



Методы комплексной оценки и мониторинга отходообразующих процессов коммунальной и транспортной инфраструктуры городских округов

© Э.С. Цховребов¹, У.Д. Ниязгулов²

¹Академия безопасности и специальных программ, г. Москва, Россия

²Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Россия

Резюме: Цель работы заключается в формировании научно-методических подходов к созданию комплексной оценки и мониторингу отходообразующих процессов и инженерно-технических систем объектов городского хозяйства сферы коммунального, строительного, транспортного комплекса для снижения их негативного воздействия на окружающую среду и здоровье населения, расширения возможностей организации раздельного сбора, повторного использования ресурсного потенциала отходов. Проведенное исследование базируется на применении комплекса логико-аналитических научно-исследовательских методов. Обобщены и систематизированы материалы исследований по проблемам безопасного обращения с ресурсной составляющей отходов в строительном и коммунальном комплексе, инвентаризации и мониторинга источников образования отходов, приведены результаты собственных исследований в области идентификации отходообразующих процессов. Предложена новая методика комплексной оценки и мониторинга отходообразующих процессов и инженерно-технических систем на транспорте, в строительстве и коммунальном хозяйстве. Основное принципиальное отличие данной методики от известных аналогичных документов – это направленность на исследование не опасных отходов, а их ресурсного потенциала, полезных востребованных свойств в экономическом цикле, их движения и обращения. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости формирования единой целостной системы идентификации и мониторинга отходообразующих технологических процессов, инженерных систем, технических средств комплекса городского хозяйства муниципальных образований, раздельного сбора и переработки отходов во вторичное сырье, что обеспечит как экологическую безопасность и благоприятные условия жизнедеятельности населенных территорий, так и сохранение ценных природных ресурсов.

Ключевые слова: обращение с отходами, ресурсосбережение, экологическая безопасность, информационное обеспечение, вторичные ресурсы, мониторинг отходов, строительство и городское хозяйство, транспортный комплекс, геоинформационные методы

Для цитирования: Цховребов Э.С., Ниязгулов У.Д. Методы комплексной оценки и мониторинга отходообразующих процессов коммунальной и транспортной инфраструктуры городских округов. *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2021. Т. 11. № 2. С. 290–301. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-2-290-301>

Methods for comprehensive assessment and monitoring of waste-generation processes associated with the municipal and transport infrastructure of urban districts

Eduard S. Tshovrebov, Ural D. Niyazgulov

Academy of safety and special programs, Moscow, Russia

Russian university of transport (MIIT), Moscow, Russia

Abstract: The study aims to establish scientific-methodological approaches to a comprehensive assessment and monitoring of waste-generating processes and engineering facilities of municipal engineering and public services in communal, construction, transport complexes to reduce their negative impact on the environment and public health, expand the separate waste collection, recycling of the waste resource potential. The study is based on the application of a set of logical and analytical research methods. We reviewed and generalised publications on the problems associated with safe handling of the waste resource constituent in the construction and municipal complex, inventory checking

and monitoring sources of waste generation. Our research results in the field of identification of waste-generating processes are presented. A new methodology for the comprehensive assessment and monitoring of waste-generating processes and engineering facilities in transport, construction and municipal engineering is proposed. The fundamental difference of this technique from the known documents is the focus on the resource potential of hazardous waste, its useful properties desirable in the economic cycle, their movement and circulation. The results indicate that a single integrated system is required to identify and monitor waste generation in technological processes, engineering systems, facilities of complex municipal engineering entities, separate waste collection and processing into salvageable commodities. These measures will ensure environmental security, favourable living conditions in populated areas and preservation of valuable natural resources.

Keywords: reference with a waste, savings of resources, ecological safety, maintenance of information, secondary resources, monitoring of a waste, building and a municipal services, transport complex, geoinformation methods

For citation: Tshovrebov ES, Niyazgulov UD. Methods for comprehensive assessment and monitoring of waste-generation processes associated with the municipal and transport infrastructure of urban districts. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2021;11(2):290-301 (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-2-290-301>

Введение

Проблемы обращения с отходами производства и потребления, обеспечения экологической безопасности территорий, ресурсосбережения и вовлечения вторичных ресурсов в хозяйственный оборот представляются особенно актуальными в эпоху дефицита природных ресурсов, всевозрастающего воздействия токсичных отходов на окружающую среду [1, 2].

Однако, масштабы и уровень использования различных видов отходов характеризуются значительной неравномерностью и зависят от востребованности и качества получаемого из них вторичного сырья, ресурсной ценности отходов, экологической ситуации, возникающей в связи с обращением с ними как с загрязнителями окружающей среды, от реальных экономических условий, определяющих рентабельность каждого конкретного вида хозяйственной деятельности, использующего вторичные ресурсы для изготовления продукции, выполнения работ, оказания услуг, производства энергии [3–6].

С учетом современных актуальных общемировых тенденций, вызовов, рисков на первый план выходит организация деятельности по идентификации, инвентаризации, мониторингу, комплексному исследованию источников образования отходов – инженерных систем, технических средств, оборудования, процессов производства работ, потребления продукции, сырья, материалов.

Своевременное и полное выявление, фиксирование, учет источников экологической опасности служат эффективным пре-

вентивным методом предупреждения их негативного воздействия на окружающую среду и здоровье людей, позволяют локализовать антропогенные объекты в виде образующихся отходов посредством их перевода во вторичное сырье еще на ранних этапах и стадиях обращения – в источниках образования в результате раздельного сбора и предварительной обработки, извлечения вторичных материальных и энергетических ресурсов.

Постановка обозначенной проблемы определена, с одной стороны, её чрезвычайной актуальностью, с другой – непроработанностью как на государственном, так и на отраслевом уровнях.

Значительные проблемы в области планирования, организации и регулирования деятельности по обращению с вторичными ресурсами связаны с недостатком информации об отходах, в том числе об их составе, ресурсной ценности, возможностях производства из них товаров и других сведений.

Используемая форма федерального статистического наблюдения в области обращения с отходами производства и потребления № 2-ТП (отходы) предназначена, главным образом, для получения балансовых учетных сведений и последующего решения на их основе задач планирования природоохранной деятельности. Не осуществляется систематизация данных о движении отходов и в отраслях экономики в территориальном разрезе – по субъектам Российской Федерации, экономическим районам, промышленным кластерам. В целом по стране не обобщаются либо отсутствуют объективные данные об обработке отходов,

инфраструктуре по их утилизации и обезвреживанию, территориальном расположении таких промышленных объектов, разрознена официальная статистическая информация по показателям, характеризующим развитие данной инфраструктуры в целом, технологиям, оборудованию, машинам, агрегатам, механизмам, технике и техническим устройствам по обработке, утилизации, обезвреживанию отходов. Какие-либо полноценные достоверные показатели по образованию, движению, использованию вторичных ресурсов в масштабах России для выработки управленческих решений, регулирующего воздействия, осуществления экономической оценки обращения с вторичными ресурсами собрать и обобщить не представляется возможным.

Опасность непринятия эффективных организационно-управленческих решений в данной сфере обуславливается ежегодным ростом площадей захоронения опасных отходов на полигонах и несанкционированных свалках, а также экологического вреда и экономического ущерба в результате загрязнения природной среды [5, 7, 8].

Все это приводит, с одной стороны, к ухудшению экологической ситуации в масштабах страны и с другой – к значительному отставанию России в эффективном использовании резерва экономического роста и увеличения ВВП за счет применения в промышленном масштабе ценных вторичных ресурсов с одновременным сохранением стратегического запаса невозобновляемых полезных ископаемых, природных вод, лесного фонда.

Вместе с тем в странах ЕС, США, Японии уже не одно десятилетие созданы и успешно действуют правовые инструменты по организации эффективной системы регулирования, учета, мониторинга отходов и вторичных ресурсов, отходообразующих процессов и объектов [9–14], а также существуют экономические условия для максимального технического и технологического возможного уровня утилизации (рециклинга, рекуперации, регенерации) промышленных и бытовых отходов, вовлечения вторичных ресурсов в хозяйственную деятельность с достижением высокого уровня рентабельности производства и выпускаемой продукции из вторсырья [15–20].

Инновационным фундаментальным документом в ресурсосберегающей и отходоперерабатывающей сфере впервые за весь более чем 25-летний период развития современной России стала принятая в

2018 году Правительством Российской Федерации Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 г. В документе отраслевого стратегического планирования предусматривается создание фактически новой инфраструктуры промышленности, планируется на перспективу решение большого блока новых задач ресурсосберегающей и отходоперерабатывающей направленности, использование ценных вторичных ресурсов из образующихся отходов в масштабе всей страны как одного из резервов экономического развития.

В связи с вышеизложенным возникает актуальная проблема создания единой системы организации учета, мониторинга обращения с отходами и вторичными ресурсами, источников их образования в наиболее отходоёмких секторах: строительной, транспортной и жилищно-коммунальной сферах экономической деятельности. Такая система может стать одним из эффективных механизмов создания и развития в России инновационной высокотехнологичной инфраструктуры по обработке, утилизации, обезвреживанию отходов производства и потребления в рамках реализации принятой Правительством Российской Федерации стратегии.

Материалы и методы исследования

Материалами для проведения исследования послужили: нормативные правовые акты, документы по стандартизации, методические рекомендации, проектная и нормативно-техническая документация в области обращения с отходами, информационные данные Росстата, Росприроднадзора, материалы собственных исследований в области геоинформационного мониторинга объектов обращения с отходами, опубликованные работы ученых и специалистов по изучаемой проблематике.

Научное исследование базируется на применении комплекса научно-исследовательских методов: классификации, идентификации, квалификации, сопоставительном анализе, обобщении.

Результаты и их обсуждение

По результатам проведенных исследований, публикаций, обсуждений на международных, всероссийских конференциях, совещаниях выработаны предложения по методическому обоснованию, правоприменению понятий в рассматриваемой актуальной предметной области.

Мониторинг промышленности по обработке, утилизации, обезвреживанию отходов предлагается определять как комплексную систему непрерывного наблюдения за формированием и состоянием промышленности в данной сфере, прогнозом её перспективного развития,

включая научно обоснованный всесторонний, полноценный объективный анализ и оценку показателей.

Указанный вид мониторинга целесообразно рассматривать как один из принципов промышленной политики, осуществляемый для реализации определенной Федеральным законом «О промышленной политике в Российской Федерации» цели данной политики: формирования высокотехнологичной, конкурентоспособной промышленности, обеспечивающей переход экономики государства от экспортно-сырьевого типа развития к инновационному типу развития – и для исполнения задач промышленной политики, включая:

- стимулирование субъектов деятельности в сфере промышленности рационально и эффективно использовать материальные, природные ресурсы, обеспечивать внедрение импортозамещающих, ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий;

- создание и развитие современной промышленной инфраструктуры, инфраструктуры поддержки деятельности в сфере промышленности, соответствующих целям и задачам, определенным документами стратегического планирования на федеральном уровне.

Мониторинг объектов по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов в строительной, коммунальной и транспортной инфраструктуре служит механизмом реализации основных задач Стратегии промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года, в частности:

- формирования эффективной комплексной системы управления и регулирования в области обработки, утилизации и обезвреживания отходов производства и потребления;

- создания и расширения национальной промышленной индустрии и инфраструктуры обработки, утилизации, обезвреживания отходов производства и потребления, использования отходов в качестве вторичного сырья для производства новой продукции благодаря модернизации, техническому перевооружению существующих производственно-технических комплексов, созданию новых инновационных промышленных производств;

- создания и расширения российской промышленно-технологической базы, обеспечивающей отечественную отрасль обра-

ботки, утилизации и обезвреживания отходов современным российским высокотехнологичным, конкурентоспособным, экологически безопасным оборудованием, техникой, машинами и механизмами, обладающими высоким экспортным потенциалом;

- формирования и перспективного развития отраслевой научно-технической и информационно-аналитической инфраструктуры в сфере обработки, утилизации и обезвреживания отходов, ресурсосбережения.

По своей сути и в соответствии с принципами и приоритетами, заложенными в отходопрерабатывающую стратегию, мониторинг в данной области должен обеспечивать реализацию следующих целей:

- централизации, автоматизации, оптимизации процессов сбора, обработки информации, необходимых для обеспечения реализации промышленной политики в сфере ресурсосбережения и использования вторичных ресурсов в рамках осуществления полномочий Минпромторга России по поддержке и стимулированию деятельности по вовлечению вторичных ресурсов в хозяйственный оборот, ресурсосбережению, обработке, утилизации, обезвреживанию отходов, импортозамещению, созданию и перспективному развитию отечественной технологической и машиностроительной базы, оснащающей промышленность современным высокотехнологичным оборудованием, обладающим высоким экспортным потенциалом, а также для повышения эффективности обмена информацией о состоянии промышленности и прогнозе ее развития;

- информационно-аналитической поддержки управленческих решений в ходе формирования системы комплексного учета, регулирования обращения с промышленными отходами и вторичными ресурсами и ее последующего эффективного функционирования на федеральном и региональном уровнях.

С учетом полноценных, объективных, достоверных данных мониторинга, планирование и экономическую оценку размещения различных объектов инфраструктуры по обработке, утилизации, обезвреживанию отходов на перспективу целесообразно осуществлять, исходя из оценки и анализа следующих показателей:

- видов и количества образующихся отходов, уровня их экологической опасности;

- промышленной специфики и концентрации производства отраслей экономики;

- показателей выпуска продукции при различных сценарных условиях;

- нормативов образования отходов на единицу выпускаемой продукции;

- возможности использования отходов в качестве вторичных ресурсов;
- состояния и уровня использования существующих мощностей по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов;
- назначения и технологической оснащенности предприятий инфраструктуры промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов;
- состояния и перспектив развития объектов дорожно-транспортной инфраструктуры (автомобильных и железных дорог, депо, станций, автостанций, автовокзалов);
- экологической и санитарно-эпидемиологической ситуации;
- экономических условий (рынки сбыта продукции из вторичного сырья, уровень экономического развития отраслей и секторов экономики региона и пр.);
- темпов социально-экономического развития и других факторов.

По результатам исследования авторами подготовлена Методика комплексной оценки отходообразующих процессов и инженерно-технических систем на транспорте, в строительстве и коммунальном хозяйстве.

Она представляет собой совокупность конкретных приемов, способов, алгоритмов, средств, применяемых в ходе исследования функционирования инженерных систем, технологических процессов и операций, технических средств в качестве источников антропогенного воздействия образующихся в результате деятельности транспортных, строительных и коммунальных объектов отходов производства и потребления на окружающую среду, здоровье работающих людей и населения. Также методика предполагает последующую обработку, всестороннюю оценку и системный анализ полученных показателей, результатов в заранее определенной последовательности, подготовку обоснованных выводов и рекомендаций, их использование для достижения поставленной стратегической цели.

Основная цель предлагаемой методики состоит в достижении таких содержания, свойств, характеристик системы обращения с отходами (в качестве одной из основных систем жизнеобеспечения отрасли и населенных пунктов), которые в комплексе обеспечивают: состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности,

чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий, соблюдение благоприятных условий жизнедеятельности людей, а также природоохранных, санитарно-гигиенических и иных требований, нормативов, норм, правил, стандартов.

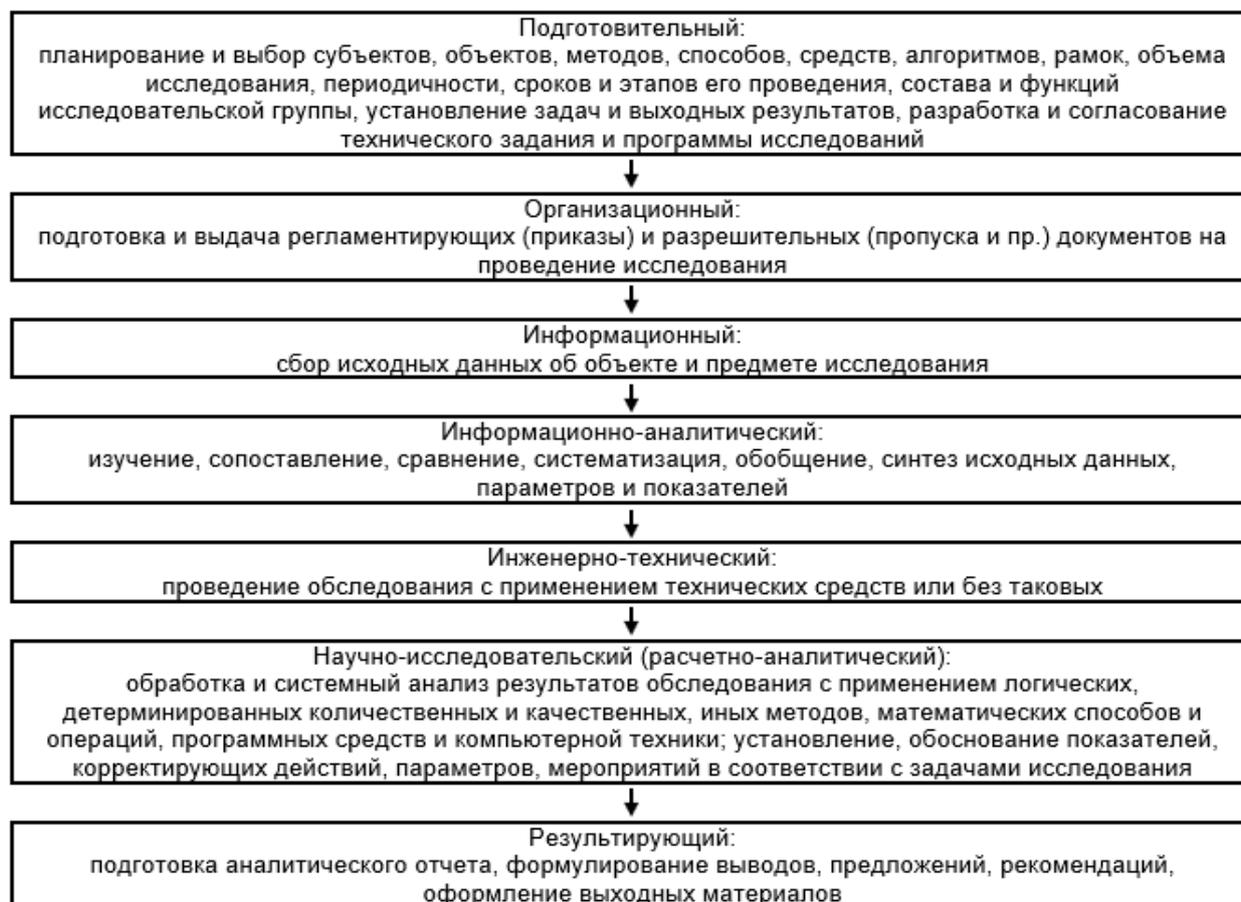
Для достижения поставленной цели задачами методики определены:

- формирование и регулирование комплексной системы исследования функционирования инженерно-технических систем как источников антропогенного воздействия отходов на окружающую среду;
- выявление, исследование и системный анализ источников, причин, условий возникновения отходов производства и потребления;
- типологизация образующихся отходов по установленным признакам;
- оценка количественных и качественных характеристик образующихся отходов, их состава, свойств, степени экологической опасности;
- установка соответствия полученных в ходе исследования фактических данных об образовании и движении отходов, осуществлении деятельности по обращению с ними данным, регламентированным в стандартах, установленным в правилах, требованиях, нормах, документированным в нормативно-технической документации хозяйствующего субъекта, отражающим количественные, качественные характеристики, показатели, свойства отходов.

Методика базируется на последовательной реализации следующих институциональных инструментов: производственном экологическом контроле, техническом регулировании, экологическом аудите, экологическом мониторинге, нормировании в области охраны окружающей среды, учете объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду.

Основные этапы исследования приведены на схеме (рисунок).

На информационном этапе исследования осуществляется тщательный подбор исчерпывающего перечня информационных источников и данных об объекте и предмете исследования с учетом взаимосвязей с различными аспектами, факторами, условиями, рисками производственно-хозяйственной деятельности, характеристиками, свойствами, особенностями функционирования инженерно-технических систем как источников образования и антропогенного воздействия отходов, взаимовлияния на другие объекты обращения с отходами, действующими ограничениями.



Основные этапы проведения исследования в рамках методики
The main stages of the research within the framework of the Methodology

В качестве основных способов и средств реализации методики на инженерно-техническом этапе исследования определены: визуальное обследование, контроль и осмотр; наземные маршрутные наблюдения; техническое освидетельствование; наблюдение и слежение с применением фиксирующих технических средств (аэро-, видео-, фотосъемка); лабораторно-инструментальные исследования; активирование; документирование; строительная, техническая экспертиза; программное расчетно-аналитическое обеспечение; компьютерное моделирование.

В рамках расчетно-аналитического обеспечения методики приводятся: макеты информационно-аналитических таблиц, различные виды моделей, логические, абстрактные схемы, математические взаимозависимости аналитических показателей, аддитивного влияния установленных факторов, параметров на изменение результирующих показателей, индексов.

В состав методики включена инновационная научно-исследовательская разработка, созданная Э.С. Цховребовым в процессе подготовки диссертации на соискание степе-

ни доктора наук: математическая модель мониторинга, регулирования экологически безопасного обращения с отходами и управления им в системе жизнеобеспечения муниципальных образований.

При разработке модели выделены наиболее опасные факторы, определяющие характерное для твердых муниципальных отходов (ТКО и строительных) механическое и химическое воздействие на компоненты природной среды. В качестве механического выступает захламление земельных, водных ресурсов твердыми кусковыми отходами без вступления их составляющих в химические реакции с компонентами окружающей среды и оказания на них физического, биологического воздействия. К таким группам отходов отнесены крупнотоннажные минеральные: инертные (незагрязненный песок, щебень, гравий, природный камень, глина, отработанные грунты, керамика, стеклобой), при определенных условиях (влажность, pH) – бой кирпича, бетонных конструкций, цементно-песчаных изделий. Маркерными показателями мониторинга негативного воздействия будут являться: s – площадь нарушенной отходами природного объекта, m – масса данных отхо-

дов, t – время негативного воздействия. Механическое загрязнение (r) характеризуется нарушением равновесного состояния природного объекта посредством размещения на площади s материальной массы отходов продолжительностью действия t .

Наиболее опасное для природной среды и здоровья людей химическое загрязнение представлено в модели показателем мощности эмиссии (ω) – массой выделенных в единицу времени с поверхности отходов твердых, газообразных, жидких опасных веществ, образующей химическое загрязнение окружающей среды с учетом свойств токсичности и реакционной способности отходов.

Целевой моделируемый показатель – минимизация антропогенного воздействия, сводимого к нулю в результате планирования и реализации системных мер обеспечения экологической безопасности. Проведенная оценка показала, что аддитивное механическое и химическое загрязнение обеспечивают более 65% исследуемых видов отходов городского хозяйства. При заданных условиях моделирования уравнение материального баланса управления системой экологически безопасного обращения с отходами формализовано в виде:

$$(\partial \tilde{\omega}(s,t) / \partial t) + (\partial \tilde{r}(s,t) / \partial s) + \alpha(s,t) = 0, \quad (1)$$

где $\tilde{\omega}(s,t)$ – эмиссия (выброс, сброс) веществ в единицу времени t (химическое загрязнение); $\tilde{r}(s,t)$ – нарушение природных объектов отходами площадью s взаимодействия с внешней средой и продолжительностью действия t (механическое загрязнение); $\alpha(s,t)$ – возмущение во внешней среде (экологическая опасность), формируемое характерными для ТКО и строительных отходов опасными свойствами: токсичностью, реакционной способностью, пожароопасностью (для горючих видов: полимерных, древесных, текстильных, макулатуры, смешанных).

Система управления процессом экологически безопасного обращения с отходами строительства и городского хозяйства заключается в минимизации, а в идеальном случае – сведении к нулю антропогенного воздействия на компоненты окружающей среды, здоровье человека и вызванных различными факторами отклонений параметров экологической опасности отходов от нормативных значений, регламентируемых нормами предельно допустимых концентраций (ПДК) содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов и рабочей зоны, водных объектах, почве, а также от установленных в нормати-

вах предельно допустимых выбросов (ПДВ) в атмосферу, допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты (НДС), от нормативов образования отходов и лимитов на их размещение.

В качестве управляющего параметра выступает распределенное внутреннее регулирование минимизации образования и размещения отходов в природной среде как превентивный фактор предупреждения экологической опасности, вызванной антропогенным воздействием отходов на окружающую среду. Руководствуясь принципом ситуационного управления системой, в целях ситуационного разрешения поставленной задачи в рассматриваемой модели акцентируется внимание не на истинных фактических значениях переменных, а на их отклонениях от нормативных допустимых значений. С учетом данного подхода они представлены в виде аддитивных функций:

$$\begin{aligned} \tilde{\omega}(s,t) &= \omega_o(s,t) + \omega(s,t); \\ \tilde{r}(s,t) &= r_o(s,t) + r(s,t); \\ \tilde{\eta}(s,t) &= \eta_o(s,t) + \eta(s,t), \end{aligned} \quad (2)$$

где $\omega_o(s,t)$, $r_o(s,t)$, $\eta_o(s,t)$ – нормативные допустимые значения эмиссии (выброса, сброса) веществ, соответствующие нормативам образования и лимитам размещения отходов, достигаемые системой регулирования, нормирования экологически безопасного обращения с отходами и управления им; $\omega(s,t)$, $r(s,t)$, $\eta(s,t)$ – соответственно, отклонения от нормативных допустимых значений эмиссии (выброса, сброса) веществ, размещения отходов, не позволяющие реализовать экологически безопасную систему регулирования, нормирования обращения с отходами и управления им, являющиеся предметом проведения экомониторинга.

Ресурсосберегающий критерий качества системы управления, регулирования и нормирования отходов системы экологически безопасного жизнеобеспечения городского округа представлен величиной отклонения от показателя максимального вовлечения ресурсной составляющей отходов в хозяйственный оборот, направленного на минимизацию массы его поступления в окружающую среду (при снижении количества размещаемых отходов (механическое загрязнение) сокращается и эмиссия опасных/токсичных веществ с поверхности отходов (химическое загрязнение)):

$$\int_{t_0}^{t_y} \int_{s_0}^{s_y} |r(s,t)| ds dt \rightarrow \min. \quad (3)$$

Задача эффективного регулирования и нормирования ресурсосберегающей системы обращения с отходами с учетом идентификации безопасного состояния системы жизнеобеспечения города состоит в системном представле-

нии ресурсосберегающих и природоохран- ных параметров. Ресурсосберегающий определен минимизацией образования и последующего размещения в природной среде отходов посредством трансформации отходов на этапах их отдельного сбора и обработки в категорию вторичных ресурсов как фактором достижения нормативов обра- зования отходов, определенных для мало- отходного или безотходного производствен- ного или хозяйственного процесса.

В качестве управляющего природо- охранного параметра выступает минимиза- ция антропогенного воздействия отходов на окружающую среду сверх установленных нормативов. Определяющее значение для оценки степени этого воздействия при лю- бом виде загрязнения имеет класс опасно- сти (токсичности) отходов для компонентов окружающей среды и здоровья человека. Для математической интерпретации пара- метра впервые предложен коэффициент экологической опасности отходов k . Он рас- считывается как обратная величина числен- ного значения класса опасности отхода ($K_{оп}$) по Федеральному классификационному ка- талогу отходов и имеет значения по убыва- нию уровня опасности от чрезвычайного до практически неопасного (1; 0,5; 0,33; 0,25; 0,2):

$$k = 1 / K_{оп}. \quad (4)$$

Экологический смысл коэффициента за- ключен в придании значимости, приоритет- ности действиям и мерам по предупрежде- нию образования и минимизации антропо- генного воздействия отходов более высокого класса опасности, соответственно, с более высоким значением показателя. Аналогич- ным образом может быть выведен индекс токсичности отходов для здоровья человека.

Для аналитического отображения пока- зателей ресурсосберегающей системы управления экологически безопасным обра- щением с отходами предложены аналитико- математические формы, характеризующие скорость распространения факторов экологи- ческой опасности (токсичность, реакцион- ная способность, пожароопасность) $v(s,t)$ и величину потока (эмиссии) экологической опасности $\omega(s,t)$ в единицу времени t с пло- щади поверхности s материальной массы отходов m при уровне экологической опас- ности k_s , токсичности выделяемых соедине- ний с поверхности отхода k_m :

$$v(s,t) = -k_s k_m \chi \int_{t_0}^t \omega(s,t) dt. \quad (5)$$

$$\omega(s,t) = -k_s k_m \chi \int_{s_0}^s r(m/\rho, t) dm. \quad (6)$$

Представленные выражения консолидиро- ваны между собой посредством формул расче- та массы и выбросов загрязняющих веществ в единицу времени (при постоянной величине истинной плотности ρ), связанных между собой геометрическими параметрами отходов, опре- деляющих величину как механического, так и химического загрязнения (эмиссию веществ с площади поверхности). Для приведения пере- менных интегрирования при исчислении пло- щади и объема отходов различных геометри- ческих форм введен эмпирический поправочный коэффициент χ .

Зависимость (5) определяет процесс управ- ления (мониторинга, нормирования) величиной скорости распространения опасных факторов – загрязняющих веществ при отклонении факти- ческого показателя эмиссии загрязняющих ве- ществ от установленных нормативов выбросов (сбросов). Экологический смысл выражения (6) заключается в систематизации процессов мо- ниторинга и управления организационно- технических мероприятиями, направленных на изоляцию образующихся отходов матери- альной массы (объема) от взаимодействия с компонентами окружающей среды с целью ми- нимизации или сведения к нулю площади со- прикосновения поверхности отходов и внешней среды и, соответственно, скорости и мощности распространения опасных экологических фак- торов. Предлагаемые зависимости, основанные на превентивных методах предупреждения эко- логической опасности, вызванной антропоген- ным воздействием отходов, позволяют оценить и заблаговременно планировать меры по раз- дельному сбору, изоляции образующихся отхо- дов в источниках: инженерно-технических си- стемах городского хозяйства.

Процесс регулирования, нормирования, мо- ниторинга экологически безопасного обращения с отходами с обратными связями по отклоне- нию величин $\omega(s,t)$; $r(s,t)$ от нормативных значе- ний формализован системой уравнений (7):

$$\begin{cases} (\partial \omega(s,t)/\partial t) + (\partial r(s,t)/\partial s) + k_s k_m \int_{s_0}^{s_y} a_1(s,t) dt = 0 \\ r(s,t) = k_s k_m \int_{t_0}^{t_y} \eta(s,t) dt + k_s k_m \int_{t_0}^{t_y} a_2(s,t) dt, \end{cases} \quad (7)$$

где $\eta(s,t) = k_s k_m \int_{t_0}^{t_y} \eta(s,t) dt$ – распределенное внутреннее управляющее воздействие;

$k_3 k_m \int_{s_0}^{s_y} \alpha_1(s,t) dt; k_3 k_m \int_{t_0}^{t_y} \alpha_2(s,t) dt$ – возмущающие

воздействия, при условиях на переменные $s_0 \leq s \leq s_y; t \geq t_0$ и при следующих начальных и граничных условиях: $\omega(s, t_0) = \omega_0(s); r(s, t_0) = r(s); r(s_0, t) = r_0(t); r(s_y, t) = r_y(t); \alpha$ – возмущающие воздействия: $\alpha_1(s, t)$ – изменение количества размещаемых отходов в природной среде; $\alpha_2(s, t)$ – колебания эмиссии (выбросов, сбросов) за счет изменения скорости выделения веществ с поверхности отходов, обладающих свойствами токсичности и реакционной способности.

В результате исследования влияния изменений количества размещаемых отходов в природной среде $\alpha_1(s, t)$ и колебаний эмиссии загрязняющих веществ с их поверхности $\alpha_2(s, t)$ на состояние экологической безопасности муниципального образования в рамках построения ресурсосберегающей модели обращения с отходами, определив начальные и конечные условия нулевыми (отсутствие антропогенного воздействия источников (инженерно-технических систем) как до образования отходов, так и после), найдем варианты решения задачи, определенные системой зависимостей:

$$\begin{cases} \eta(s, t) = f_1(k_3 k_m \alpha_1(s, t)); \\ \eta(s, t) = f_2(k_3 k_m \alpha_2(s, t)); \\ \omega(s, t) = 0; r(s, t) = 0, \end{cases} \quad (8)$$

где $\eta(s, t) = f_1(k_3 k_m \alpha_1(s, t))$ – изменение уровня экологической опасности под влиянием управляющих (регулирующих, нормирования) воздействий, направленных на предотвращение пространственно-территориальных возмущений, вызванных размещением опасных отходов, – минимизацию механического загрязнения посредством ресурсосберегающих мероприятий: максимального использования материалов и сырья, раздельного сбора и максимального возможного извлечения ресурсной составляющей для последующей переработки во вторичное сырьё; $\eta(s, t) = f_2(k_3 k_m \alpha_2(s, t))$ – предотвращение локальных возмущений во времени, вызванных совместным действием опасных свойств отходов: токсичностью и реакционной способностью при нарушении правил обращения и установленных нормативов допустимого воздействия; $\omega(s, t), r(s, t)$ – отклонения показателей химического и механического загрязнения окружающей среды от нормативных значений допустимого воздействия на окружающую среду, выявленные в процессе экологического мониторинга.

С учетом поставленных целей и упомянутых научно-методических подходов, функ-

циями комплексной системы отраслевого мониторинга в сфере обращения с отходами определены:

- сбор, обработка, систематизация, анализ, предоставление полной, актуальной и верифицированной информации по количеству обработанных, утилизированных, обезвреженных отходов на основе интеграции с действующими федеральными статистическими и иными учетными системами; сведений по использованию вторичных ресурсов для производства продукции, работ, получения энергии;

- создание и ведение информационной базы по хозяйствующим субъектам, производящим оборудование, технику, машины, механизмы для отходоперерабатывающей инфраструктуры;

- формирование и ведение информационной базы по наилучшим доступным технологиям в сфере ресурсосбережения, использования вторичных ресурсов, обращения с отходами;

- создание и ведение информационной базы по юридическим лицам и индивидуальным предпринимателям, хозяйственная деятельность которых связана с обработкой, утилизацией, обезвреживанием отходов, использованием вторичных ресурсов, применяющим малоотходные технологии и вторичное сырьё в технологических процессах;

- интерактивное картографическое представление информации по всему функционалу системы обращения с вторичными ресурсами, в т.ч. оценка и визуализация комплекса балансовых показателей, отражающих их обращение, использование в отраслевом, региональном разрезе;

- информационно-аналитическая поддержка управленческих решений в ходе формирования системы комплексного учета, регулирования обращения с вторичными ресурсами и ее последующего эффективного функционирования.

Правовой статус отраслевой системы мониторинга инфраструктуры по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов определен ограничениями её функционала в рамках целей и задач, стоящих перед ней в соответствующих отраслях экономики. К задачам данной системы не следует относить государственный мониторинг окружающей среды (государственный экологический мониторинг) – мониторинг окружающей среды, осуществляемый органами государственной власти Российской Федерации и субъектов Российской Федерации в соответствии с их компетенцией (составление, ведение информации по формам статистического наблюдения № 2-ТП (отходы), сбор информации, анализ и оценка мест, источников и объема сбора, накопления, транспортирования, хра-

нения и захоронения отходов, полигонов ТКО, экологически и технически опасных производств, мониторинг реализации территориальных схем по обращению с ТКО и пр.), мониторинг в сфере транспортной инфраструктуры, санитарно-гигиенический мониторинг, организуемые и осуществляемые в соответствии с нормативными правовыми актами Минприроды, МЧС и Минтранса России, Роспотребнадзора, Росприроднадзора, Росгидромета в пределах их компетенции.

Заключение

В настоящей работе представлены первые наброски и предложения по созданию отраслевой системы идентификации, учета, инвентаризации, мониторинга ресурсной составляющей образующихся строительных, коммунальных, транспортных и иных отходов, о необходимости которой проводятся дискуссии и обсуждения на различных уровнях с начала становления современной России. Представлена впервые разработанная математическая модель мониторинга экологической опасности муниципальных отходов как научно-аналитическая база организации

комплексной системы мониторинга их обращения.

Дальнейшая организация и совершенствование научно обоснованной системы мониторинга, регулирования, управления, планирования в области обращения с отходами и вторичными ресурсами, а также оптимизация и повышение эффективности экономических и организационно-технических направлений деятельности в данной сфере будет зависеть от принятых государственными органами мер. Однако важнейшее предназначение данной системы – содействие реализации стратегического курса на энерго- и ресурсосбережение, экономию невозполнимых запасов природных ресурсов и устойчивое развитие всех отраслей и секторов экономики, решению актуальных экологических задач, стоящих в настоящее время перед российским государством, успешной планомерной реализации Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления – не может оставаться без внимания и конструктивных решений на современном этапе социально-экономического развития нашей страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В., Кобелева С.А. Оценка экологической безопасности строительства на основе модели полного ресурсного цикла // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2016. № 4 (44). С. 169–176.
2. Цховребов Э.С. Охрана окружающей среды на железнодорожном транспорте: монография. М.: Космосинформ, 1996. 527 с.
3. Баришевский Е.В., Величко Е.Г., Цховребов Э.С., Ниязгулов У.Д. Вопросы эколого-экономической оценки инвестиционных проектов по переработке отходов в строительную продукцию // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 3 (102). С. 260–272. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2017.3.260-272>
4. Калюжный Б.О. Экономика замкнутого цикла – новая парадигма // Твердые бытовые отходы. 2018. № 4 (142). С. 8–9.
5. Величко Е.Г., Цховребов Э.С., Меднов А.Е. Оценка эколого-экономического ущерба, наносимого при проведении строительного-монтажных работ // Жилищное строительство. 2014. № 8. С. 48–52.
6. Лунев Г.Г., Прохоцкий Ю.М. Проблемы комплексного рециклинга вторичных строительных ресурсов // Компетентность. 2018. № 8 (159). С. 23–33.
7. Velichko E., Tshovrebov E., Niyazgulov U. Organizational, technical and economic fundamentals of waste management and monitoring // E3S Web of Conferences. Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering. 2020. Vol. 164. p. 08031. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016408031>
8. Shevchenko A., Konon N., Tskhovrebov E., Velichko E. Innovative technologies of liquid media treatment in the system of ecological and sanitary-hygienic control of waste landfills // MATEC Web of Conferences. International Science Conference SPbWOSCE-2016 “SMART City”. EDP Sciences, 2017. p. 07005. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201710607005>
9. Liu D.H.F., Lipták B.G. (eds). Hazardous waste and solid waste. Lewis, 2000, 273 p.
10. Telichenko V., Benuzh A., Eames G., Orenburova E., Shushunova N. Development of green standards for construction in Russia // Procedia Engineering. 2016. Vol. 153. p. 726–730. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.233>
11. Antrekowitsch J., Steinlechner S. The recycling of heavy-metalcontaining wastes: mass balances and economical estimations // JOM. 2011. Vol. 63 (1). p. 68–72. <https://doi.org/10.1007/s11837-011-0017-2>

12. Goldstein B., Rasmussen F.N. LCA of Buildings and the Built Environment // Hauschild M., Rosenbaum R., Olsen S. (eds). *Life Cycle Assessment: Theory and Practice*. Chapter 28. Cham: Springer, 2018. p. 695–720. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3_28

13. Achilias D.S. (ed.). *Material Recycling – Trends and Perspectives*. InTech, 2012. 406 p.

14. Sornil W. Solid waste management planning using multi-objective genetic algorithm // *Journal of Solid Waste Technology and Management*. 2014. Vol. 40. p. 33–43. <https://doi.org/10.5276/JSWTM.2014.33>

15. Powell J.C. The evaluation of waste management options // *Waste Management and Research*. 1996. Vol. 14. Iss. 6. p. 515–526. <https://doi.org/10.1177/0734242X9601400601>

16. Elgizawy S.M., El-Haggag S.M., Nassar K. Slum Development Using Zero Waste Concepts: Construction Waste Case Study // *Pro-*

cedia Engineering. 2016. Vol. 145. p. 1306–1313. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.168>

17. Hart J., Adams K., Giesekam J., Tingley D.D., Pomponi F. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment // *Procedia CIRP*. 2019. No. 80. p. 619–624. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.015>

18. Zaman A.U. A comprehensive review of the development of zero waste management: lessons learned and guidelines // *Journal of Cleaner Production*. 2015. Vol. 91. p. 12–25. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.013>

19. Ehresman T., Okereke C. Environmental justice and conceptions of the green economy // *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economic*. 2015. Vol. 15. Iss. 1. p. 13–27. <https://doi.org/10.1007/s10784-014-9265-2>

20. Rao S.R.R. *Resource recovery and recycling from metallurgical wastes*. Oxford, 2006. 558 p.

REFERENCES

1. Ilyichev VA, Kolchunov VI, Bakaeva NV, Kobleva SA. Assessment of environmental safety of construction based on a model of a complete resource cycle. *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*. 2016;4(44):169–176. (In Russ)

2. Tskhovrebov ES. Preservation of the environment on a railway transportation: monograph. Moscow: Kosmosinform; 1996. 527 p. (In Russ.)

3. Barishevskiy EV, Velichko EG, Tskhovrebov ES, Niyazgulov UD. Problems of environmental and economical assessment of investment projects on processing wastes into construction products. *Vestnik MGSU*. 2017;12(3):260–272 (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2017.3.260-272>

4. Kalyuzhny BO. Economy of the closed cycle – a new dilemma. *Tverdye bytovye otkhody = Municipal Solid Waste*. 2018;4(142):8–9. (In Russ.)

5. Velichko EG, Tskhovrebov ES, Mednov AE. Assessment of Ecological-Economic Damage in the Course of Construction and Erection Works. *Zhilichnoe stroitel'stvo*. 2014;8:48–52. (In Russ.)

6. Lunev GG, Prokhotskiy YuM. Problems of complex recycling of secondary construction resources. *Kompetentnost' = Competency*. 2018;8(159):23–33. (In Russ.)

7. Velichko E, Tshovrebov E, Niyazgulov U. Organizational, technical and economic fundamentals of waste management and monitoring. *E3S Web of Conferences*.

Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering. 2020;164:08031. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016408031>

8. Shevchenko A, Konon N, Tskhovrebov E, Velichko E. Innovative technologies of liquid media treatment in the system of ecological and sanitary-hygienic control of waste landfills. *MATEC Web of Conferences. International Science Conference SPbWOSCE-2016 "SMART City"*. EDP Sciences, 2017. p. 07005. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710607005>

9. Liu DHF, Lipták BG (eds.). *Hazardous waste and solid waste*. Lewis; 2000. 273 p.

10. Telichenko V, Benuzh A, Eames G, Orenburova E, Shushunova N. Development of green standards for construction in Russia. *Procedia Engineering*. 2016;153:726–730. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.233>

11. Antrekowitsch J, Steinlechner S. The recycling of heavy-metalcontaining wastes: mass balances and economical estimations. *JOM*. 2011;63(1):68–72. <https://doi.org/10.1007/s11837-011-0017-2>

12. Goldstein B, Rasmussen FN. LCA of Buildings and the Built Environment. In: Hauschild M, Rosenbaum R, Olsen S (eds). *Life Cycle Assessment: Theory and Practice*. Chapter 28. Cham: Springer; 2018. p. 695–720. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3_28

13. Achilias DS (eds.). *Material Recycling – Trends and Perspectives*. InTech; 2012. 406 p.

14. Sornil W. Solid waste management planning using multi-objective genetic algorithm. *Journal of Solid Waste Technology and Management*. 2014;40:33–43. <https://doi.org/10.5276/JSWTM.2014.33>

15. Powell JC. The evaluation of waste management options. *Waste Management and Research*. 1996;14(6):515–526. <https://doi.org/10.1177/0734242X9601400601>
16. Elgizawy SM, El-Haggag SM, Nassar K. Slum Development Using Zero Waste Concepts: Construction Waste Case Study. *Procedia Engineering*. 2016;145:1306–1313. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.168>
17. Hart J, Adams K, Giesekam J, Tingley DD, Pomponi F. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment. *Procedia CIRP*. 2019;80:619–624. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.015>

18. Zaman AU. A comprehensive review of the development of zero waste management: lessons learned and guidelines. *Journal of Cleaner Production*. 2015;91:12–25. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.013>
19. Ehresman T, Okereke C. Environmental justice and conceptions of the green economy. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economic*. 2015;15(1):13–27. <https://doi.org/10.1007/s10784-014-9265-2>
20. Rao SRR. Resource recovery and recycling from metallurgical wastes. Oxford; 2006. 558 p.

Сведения об авторах

Цховребов Эдуард Станиславович,
кандидат экономических наук, доцент,
Академия безопасности и специальных программ,
123215, г. Москва, ул. Профсоюзная, 100а,
Россия,
e-mail: rebrovstanislav@rambler.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9481-3832>

Ниязгулов Урал Давлетшиевич,
кандидат технических наук, профессор,
Российский университет транспорта,
127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, Россия,
✉e-mail: transgeo@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0749-1853>

Заявленный вклад авторов

Цховребов Э.С., Ниязгулов У.Д. имеют равные авторские права. Ниязгулов У.Д. несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 18.03.2021.
Одобрена после рецензирования 15.04.2021.
Принята к публикации 19.04.2021.

Information about the authors

Eduard S. Tshovrebov,
Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor,
Academy of Safety and Special Programs,
100a Profsoynzaya St., Moscow, 123215, Russia,
e-mail: rebrovstanislav@rambler.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9481-3832>

Ural D. Niyazgulov,
Cand. Sci. (Eng.), Professor,
Russian University of Transport,
9 Obrastsova St., Moscow, 127994, Russia,
✉e-mail: transgeo@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0749-1853>

Contribution of the authors

Tshovrebov E.S., Niyazgulov U.D. have equal author's rights. Niyazgulov U.D. bears the responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

The article was submitted 18.03.2021.
Approved after reviewing 15.04.2021.
Accepted for publication 19.04.2021.