

УДК 628.475

А.Л. СКОРОМНЫЙ*, заместитель заведующего лабораторией

Украинский государственный научно-технический центр «Энергосталь» (УкрГНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА УТИЛИЗАЦИЮ ИЗНОШЕННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН МЕТОДОМ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ

Представлена концепция анализа эффективности использования энергии в установках для термохимической деструкции изношенных автомобильных шин. На базе данной концепции разработаны мероприятия по снижению на 15–20 % энергозатрат на утилизацию. Мероприятия реализованы при создании опытной установки.

изношенные автомобильные шины, утилизация, термохимическая деструкция, опытная установка, снижение энергозатрат

Постоянный рост количества автомобилей во всех странах мира приводит к накоплению отходов в виде изношенных автомобильных шин (ИАШ), которые практически не подвержены природному разложению. Только в Европе ежегодно образуется около 2 млн т ИАШ [1], каждая тонна которых при сжигании выделяет в атмосферу 270 кг сажи и 450 кг токсичных газов [1].

К одной из технологий, позволяющих утилизировать ИАШ, отходы резины и другие твердые органические отходы, получая из них ценные продукты в виде жидких, твердых и газообразных топливных энергоресурсов, относится термохимическая деструкция (ТХД) [2–7].

В условиях высоких цен на нефть, природный газ и другие энергоресурсы, а также существенного накопления ИАШ и других отходов из резины, актуальной и важной задачей является снижение энергозатрат и повыше-

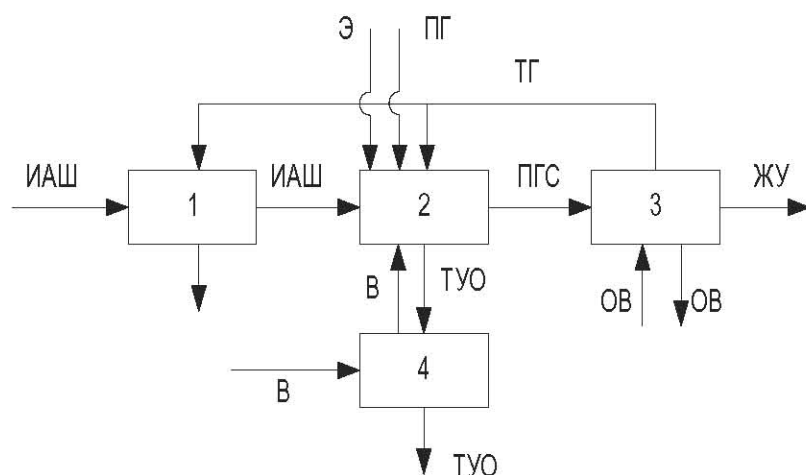
ние экономической привлекательности утилизации ИАШ методом ТХД.

Цель работы – разработка энергосберегающих мероприятий, направленных на снижение затрат в процессе утилизации ИАШ методом ТХД.

Энергосберегающие мероприятия, разработанные на основании уравнений материального и теплового балансов, использованы при создании опытной установки термохимической деструкции (ТХД) [2, 4], принципиальная схема которой приведена на рис. 1.

Уравнение теплового баланса для одного цикла «загрузка-переработка-выгрузка» выглядит следующим образом:

$$Q_T + Q_{\phi} + Q_{\phi.o} + Q_o + Q_{\text{экс}} + Q_{\text{эн}} = Q_{\text{энд}} + Q_{\text{тв}} + Q_{\text{ж}} + Q_{\text{г}} + Q_{\text{вод.}} + Q_{o.c} + Q_{\text{акк}}, \tag{1}$$



- В – воздух горения
- ЖУ – жидкие углеводороды
- ПГ – природный газ
- ПГС – парогазовая смесь углеводородов
- ИАШ – твердые бытовые отходы
- ТГ – топливный газ
- ТУО – твердый углеродсодержащий остаток
- Э – электроэнергия
- ОВ – охлаждающая вода.

Рисунок 1 – Принципиальная схема установки термохимической деструкции изношенных автомобильных шин
 1 – модуль загрузки-подсушки; 2 – термохимический реактор; 3 – блок разделения парогазовой смеси углеводородов;
 4 – устройство ускоренного охлаждения твердого углеродсодержащего остатка

* Работа выполнялась под руководством доктора технических наук Д.В. Сталинского



где Q_T – теплота сгорания топлива, кДж:

$Q_T = V_T \cdot Q_H^p$, где V_T – расход топлива, м³;

Q_H^p – теплотворная способность топлива, кДж/м³.

Q_{ϕ} – физическая теплота топлива и воздуха, кДж:

$$Q_{\phi} = \rho_T \cdot V_T \cdot C_{PT} \cdot t_T + \rho_B \cdot V_{B.G} \cdot C_{PB} \cdot t_B,$$

где ρ_T , ρ_B – плотность, кг/м³;

C_{PT} , C_{PB} – теплоемкость, кДж/(кг·°C);

t_T , t_B – температура топлива и воздуха соответственно, °C;

$V_{B.G}$ – расход воздуха горения, м³.

$Q_{\phi.0}$ – физическая теплота отходов, кДж:

$$Q_{\phi.0} = \sum_{i=1}^n B_{oi} \cdot C_{Poi} \cdot t_o,$$

где B_{oi} – расход i -того компонента отходов, кг;

C_{Poi} – теплоемкость i -того компонента отходов, кДж/(кг·°C);

t_o – температура отходов, °C.

Q_o – теплота сгорания отходов, кДж:

$$Q_o = \sum B_{oi} \cdot Q_{Hi}^p,$$

где Q_{Hi}^p – теплотворная способность i -того компонента отходов, кДж/кг.

$Q_{\text{экз}}$ – теплота экзотермических реакций при деструкции отходов, кДж.

$Q_{\text{энт}}$ – тепловыделение электронагревателей, кДж:

$$Q_{\text{энт}} = q_{\text{энт}} \cdot n \cdot \tau,$$

где $q_{\text{энт}}$ – мощность одного электронагревателя, кВт;

n – количество электронагревателей, шт;

τ – время работы электронагревателей, с.

$Q_{\text{энд}}$ – теплота эндотермических реакций при деструкции отходов, кДж.

$Q_{\text{ТВ}}$ – теплота конечных твердых продуктов, кДж:

$$Q_{\text{ТВ}} = V_{\text{угл}} \cdot Q_{\text{н.угл}}^p + \left(\sum_{i=1}^n B_{\text{мин.}i} \cdot C_{\text{Р.мин.}i} + V_{\text{угл}} \cdot C_{\text{Р.угл}} \right) \cdot t_{\text{ТВ}},$$

где $V_{\text{угл}}$, $B_{\text{мин.}i}$ – расход углеродсодержащих и i -тых компонентов минеральных составляющих твердого продукта ТХД соответственно кг;

$Q_{\text{н.угл}}^p$ – теплотворная способность твердых продуктов ТХД, кДж/кг;

$C_{\text{Р.мин.}i}$, $C_{\text{Р.угл}}$ – теплоемкость i -того компонента минеральных и углеродсодержащих составляющих твердого продукта соответственно, кДж/(кг·°C); $t_{\text{ТВ}}$ – температура твердых продуктов ТХД, °C.

$Q_{\text{ж}}$ – теплота смеси жидких углеводородов, кДж:

$$Q_{\text{ж}} = \sum_{i=1}^n B_{\text{ж.}i} \cdot Q_{\text{н.ж.}i}^p + \sum_{i=1}^n B_{\text{ж.}i} \cdot C_{\text{Р.ж.}i} \cdot t_{\text{ж.}i},$$

где $B_{\text{ж.}i}$ – расход i -той фракции жидких углеводородов, кг;

$Q_{\text{н.ж.}i}^p$ – теплотворная способность i -той фракции жидких углеводородов, кДж/кг;

$C_{\text{Р.ж.}i}$ – теплоемкость i -той фракции жидких углеводородов, кДж/(кг·°C);

$t_{\text{ж.}i}$ – температура жидких углеводородов, °C.

$Q_{\text{Г}}$ – теплота топливного газа – газообразного продукта ТХД, кДж:

$$Q_{\text{Г}} = V_{\text{Г}} \cdot (Q_{\text{н.Г}}^p + \rho_{\text{Г}} \cdot C_{\text{Р.Г}} \cdot t_{\text{Г}}),$$

где $V_{\text{Г}}$ – расход газа, м³; $Q_{\text{н.Г}}^p$ – теплотворная способность газа, кДж/м³;

$\rho_{\text{Г}}$ – плотность газа, кг/м³;

$C_{\text{Р.Г}}$ – теплоемкость газа, кДж/(кг·°C);

$t_{\text{Г}}$ – температура газа, °C.

$Q_{\text{вод}}$ – потери теплоты с охлаждающей водой, кДж:

$$Q_{\text{вод}} = G_{\text{вод}} \cdot C_{\text{Р.вод}} \cdot \Delta t_{\text{вод}},$$

где $G_{\text{вод}}$ – расход охлаждающей воды, кг;

$C_{\text{Р.вод}}$ – теплоемкость воды, кДж/(кг·°C); $\Delta t_{\text{вод}}$ – нагрев воды, °C.

$Q_{\text{о.с}}$ – потери теплоты в окружающую среду, кДж:

$$Q_{\text{о.с}} = \alpha \cdot F \cdot (t_{\text{пов}} - t_{\text{о.с}}) \cdot \tau,$$

где α – коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности установки, Вт/(м²·°C); F – площадь наружной поверхности установки, м²;

$t_{\text{пов}}$, $t_{\text{о.с.}}$ – температура наружной поверхности и окружающей среды соответственно, °C;

τ – время цикла работы установки, с.

$Q_{\text{акк}}$ – потери теплоты на аккумуляцию энергии конструктивными элементами установки, кДж:

$$Q_{\text{акк}} = \sum_{i=1}^n M_i \cdot C_{\text{Р.м.}i} \cdot \bar{t}_{\text{м.}i},$$

где M_i – масса i -того элемента конструкции установки, кг;

$C_{\text{Р.м.}i}$ – теплоемкость материала i -того элемента конструкции, кДж/(кг·°C);

$\bar{t}_{\text{м.}i}$ – средняя температура материала i -того элемента конструкции, °C.

Представим уравнение (1) в следующем виде:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ж}} + Q_{\phi} + Q_{\phi.0} + Q_o + Q_{\text{энт}} - Q_{\text{вод}} - Q_{\text{о.с}} - Q_{\text{акк}} = \\ = Q_{\text{энд}} + Q_{\text{ТВ}} + Q_{\text{ж}} + Q_{\text{Г}} - Q_{\text{экз}} \end{aligned} \quad (2)$$

Правая часть уравнения (2) представляет собой полезные затраты теплоты, обеспечиваемые сжигани-

ем топливного или природного газа и использованием электроэнергии.

Коэффициент полезного теплоиспользования [8], который характеризует совершенство работы установки ТХД как теплового агрегата, после несложных преобразований уравнения (2) примет вид:

$$\eta_{к.п.т.} = \frac{Q_{энд} + Q_{тв} + Q_{ж} + Q_{г} - Q_{эжз}}{Q_x + Q_{ф} + Q_{ф.о} + Q_{х.о} + Q_{эн}} = \frac{Q_x + Q_{ф} + Q_{ф.о} + Q_o + Q_{эн} - Q_{вод.} - Q_{о.с} - Q_{акк}}{Q_x + Q_{ф} + Q_{ф.о} + Q_{х.о} + Q_{эн}} = 1 - \frac{Q_{вод.} + Q_{о.с} + Q_{акк}}{Q_x + Q_{ф} + Q_{ф.о} + Q_{х.о} + Q_{эн}} \quad (3)$$

Из анализа выражения (3) следует, что для повышения энергетической эффективности установок ТХД, а следовательно, и снижения энергозатрат на утилизацию ИАШ, необходимо уменьшить потери теплоты:

- с охлаждающей водой;
- в окружающую среду;
- на аккумуляцию теплоты установкой.

Потери теплоты с охлаждающей водой являются неизбежными в процессе конденсации фракций жидких углеводородов. Нагретую в замкнутом контуре воду можно использовать для отопления помещения, в котором размещена установка ТХД ИАШ, что сокращает затраты на отопление помещения котельными или ТЭЦ. В летний период горячую воду можно использовать для бытовых нужд или для подогрева воздуха горения.

Снижение удельных (на единицу перерабатываемых отходов) потерь теплоты с наружной поверхности установки (5–8 %) в окружающую среду обеспечивается комплексом мероприятий:

- снижение температуры наружной поверхности за счет теплоизоляции;
- увеличение полезного объема реактора (при оптимизации соотношения площади наружной поверхности и полезного объема реактора) и вспомогательного оборудования;

- интенсификация процесса ТХД и соответствующее сокращение времени проведения процесса.

Снижение потерь теплоты, аккумулированной футеровкой и металлоконструкцией, достигается за счет:

- использования легковесных огнеупорных материалов;
- сокращения массы металла при оптимизации массогабаритных характеристик оборудования;
- уменьшения пауз между циклами «загрузка-переработка-выгрузка».

Использование физической теплоты твердого материала и жидких углеводородов для подогрева воздуха горения обеспечит повышение коэффициента полезного теплоиспользования и приведет к сокращению расхода топлива и электроэнергии на переработку ИАШ (6–8 %).

Подогрев ИАШ перед их загрузкой в реактор за счет теплоты газообразных продуктов термохимической деструкции позволит, с одной стороны, снизить их влажность и улучшить качество конечных продуктов, а с другой – увеличить физическую теплоту исходного сырья, что приведет к росту коэффициента полезного теплоиспользования на 3–5 %.

Удельные затраты топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) (с учетом расхода электроэнергии на циркуляцию воды) на переработку ИАШ без металлокорда и энергетические потенциалы конечных продуктов процесса ТХД приведены в табл. 1. Следует отметить, что в табл. 1 не приведен энергетический потенциал исходного сырья.

Из анализа данных, приведенных в табл. 1, следует, что более половины затрат энергии, необходимой для ТХД отходов резины, может быть обеспечено за счет сжигания конечного продукта переработки – топливного газа.

Использование совместно с топливным газом природного газа и/или электроэнергии позволяет обеспечить регулирование теплового режима установки ТХД и выровнять колебания теплотворной способности топливного газа, обусловленного изменением состава газа во времени.

Мероприятия, направленные на повышение энергетической эффективности переработки ИАШ методом ТХД, позволяющие снизить энергозатраты на 15–20 %,

Таблица 1 – Энергетические характеристики процесса ТХД ИАШ

Наименование		Единица измерения	Среднее значение
Удельные затраты ТЭР на переработку ИАШ без металлокорда		кг у.т./кг	0,137
Выход конечных продуктов	Твердый углеродсодержащий продукт	%	35
	Жидкие углеводороды		50
	Топливный газ		15
Энергетический потенциал конечных продуктов	Твердый углеродсодержащий продукт	кг у.т./кг	0,393
	Жидкие углеводороды		0,734
	Топливный газ		0,077



реализованы в конструкции опытной установки [2, 4], разработанной специалистами УкрГНТЦ «Энергосталь» и ПНВП «Фантомаш». На конструктивное исполнение отдельных модулей, установки в целом и способа термохимической переработки ИАШ подан ряд заявок на получение патентов Украины на изобретения.

ВЫВОДЫ

1. Разработана концепция анализа эффективности использования энергии в установках для термохимической деструкции изношенных автомобильных шин.

2. На основе данной концепции разработаны мероприятия по повышению энергетической эффективности переработки ИАШ в установках ТХД с получением жидких, газообразных и твердых энергоносителей.

3. Выполнены оценочные расчеты эффективности использования разработанных энергосберегающих мероприятий. Результаты расчетов свидетельствуют о потенциальной возможности снижения энергозатрат на переработку ИАШ в установке ТХД на 15–20 %.

4. Мероприятия по повышению энергетической эффективности переработки ИАШ реализованы в конструкции опытной установки ТХД, разработанной УкрГНТЦ «Энергосталь» и ПНВП «Фантомаш».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Касимов, А.М.** Твердые бытовые отходы. Технологии, оборудование. Проблемы и решения [Текст] / А.М. Касимов, В.Т. Семенов, А.М. Александров, А.М. Коваленко. – Харьков, ХНАГХ, 2006. – 301 с.
2. **Сталинский, Д.В.** Опытная установка для термохимической деструкции органической части твердых бытовых и производственных отходов [Текст] / Д.В. Сталинский, А.Л. Скоромный, А.М. Синозацкий // Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов : Сборник научных статей к XVI Международной научно-практической конференции в 2-х т. Т. 2. / УкрГНТЦ «Энергосталь». – Харьков: «Издательство Сага», 2008. – С.197–200.
3. **Лихоманенко, В.А.** Термохимическая переработка вторичного сырья с целью его энергетического использования [Текст] / В.А. Лихоманенко, И.В. Цветкова, А.Н. Пауков, С.М. Русалин, В.Л. Юшко // Экология и здоровье человека. Защита воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов : сборник научных статей к XV Международной научно-практической конференции. В 2-х т. / УкрГНТЦ «Энергосталь». – Харьков: «Издательство Сага», 2007. Т. 2. – С. 402–409.
4. **Скоромный, А.Л.** Повышение энергетической эффективности переработки твердых бытовых отходов в установках термохимической деструкции [Текст] / Экологическая безопасность. Проблемы и пути решения : сборник научных статей к Международной научно-практической конференции. В 2-х т. / УкрНИИЭП. – Харьков: , 2008. Т. 2. – С. 96–100.
5. **Лихоманенко, В.А.** Особенности переработки отходов РТИ в термохимических процессах [Текст] / А.В. Лихоманенко, И.В. Цветкова, С.М. Русалин, В.Л. Юшко // Экология и здоровье человека. Защита воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов : сборник научных статей к XV Международной научно-практической конференции. В 2-х т. / УкрГНТЦ «Энергосталь». – Харьков: «Издательство Сага», 2007. Т. 2. – С. 395–401.
6. **Позднякова, Е.И.** Исследование физико-химических параметров продуктов утилизации автопокрышек методом пиролиза и их влияние на отрасли применения [Текст] / Е.И. Позднякова, М.В. Статилко // Экология и промышленность. – 2007. - №1. – С.57-60.
7. **Бабаев, В.Н.** Полимерные отходы в коммунальном хозяйстве города [Текст]: учеб. пособие / В.Н. Бабаев, И.В. Коринько, Л.Н. Шутенко, Н.П. Горюх [и др.]. – Харьков: ХНАГХ, 2004. – 375 с.
8. **Глинков, М.А.** Основы общей теории тепловой работы печей [Текст]. – М.: Металлургиздат, – 1959, – 416 с.

Поступила в редакцию 01.09.2008

Наведено концепцію аналізу ефективності використання енергії в установках для термохімічної деструкції зношених автомобільних шин. На базі концепції розроблено заходи щодо зниження на 15–20 % енерговитрат на утилізацію. Заходи реалізовані при створенні дослідної установки ТХД ЗАШ.

The paper presents the conception of energy efficiency analysis of plants for worn-out automobile tires recycling by thermochemical destruction method. The conception, in question, enables developing actions for decreasing energy consumption for recycling by 15-20%. Actions were realized at the pilot plant.