



УДК 628.475:662.6/9

А.Л. СКОРОМНЫЙ, заведующий лабораторией, **Т.А. АНДРЕЕВА**, канд. экон. наук, старший научный сотрудник
Украинский государственный научно-технический центр «Энергосталь» (УкрГНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков
А.М. СИНОЗАЦКИЙ, директор
ЧНПП «Фантомаш», г. Сарны

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОМПЛЕКСА ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ИЗНОШЕННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН МЕТОДОМ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ

Описаны особенности методики, алгоритм и программного обеспечение для расчета основных параметров оборудования и технико-экономических показателей работы комплекса утилизации изношенных автомобильных шин, а также резиносодержащих отходов методом термохимической деструкции.

Ключевые слова: изношенные автомобильные шины, утилизация, термохимическая деструкция, методика, алгоритм, программное обеспечение, технико-экономические показатели.

Одним из перспективных методов утилизации изношенных автомобильных шин (ИАШ), а также резиносодержащих отходов (РСО) является термохимическая деструкция (ТХД) [1] – разложение исходного сырья при одновременном химическом и температурном воздействии в бескислородной восстановительной атмосфере. В процессе ТХД образуются твердый углеродсодержащий остаток (аналог каменного угля) с включениями металлокорда и парогазовая смесь углеводородов, которую разделяют в конденсаторе на жидкие углеводороды (аналог печного бытового топлива ТУ 38.101656-87) и топливный газ, используемый для частичного энергообеспечения процесса ТХД.

Разработанная УкрГНТЦ «Энергосталь» и ЧНПП «Фантомаш» технология предусматривает:

- сортировку шин, их измельчение с помощью бортотрезного станка, пневмоножниц и двухвалковой дробилки;
- непосредственно термохимическую деструкцию;
- охлаждение образовавшегося твердого углеродсодержащего остатка и измельчение с помощью щековой дробилки;
- извлечение металлокорда с помощью магнитного сепаратора;
- отвод парогазовой смеси углеводородов из реактора ТХД с помощью газодувки;
- конденсацию жидких углеводородов в конденсаторе;
- очистку топливного газа от капель в циклоне-каплеуловителе;
- транспортировку товарных продуктов (жидкие углеводороды, твердый углеродсодержащий остаток и металлокорд) на склад.

Создание эффективного оборудования для утилизации ИАШ методом ТХД обусловило необходимость методики для расчета основных параметров оборудования и определения технико-экономических показателей

комплекса ТХД ИАШ (далее – Методика). При разработке Методики был использован опыт расчетов и проектирования промышленных печей, данные собственных исследований процесса ТХД и исследований, результаты которых опубликованы в научно-технической и патентной литературе [1–23].

В результате исследований, проведенных авторами [1, 9–19], были установлены:

- температурный режим, обеспечивающий максимальный выход жидких углеводородов при деструкции исходного сырья;
- необходимое для процесса ТХД количество теплоты с учетом компенсации ее потерь;
- размер фракций измельченных ИАШ, при которых обеспечиваются минимальные суммарные удельные затраты энергии на процессы дробления и ТХД;
- рациональное соотношение диаметра и высоты реактора, обеспечивающее максимальную интенсификацию процесса теплообмена при незначительном увеличении гидравлического сопротивления слоя шихты в реакторе;
- мероприятия по повышению энергоэффективности переработки ИАШ (использование топливного газа для частичного энергообеспечения процесса ТХД, подогрев сырья и воздуха горения теплотой твердо-

го углеродсодержащего остатка, использование легковесных огнеупорных материалов).

Алгоритм расчета в соответствии с Методикой основных конструктивных параметров, режимных характеристик и технико-экономических показателей приведен на рис. 1.

При выполнении расчетов технико-экономических показателей комплексов ТХД, перерабатывающих сырье, которое не содержит металлокорд (транспортная лента и другие РСО), из алгоритма (рис. 1) исключается выбор щековой дробилки и магнитного сепаратора, а также расчет емкости для хранения металлолома. Блок «Расчет объема производства конечных продуктов», осуществляющий подготовку исходных данных, в частности, о процентном содержании металлокорда в шинах для выполнения расчетов технико-экономических показателей комплекса ТХД предусмотрен между блоками «Ввод исходных данных», «Выбор щековой дробилки и магнитного сепаратора», «Расчет емкости для твердого топлива и металла». На основе алгоритма, разработанного вследствие высокой трудоемкости выполнения расчетов по разработанной Методике, создано программное обеспечение (ПО) «Термохимическая деструкция ИАШ и РСО», предназначенное для автоматизации процесса расчета технико-экономических показателей комплекса ТХД ИАШ.



Рисунок 1 – Последовательность расчета комплекса ТХД ИАШ



ПО основано на принципах визуального объектно-ориентированного программирования, позволившего создать современный интерфейс пользователя, соответствующий требованиям унификации, принятым в операционной системе Windows. Интерфейс пользователя включает в себя главное меню, панель инструментов, статусную строку, всплывающие подсказки и вопросы, справку по работе с программой (помощь), контекстное меню, клавиши быстрого ввода.

Как принято в операционной системе Windows, пользователь может вызвать необходимый режим работы программы одним из удобных ему способов: через главное меню, через нажатие кнопок панели инструментов или соответствующих комбинаций клавиш.

Главное меню обеспечивает взаимодействие программы с пользователем на основе вызова режимов: «Файл», «Результаты», «Настройка», «Помощь», «О программе», «Выход».

Режим «Файл» служит для выполнения нового расчета, вызова ранее выполненного расчета, выхода из программы и содержит соответствующее меню: «Новый Ctrl+N», «Открыть Ctrl+O» и «Выход Alt+F4».

Режим «Результаты» (меню: «Итоговые» и «По этапам») обеспечивает просмотр:

итоговых результатов, содержащих информацию об основных конструктивных параметрах оборудования комплекса ТХД ИАШ и экономических показателях (капитальные затраты, эксплуатационные затраты, доход, себестоимость, окупаемость инвестиций);

подробной информации по каждому этапу расчета (потребность в сырье и производительность ТХД, выбор дробилки и определение геометрических размеров реактора, расчет толщины слоя изоляции и т.д.).

Режим «Результаты» доступен только при условии выполнения пользователем нового расчета технико-экономических показателей работы комплекса ТХД ИАШ или выбора одного из ранее выполненных расчетов.

При расчете основных конструктивных параметров, режимных характеристик и технико-экономических показателей большая часть исходной информации в программе выбирается из справочников, которые загружаются в базу данных при инсталляции программного обеспечения. Просмотр или корректировка такой информации возможны в режиме «Настройка» (рис. 2).

В справочниках представлены данные об удельном выходе конечных продуктов термохимической деструкции, температуре процесса в зависимости от вида сырья, технических параметрах и ценах на используемое оборудование, о теплофизических свойствах воздуха, воды, газов, сталей и т.д.

Предполагаемые цены на оборудование вводятся в справочники в соответствии с определенной датой (месяц и год) – расчеты экономических показателей создания и эксплуатации комплекса ТХД выполняются программой с учетом указанных месяца и года, которые устанавливаются пользователем при вводе (выборе) параметров (рис. 3).

При изменении курса валют и, как следствие, цен на покупку оборудования пользователю необходимо в режиме «Настройка» в пункте меню «Обновление цен и дополнительной информации» ввести соответствующие цены и дату, после чего выполнить расчеты вновь.

Ввод исходных данных осуществляется в режиме нового расчета («Файл»–«Новый Ctrl+N» или кнопка на панели инструментов ) с ввода параметров: «наименование заказчика», «вид сырья», «дата цен, по которым покупается оборудование» и т.д. В ходе выполнения расчета программа предлагает осуществить выбор марки углеродистой стали, из которой предполагается изготовление кожуха реактора, и плит из базальтового супертонкого материала соответствующей толщины, чтобы получить расчетную толщину слоя изоляции, а также ввести дополнительную информацию, касающуюся цен на материалы для изготовления оборудования и цен на виды топлива, являющиеся

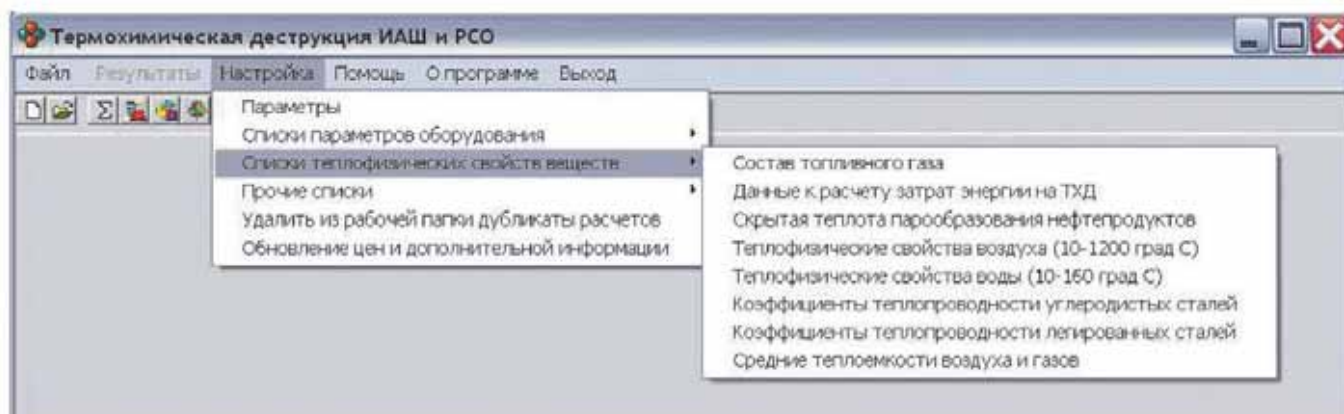


Рисунок 2 – Режим «Настройка» и его подрежимы

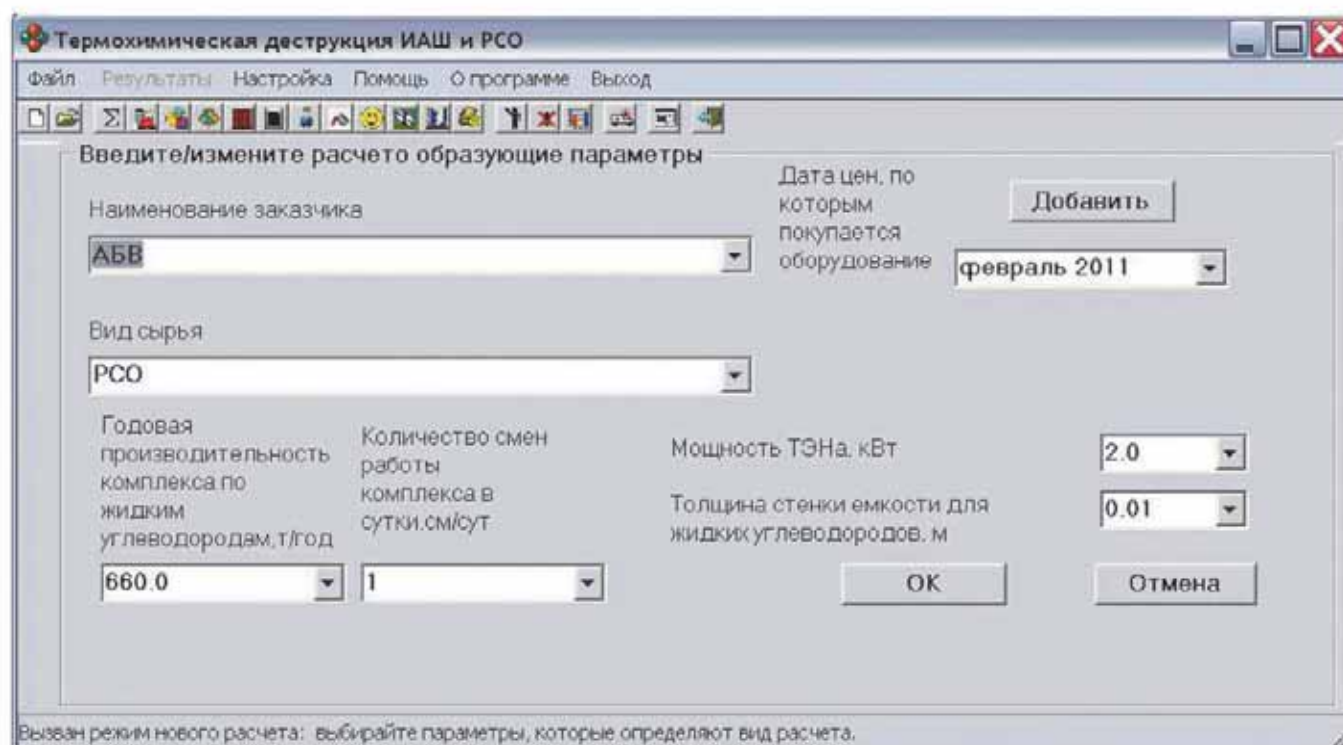


Рисунок 3 – Ввод параметров

аналогами конечных продуктов процесса ТХД, условно-постоянные затраты, среднюю зарплату персонала, прочие эксплуатационные расходы и т.п.


При необходимости просмотра или корректирования ранее выполненных расчетов технико-экономических показателей комплекса ТХД ИАШ следует вызвать режим «Файл» – «Открыть Ctrl+O» или нажать на панели инструментов кнопку . В таблице на мониторе будут указаны параметры: наименование заказчика, вид сырья, планируемая годовая производительность по жидким углеводородам, число смен работы комплекса и т.д. Строку с необходимыми параметрами пользователь отмечает символом «+». Затем выбранный расчет можно просмотреть или откорректировать. При выборе пользователем коррекции на экране появится окно (рис. 3) для внесения изменений в параметры; дальнейшая работа программы – в режиме нового расчета.

Как отмечено выше, просмотр расчетов осуществляется в режиме «Результаты». Для более быстрого доступа к результатам расчета рекомендуется пользоваться кнопками панели инструментов. Для получения подробной информации по этапам расчета, которые соответствуют разделам Методики, следует использовать следующие кнопки:



Первые четыре кнопки служат для вызова результатов расчета по этапам: «Потребность в сырье и произво-

дительность ТХД», «Дробилка и геометрические размеры реактора», «Толщина слоя изоляции» и «Расчет горения топлива». Нажатием последней кнопки вызывается под-режим просмотра результатов этапа «Экономические показатели комплекса». Назначение кнопок определяется с помощью курсора.

Для быстрого получения итоговой информации по расчету технико-экономических характеристик комплекса ТХД ИАШ используется кнопка , при ее нажатии которой на мониторе появляется таблица (рис. 4) – поскольку таблица полностью на экране не помещается, приведены последние строки, содержащие, кроме характеристик оборудования, экономические параметры комплекса.

Из приведенного примера (рис. 4) следует, что расчет произведен для комплекса с производительностью переработки шин легковых автомобилей – 800 кг/час и работой в 3 смены (по 6 час каждая), при этом производительность по жидким углеводородам составит 1293 т/год. В таблице (рис. 4) показаны технико-экономические характеристики комплекса для двух режимов работы реактора термохимической деструкции:

- режим № 1 – нагрев сырья в реакторе осуществляется только за счет трубчатых электронагревателей (ТЭН);
- режим № 2 – часть времени (до образования топливного газа) теплота подводится всеми ТЭНами, затем нагрев производится меньшим количеством ТЭНов за счет использования для частичного энергообеспечения топливного газа, получаемого в процессе ТХД.



Просмотр табличных данных

Заказчик: "АБВ". Основные характеристики комплекса ТХД (цены на февраль 2011)
 ("ИАШ легковых авто": производительность переработки сырья: 800 кг/час; производительность по жидким УВ: 1292,5 т/год;
 количество слез 3, слез/сутки; мощность ТЭН: 2,0 кВт; толщина слезки емкости 0,01 м.)



(режим №1 - обеспечение реактора топливом только за счет ТЭН; режим №2 - за счет ТЭН и частично топливным газом)

Наименование показателя	Единицы измерения	Режим работы	
		№ 1	№ 2
Высота цоксона	м	0.367	0.367
Металлоемкость цоксона	кг	2.510	2.510
Электрическая мощность щековой дробилки	кВт	1.100	1.100
Электрическая мощность магнитного сепаратора	кВт	2.200	2.200
Диаметр емкости для жидких углеводородов	м	3.221	3.221
Длина емкости для жидких углеводородов	м	9.663	9.663
Электрическая мощность газодувки	кВт	7.000	7.000
Капитальные затраты	тыс. грн	2600.723	2600.723
Эксплуатационные затраты	тыс. грн/год	1750.899	1574.189
Себестоимость	грн/т	553.000	497.000
Доход от реализации конечных продуктов переработки	тыс. грн/год	3749.233	3749.233
Чистая прибыль	тыс. грн/год	1538.717	1674.784
Срок окупаемости инвестиций	год	1.700	1.600
Рентабельность	%	41.000	44.700

Вправо

Рисунок 4 – Таблица итоговых результатов расчета технико-экономических показателей комплекса

Эксплуатационные затраты в режиме № 2 примерно на 1,2 млн грн/год меньше, чем в режиме № 1, а чистая прибыль выше (в данном примере рентабельность комплекса ТХД ИАШ (41–44 %) и окупаемость для двух режимов практически одинаковая (1,8–1,7 год).

В окне, подобном представленному на рис. 4, выводятся таблицы результатов расчетов по этапам (таблицы можно вывести на печать, управляя ее параметрами и не изменяя параметры печати в системе Windows). Нажатием кнопки предварительного просмотра и печати (постраничной печати)  можно распечатать большие таблицы, которые ПО автоматически преобразует в отдельные части таблицы с учетом шрифта и выбранной ориентации листа. Кроме того, таблицы из окна «Просмотра табличных данных» можно в полуавтоматическом режиме экспортировать в Microsoft Excel 2003, воспользовавшись кнопкой . При этом вызывается «просмотрщик» текстовых файлов (браузер) Internet Explorer, который преобразует таблицу в формат HTML, позволяющий при соответствующем изменении запроса экспортировать в Excel.

Для удобства работы пользователя в программном обеспечении «Термохимическая деструкция ИАШ и PCO» предусмотрен режим «Помощь», в котором вызываются файлы в формате HTML, обеспечивающие возможность интерактивного просмотра (работа по ссылкам) информации о работе с ПО: назначение программы, последовательность работы в ней, интерфейс

пользователя, работа с таблицами или справочниками и т.д. Использование формата HTML позволяет сделать режим «Помощь» более наглядным, чем известная «Справка» в программах Microsoft Excel или Word, которая использует и предоставляет в основном текстовую информацию. В ПО «Термохимическая деструкция ИАШ и PCO» в файлах помощи кроме объясняющих текстов представлены рисунки, являющиеся копиями экрана в соответствующих режимах работы ПО и наглядно иллюстрирующие необходимые действия пользователя.

ВЫВОДЫ

Разработанная УкрГНТЦ «Энергосталь» и ЧНПП «Фантомаш» технология, реализуемая в комплексе ТХД, является перспективным методом утилизации изношенных шин легковых и грузовых автомобилей, а также резиносодержащих отходов с получением ликвидных энергоресурсов (печного бытового топлива, твердого углеродсодержащего остатка) и металлолома. Результаты исследований процесса ТХД ИАШ, выполненных авторами, положены в основу Методики для расчета рациональных параметров оборудования и определения технико-экономических показателей комплексов ТХД ИАШ. Высокая трудоемкость проведения расчетов вручную стала причиной разработки на базе Методики алгоритма и программного обеспечения «Термохимическая деструкция ИАШ и PCO», позво-

ляющего выполнять детальный автоматизированный расчет технико-экономических показателей комплексов ТХД ИАШ. Программное обеспечение обладает удобным пользовательским интерфейсом для исследования технико-экономических показателей, а также при работе с потенциальными заказчиками для оперативного определения параметров комплекса ТХД ИАШ в зависимости от наличия сырья и финансовых ресурсов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Сталинский, Д.В.** Получение альтернативных видов топлива из резиносодержащих отходов / Д.В. Сталинский, А.Л. Скоромный, А.М. Синозацкий // *Экология и промышленность*. – 2009. – № 2. – С. 8–12.
2. Особенности переработки отходов РТИ в термохимических процессах / В.А. Лихоманенко, И.В. Цветкова, С.М. Русалин, В.Л. Юшко // *Казантип-ЭКО-2007. Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов* : сб. науч. ст. XV Междунар. науч.-практ. конф., 4–8 июня 2007 г., г. Щелкино, АР Крым : в 2-х т. Т. 2. / УкрГНТЦ «Энергосталь». – Х. : Сага, 2007. – С. 395–401.
3. **Тайц, Н.Ю.** Методические нагревательные печи / Н.Ю. Тайц, Ю.И. Розенгарт. – М. : Metallurgizdat, 1964. – 408 с.
4. **Мастрюков, Б.С.** Теория, конструкции и расчеты металлургических печей : Т. 2. Расчеты металлургических печей / Б.С. Мастрюков. – М. : Metallurgia, 1978. – 272 с.
5. **Китаев, Б.И.** Теплообмен в шахтных печах / Б.И. Китаев, Ю.Г. Ярошенко, В.Д. Сучков. – Свердловск : Гос. науч.-техн. изд-во лит-ры по черной и цветной металлургии, 1957. – 279 с.
6. Домна в энергетическом измерении / А.В. Бородулин, А.Д. Горбунов, В.И. Романенко, С.П. Суцев. – Днепродзержинск : Изд-во Днепродзержинского техн. ун-та, 2006. – 450 с.
7. **Плановский, А.Н.** Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии / А.Н. Плановский, П.И. Николаев – М. : Химия, 1972. – 496 с.
8. **Сталинский, Д.В.** Опытная установка для термохимической деструкции органической части твердых бытовых и производственных отходов / Д.В. Сталинский, А.Л. Скоромный, А.М. Синозацкий // *Экология и промышленность*. – 2008. – № 3. – С. 42–44.
9. **Скоромный, А.Л.** Снижение энергозатрат на утилизацию изношенных автомобильных шин методом термохимической деструкции / А.Л. Скоромный // *Экология и промышленность*. – 2008. – № 4. – С. 68–71.
10. **Скоромный, А.Л.** Повышение энергетической эффективности переработки твердых бытовых отходов в установках термохимической деструкции / А.Л. Скоромный // *Экологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення* : зб. наук. ст. IV Міжнар. наук.-практ. конф. : у 2-х т. Т. 2. / УкрНДІЕП. – Х. : Райдер, 2008. – С. 96–100.
11. **Сталинский, Д.В.** Оборудование для утилизации изношенных автомобильных шин методом ТХД / Д.В. Сталинский, А.Л. Скоромный, В.Д. Мантула, А.С. Рудюк, Д.Б. Бирюков, В.С. Бараненко // *Казантип-ЭКО-2009. Экология, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей среды и здоровье человека, утилизация отходов* : сб. тр. XVII Междунар. науч.-практ. конф., 1–5 июня 2009 г., г. Щелкино, АР Крым : в 2-х т. Т. 2. / УкрГНТЦ «Энергосталь». – Х. : Сага, 2009. – С. 449–453.
12. **Сталинский, Д.В.** Новые технические решения для утилизации твердых бытовых отходов методом термохимической деструкции / Д.В. Сталинский, А.Л. Скоромный, А.М. Синозацкий // *Экологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення* : зб. наук. ст. V Міжнар. наук.-практ. конф. : у 2-х т. Т. 1. / УкрНДІЕП. – Х. : Райдер, 2009. – С. 51–55.
13. **Скоромный, А.Л.** Комплексы для утилизации изношенных автомобильных шин легковых автомобилей и карьерных самосвалов / А.Л. Скоромный // *Эколого-правовые и экономические аспекты техногенной безопасности регионов* : сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых. – Х. : ХНАДУ, 2009. – С. 49–51.
14. Пат. 34152 Україна, МПК⁸ F23G5/027, F23G7/00. Реактор для термохімічної переробки твердих органічних відходів / Сталінський Д.В., Скоромний А.Л., Сінозацький А.М., Ботштейн В.А., Мантула В.Д., Рудюк О.С., Сінозацький Ю.А., Бараненко В.С., Поляков Ф.М., Борох О.В.; заявник та володілець патенту УкрДНТЦ «Енергосталь». – № u 2008 03801; заявл. 26.03.08; опубл. 25.07.08, Бюл. № 14. – 4 с. : іл.
15. Пат. 36824 Україна, МПК⁸ C10L5/48, F23G5/027. Спосіб переробки органічної сировини в термохімічному реакторі / Сталінський Д.В., Скоромний А.Л., Сінозацький А.М., Мантула В.Д., Рудюк О.С., Пірогов О.Ю., Стасевський С.Л., Бараненко В.С., Сінозацький Ю.А.; заявник та володілець патенту УкрДНТЦ «Енергосталь». – № u 2008 06530; заявл. 15.05.08; опубл. 10.11.08, Бюл. № 21. – 4 с.
16. Пат. 36989 Україна, МПК⁸ C10L5/48, F23G5/027. Установка для термохімічної переробки органічної сировини / Сталінський Д.В., Скоромний А.Л., Сінозацький А.М., Мантула В.Д., Рудюк О.С., Бараненко В.С., Сінозацький Ю.А.; заявник та володілець патенту УкрДНТЦ «Енергосталь». – № u 2008 07952; заявл. 12.06.08; опубл. 10.11.08, Бюл. № 21. – 5 с. : іл.
17. Пат. Україна, МПК⁸ F23C3/00. Пристрій прискореного повітряного охолодження / Сталінський Д.В., Скоромний А.Л., Сінозацький А.М., Рудюк О.С., Бараненко В.С., Сінозацький Ю.А.; заявник та володілець патенту УкрДНТЦ «Енергосталь». – № u 2008 12862; заявл. 04.11.08; опубл. 27.04.09, Бюл. № 8. – 4 с. : іл.



18. Пат. 46764 Україна, МПК⁸ C10J3/00. Установка для газифікації твердої органічної сировини / Сталінський Д.В., Скоромний А.Л., Сінозацький А.М., Ботштейн В.А., Мантула В.Д., Рудюк О.С., Бірюков Д.Б., Бараненко В.С., Сінозацький Ю.А.; заявник та володілець патенту УкрДНТЦ «Енергосталь». – № u 200905277; заявл. 27.05.09; опубл. 11.01.10, Бюл. № 7. – 4 с. : іл.
19. Сталинский, Д.В. Определение рациональных конструктивных параметров реактора термохимической деструкции изношенных автомобильных шин / Д.В. Сталинский, А.Л. Скоромный, А.М. Синозацкий // Казантип-ЭКО-2010. Экология, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей среды и здоровье человека, утилизация отходов: сб. тр. XVIII Междунар. науч.-практ. конф., 7–11 июня 2010 г., г. Щелкино, АР Крым: в 2-х т. Т.2. / УкрГНТЦ «Енергосталь». – Х. : НТМТ, 2010. – С. 413–419.
20. Сталинский, Д.В. Минимизация удельных энергозатрат на измельчение и термохимическую деструкцию изношенных автомобильных шин / Д.В. Сталинский, А.Л. Скоромный, А.М. Касимов, А.М. Синозацкий // Проблемы машиностроения. – 2010. – Т. 13, – № 5. – С. 75–82.
21. Тепловое оборудование и тепловые сети: Учебник для вузов / Г.В. Арсеньев, В.П. Белоусов, А.А. Дранченко и др. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 400 с.
22. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
23. Петренко, Т.В. Утилізація відпрацьованих автомобільних шин / Т.В. Петренко, Ю.О. Новічков, О.І. Позднякова, В.В. Хазіпова / ДонНАБА. – Донецьк: Цифрова типографія, 2007. – 110 с.

Поступила в редакцию 15.04.2011

Описано особливості методики, алгоритм і програмне забезпечення для розрахунку основних параметрів обладнання і техніко-економічних показників роботи комплексу утилізації зношених автомобільних шин, а також гумовістих відходів методом термохімічної деструкції.

Peculiarities of the technique, algorithm and software for determining the basic equipment parameters and engineering-and-economical performance of the complex for worn tyre and rubber-containing wastes recycling by thermochemical destruction method are described.