

УДК 519.713: 628.4.02

Д.В. СТАЛИНСКИЙ, докт. техн. наук, профессор, генеральный директор,
А.Л. СКОРОМНЫЙ, заместитель директора структурного подразделения,
Государственное предприятие «Украинский научно-технический центр металлургической промышленности
«Энергосталь» (УкрНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков

Д.И. ЕМЕЛЬЯНОВА, инженер II категории, **М.М. КОЗУЛЯ**, канд. техн. наук, доцент
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» (НТУ «ХПИ») г. Харьков

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ИЗНОШЕННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН НА ОБЪЕКТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Представлены результаты оценки технологии термохимической переработки изношенных автомобильных шин по показателям снижения нагрузки на объекты окружающей природной среды и отмечены преимущества – уменьшение реакционной способности отходящих газов по серосодержащим веществам и органическим радикалам.

Ключевые слова: термохимическая деструкция, использованные автомобильные шины, отходящие газы, окружающая природная среда, энтропия, термодинамический потенциал.

За последние годы в мире накоплен значительный научно-технический потенциал в области технологий по переработке изношенных автомобильных шин (ИАШ) с получением ликвидных товарных продуктов. Одним из

наиболее перспективных методов утилизации ИАШ является высокотемпературный пиролиз. Однако в последние годы значительное развитие получил метод термохимической деструкции (ТХД) ИАШ, который отличается

© Д.В. Сталинский, А.Л. Скоромный, Д.И. Емельянова, М.М. Козуля



более низкой энергоемкостью утилизации и некоторыми улучшениями экологических показателей по нагрузке на объекты окружающей природной среды (ОПС).

В настоящее время в технологию ТХД ИАШ внесен ряд усовершенствований с целью уменьшения образования серосодержащих отходов, производных радикалов как активных центров химических реакций и тяжелых металлов, которые выделяются при переработке металлического корда [1].

Основная техногенная нагрузка на ОПС при утилизации ИАШ связана с образованием органических соединений и серосодержащих веществ в отходящих газах. Существенным недостатком производств по переработке шин является необходимость очистки отходящих газов, в составе которых сероводород, органические соединения серы, галогенопроизводные углеводороды – присутствие аналогичных примесей в жидких продуктах нежелательно при дальнейшем их использовании в качестве топлива. Таким образом, основным вопросом технологического совершенствования переработки шин является уменьшение количества нежелательных экологически опасных примесей в выбросах и конечных продуктах таких производств.

Основными задачами исследований в области экологической эффективности комплекса ТХД-ИАШ-600 (производительность по исходному сырью – 600 кг/час) являются:

- характеристика основных источников экологической опасности при ТХД ИАШ;
- сравнительный анализ экологического качества ТХД и высокотемпературного пиролиза ИАШ;
- термодинамический анализ возможных процессов, связанных с образованием токсических примесей в выбросах производств по утилизации ИАШ методом ТХД;
- определение экологических преимуществ процесса ТХД ИАШ и управления экологической безопасностью.

Преимущества метода ТХД ИАШ состоят в получении альтернативных (жидких, твердых и газообразных) топлив из резиносодержащих отходов. Однако важно отметить, что при неполном сгорании органических соединений и серосодержащих материалов в окружающую среду попадают органические продукты деструкции органических полимеров, H_2S и SO_2 , что требует дополнительных технологических решений, связанных с уменьшением их содержания в выбросах и отходах производств.

Технологические решения на основе пиролиза ИАШ отличаются достижениями в области получения продуктов целевого назначения, но не лишены экологических опасностей, связанных с наличием токсичных примесей

в отходящих газообразных и жидких продуктах (сероводород, органические соединения серы, галогенопроизводные углеводороды). При сравнительно незначительных объемах названных веществ в результате их сжигания образуются диоксиды серы, оксиды азота, органические и неорганические вещества. Сточные воды, поступающие из установок пиролиза, сильно загрязнены такими органическими веществами, как фенолы, серосодержащие углеводороды и др., твердые остатки пиролизного кокса содержат высокие концентрации поликонденсированных и предельных углеводородов, которые вымываются и выщелачиваются из отвалов таких производств под действием дождей, попадая в грунтовые и подземные воды. Следовательно, пиролиз нельзя считать экологически безопасным методом утилизации ИАШ (табл. 1). Различия между ТХД и пиролизом ИАШ приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Различия между ТХД и пиролизом ИАШ

Пиролиз ИАШ	ТХД ИАШ
Обязателен высокотемпературный режим от 900 °С	Относительно невысокая температура (550–600 °С)
Необходим избыток воздуха (соответственно и кислорода)	Недостаток кислорода (соответственно и воздуха). Коэффициент избытка воздуха составляет 0,4–0,5.
Рекуперативный способ подвода теплоты	Контактный способ подвода теплоты
Окислительные условия – образование оксидов металлов	Восстановительные условия – металлы не окисляются
Основные продукты реакции: CO_2 , H_2O , зола, шлаки	Основные продукты реакции: H_2 , C_nH_m , CO , твердый углеродсодержащий остаток
Газообразные вещества: SO_2 , SO_3 , NO_x , HCl , HF , тяжелые металлы, пыль	Газообразные вредные вещества: H_2S , HCN , NH_3 , HCl , HF , фенолы, смолы, пыль, Hg
Большие объемы технологических газов (доля воздуха).	Малые объемы используемых газов, воздуха
Зола спекается в шлак, уход влаги	Отсутствие процессов сплавления и спекания, уход влаги, твердый остаток – аналог угля
Отсутствие необходимости в предварительном измельчении, равномерности фракционного состава	Предварительное измельчение и равномерность фракционного состава желательны

С целью определения характера и степени потенциальной экологической опасности ТХД в соответствии с требованиями экологического законодательства проведена предварительная оценка ожидаемых экологи-

ческих последствий попадания в атмосферный воздух отходящих газов основного производства и при использовании жидких отходов как топлива.

Процедура оценки воздействия на ОПС включала следующую последовательность действий:

1. Установление соответствия между технологическими этапами процесса пиролиза и источниками эмиссии загрязняющих веществ в атмосферу.

2. Оценка влияния технических параметров источников отведения (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферный воздух на их экологическую безопасность в общем технологическом решении ТХД.

3. Определение номенклатуры загрязняющих веществ, образующихся на каждом этапе технологического процесса.

Технические характеристики источников выбросов технологического процесса были определены авторами работы [2] с учетом конструктивных особенностей предложенной установки пиролиза ИАШ – результаты расчетов рассеивания представлены в табл. 2.

Согласно данным табл. 2, максимально возможные концентрации всех веществ достигаются на небольших расстояниях от источника выбросов в интервале значений от 5,7 до 32 м.

Превышение величин ПДК (максимально разовых) в точках максимума концентраций загрязняющих веществ наблюдается лишь по трем ингредиентам – диоксиду азота, пыли неорганической и предельным углеводородам. Убывание повышенных концентраций до уровня 1 ПДК происходит на расстояниях от 63 до 101 м, т.е. в радиусе 100 м от установки пиролиза практически соблюдаются санитарно-гигиенические нормы качества атмосферного воздуха, что свидетельствует о соответствии уровня загрязнения атмосферного воздуха нормативным значениям еще на территории хозяйственного объекта. При отсутствии фоновое загрязнения в районе расположения рассматриваемого объекта выбросы от источников процесса переработки ИАШ методом ТХД могут быть квалифицированы как допустимые по всем загрязняющим веществам.

Наличие в шинах оцинкованного корда приводит к возникновению летучих цинкорганических соединений. Нагретая смесь порошка цинка с серой дает сульфид цинка (ZnS), который выпадает в осадок при действии сероводорода на слабокислые или аммиачные водные растворы солей Zn.

Согласно литературным данным [3], Zn в составе техногенной пыли находится преимущественно в форме оксидов и в элементной форме, в атмосферном воздухе – в сублимированных частицах и частично – в парогазовой фазе, что облегчает его распространение с воздушными массами на большие расстояния. Исходя из этого, в работе проведены исследования возможности образования соединений цинка при ТХД ИАШ и снижения вероятности образования соединений цинка.

Во время взаимодействия углеводородных остатков с серой протекают две основные химические реакции:

1) при температуре ниже $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ – взаимодействие радикалов серы с углеводородами с образованием связей сера-углерод, то есть полярных связей. В составе серосодержащих органических соединений преобладают полисульфидные соединения, которые при более высоких температурах переходят в циклические сульфиды со структурой тиофенового типа, представляющей межмолекулярные поперечные связи;

2) при температуре выше $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ – дегидрогенизация компонентов органического вяжущего, признаком которой является выделение сероводорода, образующегося вследствие соединения серы с водородом. Дегидрогенизированные цепи подвергаются циклизации, в результате чего увеличивается количество структурообразующих комплексов высокомолекулярных соединений. На этой стадии происходит «сшивка» органических фрагментов серой [4].

Содержание в сырье ароматических углеводородов в легких фракциях (табл. 3) составляет 2,38 %, а ценных ароматических углеводородов, например бензола, и того меньше – 0,54 %. Выделение бензола из легких фракций возможно лишь при больших объемах переработки:

Таблица 2 – Характеристики загрязнения приземного слоя воздуха при пиролизе ИАШ

Наименование загрязняющего вещества	Максимально возможная концентрация, См		Опасная скорость ветра, м/с	Опасное расстояние от источника, м	Расстояние достижения 1 ПДК, м
	в мг/м ³	в долях ПДК			
Азота диоксид	0,3677	4,326	1,21	15,15	83
Оксид углерода	0,6129	0,123	1,21	15,15	См<1 ПДК
Азота диоксид	0,0091	0,107	3,8	32,03	83
Оксид углерода	0,0091	0,0018	3,8	32,03	См<1 ПДК
Метан	0,0036	0,000072	3,8	32,03	См<1 ПДК
Углеводороды предельные	8,358	8,358	0,5	11,4	101
Углеводороды непредельные	9,965	9,965	0,5	11,4	101
Пыль неорганическая	4,050	8,1	0,5	5,7	63



бензольная фракция направляется в аппарат пиролиза под нижнюю наклонную тарелку в зону плавления и деструкции углеводородных полимеров с температурой 550–600 °С [5].

Таблица 3 – Состав компонентов легкой пиролизной фракции

Компоненты	% мол.
Этилен C ₂ H ₄	9,1
Этан C ₂ H ₆	4,7 (13,8)
Пропилен C ₃ H ₆	3,0
Пропилен C ₃ H ₆	2,9 (5,9)
Бутадиен C ₄ H ₆	14,1
Бутен C ₄ H ₈	8,3
Бутан C ₄ H ₁₀	3,3 (25,7)
Циклопентан C ₅ H ₁₀	2,5
Пентадиен C ₅ H ₈	9,1
Пентен C ₅ H ₁₀	4,8
Пентан C ₅ H ₁₂	1,6 (18,0)
Бензол C ₆ H ₆	4,3
Гексадиен C ₆ H ₈	6,6
Гексен C ₆ H ₁₀	5,4
Гексан C ₆ H ₁₂	2,7 (19,0)
От C ₇ до C _n	17,6

Углеводород, образующийся в процессах пиролиза и ТХД, как правило, используется для частичного энергообеспечения утилизации ИАШ [5, 6].

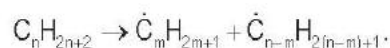
Жидкая фракция используется в качестве самостоятельного печного топлива или в комбинации с отработанным машинным или трансформаторным маслом, что позволяет решать и другие экологические задачи [5]. Характеристики жидкой фракции, полученной методом пиролиза и ТХД ИАШ, приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Характеристики состава жидкой фракции

Параметры	Значения	
	ТХД	Пиролиз
Плотность, г/см ³	0,886	0,9362
Зольность, %	0,12	0,11
Температура начала кипения, °С	85	75
Молярная масса, грамм/моль	–	178
Теплота сгорания, МДж/кг	32–34	31
Содержание алифатических соединений, %	3,0	3,0–3,5
Содержание ароматических соединений, %	37,6	93,2–94,0
Содержание серы, %	0,65	0,7–1,1

ТХД ИАШ в промышленных условиях осуществляется при атмосферном давлении или немного выше его. В таких условиях реакции разложения углеводородов

протекают в газовой фазе с участием образованных свободных радикалов [7]. При ТХД ИАШ насыщенные нециклические углеводороды нормального или изомерного строения распадаются на два радикала с разрывом связи С–С [8]



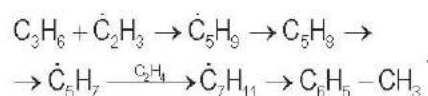
Образовавшиеся радикалы – большие, чем CH₃ и C₂H₅ – распадаются с разрывом ослабленной связи С–С, что усиливает реакционную способность отходящих газов.

При изучении особенностей реакций изомеризации первичных радикалов во вторичные (с участием алканов) в операциях ТХД ИАШ отмечено образование преимущественно шестичленных циклов. Реакции изомеризации эндотермичны (20–30 кДж/моль), следовательно, с повышением температуры равновесная концентрация вторичных радикалов снижается. Это способствует увеличению содержания менее опасного этилена [8].

К числу первичных ненасыщенных продуктов ТХД ИАШ, получаемых в заметных количествах, относится бутадиен-1,3. Как показывают экспериментальные данные, бутадиен-1,3 на дальнейших стадиях подвергается разложению с преимущественным выделением водорода, метана и этилена.

Ароматические углеводороды образуются на последней стадии термического разложения, когда в зоне реакции имеются в достаточной концентрации низшие олефины – этилен и пропилен.

Толуол образуется при температуре 650 °С из пропилена по схеме



Термическое разложение алкилароматических углеводородов с числом атомов углерода в алкильной группе более двух протекает значительно легче, чем толуола, поскольку эти углеводороды имеют ослабленную С–С-связь в β-положении по бензольному кольцу. Таким образом, следует ожидать отсутствия токсичных ароматических соединений при ТХД в отходящих газах.

При пиролизе ИАШ в продуктах углеводородов наряду с бутадиеном-1,3 присутствуют в заметных количествах высшие диены, особенно диены C₅, в том числе изопрен, пентадиен-1,3, при жестких технологических условиях возрастает вероятность образования циклопентадиена из этилена и пропилена с промежуточным образованием этенил- и пропенил-радикалов, что снижает безопасность выбросов.

На основе данных вышеприведенного анализа процессов ТХД на предмет возможности негативного влияния на ОПС проведена оценка термодинамической вероятности образования экологически нежелательных веществ. Такие расчеты позволили выявить экологические преимущества снижения температурного режима ТХД при утилизации ИАШ.

Все возможные реакции появления в конечных продуктах ТХД ИАШ экологически нежелательных веществ были разделены на 3 группы:

1) образование содержащих серу органических соединений, что затрудняет использование отходящих газов в качестве топочных;

2) наличие в топливном газе органических радикалов, представляющих опасный фактор активного биологического воздействия и высокой химической активности для объектов ОС;

3) цинкорганические и другие металлорганические соединения как продукты распада металлокорда, связанные с загрязнением твердого углеродсодержащего остатка, что затрудняет дальнейшее его использование.

В методике расчета использованы положения закона Гесса, позволяющие вычислить тепловые эффекты тех реакций, для которых непосредственное определение состава продуктов и опасность концентраций их на выходе сопряжено с большими экспериментальными трудностями.

Образованные после технологического процесса химические системы в виде газообразных выбросов, жидких сбросов и твердых отходов являются равновесными системами. Дальнейшее температурное воздействие на них может привести к повышению внутренней энергии системы и изменению состава за счет возможности самопроизвольного течения реакций с уменьшением изобарного потенциала. Течению реакции будут способствовать экзотермические эффекты (энергетический фактор) и возрастание энтропии (энтропийный фактор) (т.е. большие отрицательные значения ΔH и положительные значения ΔS). Близкие к равновесному состоянию энергетический и энтропийный факторы действуют в противоположных направлениях, общее течение реакции определяется влиянием преобладающего фактора вплоть до наступления равновесия. Тепловой эффект обычно слабее зависит от концентрации веществ, участвующих в реакции, поэтому достижение равновесия определяется преимущественно концентрационной зависимостью энтропии [9]

Изменение энергетического эффекта реакции определяют согласно зависимости $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$, что является основой прогнозирования состояния выбросов и

определения параметров регулирования экологической безопасностью

$$\Delta_r G(298) = \Delta_r H_{298} - 298,15 \Delta_r S_{298};$$

$$\Delta_r G_T^0 = \Delta_r H_{298} - T \Delta_r S_{298} + \Delta C_p \left[(T - 298,16) - T \ln \frac{T}{298,16} \right]$$

$$\begin{aligned} \Delta G(T) = & \Delta H_{298} - T \Delta S_{298} + \\ & + \sum_{i=0}^j [n_i (Hn(T) - Hn(298))]_i - \\ & - \sum_{i=0}^j [n_i (Hm(T) - Hm(298))]_i - \\ & - T \left[\sum_{i=0}^j [n_i (Sn(T) - Sn(298))]_i \right] + \\ & + T \left[\sum_{i=0}^j [n_i (Sm(T) - Sm(298))]_i \right]. \end{aligned}$$

Для определения изменений энтропийного фактора использована зависимость данной термодинамической функции от теплоемкости C_p

$$\Delta S = C_p (\ln T_2 - \ln T_1) = 2,3 \times C_p \log \frac{T_2}{T_1},$$

которая показывает, что при прочих равных условиях повышение температуры усиливает влияние на равновесие в системе.

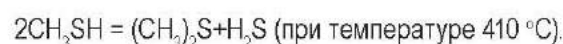
Зная энтропии всех веществ, участвующих в реакции, рассчитывают изменение энтропии, отвечающее самопроизвольному протеканию реакции

$$\Delta S = \sum [n_i(S)_i]_{\text{кон}} - \sum [n_i(S)_i]_{\text{нач}}$$

Полученные таким образом значения ΔS° часто оказываются более точными, чем значения теплового эффекта

$$\begin{aligned} \Delta S_T^\circ = & \Delta S_{298}^\circ + \sum [n_i (S_T^\circ - S_{298}^\circ)]_{\text{кон}} - \\ & - \sum [n_i (S_T^\circ - S_{298}^\circ)]_{\text{нач}} \end{aligned}$$

1. Реакции, связанные с загрязнением ОПС продуктами серы

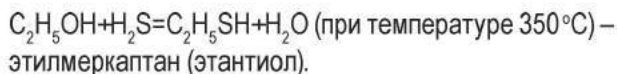


Протекание данной реакции контролируется ее экзотермическим характером, что обуславливает снижение ее скорости при снижении температуры. Термодинамические расчеты показали, что самопроизвольное течение реакции при повышении температуры от 298 К до 1000 К резко снижается согласно полученным данным изменения зна-



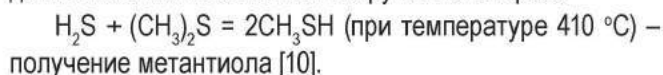
чений функции ΔG : увеличение тенденции перехода от отрицательных к положительным величинам.

Таким образом, метод ТХД должен контролировать поддержание высоких температур в зоне отходящих газов, что снижает вероятность образования $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ и H_2S в отходящих газах

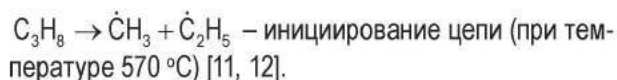


Образование простых тиоловых органических соединений на примере этантиола показывает: данная реакция экзотермична, что требует внимания для соблюдения технологических параметров ТХД с условием уменьшения образования серосодержащих органических продуктов.

Исследования возможностей протекания обратных реакций для приведенных выше процессов показали, что реакции эндотермичны, их прохождение в технологических условиях маловероятно, поэтому следует ожидать снижения техногенной нагрузки на выбросе

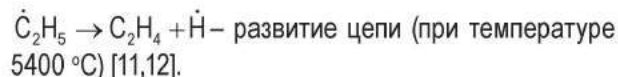
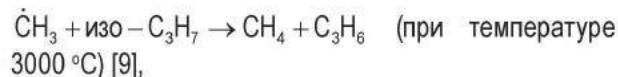


2. Реакции, связанные с образованием органических радикалов при высокотемпературной деструкции полимерных материалов



Термодинамические расчеты с определением типа реакций и возможностей их протекания в области высоких и низких температур показали: экзотермичность данного процесса позволяет снижать температурный режим и тем самым тормозить реакцию образования метил- и этил-радикалов, что снижает реакционную способность отходящих газов. Таким образом, в отличие от высокотемпературного пиролиза – ТХД в этом плане более «экологична».

Небольшая вероятность образования других органических радикалов в отходящих газах показана на примере термодинамического анализа следующих деструктивных процессов



Как и вышеприведенные процессы, образование этих активных органических продуктов при стандартных условиях связано с эндотермическими эффектами (первая реакция), следовательно, данные соединения вероятны при высокотемпературной деструкции; для второй экзотермической реакции желательно соблюдение низкого температурного режима.

3. Реакции, связанные с образованием металлсодержащих соединений, в частности с цинком, входящим в состав металлокорда



Табличные термодинамические данные показывают, что возможно самопроизвольное образование сульфида: при повышении температуры от 298 К до 500 К потенциал реакции снижается в 1,2 раза, что позволяет избежать появления в твердой фазе сульфидов, присутствие которых более вероятно при высоких температурах. При ТХД замедление этой реакции возможно, так как имеются следующие показатели в расчетах

$$\begin{aligned} \Delta H_{298} &:= H_{m298} \cdot m - \sum_{i=0}^1 H_{n298,i} \cdot n_i & \Delta H_{298} &= -341.205 \\ S_{m298} &:= 0.05778 & S_{n298} &:= \begin{pmatrix} 0.04163 \\ 0.16775 \end{pmatrix} \\ \Delta S_{298} &:= S_{m298} \cdot m - \sum_{i=0}^1 n_i \cdot S_{n298,i} & \Delta S_{298} &= -0.068 \\ \Delta G_{298} &:= \Delta H_{298} - 298\Delta S_{298} & \Delta G_{298} &= -321.023 \\ A &:= -266.49 & B &:= -0.06365 & C &:= 0.153572 & T1 &:= 500 \\ \Delta GT1 &:= A + B \cdot T1 \cdot \log(T1) + C \cdot T1 & \Delta GT1 &= -275.599 \\ T2 &:= 1000 & \Delta G_{298} + \Delta GT1 &= 1.165 \\ \Delta GT2 &:= A + B \cdot T2 \cdot \log(T2) + C \cdot T2 & \Delta GT2 &= -303.868 \end{aligned}$$

Повышение температуры, согласно зависимости $\Delta G = f(T)$, будет приводить к возрастанию потенциала реакции, что повышает опасность высокотемпературной деструкции.

Расчеты потенциала реакции при соблюдении стационарных условий деструктивного процесса показали возможности избежания образования экологически опасных примесей в отходящих газах (табл. 5).

ВЫВОДЫ

Технологические процессы ТХД по экологической безопасности отходящих газов не уступают высокотемпературному пиролизу ИАШ, а по серосодержащим веществам и органическим радикалам даже уменьшают опасную экологическую реакционную способность отходящих газов.

К основным результатам исследований в области экологической эффективности усовершенствованной ТХД ИАШ следует отнести:

- анализ основных источников экологической опасности в технологическом процессе, что позволило определить основные направления исследований в обеспечении безопасности производства для ОПС;
- выявление преимуществ низкотемпературной деструкции полимеров в условиях повышения экологического качества утилизации шин, что позволило констатировать вероятность отсутствия нежелательных примесей в газообразных и жидких продуктах для их дальнейшего использования;
- обоснование оценки экологической безопасности введенных усовершенствований в процесс ТХД на основе результатов термодинамических расчетов возможных процессов, связанных с образованием

Таблица 5 – Основные данные термодинамических расчетов процессов образования примесей в отходящих газах

Реакции	ΔH , кДж/моль	ΔS , кДж/моль	Тип реакции, эффект	ΔG , кДж/моль
$2\text{CH}_3\text{SH} = (\text{CH}_3)_2\text{S} + \text{H}_2\text{S}$	-12.49	-0.019	Экзо-	$\Delta G_{298} = -6.953$ $\Delta G_{500} = 2.404$ $\Delta G_{1000} = 5.9$
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{H}_2\text{S} = \text{C}_2\text{H}_5\text{SH} + \text{H}_2\text{O}$	-32.43	0.118	Экзо-	$\Delta G_{298} = -67.594$ $\Delta G_{500} = -90.077$ $\Delta G_{1000} = -191.577$
$\text{H}_2\text{S} + (\text{CH}_3)_2\text{S} = 2\text{CH}_3\text{SH}$	12.49	0.02	Эндо-	$\Delta G_{298} = 6.53$ $\Delta G_{500} = -30.051$ $\Delta G_{1000} = -35.819$
$\text{C}_2\text{H}_5\text{SH} + \text{H}_2\text{O} = \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{H}_2\text{S}$	32.43	-0.118	Эндо-	$\Delta G_{298} = 67.594$ $\Delta G_{500} = 92.043$ $\Delta G_{1000} = 268.61$
$\text{C}_3\text{H}_8 \rightarrow \dot{\text{C}}\text{H}_3 + \dot{\text{C}}_2\text{H}_5$	302.0	0.143	Эндо-	$\Delta G_{298} = 259.297$ $\Delta G_{500} = 25.193$ $\Delta G_{1000} = -322.797$
$\dot{\text{C}}_2\text{H}_5 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \dot{\text{H}}$	203.7	0.126	Эндо-	$\Delta G_{298} = 166.192$ $\Delta G_{500} = 103.018$ $\Delta G_{1000} = -8.588$
$\dot{\text{C}}\text{H}_3 + \text{изо-C}_3\text{H}_7 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{C}_3\text{H}_6$	3.5	-0.022	Эндо-	$\Delta G_{298} = 10.068$ $\Delta G_{500} = -87.972$ $\Delta G_{1000} = -227.027$
$\text{Zn}_{\text{TB}} + 1/2\text{S}_{2\text{T}} = \text{ZnS}_{\text{TB}}$	-341.2	-0.068	Экзо-	$\Delta G_{298} = -321.023$ $\Delta G_{500} = -275.599$ $\Delta G_{1000} = -303.868$



токсических примесей в выбросах производств ТХД ИАШ;

- определение экологической эффективности решений по ТХД ИАШ с точки зрения управления экологической безопасностью при снижении энергозатрат на утилизацию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Лихоманенко, В.А. Термохимическая переработка вторичного сырья с целью его энергетического использования / В.А. Лихоманенко, И.В. Цветкова, С.Е. Терещенко, А.Н. Пауков // Коршуновские чтения : труды Всероссийской науч.-техн. конф. – Тольятти, 2005. – С. 85–92.
2. Новичков, Ю.А. Экологическая оценка выбросов при комплексной утилизации автомобильных шин методом пиролиза / Ю.А. Новичков, А.А. Сердюк, С.И. Падалко, В.В. Хазипова // Экология и промышленность. – 2009. – № 2. – С. 71–75.
3. Мотузова, Г.В. Принципы и методы почвенно-химического мониторинга / Г.В. Мотузова. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 101 с.
4. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами. – Донецьк : Український науковий центр технічної екології, 2004. – Т. 1. – 184 с.
5. Белозеров, Н.В. Технология резины / Н.В. Белозеров. – М.: Химия, 1979. – 472 с.
6. Петренко, Т.В. О технологическом комплексе по переработке изношенных автомобильных шин и отработанных технических масел / Т.В. Петренко, Ю.А. Новичков // Всеукраинский журнал «Шина плюс». – № 3 (23). – 2008. – С. 61–60.
7. Теляшев, И.Р. Влияние технологических параметров на взаимодействие серы с нефтяными остатками / И.Р. Теляшев, С.А. Обухова, Ю.А. Кутын, Э.Г. Теляшев // Нефтепереработка и нефтехимия : сб. науч. тр. – ИП НХП. Уфа : Изд. ИП НХП, 2001. – Вып. 33. – С. 76–81.
8. Физическая химия / И.Н. Годнев, К.С. Краснов, Н.К. Воробьев и др. ; под ред. К.С. Краснова. – М.: Высш. шк., 1982. – 687 с.
9. Kosivtsov, Y. Low-temperature catalytic pyrolysis of polymeric cord of used automobile tyres for combustible gases production / Y. Kosivtsov, Y. Lugovoy, E. Sulmam / XL Annual Polish Conference on Catalysis. – Krakow, 2008. – P.
10. Jensen, A. Predicting Kraft Mill Volatile Organic Carbon and Total Reduced Sulphur Emissions using Vapour-Liquid Equilibrium Theory / A. Jensen, S. Duff, R. Branion, D. Posarac // PAPTAC 91st Annual Meeting Conference Proceedings, 2005. – P.
11. Rice F.O., Herzfeld K. F. // J. Am. Chem. Soc. – 1934. –V. 56, № 2. – P. 284. – 289.
12. Kossiakoff A., Rice F.O. // J. Am. Chem. Soc. – 1943. –V. 65, № 4. – P. 590–595.

Поступила в редакцию 10.04.2012

Надано результати оцінки технології термохімічної переробки зношених автомобільних шин за показниками зниження навантаження на об'єкти навколишнього природного середовища та відмічено переваги – зменшення реакційної здатності відхідних газів щодо сірковмісних речовин та органічних радикалів.

The article presents results of environmental impact assessment of the advanced technology for thermo-chemical destruction of worn tires. It is shown environmental advantages of the technology on some indicators of reducing impact on the environment - decreasing reactivity of waste gas on sulfur-containing substances and organic radicals.