



**Математические методы обоснования и логическое моделирование
ресурсосберегающей системы экологически безопасного жизнеобеспечения**

© Эдуард Станиславович Цховребов¹, Сергей Николаевич Костарев^{2,3,4},
Татьяна Геннадьевна Середа³, Фелюз Хайдарович Ниязгулов⁵

¹Академия инженерных наук им. А. М. Прохорова, г. Москва, Россия

²Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации,
г. Пермь, Россия

³Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика
Д. Н. Прянишникова, г. Пермь, Россия

⁴Пермский институт ФСИН России, г. Пермь, Россия

⁵Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Костарев Сергей Николаевич, iums@dom.raid.ru

Аннотация. Цель работы заключается в формировании теоретических основ комплексной оценки экологической опасности отходов, образующихся в процессе жизнеобеспечения селитебных территорий, и обосновании ресурсосберегающей (ресурсовосстановительной) системы, направленной на обеспечение состояния защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от антропогенного воздействия отходов, создание благоприятных условий жизнедеятельности населения. Проведенное исследование базируется на применении математических методов оценки системы экологически безопасного жизнеобеспечения населенных пунктов: математической логики, векторной алгебры. Обосновано положение о том, что формирование ресурсосберегающей системы, не включающей отходы в качестве составляющего её элемента, обеспечивает целостность замкнутого материально-сырьевого цикла и, кроме того, сводит к нулю образование материальной массы отходов – источника экологической опасности – как количественного результата функционирования означенной системы. Также показано: на объектах жизнеобеспечения, где организована система обращения со строительной и иной продукцией на последней стадии жизненного цикла в качестве вторичных ресурсов, а не опасных отходов, направляемых на размещение в природную среду, на селитебных территориях экологическая опасность может быть предотвращена. Полученные результаты исследования могут быть использованы при экологическом обосновании концепций, стратегий, программ, проектов федерального, регионального и отраслевого уровня в области ресурсосбережения, обращения с отходами и вторичными ресурсами, обеспечения экологической безопасности селитебных территорий.

Ключевые слова: экологическая безопасность, охрана окружающей среды, ресурсосбережение, отходы производства и потребления, жизнеобеспечение населенных пунктов, математическая логика

Для цитирования: Цховребов Э. С., Костарев С. Н., Середа Т. Г., Ниязгулов Ф. Х. Математические методы обоснования и логическое моделирование ресурсосберегающей системы экологически безопасного жизнеобеспечения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 3. С. 394–407. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-394-407>.

Original article

**Mathematical methods of substantiating and logical modelling of a resource-saving
environmentally safe critical infrastructure system**

**Eduard S. Tshovrebov¹, Sergey N. Kostarev^{2,3,4}, Tatiana G. Sereda³,
Felys H. Niyazgulov⁵**

¹A. M. Prokhorov Academy of Engineering Sciences, Moscow, Russia

²Perm Military Institute of National Guard Troops of the Russian Federation, Perm, Russia

³Perm State Agro-Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia

⁴Perm Institute of the FPS of Russia, Perm, Russia

⁵Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

Corresponding author: Sergey N. Kostarev, iums@dom.raid.ru

Abstract. In this work, a theoretical basis for a comprehensive assessment of the environmental hazard of wastes, which are formed during the functioning of critical infrastructure in residential territories, is developed. In addition, a resource-saving (resource-recovering) system is proposed for ensuring the protection of natural environment and vitally important human interests from the anthropogenic impact of wastes, thus creating favourable conditions for the vital activity of a population. The study was conducted using mathematical methods, such as mathematical logic and vector algebra, for assessing the system of an ecologically safe critical infrastructure of populated areas. It is argued that the formation of a resource-saving system, which does not include wastes as its constituent element, provides the integrity of a closed material-raw cycle. Moreover, such a system reduces the formation of waste material masses (sources of environmental hazard) as a quantitative result of the system to zero. It is shown that environmental hazards in residential areas can be prevented in those places, where a system of processing construction and other products at the last life cycle stage as secondary resources is implemented and no hazardous wastes are forwarded for disposal in the natural environment. The obtained results can be used when assessing the environmental safety of concepts, strategies, programmes and projects at federal, regional and sectoral levels in the field of resource saving, waste and secondary resources management, as well as for ensuring the environmental safety of residential areas.

Keywords: environmental safety, environmental protection, resource conservation, production and consumption waste, life support of settlements, mathematical logic

For citation: Tshovrebov E. S., Kostarev S. N., Sereda T. G., Niyazgulov F. H. Mathematical methods of substantiating and logical modelling of a resource-saving environmentally safe critical infrastructure system. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2022;12(3):394-407. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-394-407>.

Введение

Глобальная задача обеспечения экологической и ресурсной безопасности России на первый план выдвигает актуальные вопросы создания природоподобной среды жизнедеятельности, предполагающего поэтапное поступательное восстановление естественного ресурсооборота, нарушенного как современными технологиями, применение которых вредит естественной природной среде, так и воздействием субъективного человеческого фактора, связанного с нерациональным, расточительным использованием невозобновляемых природных ресурсов, нарушением экологических требований, нормативов, правил [1–3].

В этом плане одной из важнейших экологических задач является предотвращение загрязнения и захламления отходами производства и потребления природных и селитебных территорий, что приводит к нарушению, деградации, уничтожению экологических систем и природных объектов, составляющих национальное богатство нашей великой страны.

Одним из основных путей решения значимой ресурсно-экологической проблемы, по мнению авторов, может служить разработка и внедрение ресурсовосстановительной системы, обеспечивающей экологическую безопасность селитебных территорий от воздействия отходов за счет извлечения и повторного использования их ресурсной составляющей (вторичных ресурсов) с предотвращением попадания такого рода антропогенных объектов в природную среду.

С учетом неопределенности начальных и граничных условий, факторов, многокомпонентности, многоконтурности систем и процессов обращения с отходами, многопараметричности составляющих показателей, не дающих возможности напрямую сформировать оптимальные математические модели замкнутого ресурсного цикла обращения продукции, сырья в единой эффективной системе, в работе сделана попытка создать конфигурацию замкнутого цикла процессов жизнеобеспечения с исключением нахождения в ней отходов в виде

источников экологической опасности как излишнего элемента замкнутой ресурсоэффективной модели жизнеобеспечения селитебных территорий.

Методы

Материалами для проведения исследования выступили: опубликованные труды отечественных и зарубежных исследователей, собственные результаты исследований авторов в области проблематики экологической безопасности территорий и обращения с опасными отходами.

Стратегия, гипотеза исследования коррелируются с принятыми в мировом сообществе принципами: *Green economy* («Зеленая экономика»), *Circular economy* (экономика замкнутого цикла), *Zero waste* (ноль отходов), энерго- и ресурсосбережения [4–8], опираются на достигнутые результаты исследований в области программ и проектов развития «зеленого» строительства, обеспечения охраны окружающей среды и экологической безопасности [9–13]. В работе использованы полученные результаты ранее опубликованных трудов авторов в области разработки математических моделей экологически безопасных систем и процессов [14–17], геоинформационных исследований, мониторинга, управления, регулирования обращения отходов, создания концепций и программ повторного применения их ресурсного потенциала [18–22]. Математический аппарат настоящего исследования базируется на методах: системного анализа, математической логики, векторной алгебры.

Результаты и их обсуждение

Научная гипотеза исследования базируется на предположении, что решение проблемы обеспечения экологической безопасности селитебных территорий не представляется возможным без развития ресурсовосстановительной системы, реализующей превентивный механизм защищенности природной среды и человека от воздействий продукции строительства и городского хозяйства на конечной стадии ее жизненного цикла. В целях обоснования выдвинутой гипотезы, составляющая ее совокупность положений структурирована как ряд утверждений, характеризующих причинно-следственную связь явлений отходов и экологической опасности, подлежащих доказательству на предмет логической непротиворечивости с применением математических методов.

Лемма 1. Экологическая безопасность процессов жизнеобеспечения достигается при

отсутствии отходов в виде структурной составляющей антропогенных объектов окружающей среды.

Доказательство. Согласно законодательному определению, антропогенный объект представляет собой «объект, созданный человеком для обеспечения его социальных потребностей и не обладающий свойствами природных объектов»¹.

Термин «отходы» трактуется как «вещества или предметы, которые образованы в процессе производства, выполнения работ, оказания услуг или в процессе потребления...»², т.е. они являются результатом жизнедеятельности человека, обладают свойствами, токсичными для здоровья человека и представляющими опасность для природной среды, исключая проявление природных свойств. Отсюда логически вытекает, что отходы есть антропогенный объект.

Также, согласно законодательному определению, окружающая среда выступает в виде «совокупности компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов, а также антропогенных объектов»³.

Выразим математически определение «окружающая среда», обозначив его составляющие в символической форме: ОС – окружающая среда; КПС – компоненты природной среды («земля, недра, почвы, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, растительный, животный мир и иные организмы, а также озоновый слой атмосферы и околоземное космическое пространство, обеспечивающие в совокупности благоприятные условия для существования жизни на Земле»); ПО – природные объекты; ПАО – природно-антропогенные объекты; ПС – природная среда («совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов»):

$$\begin{aligned} \text{ОС} &= (\text{КПС} + \text{ПО} + \text{ПАО}) + \text{АО} = \\ &= \text{ПС} + \text{АО}. \end{aligned} \quad (1)$$

При этом «природоподобность» и «биопозитивность» системы жизнеобеспечения, базирующиеся на предупреждении, минимизации возможного негативного воздействия хозяйственной деятельности на природу и человека, обеспечивают максимальное приближение свойств и характеристик данного процесса к экологически безопасным в отношении природных объектов, придание антропогенным объектам природных свойств, приводя в действие структурный процесс гармонизации: $\text{ОС} \rightarrow \text{ПС}$. Исходя из выражения (1)

¹Об охране окружающей среды: Федеральный закон № 7-ФЗ от 10.01.2002.

²Об отходах производства и потребления: Федеральный закон № 89-ФЗ от 24.06.1998.

³Об охране окружающей среды: Федеральный закон № 7-ФЗ от 10.01.2002.

следует, что, с математической точки зрения, данный процесс достигается при: $AO \rightarrow 0$.

С точки зрения ресурсно-экологического подхода, в процессе жизнеобеспечения среди иных антропогенных объектов (основные фонды, средства производства, нарушенные и видоизмененные природные объекты, строительная и иная продукция) отходы производства и потребления, обладающие свойствами опасности и токсичности, с одной стороны, несут наибольшую угрозу защищенности живой и неживой природы, с другой, в случае преобразования их состояния, негативных свойств и характеристик в безопасные и качественно полезные, – могут являться источником замещения ценных невозобновляемых КПС.

Таким образом, при уменьшении количества антропогенных объектов за счет предупреждения образования отходов (О) происходит одновременно сохранение стратегического запаса природных ресурсов из состава КПС, замещаемых в обороте ресурсной составляющей отходов:

$$(\forall \text{ КПС } \exists (O \in AO)) \wedge (O \Leftrightarrow \text{КПС}) \Rightarrow \\ \Rightarrow OC \rightarrow PC \wedge \text{КПС} \rightarrow \text{const.} \quad (2)$$

В результате доказано: осуществление жизнеобеспечения селитебных территорий методами и способами, реализующими механизм предупреждения образования в структуре окружающей среды наиболее опасного элемента (отходов) за счет их технологической трансформации в общественно полезные ресурсы обеспечивает состояние защищенности природной среды: а) от воздействия наиболее экологически опасных антропогенных объектов; б) изъятия её компонентов (растительный мир, вода, полезные ископаемые).

Установленной в ходе исследования важной особенностью образования антропогенных объектов как источника экологической опасности служит наличие в их составе твердых загрязняющих веществ, извлеченных из выбросов и сбросов, идентифицируемых в нормативно-технической документации в качестве отходов. Это предопределило принятие допущения о том, что проблемы обеспечения экологической безопасности в строительстве и городском хозяйстве, условно отнесенные к загрязнению вод, атмосферного воздуха, возможно исследовать под углом зрения предметной области ресурсосбережения, обращения с ресурсной составляющей отходов, подлежащей повторному использованию в хозяйственном обороте.

Лемма 2. Если ресурсную составляющую антропогенных объектов (использованной продукции) изначально идентифицировать через

понятие «отходы», то опасные свойства, присущие по определению каждому отходу, будут неотъемлемыми для каждого получаемого из неё полезного ресурса, что не позволяет их дальнейшее экологически безопасное повторное использование.

Пусть $P(x)$ – извлеченная из использованной продукции ресурсная составляющая – потенциально используемые вторичные ресурсы; $O(x)$ – смешанные опасные отходы завершившей срок эксплуатации, бывшей в употреблении продукции.

Сформируем составляющие логической формулы:

$\forall x(O(x) \rightarrow P(x))$ – все опасные отходы являются материальными ресурсами;

$(\forall x O(x) \rightarrow \forall x P(x))$ – все опасные свойства отходов характерны и для вторичных ресурсов, выделяемых из смешанных отходов, что не допускает безопасное повторное использование таких ресурсов в отношении природной среды.

Тогда окончательная логическая формула будет иметь вид:

$$\forall x(O(x) \rightarrow P(x)) \rightarrow (\forall x O(x) \rightarrow \forall x P(x)). \quad (3)$$

Приведем доказательство истинности и общезначимости выражения (3) для предметной области. Упростим логическую формулу, применяя равносильные преобразования (4):

$$\begin{aligned} \forall x(O(x) \rightarrow P(x)) &\rightarrow (\forall x O(x) \rightarrow \forall x P(x)) \equiv \\ &\equiv \overline{\forall x(O(x) \rightarrow P(x))} \vee (\forall x O(x) \rightarrow \forall x P(x)) \equiv \\ &\equiv \overline{\forall x}(\overline{O(x)} \vee P(x)) \vee (\forall x O(x) \rightarrow \forall x P(x)) \equiv \\ &\equiv \exists x(\overline{O(x)} \vee P(x)) \vee (\exists x \overline{O(x)} \vee \forall x P(x)) \equiv \\ &\equiv \exists x(O(x) \wedge \overline{P(x)}) \vee (\exists x \overline{O(x)} \vee \forall x P(x)) \equiv \\ &\equiv \exists x((O(x) \wedge \overline{P(x)}) \vee \overline{O(x)}) \vee \forall x P(x) \equiv \\ &\equiv (\exists x \overline{O(x)} \vee \exists x \overline{O(x)}) \vee \forall x P(x) \equiv \\ &\equiv (\exists x \overline{O(x)} \vee \forall x \overline{O(x)}) \vee \forall x P(x) \equiv \exists x O(x) \vee 1 \equiv 1. \quad (4) \end{aligned}$$

Таким образом, доказана истинность и общезначимость логической формулы для исследуемой предметной области в части необходимости идентификации строительной и иной продукции на последней стадии жизненного цикла не в виде отходов, обладающих опасными свойствами, а в качестве безопасной ресурсной составляющей с созданием ресурсовосстановительной системы предотвращения экологической опасности таких антропогенных объектов.

Лемма 3. Экологически безопасное жизнеобеспечение (состояние нулевой опасности негативного воздействия отходов) обеспечивается при физическом отсутствии отходов как источника экологической опасности в пространстве или при их наличии, но в неопасном для природной среды состоянии.

Доказательство. Пусть: O – источник экологической опасности: отходы; $\bar{O}$ – физическое отсутствие отходов как источника экологической опасности; $D(O)$ – состояние отходов, создающее в процессе жизнеобеспечения экологическую опасность. Логическая формула экологически безопасного жизнеобеспечения в отношении воздействия отходов примет вид:

$$F = (\bar{O} \vee (\forall O \exists D(O))) \rightarrow \bar{D(O)}. \quad (5)$$

Доказанные первоначальные утверждения, в рамках выдвинутой гипотезы исследования, послужили основой для доказательства истинности впервые сформулированных теорем в предметной области исследования.

Теорема 1. Опасные отходы являются излишним элементом материально-сырьевого баланса цикличного обращения ресурсов в системе жизнеобеспечения, и предотвращение их возникновения повысит целостность и экологическую безопасность системы.

Разделим процесс доказательства утверждения на два этапа. Рассмотрим поэтапный процесс обращения завершившей срок эксплуатации, бывшей в употреблении,

использованной строительной и иной продукции не в виде опасных для природной среды отходов, а в качестве ресурсов – потенциальных источников удовлетворения потребностей общества: раздельный сбор и изолированное накопление в источниках образования → технологическая обработка → утилизация (рецилинг, рекуперация, регенерация) + энергетическая утилизация (высоко- и среднетемпературное сжигание с получением энергии). Формализуем с помощью методов и обозначений векторной алгебры и теории поля суть основных процессов обращения с использованными веществами и предметами в рамках иерархии приоритетов экологически безопасного обращения с ними (табл. 1).

Материально-сырьевые потоки между исследуемыми процессами показаны на рис. 1. Объединим означенные процессы в единую систему материально-сырьевого баланса цикличного обращения ресурсов. Такое объединение процессов в виде четырех треугольников с точки зрения понятий геометрии и стереометрии возможно только в геометрическую фигуру – тетраэдр.

Таблица 1. Векторное отображение основных процессов обращения использованной строительной и иной продукции

Table 1. Vector display of the main processes of circulation of used construction and other products

Процессы обращения	Обозначения и допущения
Раздельный сбор и изолированное накопление в источниках образования (объекты жизнеобеспечения)	Входящий поток: П – бывшая в употреблении, завершившая срок эксплуатации строительная и иная продукция; СН – раздельный сбор и изолированное накопление. Выходящий поток процесса: ВМР – вторичные материальные ресурсы. ВЭР – вторичные энергетические ресурсы (часть использованных предметов и веществ органико-синтетического происхождения, которая в силу экологической опасности, технической невозможности, экономической нецелесообразности не используется в качестве ВМР). Допущения: А. Понятие «ресурсы» является первичным (родовым) по отношению ко вторичному (производному) понятию «сырье». Б. ВМР могут впоследствии быть использованы как для выпуска продукции в качестве вторсырья, так и при производстве работ (рекультивант, заполнитель, укрепитель и проч.)
Обработка	ОБ – технологическая обработка ВМР. Входящий поток: ВМР. Выходящие потоки: ВС – вторичное сырьё, а также не утилизируемые остатки синтетического, органического, смешанного происхождения – ВЭР
Утилизация (повторное применение)	У – утилизация. Входящий поток: ВС. Выходящие потоки: а) П (продукция и работы) с применением вторичного сырья; б) неиспользуемые остатки, полученные при производстве продукции, экономически нецелесообразные, технически невозможные для применения в качестве побочной продукции или вторичного сырья, но допустимые для энергетической утилизации – ВЭР
Энергетическая утилизация	Э – энергетическая утилизация. Функциональный результат: а) получаемая энергия из альтернативных источников в качестве продукции; б) ВМР в виде шлака для производства работ, извлеченных металлов, минеральной части

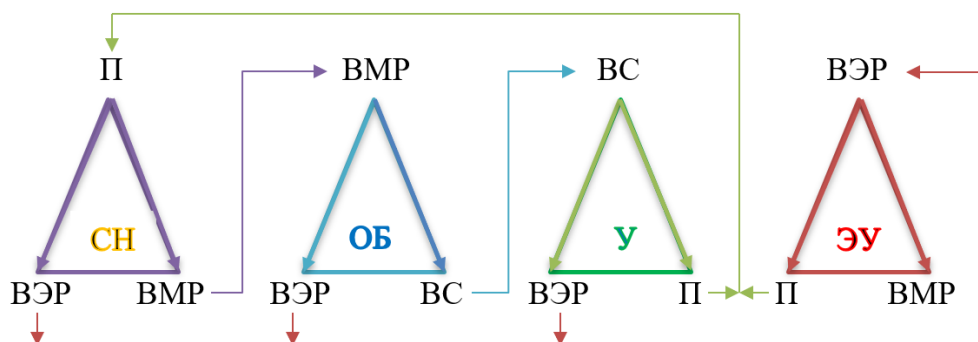


Рис. 1. Движение материальных потоков в технологических процессах материально-ресурсного обращения

Fig. 1. Movement of material flows in technological processes of material and resource circulation

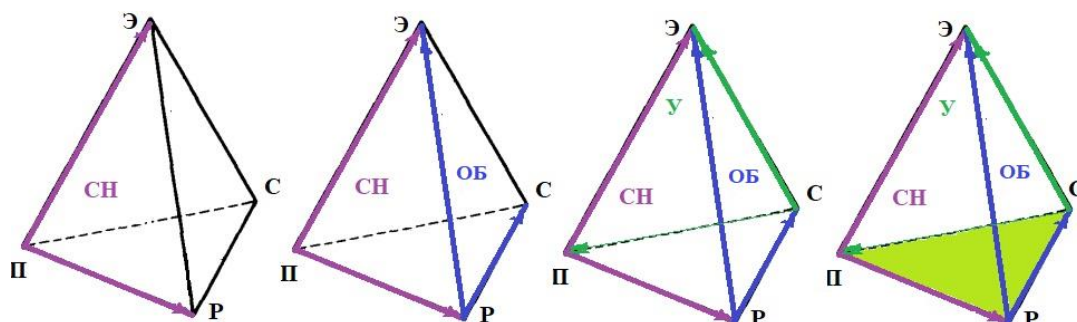


Рис. 2. Последовательное векторное отображение процессов замкнутого ресурсно-сырьевого цикла обращения строительной и иной продукции

Fig. 2. Sequential vector representation of the processes of a closed resource and raw materials cycle of circulation of construction and industrial products

Иллюстрируем на рис. 2 векторное отображение последовательности технологических процессов, измеряемых в единицах массы протекающих в них потоков, обозначив в вершинах тетраэдра конечные продукты технологических преобразований материально-сырьевых ресурсов с введением для удобства векторного отображения следующих символов: ВМР – Р, ВЭР – Э, ВС – С, остальные при этом оставив без изменения.

Принцип построения замкнутой системы основывается на законах сохранения массы и энергии: вся масса завершившей срок эксплуатации строительной и иной продукции преобразуется в конечном счете во вторичное сырье и альтернативные источники энергии, в свою очередь, являющиеся материально-энергетическим ресурсом для нового производства продукции, работ, получения энергии – в рамках многократного и многоконтурного производственно-хозяйственного цикла. Как следует из схемы последовательного отражения технологических процессов, на последнем этапе в основании тетраэдра фиксируется векторное отображение целостного процесса замкнутого ресурсного цикла сырья и продукции без

наличия отходов в качестве элемента «П → Р → С → П», что и требовалось доказать. На втором этапе доказательства применим метод от противного. Предположим, что отходы служат составной материальной частью ресурсного цикла, а действующие в настоящее время понятия отходов как последнего этапа жизненного цикла строительной, иной продукции, а также источника вторичных материальных ресурсов, из которых вырабатывается вторичное сырье, верны.

Проверим логическую истинность утверждения. Сформулируем его для проверки тождественной истинности следующим образом: если использованную продукцию на последнем этапе жизненного цикла изначально идентифицировать в качестве опасных отходов и впоследствии выделять из них вторичное сырье, то оно будет служить источником получения безопасной продукции.

Сформируем логические составные части выражения, обозначающие технологические операции обращения с отходами: (П → О) – смешанного сбора использованной продукции в виде отходов; (О → С) – обработки на сортировочных комплексах; (С → П) – утилизации:

$$\begin{aligned}
 (\Pi \rightarrow O) \wedge (O \rightarrow C) \rightarrow (C \rightarrow \Pi) &\equiv (\overline{\Pi} \vee O) \wedge (\overline{O} \vee C) \rightarrow (\overline{C} \vee \Pi) \equiv (\overline{\Pi} \vee O) \wedge (\overline{O} \vee C) \vee (\overline{C} \vee \Pi) \equiv \\
 &\equiv (\overline{\Pi} \vee O) \vee (\overline{O} \vee C) \vee (\overline{C} \vee \Pi) \equiv (\overline{\Pi} \vee \overline{O}) \vee (\overline{O} \vee \overline{C}) \vee (\overline{C} \vee \Pi) \equiv (\Pi \vee \overline{O}) \vee (\overline{O} \vee \overline{C}) \vee (\overline{C} \vee \Pi) \equiv \\
 &\equiv \underbrace{\Pi \vee (\Pi \vee \overline{O})}_{\Pi} \vee \underbrace{\overline{C} \vee (\overline{O} \vee \overline{C})}_{\overline{C}} \equiv \Pi \vee \overline{C}
 \end{aligned}$$

Из последовательного преобразования логических конструкций следует, что продукция с применением отходов либо вторсырья не является равноценной понятию продукции, изготовленной из материальных ресурсов природного происхождения, при этом отходы не могут служить целевым результатом обращения продукции, а сформулированное в виде гипотезы данное логическое выражение не является тождественно истинным. Означенное подтверждается и практикой современной системы смешанного сбора городских отходов, результатом которой становится поступление их подавляющего количества на захоронение.

На основании математически доказанных в настоящей работе утверждений, идеализированная концептуальная модель экологически безопасного обращения вторичных ресурсов в

системе жизнеобеспечения населенных пунктов сформирована с учетом исключения отходов: а) в качестве антропогенного объекта окружающей среды; б) элемента замкнутого цикла ресурсно-сырьевого баланса в системе жизнеобеспечения селитебных территорий; в) опасного состояния завершившей срок эксплуатации, использованной строительной и иной продукции на последней стадии жизненного цикла для природной среды. Разработанная с применением теории концептуального моделирования, означенная модель многоуровневой комплексной организационно-технической схемы обращения вторичных ресурсов, отражающая структуру и функционал участников системы обращения «отходы – вторичные материальные и энергетические ресурсы – вторичное сырьё», представлена на рис. 3.

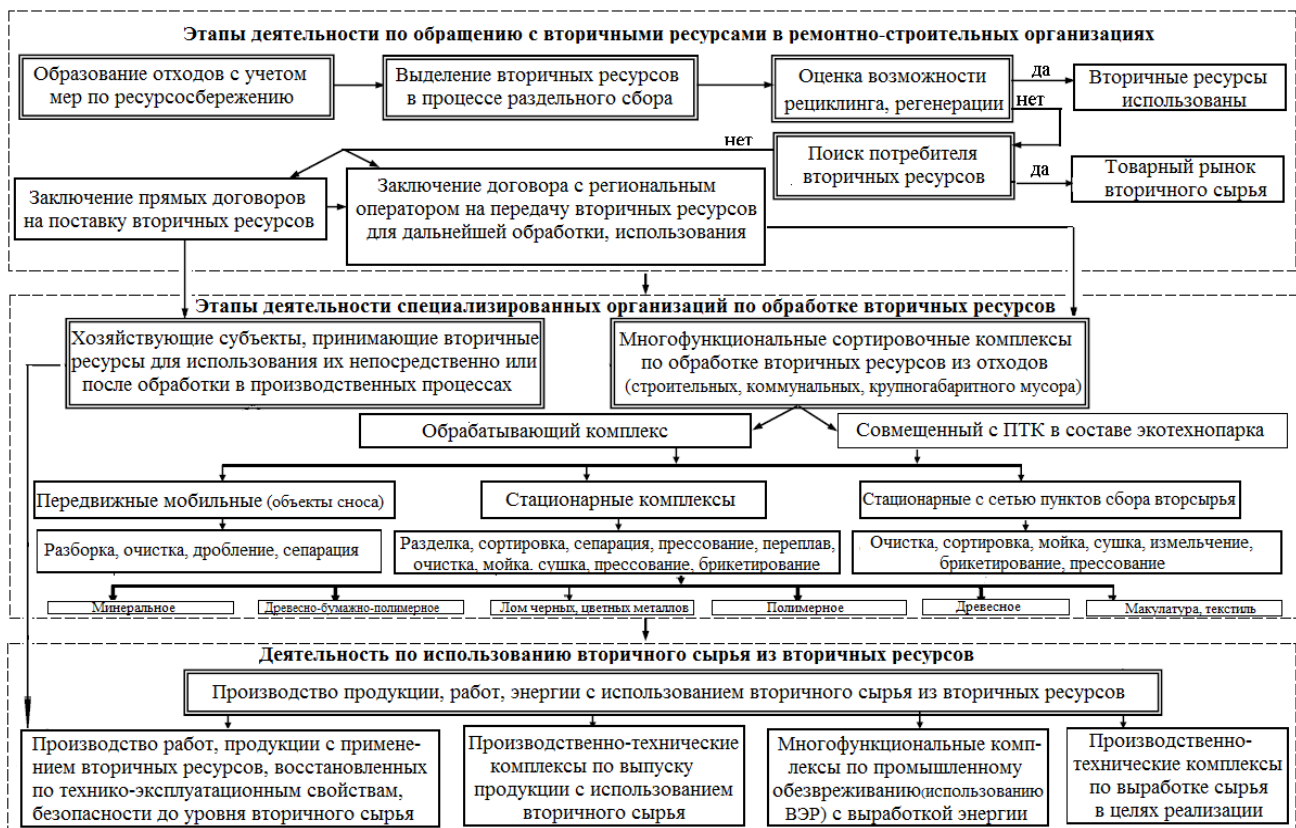


Рис. 3. Идеализированная модель организационно-технической схемы обращения с вторичными ресурсами в процессе жизнеобеспечения

Fig. 3. Idealized model of the organizational and technical scheme of handling secondary resources in the process of life support

Основой эффективного функционирования организационно-технической системы обращения с вторичными ресурсами представляется межотраслевое, межведомственное и межсубъектное взаимодействие, реализуемое на следующих организационно-технических, правовых, информационных и экономических платформах:

– действующий институт федерального, региональных операторов в области обращения с отходами;

– локально создаваемые и внедряемые инновационные институты межрегиональных операторов обращения со всеми видами вторичных ресурсов и вторичным сырьем, извлекаемых из всех видов отходов жизнеобеспечения населенных пунктов, а не только с твердыми коммунальными отходами;

– научно-промышленные кластеры или симбиозы на базе государственного частного партнерства и иных форм экономической деятельности, эффективно функционирующие в наукоградах.

Структурный состав субъектов формируемой организационно-технической системы обращения с вторичными ресурсами на уровне муниципальных образований и регионов приведен на рис. 4. Разработанные критерии и показатели реализации организационно-технической системы обращения с вторичными ресурсами представлены в табл. 2.

Концептуальные отличия предлагаемой модели организационно-технической схемы от действующих в регионах территориальных схем обращения с отходами представлены в табл. 3.

Таблица 2. Критерии и показатели реализации организационно-технической системы обращения с вторичными ресурсами

Table 2. Criteria and indicators for the implementation of the organizational and technical system for handling secondary resources

Критерии	Показатели
Организационно-экономические	а) организация единого функционального организационно-правового и технико-экономического пространства: информационные и энергетические сети, система снабжения, институциональная поддержка, компетенции; б) устойчивые сбалансированные материально-сырьевые и энергетические потоки и связи между группами предприятий, инфраструктурными объектами; в) функциональный состав организационно-технической системы обеспечивает наличие хозяйствующих субъектов с видами деятельности: – производственно-хозяйственная (в результате которой образуются отходы производства и потребления); сбор, накопление, обработка, утилизация, обезвреживание отходов; – реализация вторичных материальных и энергетических ресурсов; – изготовление продукции, производство работ, оказание услуг, генерация энергии с использованием вторичных материальных и энергетических ресурсов; – разработка технологий, проектирование и выпуск техники, оборудования, машин, механизмов, необходимых для обеспечения технико-технологических процессов производственной деятельности групп предприятий; – транспортно-логистическая, образовательная, научно-исследовательская, опытно-конструкторская деятельность; – консалтинговые, маркетинговые и коммерческие услуги
Технико-экономические	а) организация оптимизированной сбалансированной, бесперебойной циклической организационно-технической схемы на всех стадиях обращения с отходами и ВР, а также получения и реализации из них вторичного сырья; б) уровень использования ресурсной составляющей твердых коммунальных и строительных отходов не менее 68–70 % от количества образованных (на уровне ведущих стран мира и в соответствии с целевыми показателями Стратегии к 2030 г.); в) выпуск по результатам деятельности хозяйствующих субъектов системы вторичных материальных и энергетических ресурсов, обладающих в качестве вторичного сырья высокими потребительскими технико-эксплуатационными, иными свойствами и характеристиками, восстановленными до требований нормативно-технической документации к сырью, материалам, топливу, в отношении которых имеется экологическая допустимость, техническая возможность и экономическая целесообразность использования, обеспечивающая при этом устойчивую востребованность и гарантированный сбыт вторичного сырья на отечественном и международном рынке

Окончание таблицы 2

Критерии	Показатели
Финансово-экономические	а) взаимовыгодная договорная система финансово-экономической деятельности для всех групп предприятий, обеспечивающая необходимый для устойчивого развития хозяйствующих субъектов экономический результат (прибыль, рентабельность и пр.); б) снижение финансовой нагрузки на хозяйствующие субъекты системы по налогам и сборам, платежам, штрафным санкциям, в т.ч. в сфере экологии; в) положительные инвестиционные индексы и показатели: бюджетной эффективности, макроэкономического эффекта, внутренней доходности, рентабельности, чистой текущей приведенной стоимости, динамический срок окупаемости проекта не более 4–5 лет; г) достаточный для устойчивого развития хозяйствующих субъектов системы уровень выручки от реализации произведенной с использованием вторичных ресурсов продукции (работ), в общем объеме выручки от произведенной продукции (работ)
Социально-экономические	а) создание рабочих мест; б) высокий уровень оплаты труда; в) полная обеспеченность сотрудников социальным пакетом, жильем, детскими дошкольными и образовательными учреждениями; г) содействие в создании благоприятной среды для развития малого и среднего бизнеса; повышения качества жизни населения, улучшения инвестиционного климата, обеспечения занятости населения, развития конкурентоспособных промышленных производств; д) предоставление бизнесу качественных объектов производственной недвижимости, инфраструктуры для эффективного развития



Рис. 4. Субъекты предлагаемой организационно-технической системы обращения с вторичными ресурсами

Fig. 4. Subjects of the proposed organizational and technical system for handling secondary resources

Таблица 3. Концептуальные отличия предлагаемой организационно-технической схемы от действующих территориальных схем обращения отходов

Table 3. Conceptual differences of the proposed organizational and technical scheme from the existing territorial waste management schemes

Параметры	Действующие схемы	Предлагаемая схема
Вид деятельности	Обращение с опасными отходами	Обращение с ресурсной составляющей отходов (ВМР, ВЭР), вторсырьем
Задействованные приоритеты иерархии обращения с отходами	Обработка, утилизация, обезвреживание, а также экологически опасный вид обращения: размещение (хранение + захоронение)	Доминантные: максимальное использование сырья, предупреждение, сокращение образования, снижение класса опасности. Обеспечивающие: обработка, утилизация, обезвреживание
Область регулирующего законодательства	Преимущественно экологическое и санитарно-эпидемиологическое	Преимущественно: экономического развития, промышленной политики, технического регулирования

Окончание таблицы 3

Параметры	Действующие схемы	Предлагаемая схема
Идентификация предмета деятельности	Отходы производства и потребления. Вторичные ресурсы как отходы, подлежащие переработке	Изначальная идентификация использованных предметов, веществ в источниках образования в качестве материально-сырьевых ресурсов
Преобладающая схема сбора	Преимущественно смешанная	Селективный сбор, раздельное, изолированное накопление
Особенности раздельного сбора	«Сухие» и «влажные» либо 4-секционные контейнеры	Интеграция в региональную схему обработки и утилизации: с локализацией технических систем сбора, транспортных потоков: отходы 1 и 2 класса опасности; биоразлагаемые; по материальному составу ТКО, КГМ, строительные, электротехнического, электронного оборудования; горючие / негорючие; применение в виде ВМР или ВЭР
Методы и объекты энергетической утилизации	Объекты с температурой сжигания 1100–1200 °С, не обеспечивающей полное разложение диоксинов, фенола, формальдегида	Объекты высокотемпературной (1250–1300 °С) энергоутилизации ВЭР, содержащих синтетические полимеры; среднетемпературной (800–1100 °С) – ВЭР органического содержания
Отходо-перерабатывающая технологическая база	КПО как объекты сортировки преимущественно ТКО 4 и 5 класса опасности, полигоны хранения хвостов сортировки, объекты энергетической утилизации	Многофункциональные комплексы приема всех видов городских отходов 3, 4, 5 классов опасности с полным набором технологических операций обработки до стандартизированного вторсырья. Производственно-технические комплексы выпуска продукции с его применением. Объекты средне-, высокотемпературной утилизации. Предприятия городского хозяйства
Схемы перевозки	Преимущественно автомобильный транспорт	Смешанные автомобильные и железнодорожные перевозки
Состав, направления использования не утилизируемой части	Содержит все виды опасных составляющих: пластик, синтетические полимеры на органической основе, необработанные шлаки. Полигоны ТКО, объекты изолированного хранения отходов в природной среде	Смешанные части не утилизируемых отходов (без полимерной составляющей) + технологически преобразованные до малоопасного состояния золы, шлаки энергоутилизации в виде инертного малотоксичного материала на органической основе – в качестве рекультиванта полигонов
Расположение источников экологической опасности	Населенный пункт, предприятия переработки, мусоросжигания, полигоны хвостов сортировки	Инфраструктура по обработке, утилизации (в т.ч. энергетической), обезвреживанию отходов вне черты населенных пунктов

Реализация предлагаемой модели на базе применения инструментов экономического, нормативно-технического регулирования, организационно-управленческих решений, по мнению авторов, приведет к существенным в плане обеспечения благоприятных условий жизнедеятельности позитивным изменениям в процессе обращения с завершившей свой срок

эксплуатации строительной и иной продукцией как потенциальным источником экологической опасности:

– перемещение данной продукции за пределы селитебной территории, так как видом экономической деятельности ресурсовосстановительной системы жизнеобеспечения будет являться не обращение с экологически опасными

отходами, а отдельный сбор, временное накопление, заготовка, повторное использование безвредного вторичного сырья для нужд предприятий городской инфраструктуры, транспортирование на объекты промышленной обработки (многофункциональные сортировочные комплексы, расположенные вне населенного пункта и его санитарно-защитной зоны);

– предотвращение попадания использованной строительной и иной продукции на последней стадии жизненного цикла в природную среду на захоронение на полигоны и свалки в результате реализации замкнутого цикла ресурсно-сырьевого обращения;

– применение технологически преобразованной, не содержащей синтетических полимеры, инертной малотоксичной органоминеральной не утилизируемой части в виде «хвостов сортировки» – в качестве комплексного технического рекультиванта законсервированных и действующих полигонов захоронения в целях снижения их негативного воздействия на природную среду.

Заключение

Принципиально новым научным решением является заложенная в представленной концептуальной модели теоретическая база по трансформации общественных отношений в сфере

обращения с использованными в процессе жизнедеятельности предметами, веществами из преимущественно экологической в область экономического развития, технического регулирования, стандартизации, с определением направлений, механизмов и параметров устойчивого, экологически безопасного развития системы жизнеобеспечения селитебных территорий, её перехода на ресурсосберегающий технологический уклад. Основная научно-практическая ценность проведенного исследования, результаты которого подтвердили выдвинутую научную гипотезу, заключается в разработке теоретических положений, развитии методологии исследования функционирования инженерно-технической инфраструктуры городов не как фактора антропогенного воздействия отходов на окружающую среду, а в качестве источника общественно полезных для нужд городского хозяйства вторичных ресурсов, формирующей научно-методически обоснованный механизм развития ресурсо-восстановительной системы экологически безопасного жизнеобеспечения, реализующей состояние защищенности природной среды и человека от негативного влияния объектов строительства и городского хозяйства, благоприятные условия жизнедеятельности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Чертес К. Л., Шестаков Н. И. Современные биопозитивные технологии переработки отходов коммунально-строительного сектора // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 8. С. 1135–1146. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.8.1135-1146>.
2. Суздалева А. Л. Системная техноэкология и управляемые природно-технические системы // Безопасность в техносфере. 2016. Т. 5. № 3. С. 6–14. <https://doi.org/10.12737/21718>.
3. 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.
4. 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>.
5. Domenech T., Bahn-Walkowiak B. Transition Towards a Resource Efficient Circular Economy in Europe: Policy Lessons from the EU and the Member States // Ecological Economics. 2019. Vol. 155. p. 7-19. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.11.001>.
6. Elgizawy S. M., El-Haggar S. M., Nassar K. Slum Development Using Zero Waste Concepts: Construction Waste Case Study // Procedia Engineering. 2016. Vol. 145. p. 1306-1313. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.168>.
7. 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>.
8. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions // Resources, Conservation and Recycling. 2017. No. 127. p. 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.
9. Kechichian E., Mi Hoon Jeong. Mainstreaming Eco-Industrial Parks / The World Bank Group. Washington, 2016. 131 p. <https://doi.org/10.1596/24921>.
10. Telichenko V., Benuzh A. Development green standards for construction in Russia // XXV Polish – Russian – Slovak Seminar “Theoretical Foundation of Civil Engineering”. Procedia Engineering. 2016. Vol. 153. p. 726-730. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.233>.
11. Regidor A. Proposals for public investment projects under the principle of sustainable

development // *Nóesis: Revista de Ciencias Sociales and Humanidades*. 2016. Vol. 25. Iss. 50. p. 23-48.

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*. Springer, 2018. p. 695-722. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3_28.

13. Hertwich E., Lifset R., Pauliuk S., Heeren N. Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future / United Nations Environment Programme, and International Resource Panel. Kenya, 2020. <https://www.unep.org/resources/report/resource-efficiency-and-climate-change-material-efficiency-strategies-low-carbon> (19.05.2022).

14. Sereda T. G., Kostarev S. N. Development of the automated workstation for the operator of the solid municipal wastes landfill // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 677(4). p. 042107. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/4/042107>.

15. Tshovrebov E., Velichko E., Kostarev S., Niyazgulov U. Mathematical model of environmentally friendly management of construction waste and waste of urban economy // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 937. p. 042062.

16. Костарев С. Н., Середина Т. Г. Проектирование комбинационного автомата для оценки безопасности источника опасности // *Вестник ПНИПУ. Безопасность и управление рисками*. 2016. № 4. С. 77–87.

17. Kostarev S. N., Tatarnikova N. A., Kochetova O. V., Sereda T. G. Development of a

sequence automaton for recognition of deviations indicators in diagnosis of natural systems // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 677 (4). p. 042004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/4/042004>.

18. Kostarev S. N., Sereda T. G., Novikov A. V., Kochinov Y. A., Kochinova T. V. Development of an automaton based on rigid logic to control the irrigation system // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 2094 (3). p. 032014. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2094/3/032014>.

19. Цховребов Э. С. Охрана окружающей среды на железнодорожном транспорте: монография. М.: Космосинформ, 1994. 354 с.

20. Цховребов Э. С., Величко Е. Г. Теоретические положения формирования методологии создания комплексной системы обращения строительных отходов // *Вестник МГСУ*. 2017. Т. 12. № 1. С. 83-93. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2017.1.83-93>.

21. Tshovrebov E., Velichko E., Shevchenko A. Methodological approaches to a substantiation resurso - and energetically effective economic model of object of placing of a waste // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2018. Vol. 692. p. 1296-1305. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_137.

22. Tskhovrebov E., Velichko E., Niyazgulov U. Planning measures for environmentally safe handling with extremely and highly hazardous wastes in industrial, building and transport complex // *Materials Science Forum*. 2018. Vol. 945. p. 988-994. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.945.988>.

REFERENCES

1. Chertes KL, Shestakov NI. Modern biopositive technologies of waste processing in the utilities and construction industries. *Vestnik MGSU = Monthly Journal on Construction and Architecture*. 2020;15(8):1135-1146. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.8.1135-1146>.

2. Suzdaleva AL. System technoecology and managed nature-technical systems. *Bezopasnost' v tekhnosfere*. 2016;3:6-14. (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/21718>.

3. Il'ichev VA, Kolchunov VI, Bakaeva NV, Kobeleva 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 = Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2016;4(44):169-176. (In Russ.).

4. Hart J, Adams K, Gieseckam 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>.

5. Domenech T, Bahn-Walkowiak B. Transition Towards a Resource Efficient Circular Economy in Europe: Policy Lessons From the EU and the Member States. *Ecological Economics*. 2019;155:7-19. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.11.001>.

6. 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>.

7. 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>.
 8. Kirchherr J, Reike D, Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*. 2017;127:221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.
 9. Kechichian E, Mi Hoon Jeong. Mainstreaming Eco-Industrial Parks. Washington, 2016. 131 p. <https://doi.org/10.1596/24921>.
 10. Telichenko V, Benuzh A. Development green standards for construction in Russia. *XXV Polish – Russian – Slovak Seminar “Theoretical Foundation of Civil Engineering”*. *Procedia Engineering*. 2016;153:726-730. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.233>.
 11. Regidor A. Proposals for public investment projects under the principle of sustainable development. *Nóesis: Revista de Ciencias Sociales and Humanidades*. 2016;25(50):23-48.
 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*. Springer, 2018. p. 695-722. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3_28.
 13. Hertwich E, Lifset R, Pauliuk S, Heeren N. Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. Kenya, 2020. <https://www.unep.org/resources/report/resource-efficiency-and-climate-change-material-efficiency-strategies-low-carbon> [Accessed 19th May 2022].
 14. Kostarev SN, Sereda TG. Development of the automated workstation for the operator of the solid municipal wastes landfill. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;677(4):042107. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/4/042107>.
 15. Tshovrebov E, Velichko E, Kostarev S, Niyazgulov U. Mathematical model of environmentally friendly management of construction waste and waste of urban economy. *IOP Conference*

Series: Earth and Environmental Science. 2021;937:042062.
 16. Kostarev SN, Sereda TG. Design of combination machine for safety assessment source of danger. *Vestnik PNIPU. Bezopasnost' i upravlenie riskami*. 2016;4:77-87. (In Russ.).
 17. Kostarev SN, Tatarnikova NA, Kochetova OV, Sereda TG. Development of a sequence automaton for recognition of deviations indicators in diagnosis of natural systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;677(4):042004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/4/042004>.
 18. Kostarev SN, Sereda TG, Novikov AV, Kochinov YA, Kochinova TV. Development of an automaton based on rigid logic to control the irrigation system. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;2094(3):032014. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2094/3/032014>.
 19. Tshovrebov ES. Preservation on a railway transportation: monograph. Moscow: Kosmosinform; 1994. 354 p. (In Russ.).
 20. Tshovrebov ES, Velichko EG. Theoretical provisions of formation of methodology for creation of complex system of construction waste treatment. *Vestnik MGSU = Monthly Journal on Construction and Architecture*. 2017;12(1):83-93. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2017.1.83-93>.
 21. Tshovrebov E, Velichko E, Shevchenko A. Methodological approaches to a substantiation resurso - and energetically effective economic model of object of placing of a waste. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2018;692:1296-1305. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_137.
 22. Tskhovrebov E, Velichko E, Niyazgulov U. Planning measures for environmentally safe handling with extremely and highly hazardous wastes in industrial, building and transport complex. *Materials Science Forum*. 2018;945:988-994. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.945.988>.

Информация об авторах

Э. С. Цховребов,

кандидат экономических наук, доцент, ученый секретарь Отделения проблем экологической безопасности и устойчивого развития, Академия инженерных наук им. А. М. Прохорова, 123557, г. Москва, ул. Пресненский вал, 19, Россия, e-mail: rebrovstanislav@rambler.ru <https://orcid.org/0000-0002-9481-3832>

Information about the authors

Eduard S. Tshovrebov,

Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Scientific Secretary of the Department of Environmental Safety and Sustainable Development, A. M. Prokhorov Academy of Engineering Sciences, 19 Presnensky Val St., Moscow, 123557, Russia, e-mail: rebrovstanislav@rambler.ru <https://orcid.org/0000-0002-9481-3832>

С. Н. Костарев,

доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры вычислительных машин,
комплексов, систем и сетей,
Пермский военный институт войск
национальной гвардии Российской
Федерации,
614030, г. Пермь, ул. Гремячий лог, 1, Россия,
профессор кафедры безопасности
жизнедеятельности,
Пермский государственный
аграрно-технологический университет
имени академика Д. Н. Прянишникова,
614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23,
Россия,
профессор кафедры зоотехнии,
Пермский институт ФСИН России,
614012, г. Пермь, ул. Карпинского, 125,
Россия,
e-mail: iums@dom.raid.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3097-7037>

Т. Г. Середина,

доктор технических наук, доцент, профессор
кафедры строительных технологий,
Пермский государственный
аграрно-технологический университет
им. акад. Д.Н. Прянишникова,
614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23,
Россия,
e-mail: iums@dom.raid.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7682-9013>

Ф. Х. Ниязгулов,

соискатель, старший преподаватель кафедры
геодезии, геоинформатики и навигации,
Российский университет транспорта (МИИТ),
127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, Россия,
e-mail: transgeo@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0749-1853>

Вклад авторов

Цховребов Э. С., Костарев С. Н., Середина Т. Г.,
Ниязгулов Ф. Х. имеют равные авторские
права. Цховребов Э. С. несет ответственность
за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта ин-
тересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончатель-
ный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 23.06.2022.
Одобрена после рецензирования 14.07.2022.
Принята к публикации 15.07.2022.

Sergey N. Kostarev,

Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Professor
of the Department of Computing Machines,
Complexes, Systems and Networks,
Perm Military Institute of National Guard Troops
of the Russian Federation,
1 Gremyachiy log St., Perm, 614030, Russia,
Professor of the Department of Life Safety,
Perm State Agro-Technological University
named after Academician D. N. Prianishnikov,
23 Petropavlovskaya St., Perm, 614990, Russia,
Professor of the Department of Animal Science,
Perm Institute of the FPS of Russia,
125 Karpinsky St., Perm, 614012, Russia,
e-mail: iums@dom.raid.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3097-7037>

Tatiana G. Sereda,

Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Professor
of the Department of Construction Technologies,
Perm State Agro-Technological University
named after Academician D. N. Prianishnikov,
23 Petropavlovskaya St., Perm, 614990, Russia,
e-mail: iums@dom.raid.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7682-9013>

Felys H. Niyazgulov,

Applicant, Senior Lecturer of the Department of
Geodesy, Geoinformatics and Navigation,
Russian University of Transport (MIIT),
9 Obrastsov St., Moscow, 127994, Russia,
e-mail: transgeo@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0749-1853>

Contribution of the authors

Tshovrebov E. S., Kostarev S. N., Sereda T. G.,
Niyazgulov F. H. have equal author's rights.
Tshovrebov E. S. bears the responsibility for pla-
giarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests re-
garding the publication of this article.

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

The article was submitted 23.06.2022.
Approved after reviewing 14.07.2022.
Accepted for publication 15.07.2022.