of individual components

Таблица 1 / Table 1  
Характеристики образцов ТКО / The sample characteristics of MSW

Характеристики / Characteristics	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
<b>Экспериментальные данные / Experimental data</b>						
Размер фракции / Fraction size	0–50 мм / mm	> 50 мм / mm	ТКО в целом / MSW in general	0–50 мм / mm	> 50 мм / mm	ТКО в целом / MSW in general
Состав, % / composition, %						
Макулатура / Paper	7,8	11,6	10,3	7,6	13,1	11,0
Полимеры / Polymers	4,9	22,3	16,1	4,0	22,2	15,2
Органические отходы / Organic waste	38,6	31,9	34,3	30,2	20,8	24,4
Дерево / Wood	0,0	1,2	0,8	0,0	1,5	1,0
Текстиль / Textile	0,0	3,5	2,3	0,0	4,3	2,7
Прочее / Etc	48,6	29,5	36,4	58,2	38,1	45,8
<b>Расчётные данные / Calculated data</b>						
Влажность, % / Moisture, %	61,1	45,3	51,0	49,9	32,7	39,3
Зольность на рабочую массу, % / Ash content (wet weight basis), %	14,6	20,0	18,1	18,5	27,2	23,9
Органическое вещество на рабочую массу, % / Organic matter (wet weight basis), %	24,3	34,7	31,0	31,6	40,1	36,9
Теплота сгорания на рабочую массу, МДж/кг / Heating value on wet basis, MJ/kg	3,5	8,1	6,4	3,6	9,5	7,2

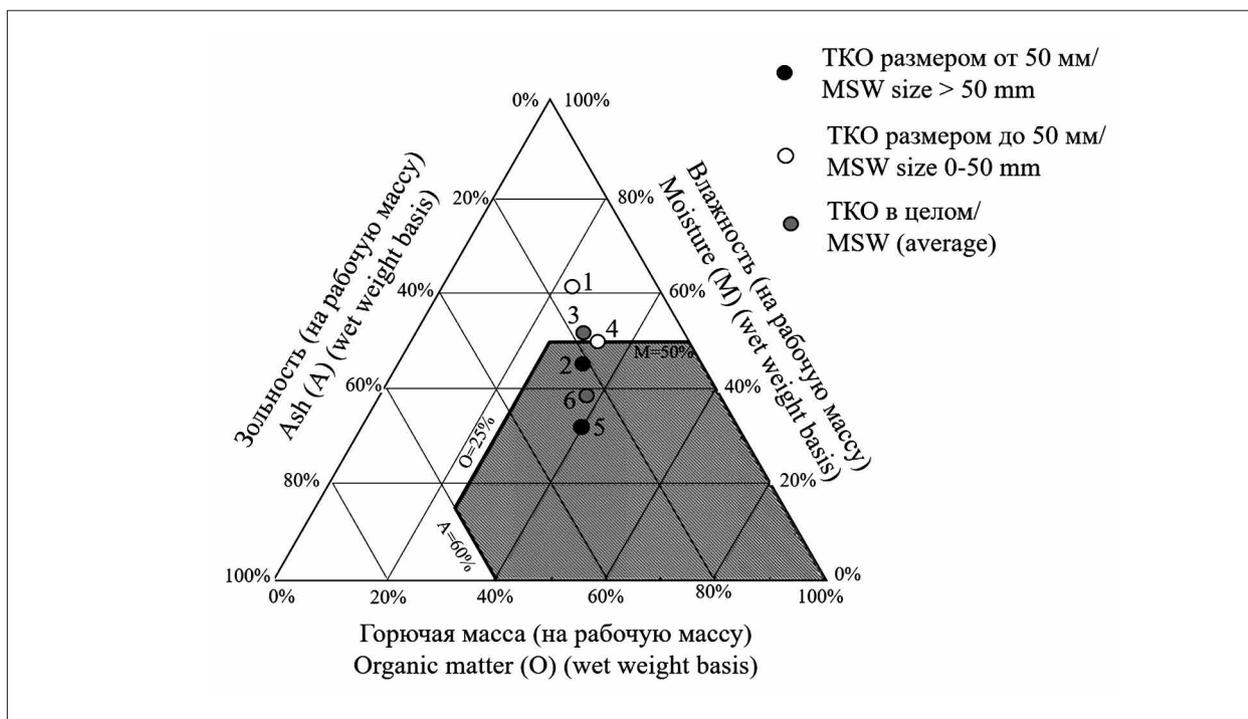


Рис. 2. Экспериментальные значения образцов, наложенные на треугольник Таннера.  
 Fig. 2. Experimental values of samples superimposed on the Tanner diagram

в сравнении с крупной фракцией (от 50 мм). На примере образцов № 4 и № 2 хорошо видно, что теплота сгорания ТКО существенно отличается для фракций разного размера (более, чем в два раза) даже при схожих значениях влажности, зольности и содержания органического вещества (расхождения в пределах 10–15%). Это обусловлено разным «качеством» органического вещества – в более крупных отходах содержится больше горючих полимеров с более высокой энергией химических связей.

На рисунке 2 представлены результаты экспериментальных исследований, наложенные на треугольник Таннера [14].

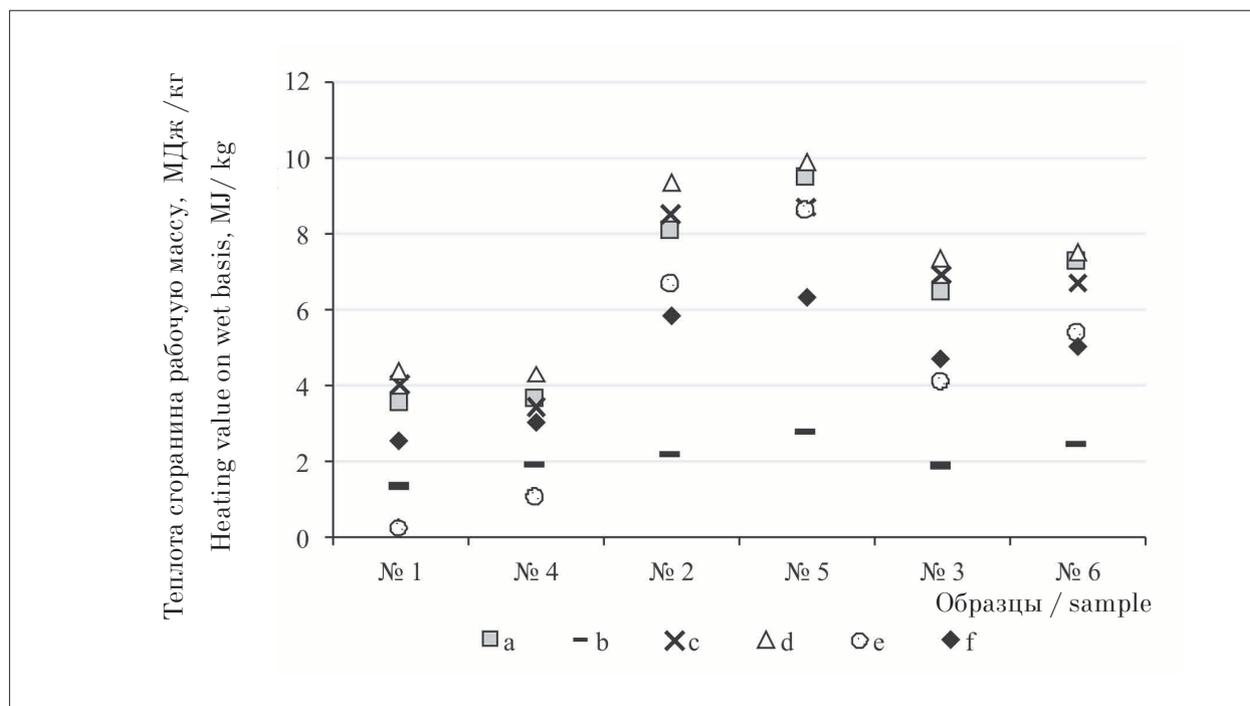
Согласно выполненным расчётам, не все образцы попадают в заштрихованную область треугольника Таннера, однако значения теплоты сгорания некоторых образцов, находящихся за пределами заштрихованной области, выше, чем значения точек, находящихся в области ограниченной условиями. Например, теплота сгорания образца № 3, находящаяся за пределами заштрихованной области составляет 6,4 МДж/кг, а для образца № 4, точка которой лежит на границе этой области – 3,6 МДж/кг. Таким образом, треугольник Таннера не учитывает качество и теплотворную способность органического вещества отходов и не всегда позволяет достоверно оценить теплоту сгорания отходов.

**Сравнение результатов расчёта теплоты сгорания по разным методикам.** Опираясь на обобщённые результаты выполненных исследований компонентного состава отходов, влажности и зольности ТКО для образцов, указанных в таблице 1, можно выполнить расчёты теплоты сгорания ТКО по разным методикам [21]. Результаты расчёта теплоты сгорания ТКО разными способами представлены на рисунке 3.

Результаты, полученные на основании экспериментальных исследований компонентного состава отходов и справочных данных об элементарном составе (содержании углерода, водорода, кислорода, азота и серы) отдельных компонентов, и учитывающие влажность и зольность отдельных компонентов, дают хорошо сходящиеся результаты (расхождение полученных значений теплоты сгорания не более 20%).

Методики, заключающиеся в расчёте теплоты сгорания только по компонентному составу и общей влажности отходов, не учитывают вклад некоторых калорийных компонентов и влажность отдельных компонентов, что искажает значения теплоты сгорания ТКО.

Наиболее заниженные результаты даёт формула, предложенная АГХ. Это связано с тем, что пропорции отдельных компонентов не учитываются при расчётах.



**Рис. 3.** Расчётная теплота сгорания ТКО по разным методикам:

a – предлагаемая методика; b – формула, предложенная Академией коммунального хозяйства; c – формула Менделеева; d – методика технического университета Илдиш г. Истанбул (Турция); e – методика технологического университета г. Астурия (Испания); f – методика ОАО «ВТИ»

**Fig. 3.** Calculated heating value of MSW by different methods:

a – the proposed methodology; b – The formula proposed by the Academy of Public Utilities; c – Mendeleev’s formula; d – methods of the Technical University of Ildiz, Istanbul (Turkey); e – methods of the Technological University of Asturias (Spain); f – methodology of All-Russia Thermal Engineering Institute

### Заключение

Исследования компонентного и фракционного состава ТКО являются важным аспектом при планировании мероприятий по обращению с отходами. Ресурсный потенциал отходов зависит от их состава и теплотехнических свойств и определяет эффективность применения разных технологий.

Предложенный подход по оценке теплотехнических свойств ТКО позволяет получить подробные достоверные данные о компонентном и фракционном составе, рассчитывать влажность, зольность и теплоту сгорания ТКО. Опираясь на полученные значения, можно моделировать и обоснованно подбирать технологии и оборудование для достижения заданных показателей качества отходов.

Влажность и зольность отдельных компонентов существенно разнятся и зависят от материала компонента, его свойств (например, гигроскопичности) и размера. Подробные исследования содержания отдельных видов бумаги и полимеров позволяют более точно рассчитать теплоту сгорания отходов.

Теплота сгорания отдельных категорий компонентов зависит от компонентного состава внутри категории и отличается при одинаковых влажности и зольности отдельных компонентов.

Выполненные расчёты теплоты сгорания ТКО по разным методикам показывают, что данных об общей влажности и зольности отходов и содержания органического вещества недостаточно для оценки теплоты сгорания. Наибольшей схожимостью отличаются результаты расчётов, в которых учитывается содержание отдельных компонентов, их химический состав или теплота сгорания на сухую беззольную массу, а также влажность и зольность.

### Литература

1. Ozbay I., Durmusoglu E. Energy content of municipal solid waste bales// Waste Management & Research. 2013. V. 31 (7). P. 674–683.
2. Dorn Th., Flamme S., Nelles M. A review of energy recovery from waste in China// Waste Management & Research. 2012. V. 30 (4). P. 432–441.

3. Zhou Zh., Tang Yu., Chi Y., Ni M., Buekens A. Waste-to-energy: A review of life cycle assessment and its extension methods // *Waste Management & Research*. 2018. V. 36 (1). P. 3–16.
4. Massarini P., Muraro P. RDF: from waste to resource – the Italian case // *Energy Procedia*. 2015. No. 81. P. 569–584.
5. Соломин И.А., Афанасьева В.И. Состав и свойства твёрдых коммунальных отходов, учитываемые при выборе технических методов обращения с отходами // *Природообустройство*. 2017. № 3. С. 82–90.
6. Nasrullah M., Vainikka P., Hannula J., Hurme M., Kärki J. Mass, energy and material balances of SRF production process. Part 3: Solid recovered fuel produced from municipal solid waste // *Waste Management & Research*. 2015. V. 33 (2). P. 146–156.
7. Абрамов Н.Ф., Архипов С.В., Карелин М.В., Жилинская Я.А. Отходы мегаполиса: морфологический и фракционный состав // *Твёрдые бытовые отходы*. 2009. № 9. С. 42–45.
8. Волкодаева М.В., Федина Ж.Т. Результаты экспериментальных исследований состава твёрдых бытовых отходов в г. Архангельск // *Безопасность в техносфере*. 2014. Т. 3. № 2. С. 64–67.
9. Насыров Р.Р., Брызгина Е.Ю. Перспектива использования отходов, образующихся на территории республики Башкортостан, в цементной промышленности // *Вестник молодого учёного УГНТУ*. 2015. № 1. С. 77–82.
10. Горинов О.И., Горбунов В.А., Колибаба О.Б., Самышина О.В. Влияние теплофизических свойств твёрдых бытовых отходов на температурный режим термической переработки // *Вестник ИГЭУ*. 2010. № 2. С. 1–3.
11. Якшилов Д.С., Ищенко Н.В., Мартынов О.В., Суворов Д.В., Гарабаджиу А.В., Козлов Г.В. Методика прогнозирования морфологического состава твёрдых бытовых отходов Москвы // *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)*. 2010. № 7. С. 77–79.
12. Ranieri E., Ionescu G., Fedele A., Palmieri E., Ranieri A.C., Campanaro V. Sampling, characterisation and processing of solid recovered fuel production from municipal solid waste: An Italian plant case study // *Waste Management & Research*. 2017. V. 35 (8). P. 890–898.
13. Zhao L., Giannis A., Lam W.-Y., Lin Sh.-X., Yin K., Yuan G.-A., Wang J.-Y. Characterization of Singapore RDF resources and analysis of their heating value // *Sustainable Environment Research*. 2016. No. 26. P. 51–54.
14. Komilis D., Kissas K., Symeonidis A. Effect of organic matter and moisture on the calorific value of solid wastes: An update of the Tanner diagram // *Waste Management*. 2014. No. 34. P. 249–255.
15. Мирный А.Н., Скворцов Л.С., Пупырев Е.И., Корецкий В.Е. *Коммунальная экология*. М.: Прима-Пресс-М, 2007. 808 с.
16. Akkaya E., Demir A. Energy content estimation of municipal solid waste by multiply regression analysis // 5<sup>th</sup> International Advanced Technologies Symposium (IATS–09) – Karabuk, Turkey. 2009. P. 24–26.
17. Тугов А.Н. Исследование процессов и технологической энергетической утилизации бытовых отходов для разработки отечественной ТЭС на ТБО: Автореф. дис. ... док. техн. наук. Москва: НИУ МЭИ, 2012. 43 с.
18. Castrillon L., Fernandez-Nava Y., Gonzalez A., Maranon E. A case study of the characteristics of municipal solid waste in Asturias (Spain): influence of season and source // *Waste Management & Research*. 2013. No. 31. P. 428–431.
19. Ильиных Г.В., Коротаяев В.Н., Слюсарь Н.Н. Современные методические подходы к анализу морфологического состава ТБО с целью оценки их ресурсного потенциала // *Экология и промышленность России*. 2012. № 7. С. 40–45.
20. Коротаяев В.Н., Ильиных Г.В., Борисов Д.Л., Полягалов С.В., Базылева Я.В., Вайсман Я.И., Слюсарь Н.Н., Куликова Ю.В. Способ оценки компонентного состава твёрдых коммунальных отходов // Пат. Российской Федерации 2613589 С1. Заявка: 2015152927, 09.12.2015. Опубл.: 17.03.2017. Бюл. № 8.
21. Ильиных Г.В. Оценка теплотехнических свойств твёрдых бытовых отходов исходя из их морфологического состава // *Вестник ПНИПУ. Урбанистика*. 2013. № 3. С. 125–137.

## References

1. Ozbay I., Durmusoglu E. Energy content of municipal solid waste bales // *Waste Management & Research*. 2013. V. 31 (7). P. 674–683.
2. Dorn Th., Flamme S., Nelles M. A review of energy recovery from waste in China // *Waste Management & Research*. 2012. V. 30 (4). P. 432–441.
3. Zhou Zh., Tang Yu., Chi Y., Ni M., Buekens A. Waste-to-energy: A review of life cycle assessment and its extension methods // *Waste Management & Research*. 2018. V. 36 (1). P. 3–16.
4. Massarini P., Muraro P. RDF: from waste to resource – the Italian case // *Energy Procedia*. 2015. No. 81. P. 569–584.
5. Solomin I.A., Afanaseva V.I. Composition and properties of municipal solid waste considered when choosing technical methods of water treatment // *Природообустройство*. 2017. No. 3. P. 82–90 (in Russian).
6. Nasrullah M., Vainikka P., Hannula J., Hurme M., Kärki J. Mass, energy and material balances of SRF production process. Part 3: Solid recovered fuel produced from municipal solid waste // *Waste Management & Research*. 2015. V. 33 (2). P. 146–156.
7. Abramov N.F., Arkhipov S.V., Karelin M.V., Zhilinskaya Ya.A. Megapolis waste: morphological and fractional composition // *Tverdyye bytovyye otkhody*. 2009. No. 9. P. 42–45 (in Russian).

8. Volkodaeva M.V., Fedina Zh.T. Results of experimental researches of solid household waste structure in Arkhangelsk city // Safety in the technosphere. 2014. V. 3. No. 2. P. 64–67 (in Russian).

9. Nasyrov R.R., Bryazhina E.Yu. Perspective of the use of waste generated in the territory of the Republic of Bashkortostan, in the cement industry // Vestnik molodogo uchenogo UGNTU. 2015. No. 1. P. 77–82 (in Russian).

10. Gorinov O.I., Gorbunov V.A., Kolibaba O.B., Samyshina O.V. Influence of thermophysical properties of municipal solid waste on the thermal regime of thermal processing // Vestnik IGEU. 2010. No. 2. P. 1–3 (in Russian).

11. Yakshilov D.S., Ishchenko N.V., Martynov O.V., Suvorov D.V., Garabagiou A.V., Kozlov G.V. Methodology for forecasting the morphological composition of municipal solid wastes for Moscow // Izvestiya sankt-peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta). 2010. No. 7. P. 77–79 (in Russian).

12. Ranieri E., Ionescu G., Fedele A., Palmieri E., Ranieri A.C., Campanaro V. Sampling, characterisation and processing of solid recovered fuel production from municipal solid waste: An Italian plant case study // Waste Management & Research. 2017. V. 35 (8). P. 890–898.

13. Zhao L., Giannis A., Lam W.-Y., Lin Sh.-X., Yin K., Yuan G.-A., Wang J.-Y. Characterization of Singapore RDF resources and analysis of their heating value // Sustainable Environment Research. 2016. No. 26. P. 51–54.

14. Komilis D., Kissas K., Symeonidis A. Effect of organic matter and moisture on the calorific value of solid wastes: An update of the Tanner diagram // Waste Management. 2014. No. 34. P. 249–255.

15. Mirnyi A.N., Skvortsov L.S., Pupyrev E.I., Koretzky V.E. Communal ecology. Moskva: Prima-Press-M, 2007. 808 p. (in Russian).

16. Akkaya E., Demir A. Energy content estimation of municipal solid waste by multiply regression analysis // 5<sup>th</sup> International Advanced Technologies Symposium (IATS-09) – Karabuk, Turkey. 2009. P. 24–26.

17. Tugov A.N. Research of processes and technologies of energy utilization of municipal waste for the development of a domestic TPP for MSW. Avtoref. ... doc. tech. nauk, Moscow. 2012. 43 p. (in Russian).

18. Castrillon L., Fernandez-Nava Y., Gonzalez A., Maranon E.A Case study of the characteristics of municipal solid waste in Asturias (Spain): influence of season and source // Waste Management & Research. 2013. No. 31. P. 428–431.

19. Ilyinikh G.V., Korotaev V.N., Slyusar N.N. Modern methodological approaches to the analysis of morphological composition of solid household waste in order to assess their resource potential // Ekologiya i promyshlennost Rossii. 2012. No. 7. P. 40–45 (in Russian).

20. Korotaev V.N., Ilinikh G.V., Borisov D.L., Polygalov S.V., Bazyleva Ya.V., Vaysman Ya.I., Slyusar N.N., Kulikova Yu.V. Method for assessing the component composition of solid municipal waste // Patent RU 2613589 C1. Application: 2015152927, 09.12.2015. Date of publication: 17.03.2017. Bul. 8 (in Russian).

21. Ilyinikh G.V. Evaluation of thermotechnical properties of municipal solid waste based on their morphological composition // Vestnik PNIPU. Urbanistika. 2013. No. 3. P. 125–137 (in Russian).

### Редакция журнала «Теоретическая и прикладная экология» объявляет о проведении конкурса

### «Лучшая научная статья – 2018»

Участниками могут стать как отдельные ученые, так и коллективы авторов.

Статьи, присланные на конкурс, оцениваются по следующим номинациям:

1. Обзоры;
2. Экспериментальные статьи.

Предпочтение отдается оригинальным широким междисциплинарным статьям по научным и прикладным проблемам экологии, биологии, сельского и лесного хозяйства и иных форм эксплуатации природных ресурсов, по приложениям математики к этим отраслям науки и практики.

Срок предоставления конкурсных статей – до 1 сентября 2018 года.

**Победители конкурса получают денежные премии.**