

Определение экологических характеристик различных вариантов использования отработанного катализатора крекинга углеводородного сырья на основе оценки жизненного цикла

асп. Козловская И.Ю., студ. Крукович Н.Ю., к.т.н. Марцуль В.Н.
kozlowskaya.inna@yandex.ru

Белорусский государственный технологический университет

ст. преп. Копыльцова С.Е.
svkopyltsova@yandex.ru

Институт холода и биотехнологий

В статье рассматривается применение оценки жизненного цикла (ОЖЦ) для определения экологических характеристик различных вариантов обращения с отработанным катализатором крекинга углеводородного сырья, образование которого является одной из проблем для нефтеперерабатывающих предприятий. Показано, что в настоящее время в Белоруссии, России и других странах СНГ отсутствует эффективная методика определения экологических показателей продукции (услуги), тогда как в мировой практике широкое распространение получила оценка жизненного цикла. Обсуждаются особенности методологии ОЖЦ и применяемые специализированные методики. Приводятся результаты ОЖЦ, позволяющие определить наилучший вариант использования отработанным катализатором.

Ключевые слова: отработанный катализатор крекинга углеводородного сырья, варианты использования отработанного катализатора, оценка жизненного цикла продукции, инвентаризационный анализ жизненного цикла, категории воздействия, экоиндикатор.

Одной из центральных проблем в области охраны окружающей среды является переработка и использование отходов. В настоящее время существует множество способов их обезвреживания и вовлечения в производственный оборот. Поэтому зачастую наибольшую сложность представляет именно выбор варианта их переработки или использования.

Для выявления преимуществ и недостатков различных способов обращения с отходами традиционно принято сравнивать их технические характеристики и определять экономическую эффективность. Потенциальное негативное воздействие на окружающую среду в лучшем случае оценивается ве-

личиной предотвращенного (или наносимого) экологического ущерба, а чаще всего – не рассматривается вовсе. Величина экологического ущерба является денежным эквивалентом загрязнения различных компонентов окружающей среды, но не отражает экологические аспекты предлагаемых решений, т. е. их вклад в глобальные экологические проблемы.

В мировой практике нашел широкое применение подход, позволяющий проводить комплексный анализ экологических последствий производства продукции и использования ресурсов, который получил название оценки жизненного цикла (ОЖЦ).

Методология ОЖЦ и методики выполнения отдельных ее этапов сформировались в 1990-е гг. и активно развиваются как перспективное направление научных исследований и практической деятельности в области охраны окружающей среды. В те же годы Международной организацией по стандартизации была разработана и введена в действие серия стандартов, посвященных ОЖЦ и определяющих ее принципы и структуру – ISO 14040–14043 и др. В настоящее время действует два международных стандарта – ISO 14040 и ISO 14044.

Процедура ОЖЦ состоит из следующих основных этапов:

- определение цели и области (границ) исследования;
- инвентаризационный анализ жизненного цикла (ЖЦ) с количественной оценкой входных (материальные и энергетические ресурсы) и выходных (выбросы, сбросы, отходы и др.) потоков для рассматриваемой продукции или услуги на всех этапах ЖЦ;
- оценка воздействия ЖЦ на окружающую среду;
- интерпретация результатов исследования.

Определение цели и области исследования обеспечивает описание производственной системы с помощью ее границ и функциональной единицы (количественная характеристика эксплуатационных качеств (реализованных потребностей) исследуемой производственной системы). Последняя является важнейшей основой для сравнения и анализа альтернативных продуктов и услуг.

Инвентаризационный анализ жизненного цикла представляет собой методологию установления расхода ресурсов и количественной оценки потоков отходов и выбросов, вызванных или иным способом связанных с жизненным циклом продукта и приходящихся на одну функциональную единицу.

Оценка воздействия жизненного цикла обеспечивает индикаторы и основу для анализа потенциального вклада от изъятия ресурсов и образования отходов и выбросов. Результатом этой стадии является количественное определение экологических категорий воздействия жизненного цикла продукта (на основе функциональной единицы), таких, как изменение климата, токсикологическая нагрузка, шум, землепользование и др., а в некоторых случаях – получение интегральной оценки (например, количества потерянных лет жизни вследствие изменения климата, раковых заболеваний, шума и др.).

Интерпретация жизненного цикла проводится на каждом этапе ОЖЦ. Если при сравнении двух альтернативных продуктов один из них характеризуется более высоким потреблением каждого материала и каждого ресурса,

то можно считать заключительной интерпретацию, основанную только на инвентаризационном анализе. Однако на практике может потребоваться дополнительное сравнение по категориям воздействия, в частности, когда наблюдается несогласованность альтернативных решений. В таком случае может возникнуть ситуация, при которой один вариант характеризуется, например, большей эмиссией CO_2 , что приводит к более высокому значению индикатора изменения климата, а во втором используется больше пестицидов, что обеспечивает более высокий потенциальный вклад в токсикологическое воздействие. Выбор приоритетного варианта часто является дополнительным шагом. Для решения этой задачи необходимо учитывать не только естественные науки, но и социально-экономические аспекты [1, 14, 15].

Целью данной работы является применение методологии ОЖЦ для выбора наилучшего варианта обращения с отработанным катализатором крекинга (ОКК) углеводородного сырья, образование которого является одной из проблем для нефтеперерабатывающих предприятий.

Каталитический крекинг углеводородов как один из самых многотоннажных процессов нефтепереработки представляет собой крупный источник образования отходов отработанного катализатора вследствие потери им своих первоначальных свойств (из-за изменения удельной поверхности, структуры пор, уменьшения активности). При этом ОКК является ценным вторичным сырьем, которое может быть использовано в строительстве и других отраслях промышленности. Но в настоящее время степень его переработки невысока, что приводит к накоплению отработанного катализатора на полигонах, занимающих значительные площади и являющихся постоянными источниками загрязнения окружающей среды [13].

Катализатор крекинга представляет собой микросферический композиционный материал, состоящий из аморфной матрицы и цеолита. Матрица, в качестве которой применяют синтетические алюмосиликаты, природные глины с низкой пористостью или их смеси, имеет минимальную каталитическую активность, но обладают комплексом свойств, необходимых для обеспечения термической стабильности и активности катализатора в процессах переработки углеводородного сырья [2, 8]. Цеолиты, входящие в состав катализатора (чаще всего используются цеолиты типа X и Y) обычно синтезируют в натриевой форме, их содержание в катализаторе составляет от 3 до 20 %. Наличие ионов натрия вызывает интенсификацию процесса дегидрирования углеводородов и снижает как выход, так и качество (октановое число) бензина. Поэтому в катализаторах крекинга катионы натрия замещают ионами редкоземельных элементов (РЗЭ), их содержание (в пересчете на оксиды) достигает 2–4 % [7, 9].

Анализ состава и свойств отработанного катализатора [3, 5] показал, что он обладает комплексом свойств, позволяющих рассматривать его в качестве сырья для получения сорбента ионов тяжелых металлов при очистке сточных вод; использования в составе строительных и дорожных смесей [10, 16], комплексно перерабатывать с получением концентратов РЗЭ и сорбента [4].

В данной работе в качестве возможных альтернатив рассматриваются перечисленные выше направления использования отхода, а также его размещение на полигоне. Каждый из предложенных вариантов представляет собой ряд последовательных технологических операций, т. е. является производственной системой.

В качестве функциональной единицы выбрана 1 т отработанного катализатора. Это позволяет наиболее наглядно проводить сравнение различных вариантов использования ОКК между собой.

Стоит отметить, что обычно в качестве функциональной единицы принимают единицу конечной продукции или свойства, обеспечиваемого этой продукцией. Приведенные варианты характеризуются различными продуктами, и возможность обнаружить для них общее свойство отсутствует.

Также следует уделить внимание вопросу о значимости результатов подобного сравнения. Вариант, который получит наилучшую характеристику, будет обладать преимуществом только в конкретно заданных условиях, т. е. исключительно среди перечисленных направлений использования ОКК. Для принятия решения о целесообразности реализации выбранного варианта необходимо проводить сравнение с альтернативным вариантом, позволяющим использовать традиционную функциональную единицу.

Поскольку для всех вариантов использования ОКК этапы его образования и сбора в бункер являются идентичными, то при сравнении они не будут учитываться. Кроме того, входные и выходные потоки на этапе транспортировки продукции к потребителю могут значительно отличаться, по этой причине данная стадия также не включена в инвентаризационный анализ.

Для всех представленных ниже вариантов примем, что транспортировка ОКК на перерабатывающее производство (или полигон) осуществляется на среднетоннажном грузовике с дизельным двигателем, расходующим 20 л топлива на 100 км. Дополнительный расход топлива на транспортировку груза составляет 1,4 л/100 т-км.

Вариант № 1. Получение сорбента.

Схема жизненного цикла отработанного катализатора по данному варианту использования представлена на рисунке 1.

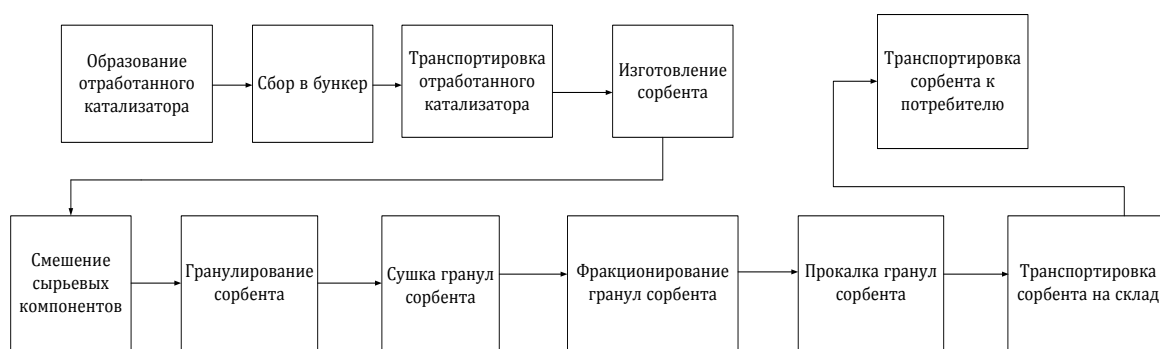


Рисунок 1 – Схема ЖЦ отработанного катализатора с использованием его для получения сорбента

Результаты инвентаризационного анализа входных и выходных потоков при использовании ОКК для получения сорбента приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты ИАЖЦ отработанного катализатора с использованием его для получения сорбента

Этап	Входные потоки	Выходные потоки
Транспортировка отработанного катализатора	ОКК – 1 т; топливо – 4,3 л	ОКК – 1 т; отработанные газы ДВС: CO – 0,93 кг; NO _x – 0,53 кг; УВ – 0,31 кг; сажа – 0,066 кг; бенз(а)пирен – $6,6 \cdot 10^{-5}$ кг
Получение сорбента:		
Смешение сырьевых компонентов	ОКК – 1 т; глина – 0,25 т; вода – 0,67 т; электроэнергия – 1,5 кВт-ч	Паста – 1,91 т (потери 0,5%); пыль ОКК – 6,8 кг; пыль неорганическая – 2 кг
Гранулирование сорбента	Паста – 1,91 т; электроэнергия – 1,5 кВт-ч	Сорбент – 1,91 т
Сушка гранул сорбента	Сорбент – 1,91 т; электроэнергия – 2 кВт-ч	Сорбент – 1,66 т (уменьшение влажности на 25 %)
Фракционирование сорбента	Сорбент – 1,66 т; электроэнергия – 1 кВт-ч	Сорбент – 1,65 (потери 0,5%)
Термообработка сорбента	Сорбент – 1,65 т; электроэнергия – 16 кВт-ч; природный газ – 16,5 м ³	Сорбент – 1,24 т (уменьшение влажности до 0,5 %); CO ₂ – 32 кг
Транспортировка сорбента на склад	Сорбент – 1,24 т; электроэнергия – 1 кВт-ч;	Сорбент – 1,24 т

Вариант № 2. Получение асфальтобетонной смеси.

Схема жизненного цикла для данного варианта представлена на рисунке 2.

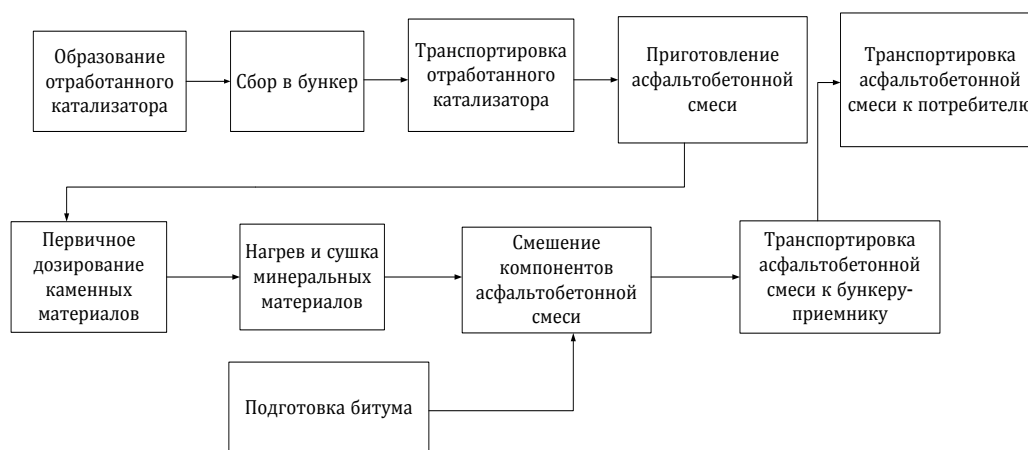


Рисунок 2 – Схема ЖЦ отработанного катализатора с использованием его для получения асфальтобетонной смеси

Результаты инвентаризационного анализа входных и выходных потоков при использовании ОКК для производства асфальтобетонной смеси представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты ИАЖЦ отработанного катализатора с использованием его для получения асфальтобетонной смеси

Этап	Входные потоки	Выходные потоки
Транспортировка отработанного катализатора	ОКК – 1 т; топливо – 3,2 л	ОКК – 1 т; отработанные газы ДВС: CO – 0,7 кг; NO _x – 0,4 кг; УВ – 0,23 кг; сажа – 0,05 кг; бенз(а)пирен – 4,95·10 ⁻⁵ кг
Приготовление асфальтобетонной смеси:		
Первичное дозирование каменных материалов	Песок – 4,3 т; щебень – 3,5 т; электроэнергия – 2 кВт-ч	Песок – 4,3 т; щебень – 3,5 т; пыль неорганическая – 8 кг
Нагрев и сушка минеральных материалов	Песок – 4,3 т; щебень – 3,5 т; электроэнергия – 27,5 кВт-ч; мазут – 73 кг	Песок – 4,1 т; щебень – 3,3 т (потери – 0,5%, уменьшение влажности от 5 до 0,5 %); пыль неорганическая – 20 кг; SO ₂ – 0,13 кг; NO _x – 19 кг; мазутная зола – 0,1 кг; CO ₂ – 219 кг
Подготовка битума	Битум – 1,5 т; электроэнергия – 13 кВт-ч	Битум 1,5 т
Смешение компонентов асфальтобетонной смеси	Песок – 4,1 т; щебень – 3,3 т; ОКК – 1 т; битум – 1,52 т; электроэнергия – 19,3 кВт-ч	Асфальтобетонная смесь – 9,85 т (потери – 0,5%); пыль неорганическая – 8 кг; пыль ОКК – 6 кг
Транспортировка асфальтобетонной смеси к бункеру-приемнику	Асфальтобетонная смесь – 9,85 т; электроэнергия – 2 кВт-ч	Асфальтобетонная смесь – 9,85 т

Вариант № 3. Комплексная переработка отработанного катализатора с получением концентрата РЗЭ и сорбента.

Схема жизненного цикла для данного варианта приведена на рисунке 3.

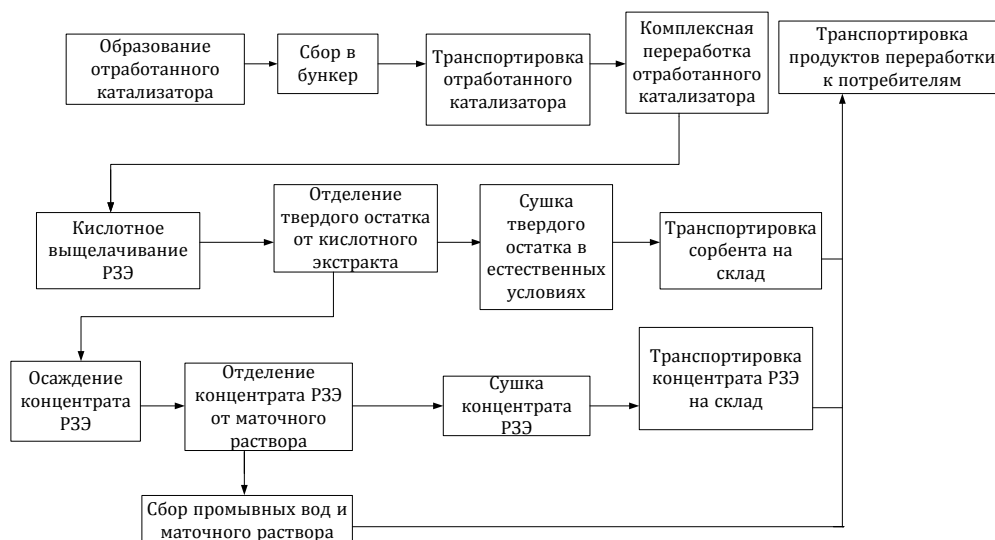


Рисунок 3 – Схема ЖЦ отработанного катализатора с его комплексной переработкой

Результаты инвентаризационного анализа входных и выходных потоков комплексной переработки ОКК представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты ИАЖЦ отработанного катализатора с его комплексной переработкой

Этап	Входные потоки	Выходные потоки
Транспортировка отработанного катализатора	ОКК – 1 т; топливо – 2,2 л	ОКК – 1 т; отработанные газы ДВС: CO – 0,47 кг; NO _x – 0,27 кг; УВ – 0,16 кг; сажа – 0,033 кг; бенз(а)пирен – $3,3 \cdot 10^{-5}$ кг
Комплексная переработка отработанного катализатора:		
Кислотное выщелачивание РЗЭ	ОКК – 1 т; 65%-ная азотная кислота – 0,564 т; вода – 7,5 м ³ ; электроэнергия – 2 кВт-ч	Смесь твердого остатка ОКК и кислотного экстракта – 9,062 т; аэрозоль азотной кислоты – 0,02 кг; пыль ОКК – 6 кг
Отделение твердого остатка от кислотного экстракта	Смесь твердого остатка ОКК и кислотного экстракта – 9,062 т; электроэнергия – 22 кВт-ч; вода на промывку твердого остатка – 0,764 м ³	Твердый остаток ОКК (влажность 40 %) – 1,3 т; кислотный экстракт – 7,762 т; промывная вода – 0,764 м ³
Сушка твердого остатка в естественных условиях	Твердый остаток ОКК – 1,3 т (влажность 40%)	Сорбент – 0,85 т (уменьшение влажности до 8 %)
Транспортировка сорбента на склад	Сорбент – 0,85 т; электроэнергия – 1 кВт-ч	Сорбент – 0,85 т
Осаждение концентрата РЗЭ	Карбонат натрия – 0,456 т; вода – 2,2 т; кислотный экстракт – 7,762 т; электроэнергия 3 кВт-ч	Смесь концентрата РЗЭ и раствора нитрата натрия – 10,32 т; CO ₂ – 95 кг
Отделение концентрата РЗЭ от маточного раствора	Смесь концентрата РЗЭ и раствора нитрата натрия – 10,32 т; вода – 0,6 м ³ ; электроэнергия – 11 кВт-ч	Концентрат РЗЭ (влажность 30 %) – 0,26 т; Al ₂ (CO ₃) ₃ – 0,166 т и La ₂ (CO ₃) ₃ – 0,017 т; маточный раствор – 10,06 м ³ ; промывные воды – 0,6 м ³
Сбор промывных вод и маточного раствора	Маточный раствор – 10,06 м ³ ; промывные воды – 0,6 м ³ ; электроэнергия – 1 кВт-ч	Раствор NaNO ₃ – 10,66 м ³
Сушка концентрата РЗЭ	Концентрат РЗЭ (влажность 30%) – 0,26 т; электроэнергия – 5 кВт-ч	Концентрат РЗЭ – 0,19 т (уменьшение влажности до 5 %)
Транспортировка концентрата РЗЭ на склад	Концентрат РЗЭ – 0,19 т; электроэнергия – 0,5 кВт-ч	Концентрат РЗЭ – 0,19 т

Вариант № 4. Хранение на полигоне.

Схема жизненного цикла отработанного катализатора с размещением его на полигоне представлена на рисунке 4.

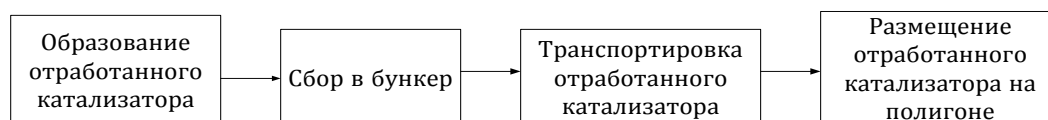


Рисунок 4 – Схема ЖЦ отработанного катализатора с размещением его на полигоне

Результаты инвентаризационного анализа входных и выходных потоков по хранению отработанного катализатора на полигоне представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты ИАЖЦ отработанного катализатора с размещением его на полигоне

Этап	Входные потоки	Выходные потоки
Транспортировка отработанного катализатора на полигон	ОКК – 1 т; топливо – 0,9 л	ОКК – 1 т; отработанные газы ДВС: CO – 0,19 кг; NO ₂ – 0,11 кг; УВ – 0,06 кг; сажа – 0,013 кг; бенз(а)пирен – $1,32 \cdot 10^{-5}$ кг
Размещение на полигоне	ОКК – 1 т; энергия – 1 кВт-ч	Пыль ОКК – 8 кг

Как следует из результатов проведенного инвентаризационного анализа, рассмотренные варианты использования ОКК характеризуются такими экологическими аспектами, как потребление сырьевых материалов и энергии, а также выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Согласно этапам оценки воздействия ЖЦ по имеющимся входным и выходным потокам необходимо установить категории воздействия.

Ущерб, наносимый ресурсам, выражается в количестве избыточной энергии (МДж), приходящейся на добычу единицы ресурса (кг или м³).

Для учета входных потоков сырьевых материалов в различных вариантах использования отработанного катализатора величины их расхода, соответствующие инвентаризационным данным, были приведены к количеству энергии, необходимой для их производства (добычи). Данные о необходимом количестве энергии были взяты из базы данных Ecoinvent 2000. На производство (добычу) 1 кг материала необходимо затратить следующее количество МДж энергии: глина – 0,0279; песок – 0,0098; щебень – 0,033; битум – 0,48; вода – 0,0014; карбонат натрия – 0,33; азотная кислота – 0,072.

Согласно методике Экоиндикатор–99 [11, 12] применялись следующие характеристические коэффициенты (МДж/ед.): энергия – 0,15; природный газ – 5,49; мазут – 6,05.

Результаты характеристики входных ресурсных потоков для вариантов использования отработанного катализатора представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты характеристики входных ресурсных потоков, МДж

Ресурсный поток	Вариант использования ОКК			
	получение сорбента	получение асфальтобетонной смеси	получение концентрата РЗЭ и сорбента	размещение на полигоне
Энергия	34,6	34,6	24,3	0,54
Природный газ	90,6	–	–	–
Мазут	–	442	–	–
Глина	1,05	–	–	–
Песок	–	6,32	–	–

Окончание таблицы 5

Ресурсный поток	Вариант использования ОКК			
	получение сорбента	получение асфальтобетонной смеси	получение концентрата РЗЭ и сорбента	размещение на полигоне
Щебень	–	17,3	–	–
Битум	–	108	–	–
Вода	0,14	–	2,31	–
Карбонат натрия	–	–	22,6	–
Азотная кислота	–	–	6,09	–
Итого:	126,33	607,86	55,27	0,54

Результаты классификации выбросов, проведенной в соответствии с методикой Экоиндикатор–99, представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Классификация выбросов в атмосферный воздух по категориям воздействия

Выбросы	Вариант использования катализатора	Категория воздействия	Значение характеристического коэффициента, DALY на 1 кг выброса
Углеводороды	1, 2, 3, 4	Канцерогенные эффекты; респираторные эффекты (органические)	$1,7 \cdot 10^{-4}$; $2,1 \cdot 10^{-6}$
Бенз(а)пирен	1, 2, 3, 4		$3,8 \cdot 10^{-3}$; $2,1 \cdot 10^{-6}$
Сажа	1, 2, 3, 4	Канцерогенные эффекты; респираторные эффекты (неорганические)	$9,78 \cdot 10^{-6}$; $7 \cdot 10^{-4}$
Мазутная зола	2		$9,78 \cdot 10^{-6}$; $7 \cdot 10^{-4}$
NO _x	1, 2, 3, 4	Респираторные эффекты (неорганические)	$8,87 \cdot 10^{-5}$
SO ₂	2		$5,46 \cdot 10^{-4}$
Пыль отработанного катализатора	2, 4		$1,1 \cdot 10^{-4}$
Пыль неорганическая	2		$1,1 \cdot 10^{-4}$
CO	1, 2, 3, 4	Изменение климата	$3,22 \cdot 10^{-7}$
CO ₂	1, 2, 3		$2,1 \cdot 10^{-7}$

Все приведенные в таблице 6 категории воздействия, согласно методике Экоиндикатор–99, относятся к категории ущерба здоровью человека.

Значения показателей по категориям воздействия после характеристики представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты характеристики выбросов в атмосферный воздух, DALY

Категория воздействия	Вариант использования ОКК			
	получение сорбента	получение асфальтобетонной смеси	получение концентрата РЗЭ и сорбента	размещение на полигоне
Канцерогенные эффекты	$5,36 \cdot 10^{-5}$	$4,08 \cdot 10^{-5}$	$3,95 \cdot 10^{-5}$	$1,04 \cdot 10^{-5}$
Респираторные эффекты (органические)	$6,51 \cdot 10^{-7}$	$4,83 \cdot 10^{-7}$	$3,36 \cdot 10^{-7}$	$1,26 \cdot 10^{-7}$

Окончание таблицы 7

Категория воздействия	Вариант использования ОКК			
	получение сорбента	получение асфальтобетонной смеси	получение концентрата РЗЭ и сорбента	размещение на полигоне
Респираторные эффекты (неорганические)	$9,32 \cdot 10^{-5}$	$1,87 \cdot 10^{-5}$	$2,31 \cdot 10^{-5}$	$9,10 \cdot 10^{-5}$
Изменение климата	$7,02 \cdot 10^{-6}$	$4,62 \cdot 10^{-5}$	$2,01 \cdot 10^{-5}$	$6,12 \cdot 10^{-8}$

Для получения значений экоиндикатора вариантов использования отработанного катализатора необходимо выполнить дополнительные процедуры ОЖЦ – нормирование и взвешивание.

Нормирование проводилось из расчета показателей воздействия, приходящихся на одного жителя в год (Европейский регион). Коэффициенты нормирования для приведения значений показателей воздействия к одной единице измерения были взяты из методики Экоиндикатор–99. Результаты нормирования для вариантов использования отработанного катализатора представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты нормирования значений показателей воздействия

Категория воздействия	Коэффициент нормирования, DALY/год (МДж/год) на 1 жителя	Вариант использования ОКК			
		получение сорбента	получение асфальтобетонной смеси	получение концентрата РЗЭ и сорбента	размещение на полигоне
Канцерогенные эффекты	$2 \cdot 10^{-3}$	$2,68 \cdot 10^{-2}$	$2,04 \cdot 10^{-2}$	$1,38 \cdot 10^{-2}$	$5,19 \cdot 10^{-3}$
Респираторные эффекты (органические)	$6,84 \cdot 10^{-5}$	$9,52 \cdot 10^{-3}$	$7,06 \cdot 10^{-3}$	$4,91 \cdot 10^{-3}$	$1,84 \cdot 10^{-3}$
Респираторные эффекты (неорганические)	$2,39 \cdot 10^{-3}$	$2,94 \cdot 10^{-3}$	$1,93 \cdot 10^{-2}$	$8,41 \cdot 10^{-3}$	$2,56 \cdot 10^{-5}$
Изменение климата	$1,07 \cdot 10^{-2}$	$8,71 \cdot 10^{-3}$	$1,75 \cdot 10^{-1}$	$2,16 \cdot 10^{-3}$	$8,50 \cdot 10^{-4}$
Итого по категории ущерба здоровью человека	–	$4,80 \cdot 10^{-2}$	$2,22 \cdot 10^{-1}$	$2,93 \cdot 10^{-2}$	$7,91 \cdot 10^{-3}$
Итого по категории ущерба ресурсам	$8,26 \cdot 10^3$	$1,53 \cdot 10^{-2}$	$7,36 \cdot 10^{-2}$	$6,69 \cdot 10^{-3}$	$6,54 \cdot 10^{-5}$

В методике Экоиндикатор–99 приняты следующие стандартные коэффициенты взвешивания для категорий ущерба: здоровью человека – 400; экосистемам – 400; ресурсам – 200. Поскольку в данной работе ущерб экосистемам не рассматривается, то для выбранных категорий были установлены следующие коэффициенты взвешивания: для категории ущерба здоровью человека – 665, для категории ущерба ресурсам – 335.

Результаты взвешивания и расчета значений экоиндикатора для различных вариантов использования отработанного катализатора представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты взвешивания и расчета значений экоиндикатора

Категория воздействия	Вариант использования ОКК			
	получение сорбента	получение асфальтобетонной смеси	получение концентрата РЗЭ и сорбента	размещение на полигоне
Канцерогенные эффекты	17,82	13,55	9,19	3,45
Респираторные эффекты (органические)	6,33	4,70	3,27	1,23
Респираторные эффекты (неорганические)	1,95	12,86	5,59	0,02
Изменение климата	5,79	116,24	1,44	0,57
Итого по категории ущерба здоровью человека	31,90	147,34	19,49	5,26
Итого по категории ущерба ресурсам	5,12	24,65	2,24	0,02
Значение экоиндикатора	37,02	172,00	21,73	5,28

Применение методики ОЖЦ для сравнения вариантов использования отработанного катализатора крекинга углеводородов нефти показало, что наименьшее значение экоиндикатора соответствует варианту размещения отработанного катализатора на полигоне. Однако следует подчеркнуть, что в данном сравнении не были учтены данные о количестве земельных ресурсов, изымаемых для размещения отработанного катализатора.

Кроме того, необходимо отметить, что из вариантов использования, предусматривающих получение полезной продукции, наилучшей характеристикой обладает комплексная переработка отработанного катализатора.

Таким образом, оценка жизненного цикла позволяет определить количественные экологические показатели продукции или услуги по ее производству, которые характеризуют возможные последствия по таким категориям воздействия, как здоровье человека, состояние экосистем, а также истощение природных ресурсов, а также обосновать выбор наилучшей технологии при сравнении альтернативных вариантов.

Список литературы

1. СТБ ИСО 14042–2003. Управление окружающей средой. Оценка жизненного цикла. Оценка воздействия жизненного цикла. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2003. – 20 с.
2. Доронин В.П. Химический дизайн катализаторов крекинга // Российский химический журнал. 2007. Т. LI. № 4. – С. 23–28.
3. Козловская И.Ю., Марцуль В.Н. Исследование свойств отработанного катализатора крекинга углеводородов нефти // Вестн. ВГТУ. 2010. Вып. 19. – С. 128–133.
4. Козловская И.Ю., Марцуль В.Н. Кислотное выщелачивание редкоземельных элементов из отработанного катализатора крекинга углеводородов

нефти // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорганич. в-в. 2011. Вып. XIX. – С. 75–78.

5. Козловская И.Ю., Марцуль В.Н. Свойства отработанного катализатора каталитического крекинга и возможности его применения для сорбционной очистки сточных вод // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорганич. в-в. 2010. Вып. XVIII. – С. 127–130.

6. Козловская И.Ю., Марцуль В.Н., Копыльцова С.Е. Оценка воздействия на окружающую среду процессов переработки отработанного катализатора на основе инвентаризационного анализа жизненного цикла // Материалы Междунар. научно-техн. конференции «Новые технологии рециклинга отходов производства и потребления». – Минск: БГТУ, 2011. – С. 72–76.

7. Кубасов А.А. Цеолиты в катализе: сегодня и завтра // Соросовский образовательный журнал. 2000. № 6. – С. 44–51.

8. Магарил Р.З. Теоретические основы химических процессов переработки нефти: Учеб. пособ. – М.: КДУ, 2008. – 280 с.

9. Мановян А.К. Технология переработки природных энергоносителей. – М.: Химия, КолосС, 2004. – 456 с.

10. Al-Dhamri, H. Melghit, K. Use of alumina spent catalyst and RFCC wastes from petroleum refinery to substitute bauxite in the preparation of portland clinker // J. of Hazardous Materials. 2010. № 179. – P. 852–859.

11. Goedkoop, M. The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Manual for designers / M. Goedkoop, S. Effting, M. Collgnon. – Amersfoort: PRe Consultants, 2000. – 34 p.

12. Goedkoop, M. The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology report / M. Goedkoop, R. Spriensma. – Amersfoort: PRe Consultants, 2000. – 132 p.

13. Marafi, M. Handbook of Spent Hydroprocessing Catalysts / M. Marafi, A. Stanislaus, E. Furimsky. – Elsevier, 2010. – 348 p.

14. Pennington, D.W. Life cycle assessment. Part 2: Current impact assessment practice / D.W. Pennington, J. Potting, G. Finnveden, R. Frischknecht // Environmental International. 2004. № 30. – P. 721–739.

15. Rebitzer, G. Life cycle assessment. Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications / G. Rebitzer, T. Ekvall, R. Frischknecht // Environmental International. 2004. № 30. – P. 701–720.

16. Recycling of waste spent catalyst in road construction and masonry blocks / R. Tahaa [et al.] // J. of Hazardous Materials. 2012. № 203. – P. 765–769.

Determination of environmental indicators of different recycling options for spent-catalyst of petroleum hydrocarbons cracking based on life cycle assessment

Kazlouskaya I.Yu., Krukovich N.Yu., Martsul V.N.

Belarusian State Technological University

Kopyltsova S.E.

Institute of Refrigeration and Biotechnology

The article discusses the application of life cycle assessment (LCA) to determine the environmental indicators of different recycling options for spent - catalyst of petroleum hydrocarbons cracking, the formation of which is a problem for refineries. It is shown that at the present time in Belarus, Russia and other CIS countries there is a lack of effective tool for determining the environmental indicators of products (services), while in the international practices it is a life cycle assessment. The specific features of the LCA methodology and specialized techniques are discussed. The results of the LCA for determining the best technology of spent-catalyst recycling are shown.

Keywords: spent-catalyst of petroleum hydrocarbons cracking, utilization recycling options for spent-catalyst, life cycle assessment, impact category, eco-indicator.