

---

# НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ, ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКОЛОГИИ

---

## SCIENTIFIC PROBLEMS OF ARCHITECTURE, TOWN PLANNING AND ECOLOGY

Известия вузов. Строительство. 2022. № 3. С. 80–96.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022; (3): 80–96.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 502.504:628.54

DOI: 10.32683/0536-1052-2022-759-3-80-96

### МОДЕЛЬ РЕГУЛЯТОРА ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕГИОНОВ НА ОСНОВЕ РЕСУРСОВОССТАНАВИТЕЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Эдуард Станиславович Цховребов

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

**Аннотация.** В статье для реализации поставленной цели решены следующие научно-прикладные задачи: сформулированы и обозначены отличительные черты и характеристики нового технологического подхода к обращению техносферных объектов жизнеобеспечения населенных пунктов «ресурсный технологический цикл продукции в экологически безопасном процессе ее обращения»; проведен системный анализ действующей модели регионального оператора обращения с твердыми коммунальными отходами, показана ее малоэффективность в современных условиях; на основе теории динамического анализа стохастических систем с неопределенными параметрами разработана модель многофункционального оператора по обращению с ресурсными компонентами отходов жизнеобеспечения; с применением теорий анализа многоконтурных технологических систем, нечетких множеств осуществлено моделирование состояний, параметров многоконтурной системы технологического преобразования материально-сырьевых ресурсов с учетом ее ресурсосберегающей направленности. Результаты исследования настоящей работы целесообразны при построении отходоперерабатывающей инфраструктуры в рамках принятых отраслевых документов стратегического планирования технологического развития России на период до 2030 г.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, обращение с отходами, строительство и городское хозяйство, жизнеобеспечение, многоконтурные и стохастические системы, нечеткие множества, нечеткие (мягкие) вычисления, вторичные ресурсы и сырье, ресурсосбережение

**Для цитирования:** Цховребов Э.С. Модель регулятора обращения с отходами жизнеобеспечения регионов на основе ресурсовосстановительного технологического подхода // Известия вузов. Строительство. 2022. № 3. С. 80–96. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-759-3-80-96.

Original article

## THE MODEL OF THE REGULATOR OF WASTE MANAGEMENT OF LIFE SUPPORT OF REGIONS ON THE BASIS OF A RESOURCE-BASED TECHNOLOGICAL APPROACH

Eduard S. Tshovrebov

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

**Abstract.** To achieve this goal, the following scientific and applied tasks have been solved: the distinctive features and characteristics of a new technological approach to the circulation of technosphere life support objects of settlements «resource technological cycle of products in an environmentally safe process of its circulation» have been formulated and identified; a system analysis of the current model of the regional operator of solid municipal waste management has been carried out, its inefficiency in modern conditions has been shown based on the theory of dynamic analysis of stochastic systems with uncertain parameters, a model of a multifunctional operator for handling resource components of all types of generated life support waste has been developed; with the use of theories of analysis of multi-contour technological systems, fuzzy sets, modeling of states, parameters of a multi-contour system of technological transformation of material and raw materials, taking into account its resource-saving orientation, has been carried out. The results of the study of this work are appropriate for the construction of waste processing infrastructure within the framework of the adopted sectoral documents of strategic planning of technological development of Russia for the period up to 2030.

**Keywords:** environmental safety, waste management, construction and urban management, life support, multi-contour and stochastic systems, fuzzy sets, fuzzy (soft) calculations, secondary resources and raw materials, resource conservation

**For citation:** Tshovrebov E.S. The model of the regulator of waste management of life support of regions on the basis of a resource-based technological approach. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2022; (3): 80–96. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-759-3-80-96.

**Введение.** Загрязнение природной среды отходами производства и потребления как основная угроза благоприятным условиям жизнедеятельности населения выступает актуальной экологической проблемой современности.

Чрезвычайная значимость проблемы подтверждена официальными данными, приведенными в Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года. Как следует из упомянутого документа, значительную экологическую опасность для национальных интересов страны представляют накопленные в результате предыдущей хозяйственной и иной деятельности отходы производства и потребления (свыше 30 млрд т), 340 объектов, являющихся источником потенциальной угрозы жизни и здоровью 17 млн человек, а также расположенные на площади около 4 млн га объекты размещения отходов.

Важно отметить, что вопросы системного управления, стратегического планирования, технического регулирования обращения с отходами фактически выпали из зоны и ответственности государства, а так называемые вертикальные, слабо управляемые схемы деятельности вокруг отдельных прибыльных и вместе с тем экологически опасных действий с некоторыми видами отходов (захоронение, сжигание) продолжают наносить значительный вред окружающей среде [1–3].

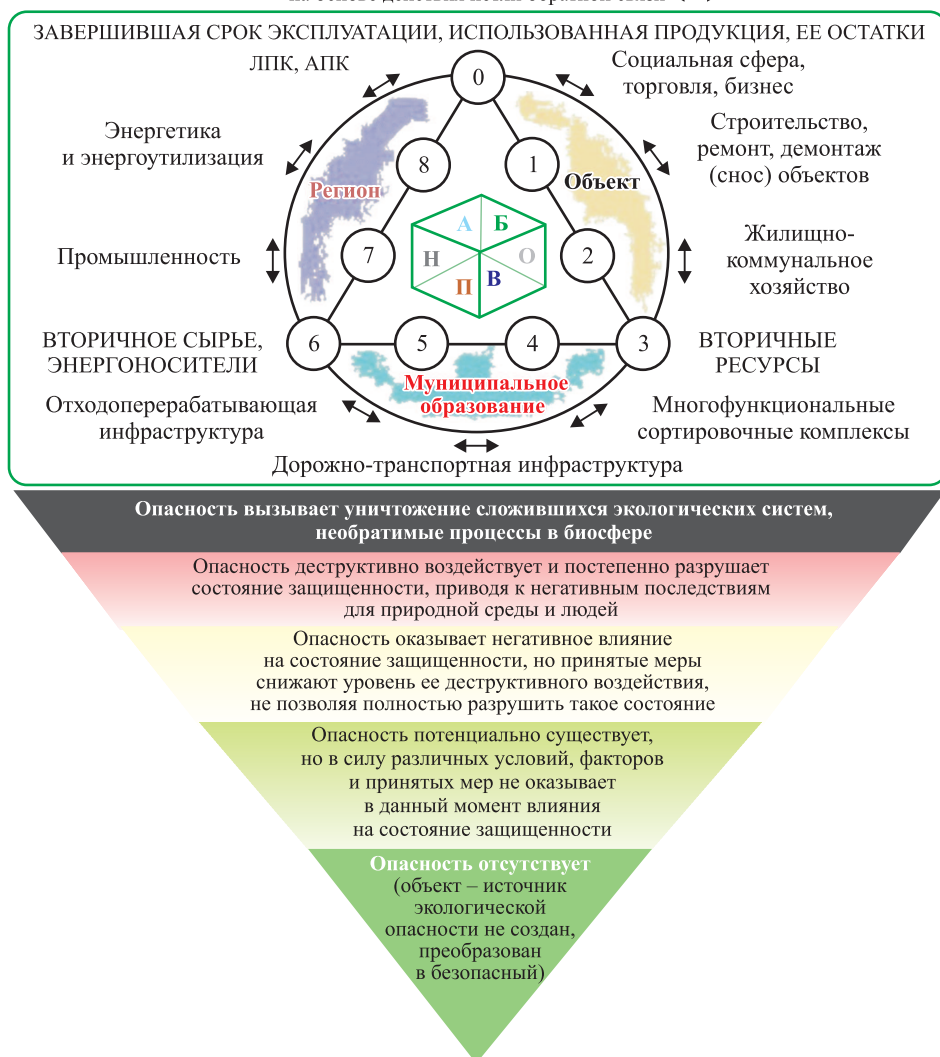
Вышеперечисленные актуальные проблемы предопределили цели, задачи, направленность настоящего исследования.

**Материалы и методы.** Материалами для проведения исследования выступили законодательные и подзаконные акты в области обращения отходов, опубликованные труды, собственные результаты исследований автора в сфере охраны окружающей среды и экологической безопасности территорий, применения теорий исследования многоконтурных, стохастических систем, нечетких множеств и мягких вычислений в изучаемой предметной области.

Стратегия исследования основывается на прогрессивных научных идеях, разработанных известными отечественными учеными В.И. Теличенко, С.Г. Емельяновым, В.А. Ильичевым, Е.В. Щербина, В.И. Колчуновым, Н.В. Бакаевой, реализованных в мировоззренческой парадигме биосферной совместимости, концепциях: симбиоз социально-природно-техногенной

РЕСУРСОВОСТАНОВИТЕЛЬНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦИКЛ ПРОДУКЦИИ  
В ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОМ ПРОЦЕССЕ ЕЕ ОБРАЩЕНИЯ

Ступенчатый процесс изменений, определяющий ресурсосберегающий механизм экологически безопасного жизнеобеспечения муниципального образования на основе действия петли обратной связи ↔



системы устойчивой среды жизнедеятельности, «зеленой» стандартизации технологий создания природоподобной среды жизнедеятельности [4–7]. Методы исследования коррелируются с принятыми в мировом сообществе принципами: «Zero waste» (ноль отходов), «Green economy» («зеленая» экономика), «Circular economy» (экономика замкнутого цикла) [8–12], достигнутыми результатами в области создания ресурсосберегающих систем, обеспечения экологической безопасности техносферных территорий [13–16].

Математический аппарат исследований настоящей работы включает методы графоаналитического анализа многоконтурных систем, динамического анализа стохастических систем с неопределенными параметрами, мягких вычислений, теории нечетких множеств.

**Результаты исследования.** Авторская стратегия разработки механизма экологически безопасного жизнеобеспечения техносферных территорий существенно отличается от научных позиций известных исследователей принципиально новым подходом, определяющим ресурсовосстановительную организационно-техническую систему в качестве основы формирования ресурсосберегающего технологического уклада и одновременно обеспечения техносферной безопасности муниципальных образований и регионов. Впервые сформулирован новый технологический подход, реализующий механизм предотвращения негативного воздействия комплекса жизнеобеспечения на окружающую среду, получивший название «ресурсный технологический цикл продукции в экологически безопасном процессе ее обращения» (рис. 1).

Рассмотрим некоторые отличия нового подхода от уже принятых технологических подходов:

А) «на конце трубы» (end-of-pipe technique), предусматривающего управление негативным воздействием производства на окружающую среду на основе снижения опасности сбросов, выбросов, отходов, осуществляемых де-факто после завершения технологического цикла без изменения технологических процессов и операций, мер по снижению массы и объемов загрязнений;



Рис. 1. Концептуальная схема нового технологического подхода

В – водные ресурсы; А – атмосферный воздух; О – озоновый слой атмосферы; Н – недра;

Б – биоресурсы: растительный и животный мир; П – почвы, земли.

0 – образование, появление; 1 – раздельный сбор ресурсной составляющей; 2 – изолированное временное накопление; 3 – предварительная обработка в источниках образования с выделением вторичных ресурсов; 4 – промышленная обработка вторичных материальных ресурсов с выработкой вторичного сырья; 5 – промышленная обработка вторичных энергетических ресурсов с получением альтернативных источников энергии; 6 – реализация вторичного сырья и альтернативных источников энергии в целях использования в экономическом цикле; 7 – выпуск продукции, производство работ, оказание услуг, получение энергии; 8 – потребление продукции, энергии, услуг и работ в процессе жизнедеятельности

Fig. 1. Conceptual scheme of the proposed new technological approach

V – water resources; A – atmospheric air; O – ozone layer of the atmosphere; N – subsoil;

B – bioresources: flora and fauna; P – soils, land.

0 – formation, appearance; 1 – separate collection of the resource component; 2 – isolated temporary accumulation; 3 – pre-processing in the sources of education with the allocation of secondary resources; 4 – industrial processing of secondary material resources with the production of secondary raw materials; 5 – industrial processing of secondary energy resources with the production of alternative energy sources; 6 – sale of secondary raw materials and alternative energy sources for use in the economic cycle; 7 – production of products, works, services, energy; 8 – consumption of products, energy, services and works in the process of life

Б) интегрированного в производственную деятельность «первичного технологического», изменяющего технологический процесс, приводя тем самым к сокращению эмиссии загрязняющих веществ, используемого сырья. Новый подход обладает рядом других принципов:

– привязка к жизненному циклу продукции с оценкой уровня экоопасности на каждом из этапов;

– исключение отходов в качестве структурной составляющей техносферных объектов, состояния использованной продукции, создающего опасность, элемента материально-сырьевого обращения и, как следствие, предмета общественных отношений;

– системный количественный и качественный анализ защищенности природной среды на основе учета предотвращенного воздействия с фиксацией изменений путем интеграции ресурсно-экологических индикаторов как обратной связи состояния экологической безопасности техносферной территории;

– прогнозирование экологической опасности на этапе зарождения, а не появления/образования;

– двухуровневый технико-экономический механизм реализации: ресурсный технологический цикл продукции в экологически безопасном процессе ее обращения;

– применимость для нестационарных динамичных многоконтурных производственно-хозяйственных процессов.

Предложенный подход реализован в работе при формировании динамической модели многофункционального регионального оператора по экологически безопасному обращению с ресурсной составляющей всех видов образующихся городских отходов, обосновании структуры, функциональных параметров ресурсовосстановительной системы жизнеобеспечения городов.

Построение конфигурации регулятора динамической системы обращения с ресурсными компонентами отходов дискретного и непрерывного действия реализуется на основе принципа Беллмана, определяющего управление как функцию состояния регулируемого объекта и внешней среды [17, 18], обеспечивающей в исследуемом формате ресурсосберегающие характеристики системы экологически безопасного жизнеобеспечения путем ее математического описания с помощью вектора состояния.

Первая модель отображает действующую систему обращения с ТКО в рамках реализации территориальной схемы, механизм которой приводит в действие регулятор в форме регионального оператора обращения с ТКО. Абстрактное отображение такой системы представлено на рис. 2.

Моделируемый объект характеризуется векторами: а) входных переменных (образующихся опасных отходов)  $O \in R^o$ ; б) экологического состояния комплекса жизнеобеспечения (в отношении которого на основании территориальной схемы обращения с отходами осуществляет деятельность региональный оператор обращения с ТКО), формируемого антропогенным воздействием всех видов образующихся отходов  $S \in R^o$ ; в) управляющих воздействий на процессы обращения с ТКО  $F \in R^{TKO}$ ; г) регулируемых выходных переменных в виде вторичных ресурсов (далее – ВР), извлекаемых из ТКО  $P_{TKO} \in R^{TKO}$ ; вектором состояния экологической безопасности  $e$  и выходными переменными  $P$ , определяемыми факторами, условиями и ограничениями внешней среды  $E$ .

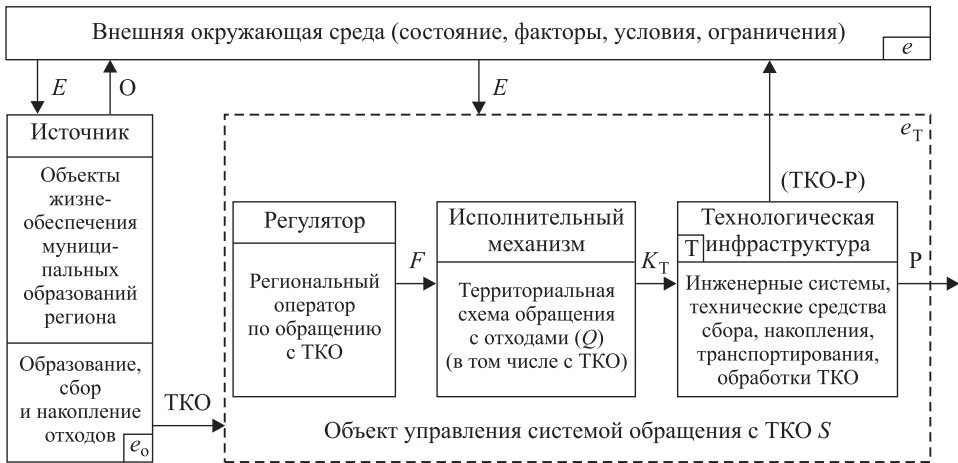


Рис. 2. Функциональная модель действующего регулятора обращения с ТКО

Fig. 2. Functional model of the current MSW handling regulator

В исследуемой модели в отношении объекта управления действует регулятор с неполной информацией [ $O_{ТКО} < O_0$ ], при которой спектр анализируемых входных и выходных переменных ограничен, а в системе измеряется только часть переменных состояния или их локальная линейная комбинация. Число измеряемых переменных модели оценивается гораздо меньше числа переменных вектора экологических состояний объекта, так как обращение происходит только с ТКО, без учета количеств, уровня воздействия на природную среду множества иных отходов, образующихся в ходе жизнеобеспечения (ремонтно-строительного производства, электронного и электротехнического оборудования, крупногабаритного мусора и ряда других) с их специфическими опасными свойствами. Не в полной мере определены и качественные параметры выходного целевого показателя  $P$ . Его количественное достижение не может быть реализовано из-за низкого уровня качества и безопасности входного потока отходов в силу отсутствия эффективной системы раздельного сбора, локальной обработки в источниках образования.

Означенная система управления в виде незамкнутого фрагмента сырьевого баланса с исполнительным механизмом преимущественно смешанного сбора, локальной обработки только лишь ТКО реализует схему преобразований входящих потоков:  $ТКО \rightarrow (ВР + \text{отходы})$ , в результате которой большая часть полезных ресурсов поступает на размещение в природную среду. В результате прогноз достижения заданных динамических свойств не может быть адекватно представлен моделью регулирующих воздействий оператора ни в виде функции переменных состояния, ни в качестве функции оценок вектора состояния объекта жизнеобеспечения, не стремящегося к вектору экологической безопасности всей системы.

Решение задачи при сложившихся граничных условиях предложено осуществить посредством формирования матрицы линейных стационарных обратных связей технологических процессов  $S$  трансформации потоков  $K_T$  и матрицы прямых связей  $Q$ , реализующей в системе материально-сырьевого цикла преобразование регулируемых переменных опасных состояний входящих потоков ТКО в заданные показатели количества и качества выходных потоков  $P$  с учетом внешних факторов и условий, нормативных экологи-

ческих ограничений по переменным вектора состояния внешней среды  $e$ . Применяя принцип Беллмана в формате исследования стохастических систем с неопределенными или нечеткими параметрами и характеристиками [19, 20], математическая модель обобщенного пропорционального регулятора достижения прогнозируемых динамических свойств (экологическая безопасность) и целевых эколого-ресурсных показателей описана в виде линейной функции векторов состояния объекта и внешней среды.

Предлагаемая альтернативная модель, реализующая механизм обеспечения экологической безопасности населенных пунктов от воздействия отходов, создана на базе применения нового технологического подхода «*ресурсный технологический цикл продукции в экологически безопасном процессе ее обращения*». Впервые разработанная конфигурация пропорционально-интегрального регулятора со встроенной моделью исполнительного механизма в виде организационно-технической системы в комплекс жизнеобеспечения, описание которого задается линейной автономной моделью, имеет следующие отличительные особенности:

- управление и регулирование обращения со всеми видами закончившей срок эксплуатации продукции, образующейся в процессе жизнеобеспечения;
- наличие и использование полной информации о количестве, состоянии, свойствах, характеристиках обрабатываемых в замкнутой системе ресурсов, сырья, продукции, степени их воздействия на окружающую среду;
- объект регулирования системы – вторичные ресурсы, реализующие процесс исключения «отходов» как элемента сырьевого баланса и как опасного состояния образующихся техносферных объектов;
- интеграция ресурсно-экологических и технико-экономических показателей в единой системе функционирования ресурсовосстановительной системы;
- интеграция исполнительного механизма: организационно-технической системы и технологической инфраструктуры в комплекс жизнеобеспечения городского округа и экономическую деятельность региона.

Абстрактное отображение в обобщенном виде функциональной схемы системы управления и регулирования экологически безопасным жизнеобеспечением посредством введения принципиально нового регулятора – многофункционального регионального оператора приведено на рис. 3.

С учетом законов сохранения, свойств ее целостности и замкнутости системы (предупреждения попадания отходов в природную среду) принято, что количество входящих потоков  $O$  и выходящих  $P$  совпадает при наличии  $k$  экологически безопасных переходных состояний технологического преобразования сырьевых потоков, не создающих для окружающей среды дополнительного негативного воздействия. Тогда результирующий вектор экологического состояния комплекса жизнеобеспечения  $S \in R^k$  с встроенной технологической системой  $T$ , при нулевом количестве отходов имеет размерность  $k$ , совпадающую с размерностью векторов задающих воздействий  $O \in R^k$  и регулируемых выходных переменных  $P \in R^k$ , т.е. каждый последующий этап обращения трансформирует техносферные объекты в виде безопасной продукции предыдущего этапа технологических преобразований.

Предполагается, что определенный уровень экологической опасности может представлять технологическая инфраструктура  $T$  (в первую очередь,

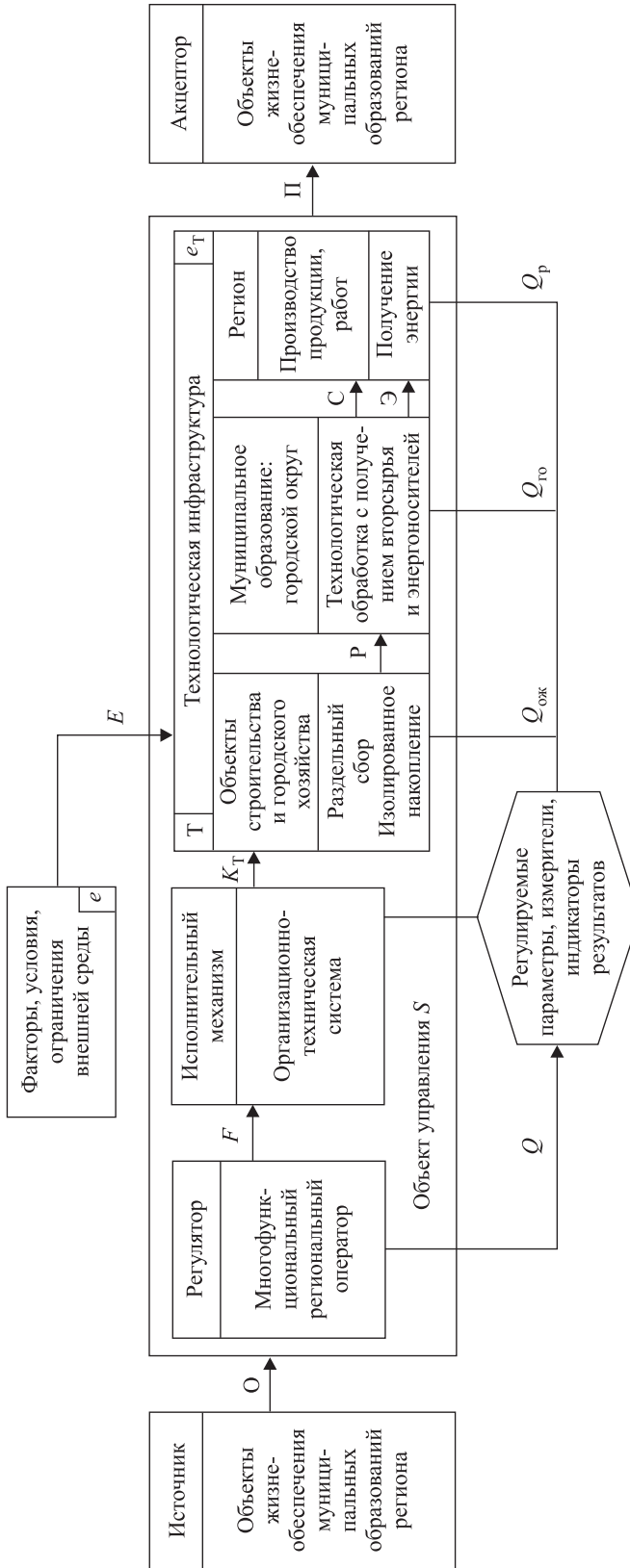


Рис. 3. Функциональная схема системы управления экологически безопасным жизнеобеспечением в рамках разработанной модели регионального оператора

Fig. 3. Functional diagram of the environmentally safe life support management system within the framework of the developed model of the regional operator



объекты энергетической утилизации и размещения «хвостов сортировки»), характеризуемая вектором изменения экологического состояния  $e_T$ , и не утилизируемые смешанные остатки (преимущественно – горючие)  $\mathcal{E}$ , образующиеся на стадиях преобразования ресурсов. Этот процесс отображается вектором экологического состояния переменных обратных технологических потоков, потенциально обладающих экологической опасностью в процессе энергетической утилизации или размещения ( $\mathcal{E} = \Pi - C = O - C$ ). В исследуемом формате составной вектор экологического состояния комплекса жизнеобеспечения  $S$  и вектор состояния экологической безопасности территории  $e$  как неотъемлемой составляющей внешней окружающей среды города, региона формируются следующим образом:

$$e = \begin{bmatrix} C \\ P \end{bmatrix} \text{ при } C \in R^{k-o}; P \in R^o \quad e \in R^k;$$

$$S = \begin{bmatrix} \mathcal{E} \\ e_T \end{bmatrix} \text{ при } S \in R^k; e_T \in R^{k-T}; \mathcal{E} \in R^T.$$

В соответствии с принципом Беллмана уравнение формирования управляющих воздействий многофункциональным региональным оператором (в виде обобщенного пропорционально-интегрального регулятора) со встроенной моделью исполнительного механизма по конечному состоянию экологической безопасности комплекса жизнеобеспечения имеет вид:

$$F = k_1 P + \bar{k}_0 C - k_1 e_T - \bar{k}_T \mathcal{E} = [k_1, k_0] \begin{bmatrix} C \\ P \end{bmatrix} - [k_1, k_T] \begin{bmatrix} \mathcal{E} \\ e_T \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Применяя обозначения векторов:  $\bar{Q} = [k_1, \bar{k}_0]$  и  $K_{(T)} = [k_1, \bar{k}_T]$ , уравнение формирования управляющих воздействий представлено выражением

$$F = -K_T S + Q e, \quad (2)$$

где  $Q = [k_1, k_0]$  – матрица преобразования опасных свойств и состояний входящих потоков использованной продукции в безопасные и полезные, позволяющие использовать ресурсный потенциал в качестве вторичного сырья;  $K_T = [k_T, \bar{k}_T]$  – матрица технологических преобразований потоков;  $Qe$  – результирующая матрица прямых связей, реализующих трансформацию образующихся токсичных отходов в безопасное вторичное сырье;  $K_T S$  – результирующая матрица экологической опасности технологических процессов перерабатывающей инфраструктуры по линейным стационарным обратным связям не утилизируемых в качестве вторичного сырья остатков.

Выражение (2) характеризует баланс экологически безопасного состояния территории между эколого-ресурсным эффектом со знаком «+» и экологическим вредом со знаком «-», смещение которого достигается регулятором предлагаемой ресурсовосстановительной системы.

Процесс моделирования состояний системы основывается на теории анализа многоконтурных химико-технологических систем, разработанной российскими учеными В.П. Мешалкиным, В.В. Кафаровым, В.Л. Перовым, матричных методов, примененных Н.Г. Гладышевым при создании систем рециклинга в техноприродных кластерах обращения с отходами [19, 20].

В отличие от известных научных позиций моделирования *конечного* результата в форме качественных и количественных параметров *выходных потоков* по заданным измеряемым входным и при наличии полной информации о технических средствах, аппаратах, устройствах преобразования рециркулируемых прямых/обратных потоков, в работе решена задача *моделирования* состава, порядка формирования, параметрических показателей *технологических процессов* при наличии информации о входных потоках (ресурсной составляющей, ее опасных, иных характеристиках) и конечных результатах (нормативных и стандартизованных технико-эксплуатационных свойствах, безопасности вторсырья, обеспечивающих возможность его использования для производства продукции, работ). Соответственно изменяется и алгоритм проведения исследования, предусматривающий на первом этапе системный анализ, количественную и качественную оценку параметров входных ресурсных потоков в плане технической возможности, экологической допустимости, экономической целесообразности повторного использования, на втором – установление прогнозных требуемых значений конечных параметров системы, а затем при наличии граничных условий с учетом воздействия внешних факторов и ограничений моделирование искомым параметрических характеристик технологических процессов преобразования сырьевого потока в полезное вторичное сырье.

Построение матриц линейных связей цикла технологического преобразования сырьевых ресурсов, для которого известны совокупность технологических операций, характеризующих их параметры, структура технологических связей, в рамках означенных теорий, реализуется на базе формирования и анализа матриц, соответствующих вектору переменных выходных потоков с качественными нормативными, стандартизованными технико-эксплуатационными свойствами, а также матриц, соответствующих вектору известных переменных входных потоков ресурсной составляющей:

$$K_{T_{ij}} = P_c / P_r, \quad (3)$$

где  $K_{T_{ij}}$  – матрица преобразований входных потоков  $j = (1 \dots r)$  в выходные посредством  $i$ -х технологических операций множества (Т);

$T_i$  – технико-эксплуатационные параметры  $i$ -й операции инженерно-технической инфраструктуры раздельного сбора, накопления, обработки, утилизации (в том числе энергетической) ресурсной составляющей;

$P_c$  – матрица, соответствующая вектору переменных выходных потоков продукции из вторичного сырья;

$P_r$  – матрица, соответствующая вектору переменных входных потоков ресурсной составляющей  $j = (1 \dots r)$  для  $i$ -го технологического процесса.

С учетом совокупности замкнутых многоконтурных технологических подсистем обращения прямых и обратных потоков ВР, каждый из которых является результатом преобразования предыдущего, результирующая матрица, соответствующая вектору переменных выходных потоков экологически безопасной продукции из вторсырья, определена выражением

$$P_c = K_{(T_{CH})i} K_{(T_{OB})i} K_{(T_Y)i} P_r, \quad (4)$$

где  $K_{(T_{CH})i}$  – матрица преобразований входных потоков (По)  $i$ -й операции раздельного сбора, накопления (СН), параметры которого известны, в потоки П, поступающие на технологическую обработку (ОБ);

$T_{CH_i}$  – технико-эксплуатационные параметры  $i$ -й операции, технических средств раздельного сбора, накопления (емкость, исходя из объемов и спектра ресурсной составляющей, сроки накопления, периодичность вывоза);  
 $K_{(T_{OB})_i}$  – матрица преобразований потоков П по каждой операции технологической обработки в потоки вторичного сырья С на утилизацию;  
 $T_{OB_i}$  – технико-эксплуатационные параметры  $i$ -й операции обработки ВР;  
 $K_{(T_Y)_i}$  – матрица преобразований потоков вторсырья С и альтернативных источников энергии Э на утилизацию (включая энергетическую);  
 $T_{Y_i}$  – технико-эксплуатационные параметры  $i$ -й операции перерабатывающей инфраструктуры (РК – рекуперация, РГ – регенерация, РЦ – рециклинг, ЭУВ и ЭУС – энергетическая утилизация высоко- и среднетемпературная).

Принимая во внимание характер поставленных в работе задач, для которых не существует строгих подходов, позволяющих получить однозначный результат за оптимальное, в нечетко выраженных условиях, время подготовки принятия организационно-технических и управленческих решений, методология исследования базируется на теории мягких вычислений с применением неточных и математически нестрого обусловленных методов алгоритмизации, реализующих поэтапное достижение научных целей.

В рамках теории нечетких множеств и мягких вычислений задача экспертной оценки поддержки принятия наилучшего в сложившихся условиях в данный момент времени организационно-технического решения по обращению с конкретной группой ВР состоит в том, чтобы при наличии нечетких оценок  $\{0; 1\}$  определить принадлежность каждого из ВР множеству установленных в документах по стандартизации технологических процессов трансформации ресурсной составляющей в конечную продукцию, образующих технологический цикл прогнозной ресурсовосстановительной организационно-технической системы жизнеобеспечения. Однако на практике не представляется возможным однозначное определение принадлежности элементов к одному и тому же множеству. В этих случаях нечеткий параметр  $K_T(r)$  не оценивается конкретными численными значениями, а изменяется на отрезке  $[0; 1]$ , т.е.  $K_T(r)$  характеризует не только принадлежность ресурсной составляющей  $r$  заданному множеству Т, но и выражает степень ее принадлежности этому множеству. Таким образом, вводимая как способ задания и оценки соотношения множеств Р и Т характеристическая функция множества Т представляет собой функцию  $K_T(r)$ , заданную на универсальном множестве Р, принимающую значение «1» на элементах множества Р, принадлежащих Т, и значение «0» на элементах, ему не принадлежащих.

Принадлежность входящих сырьевых элементов  $r \in P$  заданным множествам технологических процессов преобразования ресурсов на стадии технологического цикла Т (распределение по множествам  $T_{OB}$ ,  $T_{CH}$ ,  $T_Y$ ), выражаемая характеристической функцией  $K_T(r)$ , отображена в виде

$$K_{T(r)} = \begin{cases} 1, & \text{если } r \in T \\ 0, & \text{если } r \notin T \end{cases} \quad (r \in P). \quad (5)$$

В общем виде образующие нечеткие множества матрицы преобразований входных потоков посредством  $i$ -х технологических операций обработки, использования приведены на рис. 5, раздельного сбора – на рис. 6 (1 – наличие процесса трансформации данной группы ВР, 0 – отсутствие). В процессе

												ИР							
$K_T(\text{ОБ}) =$		РЗ	ОЧ	СП	СР	ДЗ	МО	СШ	ОБ	ВД	СК	Др	Из	Рз	Гр	Рд	Пп	Бр	Пр
	Мм <sub>r</sub>	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1
	Мс <sub>r</sub>	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1
	Д <sub>r</sub>	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1
	Б <sub>r</sub>	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1
	Т <sub>r</sub>	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0
	П <sub>r</sub>	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1
	ОСП <sub>r</sub>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
	МЕТ <sub>r</sub>	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1

Рис. 4. Матрица преобразований входных потоков ресурсных компонентов в результате технологической обработки

РЗ – разборка, ОЧ – очистка, СП – сепарация, СР – сортировка, ДЗ – дезинфекция, МО – мойка, СШ – сушка, ОБ – облагораживание, ВД – выдержка, СК – складирование, ИР – изменение размеров: Др – дробление, Из – измельчение, Рз – резка, Гр – гранулирование, Рд – разделка, Пп – перелав, Бр – брикетирование, Пр – прессование

Fig. 4. Matrix of transformations of input flows of resource components as a result of technological processing

RZ – disassembly, OCh – cleaning, SP – separation, SR – sorting, DZ – disinfection, MO – washing, SSh – drying, OB – ennobling, VD – exposure, SK – warehousing, IR – resizing: Dr – crushing, Iz – drinding, Rz – cutter, Gr – granulation, Rd – cutting, Pp – remelting, Br – briquetting, Pr – pressing

$K_T(Y) =$		РЦ	РКП	РКР	РГ	ЭУВ	ЭУС	РЗ
	Мм <sub>r</sub>	1	1	1	0	0	0	1
	Мс <sub>r</sub>	1	0	0	0	0	0	0
	Д <sub>r</sub>	0	1	0	1	0	1	0
	Б <sub>r</sub>	1	0	0	0	0	1	0
	Т <sub>r</sub>	1	1	0	1	0	1	0
	П <sub>r</sub>	1	1	0	1	1	0	0
	ОСП <sub>r</sub>	0	0	0	0	1	0	0
	МЕТ <sub>r</sub>	1	0	0	0	0	0	0

$K_T(\text{CH}) =$		Р	ПС	Г	ТУ	КО	Т	БИ
	Мм <sub>r</sub>	1	1	0	0	0	0	0
	Мс <sub>r</sub>	0	0	0	1	0	1	0
	Д <sub>r</sub>	1	1	1	1	0	0	1
	Б <sub>r</sub>	0	0	1	1	0	0	1
	Т <sub>r</sub>	0	0	1	0	0	0	1
	П <sub>r</sub>	1	1	1	1	0	1	0
	ОСП <sub>r</sub>	1	1	1	0	0	1	1
	МЕТ <sub>r</sub>	1	1	0	1	0	1	0

Рис. 5. Матрица преобразования входных потоков на утилизацию (энергоутилизацию) (а) и ресурсной составляющей (б)

Р – размер (1 – крупногабаритные (бункер), 0 – малогабаритные (контейнер)); ПС – сыпучесть (1 – пылевидные, мелкие (закрытый контейнер), 0 – твердые кусковые (стандартный контейнер)); Г – горючесть (1 – горючие, 0 – негорючие); ТУ – оборотный материал (1 – тара, упаковка, опалубка и пр., сохранившие эксплуатационные свойства, 0 – необорачиваемый, невозвратный ресурс); КО – класс опасности (1 – выше умеренно опасного, 0 – малоопасные, практически неопасные); Т – токсичность (1 – выше умеренно токсичного, 0 – малотоксичные); БИ – способность к биоразложению под воздействием влажности (1 – биоразлагаемые (изолированный контейнер от атмосферных осадков), 0 – неподверженные воздействию влажности)

Fig. 5. Matrix of transformations of input streams for utilization (energy utilization) (a) and of the resource component (b)

R – size (1 – large (bunker), 0 – small (container)); PS – flowability (1 – pulverized, small (closed container), 0 – solid lumpy (standard container)); G – combustibility (1 – combustible, 0 – nonflammable); TU – negotiable material (1 – packaging, package, formwork, etc., preserved operational properties, 0 – non-reversible, irrevocable resource); CO – hazard class (1 – above moderately dangerous, 0 – low-hazard, practically non-hazardous); T – toxicity (1 – above moderately dangerous toxic, 0 – low-toxic); BI – biodegradability under the influence of humidity (1 – biodegradable (insulated container from precipitation), 0 – not exposed to humidity)

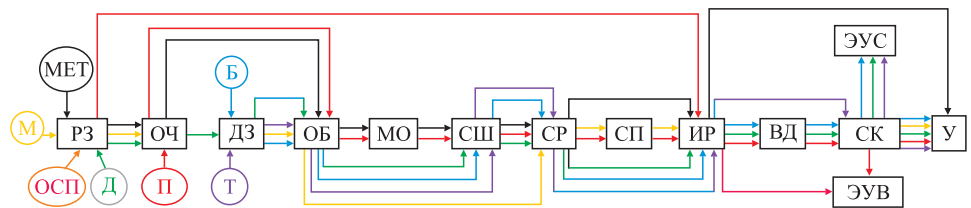


Рис. 6. Параметрический потоковый граф технологического цикла обработки ВР

Fig. 6. Parametric flow graph of the technological cycle of VR processing

расчета математической модели с применением нечетких (мягких) вычислений для каждой  $i$ -й операции преобразования  $j$ -го вида ВР выделенных групп формируется *отдельная прямоугольная матрица*.

Наличие сформированных матриц входных и выходных потоков дает возможность установить конфигурацию процессов технологического преобразования ресурсов внутри ресурсовосстановительной системы.

В обобщенном виде задача моделирования процесса преобразований потоков ресурсной составляющей на стадии технологической обработки на многофункциональных сортировочных комплексах графически решена посредством построения параметрического потокового графа (рис. 6).

Процесс определения параметрических характеристик технологического преобразования входных потоков ВР базируется на разработанной функ-



Рис. 7. Последовательная функциональная схема преобразования ВР

Fig.7. Sequential functional diagram of VR conversion

циональной схеме трансформации техносферных объектов в рамках модели регулятора ресурсовосстановительной системы экологически безопасного жизнеобеспечения (рис. 7).

Представленная функциональная схема преобразования ресурсной составляющей взята за основу при создании представленной модели многофункционального оператора по обращению с отходами комплекса жизнеобеспечения муниципальных образований и регионов.

**Выводы.** На основе впервые разработанного технологического подхода к предотвращению экологической опасности объектов жизнеобеспечения «ресурсный цикл продукции в экологически безопасном процессе ее обращения» сформированы новые принципы, методы технической адаптации инженерных систем, процессов обращения материально-сырьевых ресурсов в региональную перерабатывающую инфраструктуру, позволяя реализовать системный подход к обеспечению экологической безопасности техносферных территорий за счет развития ресурсовосстановительных систем и процессов на объектах строительства и городского хозяйства.

Математическая модель ресурсовосстановительной многоконтурной, многоуровневой системы экологически безопасного жизнеобеспечения «объект – муниципальное образование – регион» в качестве организационно-технического регулятора может быть реализована при формировании нового механизма функционирования региональных операторов обращения не с ТКО, а с вторичными ресурсами и сырьем, получаемыми из всего спектра бывшей в употреблении строительной и иной продукции и используемыми повторно для нужд комплекса жизнеобеспечения городских округов и регионов с расширением сферы технико-экономической деятельности и полномочий региональных операторов. Значимость настоящего исследования резко возрастает в связи с принятием поправок в ФЗ «Об отходах производства и потребления», касающихся организации обращения с вторичными материальными ресурсами, вторичным сырьем и побочными продуктами. Уже сейчас необходимо выстраивать научно обоснованные и практически применимые в сложившихся условиях экологически безопасные системы обращения с ресурсной составляющей образующихся техносферных объектов.

#### Список источников

1. Цховребов Э.С., Лебин А.Н., Белоусов В.Г. Новейшая история развития природоохранной деятельности в России // Вестн. Костром. гос. ун-та им. Н.А. Некрасова. 2012. Т. 18, № 2. С. 192–196.
2. Цховребов Э.С. Охрана окружающей среды на железнодорожном транспорте. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Космосинформ, 1996. 527 с.
3. Цховребов Э.С., Величко Е.Г. Теоретические положения формирования методологии создания комплексной системы обращения строительных отходов // Вестн. МГСУ. 2017. Т. 12, № 1. С. 83–93.
4. Ильичев В.А., Емельянов С.Г., Колчунов В.И., Каримов А.М., Гордон В.А., Бакаева Н.В. Концепция биосферной совместимости как основа доктрины градостроительства и расселения // Стратегические приоритеты. 2014. № 1. С. 71–84.
5. Теличенко В.И., Щербина Е.В. Социально-природно-техногенная система устойчивой среды жизнедеятельности // Пром. и гражд. стр-во. 2019. № 6. С. 5–12.

6. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В., Кобелева С.А. Оценка экологической безопасности строительства на основе модели полного ресурсного цикла // Науч. вестн. Воронеж. ГАСУ. Строительство и архитектура. 2016. № 4 (44). С. 169–176.
7. Теличенко В.И., Слесарев М.Ю. «Зеленая» стандартизация технологий формирования природоподобной среды жизнедеятельности // Вестн. МГСУ. 2018. Т. 13. Вып. 5 (116). С. 558–567.
8. Elgizawy S., El-Haggag S., Nassar K. Slum development using zero waste concepts: Construction waste case study // Procedia Engineering. 2016. Vol. 145. P. 1306–1313.
9. 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.
10. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions // Resources, Conservation & Recycling. 2017. No. 127. P. 9.
11. Hart J., Adams K. et al. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment // Procedia CIRP. 2019. No. 80. P. 619–624.
12. Goldstein B., Rasmussen F. LCA of buildings and the built environment. Life cycle assessment // Theory and Practice. 2018. Chap. 28. P. 695–720.
13. 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.
14. Slesarev M., Makarova A. Environmental safety of construction as a factor of graphoanalytical modeling of product parameters // Revista Inclusiones. 2020. Vol. 7. P. 477–488.
15. Чертец К.Л., Шестаков Н.И. Современные биопозитивные технологии переработки отходов коммунально-строительного сектора // Вестн. МГСУ. 2020. Т. 15, № 8. С. 1135–1146.
16. Графкина М.В., Потанов А.Д. Оценка экологической безопасности строительных систем как природно-техногенных комплексов (теоретические основы) // Вестн. МГСУ. 2008. № 1. С. 23–28.
17. Григорьев В.В., Быстров С.В., Бойков В.И., Болтунов Г.И., Коровьяков А.Н., Мансурова О.К., Першин И.М. Проектирование регуляторов для стохастических систем и объектов с неопределенными параметрами. СПб.: НИУ ИТМО, 2013. 172 с.
18. Grigoriev V.V., Mansurova O.K. Qualitative exponential stability and instability of dynamical systems // 5 th IFAC symposium on nonlinear control systems (NOLCOS 1). Preprints. St. Petersburg, 2001. P. 23.
19. Гладышев Н.Г. Теория и исследования рециклинга в техноприродных кластерах обращения с отходами // Экология и пром-сть России. 2011. № 3. С. 42–44.
20. Кафаров В.В., Мешалкин В.П., Перов В.Л. Алгоритм анализа многоконтурной химико-технологической системы // Автоматика и телемеханика. 1971. Вып. 11. С. 129–140.

### References

1. Tshovrebov E.S., Lebin A.N., Belousov V.G. The newest history of development of nature protection activity in Russia. *Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.A. Nekrasova = Bulletin of N.A. Nekrasov State University*. 2012; 18(2): 192–196. (In Russ.).
2. Tshovrebov E.S. Environmental protection in railway transport. Moscow, 1996. 527 p. (In Russ.).
3. Tshovrebov E.S., Velichko E.G. Theoretical provisions of the formation of the methodology for the creation of an integrated system for the treatment of construction waste. *Vestnik MGSU = Bulletin of MGSU*. 2017; 12(1): 83–93. (In Russ.).

4. Il'ichev V.A., Emel'yanov S.G., Kolchunov V.I., Karimov A.M., Gordon V.A., Bakaeva N.V. The concept of biosphere compatibility as the basis of the doctrine of urban planning and settlement. *Strategicheskiye priority = Strategical priority*. 2014; (1): 71–84. (In Russ.).
5. Telichenko V.I., Shcherbina E.V. Social-natural-technogenic system of sustainable environment of vital activity. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering*. 2019; (6): 5–12. (In Russ.).
6. Il'ichev V.A., Kolchunov V.I., Bakaeva N.V., Kobeleva S.A. Assessment of the environmental safety of construction based on the full resource cycle model. *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura = The scientific bulletin of Voronezh State University. Building and architecture*. 2016; (4(44)): 169–176. (In Russ.).
7. Telichenko V.I., Slesarev M.Yu. “Green” standardization of technologies for forming the nature-friendly living environment. *Vestnik MGSU = Bulletin of MGSU*. 2018; 13(5(116)): 558–567. (In Russ.).
8. Elgizawy S., El-Haggag S., Nassar K. Slum development using zero waste concepts: Construction waste case study. *Procedia Engineering*. 2016; 145: 1306–1313.
9. 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.
10. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling*. 2017; (127): 9.
11. Hart J., Adams K. et al. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment. *Procedia CIRP*. 2019; (80): 619–624.
12. Goldstein B., Rasmussen F. LCA of buildings and the built environment. Life cycle assessment. Theory and Practice. 2018. Chap. 28. P. 695–720.
13. Tshovrebov E., Velichko E., Shevchenko A. Methodological approaches to a substantiation resource- and energetically effective economic model of object of placing of a waste. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2018; 692: 1296–1305.
14. Slesarev M., Makarova A. Environmental safety of construction as a factor of graphoanalytical modeling of product parameters. *Revista Inclusiones*. 2020; 7: 477–488.
15. Chertes K.L., Shestakov N.I. Modern biopositive technologies of waste processing in the municipal construction sector. *Vestnik MGSU = Bulletin of MGSU*. 2020; 15(8): 1135–1146. (In Russ.).
16. Grafkina M.V., Potapov A.D. The analysis of ecologic safety of building systems is a nature-technical complex (theoretical basis). *Vestnik MGSU = Bulletin of MGSU*. 2008; (1): 23–28. (In Russ.).
17. Grigor'yev V.V., Bystrov S.V., Boykov V.I., Boltunov G.I., Korov'yakov A.N., Mansurova O.K., Pershin I.M. Designing regulators for stochastic systems and objects with uncertain parameters. Saint Petersburg, 2013. 172 p. (In Russ.).
18. Grigoriev V.V., Mansurova O.K. Qualitative exponential stability and instability of dynamical systems. 5th IFAK symposium on nonlinear control systems (NOLCOS 1). Preprints. Saint Petersburg, 2001. P. 23.
19. Gladyshev N.G. Theory and analysis of recycling in technical-nature clusters of placing of a waste. *Ecologiya i promyshlennost' Rossii = Ecology and the industry of Russia*. 2011; (3): 42–44. (In Russ.).
20. Kafarov V.V., Meshalkin V.P., Perov V.L. Algorithm of analysis of a control chemical-technology system. *Avtomatika i telemekhanika = Automatic and telemechanic*. 1971; 11: 129–140. (In Russ.).



**Информация об авторе**

**Э.С. Цховребов** – кандидат экономических наук, доцент

**Information about the author**

**E.S. Tshovrebov** – PhD, Ass. Professor

Статья поступила в редакцию 21.01.2022

Одобрена после рецензирования 21.02.2022

Принята к публикации 28.02.2022

The article was submitted 21.01.2022

Approved after reviewing 21.02.2022

Accepted for publication 28.02.2022