

Оценка перспектив формирования экотехнопарка в Нижнекамском промышленном узле

© 2022. И. О. Тихонова¹, к. т. н., доцент, Е. М. Данилова¹, магистрант,
В. А. Марьев², советник администрации, Е. М. Аверочкин², к. т. н., г. н. с.,
¹Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,
125047, Россия, г. Москва, Миусская площадь, д. 9,
²Научно-исследовательский институт
«Центр экологической промышленной политики»,
141006, Россия, г. Мытищи, Олимпийский проспект, д. 42,
e-mail: iriti-may@yandex.ru

Рассмотрены различные группы производственных отходов, образующихся в Нижнекамском промышленном узле. Обсуждены требования к созданию экотехнопарков и представлена типовая схема принятия решений об их формировании. Выделены две группы отходов, характерных для рассматриваемого промышленного узла: мало-тоннажные (менее 500 т/год) и крупнотоннажные (более 500 т/год). При анализе количественных показателей образования отходов выделены альтернативные варианты обращения с ними. Проанализировано распределение крупнотоннажных отходов по группам для утилизации в экотехнопарке. Первоочередное внимание уделено крупнотоннажным нефтесодержащим отходам, отходам резинотехнических изделий и шин, а также отходам отработанных масел. Рассмотрены варианты утилизации отходов как вторичных энергетических ресурсов, так и вторичных материальных ресурсов – предпочтительных для экономики замкнутого цикла. Показано, что оптимальным с финансовой и экологической точек зрения является вариант организации в Нижнекамском промышленном узле экотехнопарка для вовлечения вторичных ресурсов в хозяйственный оборот, производства товаров с применением промышленных отходов и формирования потоков вещества, характерных для экономики замкнутого цикла.

Ключевые слова: экотехнопарк, вторичные ресурсы, промышленные отходы, экономика замкнутого цикла, утилизация, пиролиз.

Evaluating perspectives for the forming an eco-industrial park in the Nizhnekamsk industrial hub

© 2022. I. O. Tikhonova¹ ORCID: 0000-0002-7156-1660, E. M. Danilova¹ ORCID: 0000-0003-3869-6077,
V. A. Maryev² ORCID: 0000-0002-1086-0261, E. M. Averochnik² ORCID: 0000-0003-1758-6434,
¹Mendeleev University of Chemical Technology of Russia,
9, Miusskaya Square, Moscow, Russia, 125047,
²Research Institute “Environmental Industrial Policy Centre”,
42, Olimpiyskiy Prospekt, Mytishchi, Russia, 141006,
e-mail: iriti-may@yandex.ru

Various types of industrial wastes formed in the Nizhnekamsk industrial hub are considered. Requirements to the development of eco-industrial parks are discussed, and a typical scheme for making decisions concerning setting such parks is suggested. Two types of wastes characteristic for the considered industrial hub are identified, namely: low-tonnage (less than 500 tons per year) and large-tonnage (over 500 tons per year). While assessing qualitative characteristics of waste formation, alternative waste management ways are recognized. The priority attention is paid to petroleum-containing wastes, wastes of rubber technical goods and tires, as well as spent oil wastes. Options for waste processing are considered – of both secondary energy resources and secondary material resources, which are preferable for a circular economy. The following methods of waste processing have been selected: pyrolysis for petroleum-containing wastes; production of rubber crumb and bitumen-rubber composition – for wastes of rubber technical goods and tires; production of refined technical oils for spent oil wastes. Based on the results of the consolidated financial assessment, authors suggest the most feasible solution, namely: the technological scheme with the production of 3 products – rubber crumb, bitumen-rubber composition and refined technical oils. It is evident, that at the initial stage, this solution requires investment in capital equipment. The least expensive is the technological scheme with obtaining only purified oil, when other wastes are pyrolyzed. Although this scheme is expected to be less profitable, the authors believe that this scheme should be se-

lected at the first stage of organizing an eco-industrial park. It is demonstrated that in the Nizhnekamsk industrial hub, it would be financially and environmentally optimal developing an eco-industrial park for applying secondary resources in the economic cycle, producing goods using industrial wastes and forming material flows typical for circular economy.

Keywords: eco-industrial park, secondary resources, industrial waste, recycling, circular economy, utilization, pyrolysis.

Одной из целей социально-экономического развития Российской Федерации (РФ), утверждённых Распоряжением Правительства РФ от 06.10.2021 № 2816-р, является переход к экономике замкнутого цикла и создание условий для минимизации образования отходов и вовлечения их полезных фракций во вторичный оборот. В связи с этим всё больший интерес практиков привлекают перспективы формирования экотехнопарков как центров применения передовой практики и технологий при утилизации промышленных отходов.

В соответствии с методическими рекомендациями, проект которых был разработан экспертами Научно-исследовательского института «Центр экологической промышленной политики» [1], при создании экотехнопарков должны соблюдаться следующие требования.

1. Участие предприятий, занятых в сфере обращения с отходами. Не менее 75% выручки промышленных предприятий экотехнопарка должно генерироваться от предприятий по обработке, утилизации, обезвреживанию отходов и предприятий, выпускающих продукцию или предоставляющих услуги с использованием вторичных ресурсов.

2. Наличие управляющей структуры, среднесрочной (на период от 3 до 6 лет) и долгосрочной (на период более 6 лет) программ развития экотехнопарка.

3. Производство на территории экотехнопарка продукции из отходов и вторичных ресурсов – массовая доля отходов и вторичных ресурсов в общем объёме сырья более 50%.

4. Развитие обмена материальными и (или) энергетическими потоками, первоначальным источником сырья для которых служат отходы и вторичные ресурсы (не менее трёх обменов).

5. Использование энергосберегающих технологий.

6. Эффективное использование водных ресурсов.

Необходимыми предпосылками для успешного функционирования экотехнопарка являются [2]:

- достаточный и стабильный поток отходов и вторичных ресурсов на входе;

- использование эффективных технологий, в первую очередь, наилучших доступных технологий (НДТ) обработки, утилизации, обезвреживания отходов и переработки вторичных ресурсов;

- наличие спроса на продукты производства и услуги экотехнопарка;

- реализация эффективных процессов взаимодействия между участниками экотехнопарка;

- реализация межрегионального и межотраслевого сотрудничества в сфере управления отходами и вторичными ресурсами.

Создание и развитие экотехнопарков должно осуществляться с учётом Стратегии пространственного развития РФ, территориальных схем обращения с отходами, схем территориального планирования различных уровней.

В общем виде схема принятия решения о создании экотехнопарка, представленная



Рис. 1. Схема принятия решения о создании экотехнопарка
 Fig. 1. Scheme for making a decision on the development an eco-industrial park

на рисунке 1 и описанная ниже, состоит из нескольких этапов.

Вначале проводится анализ существующей ситуации в области обращения с отходами и перспектив её развития (источники образования, виды и количество образующихся и накопленных к настоящему времени отходов, прогнозируемые объёмы образования отходов); затем проводится анализ возможности обработки, утилизации, обезвреживания отходов (существующие и планируемые к реализации объекты по обращению с отходами, определение и выбор необходимых инфраструктурных объектов).

В случае необходимости создания новых объектов по обращению с отходами следует выполнить анализ функционального зонирования территории, поиск пригодных мест для размещения объектов по обращению с отходами, оценку потребностей в развитии инфраструктурных объектов.

Далее организуются маркетинговые исследования и прогнозирование востребованности продукции, услуг экотехнопарка; осуществляется также выбор оптимальной организационной формы экотехнопарка и потенциальных участников.

При формировании концепции создания экотехнопарка предлагаемый научно-методологический подход включает следующие пять этапов [3]:

1) анализ текущей ситуации в сфере обращения с отходами в регионе;

2) оценка потребности в инфраструктуре по обращению с отходами и вторичными ресурсами;

3) оценка «движения» потоков отходов; формирование стратегии организации промышленных кооперативных связей;

4) разработка объектного состава экотехнопарка и вариантов технологических решений;

5) оценка эффективности экотехнопарка (экологическая, экономическая, социальная).

Помимо учёта среднего прогнозируемого уровня потоков материальных ресурсов, направляемых в экотехнопарк, необходимо предусмотреть перспективное расширение проектной мощности в дальнейшем с учётом потенциального увеличения внутреннего потока отходов в будущем, в том числе за счёт межрегионального взаимодействия, ликвидации объектов накопленного экологического вреда.

В России уже рассматривается вопрос о внедрении единой методики введения промышленного «симбиоза» как новой экосистемы.

Мировая практика показывает, что создание подобных производственных союзов благотворно влияет не только на окружающую среду, но и на экономические показатели компаний [4]. Основной задачей в выборе технологических решений для экотехнопарков является обеспечение возможности организации технологических цепочек из отдельных технологических решений, которые способствуют увеличению взаимовыгодных взаимодействий участников экотехнопарка в целях наиболее полной утилизации отходов и переработке вторичных ресурсов, снижения экологического ущерба и сокращения объёмов использования природных ресурсов [5].

Целью настоящего исследования была оценка потенциала организации единой площадки для утилизации промышленных отходов с получением вторичной продукции.

Объекты и методы исследования

В настоящее время в РФ решается задача по созданию экотехнопарков в составе производственно-технического комплекса (ПТК) в соответствии с современными требованиями к обращению с отходами I–II классов опасности [6]. Однако представляется важной и оценка перспектив создания экотехнопарка для утилизации промышленных отходов III–V классов опасности, которые не входят в зону ответственности ФГУП «Федеральный экологический оператор» («ФЭО») Госкорпорации «Росатом».

Для ситуационного исследования был выбран Нижнекамский промышленный узел, который включает в себя 6 предприятий, расположенных в единой промзоне г. Нижнекамска (рис. 2): АО «Танеко»; АО «Нижнекамский механический завод»; ПАО «Нижнекамскшина»; АО «Нижнекамсктехуглерод»; ОАО «ТАИФ-НК»; ПАО «Нижнекамскнефтехим».

Значимой экологической проблемой Нижнекамского промузла является рост образования промышленных отходов. По данным формы федерального статистического наблюдения № 2-ТП (отходы), ежегодно в результате хозяйственной деятельности промышленных предприятий района образуется 133 вида промышленных отходов массой более 140 тыс. т, из которых, по данным анализа отчётности предприятий, не более 12% подвергается утилизации и обезвреживанию с применением химико-технологических процессов. Однако именно сходность образующихся отходов позволяет объединить потоки однотипных отхо-



Рис. 2. Карта Нижнекамского промышленного узла
 Fig. 2. The Nizhnekamsk industrial hub map

дов и организовать утилизацию укрупнённых потоков отходов.

Ситуационное исследование было проведено с использованием метода SWOT-анализа (оценка внешних факторов, влияющих на предприятие – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности), Threats (угрозы)), который позволил обобщить данные по потокам отходов; сформулировать возможности для создания экотехнопарка с учётом внешней среды (наличия предприятий-утилизаторов); разработать программу стратегических действий для создания и развития экотехнопарка [7].

Результаты и обсуждение

Согласно данным статистической отчётности, наибольшее количество отходов, образующихся в Нижнекамском промышленном узле, приходится на нефтесодержащие отходы

(НСО), отходы резинотехнических изделий (РТИ) и шин, наименьшее – на отходы стекла, а если рассматривать по классам опасности для окружающей среды – наибольшее количество приходится на отходы IV (75275,95 т/год) и V классов опасности (60730,94 т/год).

Малотоннажные промышленные отходы с массой образования менее 500 т/год (рис. 3) предлагается не утилизировать на первоначальном этапе создания экотехнопарка ввиду разнообразия групп и сложности разнонаправленной возможной утилизации, и направить на существующие предприятия-утилизаторы. После введения в эксплуатацию мощностей по утилизации крупнотоннажных отходов, рассмотренных ниже, возможно расширение перечня утилизируемых отходов, в том числе малотоннажных.

Создание экотехнопарка планируется именно для обращения с крупнотоннажными промышленными отходами (рис. 4), которые предполагается оставить для утилизации

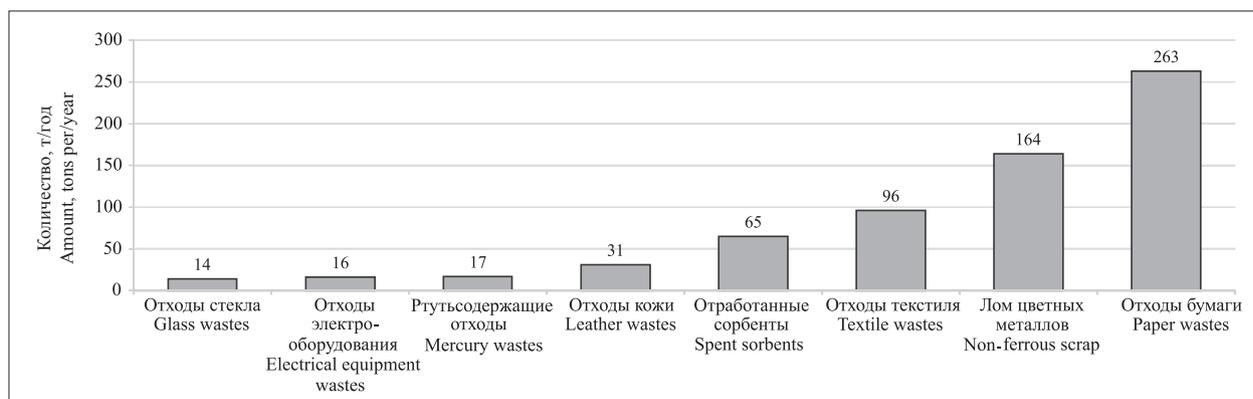


Рис. 3. Распределение малотоннажных отходов по группам, т/год
 Fig. 3. Distribution of low-tonnage wastes by groups, tons per year

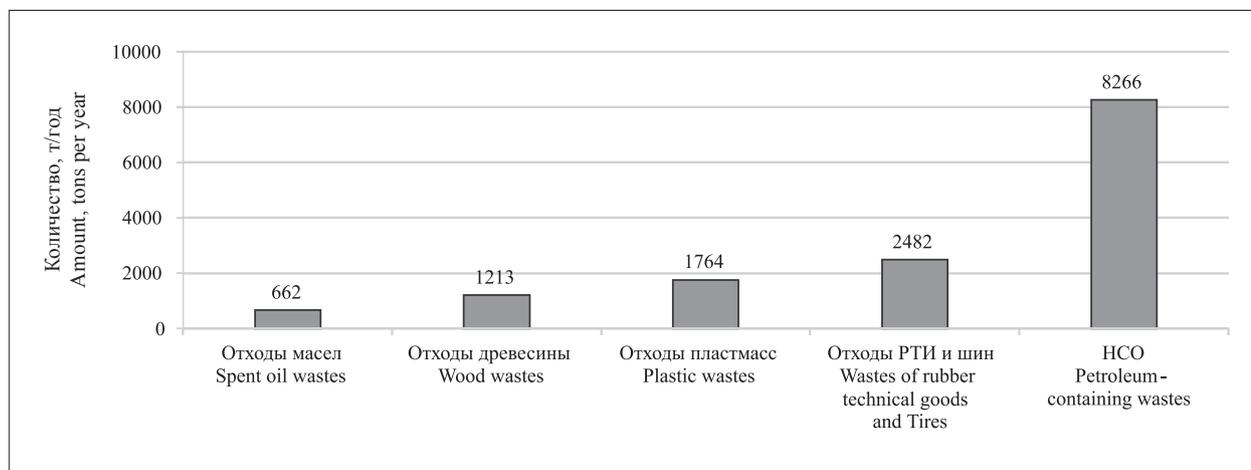


Рис. 4. Распределение крупнотоннажных отходов по группам для утилизации в экотехнопарке, т/год
Fig. 4. Distribution of large-tonnage wastes by groups for recycling in the eco-industrial park, tons per year

в проектируемом экотехнопарке. На первом этапе авторами выделены 3 группы отходов: 1) отходы РТИ и шин; 2) НСО; 3) отходы отработанных масел.

При анализе потенциальных технологий утилизации указанных отходов авторы рассматривали их, в первую очередь, в парадигме экономики замкнутого цикла – как обращение с вторичными материальными ресурсами с получением новых продуктов, а уже во вторую очередь – как обращение со вторичными энергетическими ресурсами. Также были учтены рекомендации в части НДТ для обращения с отходами, указанные в информационно-технических справочниках по НДТ, в том числе экономические аспекты – из широкого перечня предлагаемых технологий утилизации отходов выбор делался с учётом потенциальных затрат. Именно поэтому, как бы ни хотелось получить продукцию, на начальном этапе формирования экотехнопарка НСО предлагается направлять на термическую утилизацию.

Нефтедержащие отходы, образующиеся в Нижнекамском промышленном узле, представлены 6 видами отходов массой 8266 т/год. Основное количество НСО относится к III классу опасности «смеси нефтепродуктов прочие, извлекаемые из очистных сооружений нефтедержащих вод, содержащие нефтепродукты более 70%» (код по ФККО 40635011323). Выбор направления рациональной утилизации указанных НСО был основан на рекомендациях ГОСТ Р 57703-2017 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Ликвидация отработанных нефтепродуктов», после чего, исходя из физико-химических свойств отхода, были предложены два перспективных варианта:

1) Термическая утилизация методом пиролиза – использование в качестве вторичного энергетического ресурса [8].

2) Утилизация с получением вторичного материального ресурса (полезного продукта) путём восстановления первоначальных свойств НСО с получением полезного продукта – бензиновых и дизельных фракций для дальнейшего использования [9].

Поскольку НСО представлены смесью нефтепродуктов, разделение которых на фракции представляется избыточно затратным мероприятием, было принято решение о термической утилизации методом пиролиза.

Размещение на полигонах отходов РТИ и шин, в состав которых входят полезные компоненты, с 1 января 2019 г. запрещено согласно распоряжению Правительства РФ от 25.07.2017 г. № 1589-р, поэтому проблема их утилизации является чрезвычайно актуальной.

Отходы РТИ и шин, образующиеся в Нижнекамском промышленном узле, представлены 6 видами отходов общей массой 2481 т/год. Основное количество отходов РТИ и шин относится к V классу опасности – отход «обрезки вулканизированной резины» (код по ФККО 33115102205) и отход «резинометаллические изделия отработанные незагрязнённые» (код по ФККО 43130001525). Авторами была проведена оценка применимости для проектируемого экотехнопарка различных методов утилизации указанных отходов, рассмотренных подробнее ниже.

1) Термическая утилизация – использование в качестве вторичного энергетического ресурса на цементном предприятии. Применение альтернативного топлива в цементном производстве приводит к снижению суммар-

ных выбросов загрязняющих веществ на 7,4%, но, в первую очередь, позволяет заместить количество потребляемого топлива на 42% [10].

2) Однако, рассматривая утилизацию с позиций экономики замкнутого цикла, предпочтительным способом обращения является утилизация с получением вторичного материального ресурса/полезного продукта.

Механические методы обращения с отходами РТИ и шин с получением резиновой крошки давно известны [11, 12]. Несмотря на доступность готового материала, высокие прочностные характеристики, у резиновой крошки есть недостатки: перенасыщенность рынка данным видом продукции; высокая стоимость в сравнении с другими продуктами утилизации РТИ и шин. В качестве узла переработки РТИ и шин в Нижнекамском промузле можно использовать уже имеющуюся на ПАО «Нижнекамскшина» установку фирмы «Андритц-Рутнер», производительность которой составляет 5000 т/год, что закрывает существующие потребности в утилизации отходов РТИ и шин, образованных на близлежащих предприятиях.

Перспективным представляется утилизация с получением более сложного продукта с большей добавочной стоимостью, например, битумно-резиновой мастики [13]. По оценкам авторов, масса отходов, годных для производства мастики в рамках Нижнекамского промышленного узла, составляет около 500 т/год.

Отходы отработанных масел, образующиеся в Нижнекамском промышленном узле, представлены 11 видами общей массой 622 т/год. При планировании утилизации отходов отработанных масел желательно организовать отдельный сбор отходов масел с разделением по группам в соответствии с рекомендациями ГОСТ 21046-2015 «Нефтепродукты отработанные. Общие технические условия». Основное количество отработанных масел в Нижнекамском промышленном узле приходится на отходы минеральных масел трансмиссионных (код по ФККО 40615001313), промышленных (код по ФККО 40613001313), трансформаторных (код по ФККО 40614001313) и компрессорных масел (код по ФККО 40616601313). Утилизация этих отходов также возможна по двум вариантам:

1) Термическая утилизация – использование в качестве вторичного энергетического ресурса – сжигание либо пиролиз отработанных масел.

Однако данный способ не можем рекомендовать для проектируемого экотехнопарка, так

как в рамках экономики замкнутого цикла предпочтение отдаётся методам, позволяющим возвращать отходы в производственный цикл.

2) Утилизация – регенерация масел как вторичного материального ресурса.

Основными направлениями утилизации отдельно собранных отработанных масел могут быть либо очистка отработанных масел с полным или частичным восстановлением показателей отработанных масел до требований нормативной технической документации; либо получение базового масла из отработанных масел определённых групп.

Вышеуказанные пути направления утилизации можно осуществить при помощи очистки отработанных масел. По данной тематике был проведён патентный поиск, по результатам которого предлагается очистка отработанных масел при помощи трёхстадийной фильтрации [14, 15].

В рамках предложенной стратегии формирования экотехнопарка авторами были оценены финансово-экономические обоснования для трёх вариантов утилизации крупнотоннажных отходов:

1. Пиролиз отработанных масел и НСО. Получение резиновой крошки, изготовление битумно-резиновой мастики.

2. Пиролиз НСО, отходов РТИ и шин. Получение очищенного масла.

3. Пиролиз НСО. Получение резиновой крошки, изготовление битумно-резиновой мастики, получение очищенного масла.

Наиболее затратным в части инвестиций представляется третий вариант, где необходимо приобретение наибольшего количества оборудования: установка смешивающая для получения мастики, установка пиролиза, установка регенерации отработанного масла. Однако этот вариант предполагает выход на рынок с тремя видами продукции, что потенциально принесёт наибольшую прибыль.

Наименее затратным представляется второй вариант, где необходимо приобретение установки пиролиза и установки регенерации отработанного масла. Несмотря на меньшую прогнозируемую прибыль в сравнении с другими вариантами, полагаем, что на первом этапе организации экотехнопарка следует остановиться именно на данном варианте.

Заключение

При проведении ситуационного исследования выполнена качественная и количественная оценка отходов производства

и потребления предприятий, входящих в состав Нижнекамского промышленного узла. Выделены две группы отходов: малотоннажные (менее 500 т/год) и крупнотоннажные (более 500 т/год). На первом этапе формирования экотехнопарка предлагается малотоннажные отходы различных групп передавать лицензированным предприятиям-утилизаторам в этом же регионе.

В проектируемом экотехнопарке предлагается утилизировать крупнотоннажные нефтесодержащие отходы, отходы резинотехнических изделий и шин, а также отходы отработанных масел с получением новой продукции.

Предложены три варианта организации экотехнопарка, включающие пиролиз нефтесодержащих отходов, а также получение битумно-резиновой мастики и переработанных масел. Согласно выполненным укрупнённым финансово-экономическим обоснованиям предложен наименее затратный вариант для начального этапа организации, а также для дальнейшего развития экотехнопарка – вариант с наибольшей степенью утилизации отходов и получением вторичной продукции.

References

1. Skobelev D.O., Maryev V.A., Potapov G.G., Shubov L.Ya., Doronkina I.G. The creation of ecotecnoparks is the rational way to develop branch of industry of complex waste and recyclable materials treatment and utilization // *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*. 2018. No. 2 (102). P. 7–21 (in Russian).
2. Implementation handbook for eco-industrial parks [Internet resource] https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-10/UNIDO%20Eco-Industrial%20Park%20Handbook_English.pdf (Accessed: 20.09.2022).
3. Shubov L.Ya., Skobelev K.D., Zagorskaia D.A. Formation of an interregional eco-industrial park as an exemplary pilot project to achieve economic sustainable development goals // *Ekonomika ustoychivogo razvitiya*. 2020. No. 3 (43). P. 116–122 (in Russian).
4. Gorokhova A.E., Titova N.Y., Chudaev E.Y. Model of the waste management ecosystem in the Russian Federation // *Fundamentalnye issledovaniya*. 2021. No. 12. P. 105–111 (in Russian). doi: 10.17513/fr.43161
5. Skobelev D.O., Shubov L.Ya. Recycling of industrial waste – the direction of implementation of environmental industrial policy // *Ekologicheskie sistemy i pribory*. 2020. No. 1. P. 27–41 (in Russian).
6. Petrova A.S. New conditions for handling wastes of I–II hazard classes. Prospects for business and government // *Theoretical and Applied Ecology*. 2021. No. 4. P. 203–209 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4304-2021-4-203-209
7. Neves A., Godina R., Azevedo S.G., Pimentel C., Matias J.C.O. The potential of industrial symbiosis: case analysis and main drivers and barriers to its implementation // *Sustainability*. 2019. V. 11. No. 24. Article No. 7095. doi: 10.3390/su11247095
8. Yakovlev S.I. Ecotecnopark creation with wasteless utilization of oil-containing waste and receiving technical soil and boiler (furnace) fuels // *Ekologicheskii vestnik Rossii*. 2020. No. 4. P. 18–20 (in Russian).
9. Dem'yanov S.V., Gol'dberg Yu.M., Ermakov A.N., Gorlov E.G., Bochaver K.Z., Moroz I.V. Method for processing heavy petroleum residues // Patent RU 2237700. Application: 02.09.2003. Date of publication: 10.10.2004 (in Russian).
10. Heidelbergcement in Russia. Cement [Internet resource] <https://www.heidelbergcement.ru> (Accessed: 21.09.2022).
11. Mirmov I.N. Method and equipment for recycling rubber containing wastes // Patent RU 2683746. Application: 2018105506, 14.02.2018. Date of publication: 01.04.2019 (in Russian).
12. Klishchenko V.P. Method for mechanical crushing of rubber and apparatus for its application // Patent RU 2239555. Application: 2002114528/12, 03.06.2002. Date of publication: 10.11.2004 (in Russian).
13. Maryev V.A., Nemcev V.A., Chernov O.N., Rudenskiy A.V. Bituminous-rubber and method for its obtainment // Patent RU 2223990. Application: 2002102189/04, 29.01.2002. Date of publication: 20.02.2004 (in Russian).
14. Popov Yu.V., Ledenev S.M., Mednikov E.V., Fomina I.V., Godenko A.E., Hromov N.P., Bibin E.A. Method for recycling used transformer oils // Patent RU 2394878. Application: 2008325569, 22.12.2008. Date of publication: 20.07.2010 (in Russian).
15. Garanin E.M. Method for recycling used motor oil and apparatus for its implementation // Patent RU 2333933C2. Application: 2006135572/04, 10.10.2006. Date of publication: 20.09.2008 (in Russian).