ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ МЕТОДОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ЕДИНОЙ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Э.С. Цховребов, Е.Г. Величко*

*Научно-исследовательский центр по проблемам управления ресурсосбережением и отходами
(ФГУ «НИЦПУРО»), 141006, г. Мытищи, Олимпийский пр-т, д. 42;*

**Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26*

Аннотация. Методология исследования экономической эффективности управления и регулирования обращения опасных отходов включает в себя в качестве основных составляющих определение и формулирование основополагающих алгоритмов, ориентиров и ограничений. Они позволяют проводить исследование более объективно и последовательно в рамках поставленных целей и задач. Для построения модели комплексной системы обращения строительных отходов первостепенным является определение ограничений, диктуемых законодательной базой в сфере охраны окружающей среды, здоровья граждан, обращения отходов, радиационной, противопожарной, технической безопасности, правил дорожного движения и перевозки грузов, градостроительства, а также технологическими, экономическими условиями, территориальными, природно-климатическими особенностями, производственно-техническими мощностями, возможными рисками.

В статье рассматриваются различные аспекты методологии создания экономической модели комплексной системы обращения строительных отходов, формируемой с учетом требований нормативно-правовых актов в сфере обращения опасных отходов, экологической безопасности, рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды в рамках устойчивого инновационного развития российской экономики на современном этапе.

Ключевые слова: методология, ресурсосбережение, комплексная система обращения строительных отходов, рациональное использование природных ресурсов, строительные отходы, охрана окружающей среды, экологически безопасное обращение отходов, вторичное использование, переработка и утилизация отходов, моделирование и управление потоками отходов строительных материалов

DOI: 10.22227/1997-0935.2017.2.201-213

APPLICATION ASPECTS OF METHODOLOGY OF CREATION OF THE UNIFIED BUILDING WASTE TREATMENT SYSTEM

E.S. Tskhovrebov, E.G. Velichko*

*Research Center on Problems of Resource Saving and Waste Management (FGU NITsPURO),
42 Olimpiyskiy pr., Mytishchi, 141006, Russian Federation;*

**Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU),
26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation*

Abstract. Methodology of research of economic efficiency of management and control of hazardous waste treatment includes determination and formulation of fundamental algorithms, guidelines and restrictions as the basic constituents. These make it possible to perform the research more consistently, in an unbiased manner, in the context of the set goals and objectives. The priority for formation of the model of the unified building waste treatment system is the determination of restrictions dictated by the legislative framework in the sphere of environmental protection, public health, waste treatment, radiation, fire and technical security, traffic and cargo transportation safety rules, urban planning, as well as by technological and economic conditions, territorial, natural and climatic features, industrial and production capacities, potential risks. The article considers various aspects of methodology of creation of economical model of the unified building waste treatment system generated with regard to the requirements of regulatory legal acts in the sphere of hazardous waste treatment, environmental safety, rational use of natural resources and environmental protection in terms of sustainable innovative development of the Russian economy at the present stage. Approaches to the unified building waste treatment system creation methodology proposed by the authors is an attempt to find scientifically based organizational and managerial ways of solution of urgent and crucial tasks of ecological security, energy and resource saving, conservation, recycling of waste into secondary products; the sustainable innovative development of the Russian state is impossible without the aforesaid solution.

Key words: methodology, resource saving, unified building waste treatment system, rational use of natural resources, building waste, environmental protection, ecologically safe waste treatment, waste recycling, waste treatment and waste utilization, modeling and management of construction material waste streams

Научная методология оптимизации и повышения экономической эффективности системы обращения отходов в условиях жестких экологических и иных требований основывается на ряде учений. В 80-е гг. прошлого века Э. Голдраттом была разработана теория ограничений, в основе которой лежит нахождение и управление ключевым ограничением системы, предопределяющим эффективность всей системы в целом как совокупностью управленческих решений по организации системы продвижения продукции, проектному управлению, руководству и контролю производственно-экономической деятельности [1, 2]. По мнению авторов, эта теория может быть вполне приемлемой и оптимальной при выявлении, обосновании и установлении ограничений, определяющих построение и функционирование модели комплексной системы обращения строительных отходов.

В рамках указанной теории ограничение мощности представляет собой ресурс, не обеспечивающий в необходимое время требуемый объем мощности, который достаточен для полноценного функционирования системы. Ограничение рынка характеризуется недостаточным количеством объемов потребления вторичной продукции для поддержания эффективного и планомерного роста производственно-экономической системы. Ограничение времени определяется временем реагирования системы на потребности рынка [2]. При значительных затратах времени на принятие оптимальных управленческих, экономических и производственно-технических решений (несоблюдение сроков поставки отходов на перерабатывающие станции или напрямую потребителям; нарушение сроков нахождения отходов в местах предварительной сортировки и первичной переработки и т.п.) ставится под угрозу способность системы выполнить взятые на себя обязательства между хозяйствующими субъектами — элементами системы, теряется результативность и способность к развитию бизнеса.

Используя теорию ограничений установлено, что основным ограничением предлагаемой модели комплексной системы обращения отходов является крайняя недостаточность производственных мощностей по переработке вторичного сырья и отходов в полезную продукцию, отсутствие либо малочисленное количество со-

ортировочных перерабатывающих комплексов и станций, включающих в себя технологические процессы предварительной сепарации, а также дробления, измельчения и других современных технологий переработки строительных отходов. Эти производства необходимы для приема наиболее объемных в общей массе строительных отходов:

- полученных в процессе сноса кирпичных, блочных, панельных, деревянных зданий и сооружений;
- древесных остатков от спила, корчевания пней деревьев и кустарников, в деревообрабатывающих цехах;
- произведенных в процессе строительно-монтажных или ремонтных работ (остатки щебня, гравия, асбеста, затвердевшей цементной смеси, бетона, железобетона в кусковой форме, бой строительного кирпича, металлолом).

Ограничение перерабатывающих строительных отходов мощностей приводит к тому, что их подавляющая часть направляется на захоронение в природную среду — на полигоны твердых бытовых отходов (ТБО).

Актуальным в настоящее время является процесс сепарации, измельчения и брикетирования всевозрастающего количества остатков полимерной строительной продукции, поступающей в основном на полигоны ТБО и не разлагающейся десятилетиями в природной среде; уничтожаемой на мусоросжигательных заводах или несанкционированно, с грубым нарушением санитарно-гигиенических норм и правил, в пределах населенных пунктов с выделением в атмосферный воздух чрезвычайно токсичных отравляющих веществ — диоксинов.

В отрасли строительного производства, промышленности строительных материалов крайне недостаточно внедряются современные технологии переработки полимерных отходов строительства, основанные на химических методах (деполимеризация, регенерация полимеров); термическом разложении (пиролиз, крекинг); термическом формовании (экструзия, литье под давлением, прессование, смешение, вальцевание, каландрирование, пневмовакуумирование, напыление пластмасс) [3–5].

В результате одним из основных ограничений системы становятся количество, мощность (производительность) и временные показатели

работы сортировочно-перерабатывающих комплексов и станций в условиях неравномерного поступления строительных отходов.

Лимитирующими производственными показателями, требующими оптимизации в данном случае будут являться объемы переработки отходов, пропускная способность, техническая оснащенность, ритмичность, соответствие ритма работы (период времени между отправлением двух последовательно уходящих из пункта погруженных или разгруженных транспортных средств) и интервала движения подвижного состава, минимизация простоев, КПД технологического оборудования, уровень автоматизации и механизации производственных процессов, производительность труда, логистика движения материальных потоков между поставщиками, комплексом и потребителями (планирование своевременной отгрузки, недопущения затаривания складских помещений, минимизация затрат на транспортировку и пр.) и ряд др. Оптимизация этих показателей будет способствовать обеспечению бесперебойного, высокотехнологичного, безопасного и эффективного функционирования комплекса по приему отходов.

Основным базовым нормативным ограничением является невозможность размещения сортировочно-перерабатывающих комплексов в пределах санитарно-защитной зоны населенных пунктов, водоохранных зон, прибрежных защитных и береговых полос водных объектов, санитарных зон охраны источников питьевой воды и водопроводов, на землях лесного фонда, особо охраняемых природных территорий и объектов (лечебно-оздоровительных местностей и курортов, территориях природоохранного, рекреационного, историко-культурного назначения, ценных землях, особо охраняемых природных территорий), охранных зонах продуктопроводов, подземных кабелей, ЛЭП, сельскохозяйственных и животноводческих угодьях в рамках требований экологического, санитарно-эпидемиологического законодательства, технических, противопожарных норм, правил, стандартов.

Другим базовым ограничением является невозможность использования некоторых остатков строительного сырья, материалов, изделий для изготовления экологически безопасной строительной продукции. Это в первую очередь касается отходов 1–3 класса токсичности для здоровья человека и опасности для окружающей среды либо радиационно-опасных. К таким отходам отнесены известковая, цементная и асбоцементная пыль, остатки фосфогипса, растворителей, синтетических клеевых и лакокрасочных

материалов, отходы извести при $pH > 10,1$, сырье, материалы и изделия, загрязненные нефтепродуктами, ядовитыми веществами и ряд других отходов. Данное ограничение регулируется экологическим законодательством, техническими и санитарно-гигиеническими стандартами, правилами, нормами.

Следующим важным ограничением является ценовая и тарифная политика. Транспортирование отходов как вторичного сырья для производства продукции увеличивает себестоимость продукции, вследствие чего на объекте потребления такая продукция имеет изначально более высокую стоимость, чем на месте его производства. Предприятиям, выпускающим материалы из строительных отходов должно быть экономически выгодно их приобретать. В противном случае рынок спроса и предложения такой вторичной продукции в силу экономических причин развиваться в нашей стране не будет.

Существенное ограничение будет определять спрос на вторичное сырье и строительные отходы с учетом производственной мощности предприятий, выпускающих из них новую продукцию.

Еще одним немаловажным ограничением является дальность перевозки отходов. Путем проведения факторного и сопоставительного (экспертного) анализа установлено, что максимальное экономически целесообразное плечо транспортировки отходов не превышает 25...30 км.

В рамках проведения анализа данной теории можно констатировать, что ограничение — это не только показатель, блокирующий стремление системы к работоспособности, оптимизации и результативности, но и фактор, который при научно и практически обоснованном воздействии на него существенно повысит эффективность системы в целом и выведет ее на новый качественный уровень. С помощью теории Э. Голдратта определяется системный подход к поиску и снятию ограничений, практически применимый при построении модели комплексной системы обращения с отходами. В качестве такого подхода разработаны предложения авторов в рамках региональных, муниципальных программ по созданию комплексной системы обращения отходов, модернизации и активизации работы уже действующих предприятий, потенциально являющихся переработчиками строительных отходов (заводы ЖБК, деревообрабатывающие комбинаты, асфальтобетонные заводы). Такой подход с учетом проработки экономической целесообразности проекта в ряде случаев позволит ликвидировать основ-

ные ограничения, обусловленные мощностями и рынком спроса, отсутствием необходимости строительства сортировочно-перерабатывающих комплексов, организацией поставок вторичного строительного сырья и отходов напрямую товаропроизводителям.

Основная задача, решаемая в рамках формирования методологии модели комплексной системы обращения строительных отходов, — обеспечение экологически и технически безопасной, экономически эффективной и оптимальной с учетом климатических, географических, региональных условий, организации транспортирования отходов как опасного груза от поставщиков к потребителям.

Транспортировка опасных грузов связана с риском для здоровья людей, окружающей среды, порчей имущества и должна производиться с соблюдением строгих мер безопасности. Кроме того, существует ряд правил и требований не только непосредственно к самой перевозке таких грузов, но и к подвижному составу, оборудованию грузовых автомобилей, перевозящих эти грузы, наличию специально подготовленного экспедитора. В соответствии со ст. 16 «Требований к транспортированию отходов I–IV класса опасности» ФЗ «Об отходах производства и потребления» транспортирование таких отходов должно осуществляться при следующих условиях:

- наличие паспорта отходов;
- соблюдение требований безопасности к транспортированию отходов на транспортных средствах, оборудованных и снабженных специальными знаками;
- наличие документации для транспортирования и передачи отходов с указанием количества транспортируемых отходов, цели и места назначения.

При этом порядок транспортирования таких отходов, требования к погрузочно-разгрузочным работам, упаковке, маркировке, обеспечению экологической и пожарной безопасности определяются правилами и нормативами, разработанными и утвержденными федеральными органами исполнительной власти. В итоге экологические и санитарно-гигиенические требования становятся одним из основных ограничений подсистемы модели, отражающей транспортную составляющую потока движения отходов в единой комплексной системе обращения отходов.

В рассматриваемом случае математическое моделирование является наиболее приемлемым оптимальным экономико-математическим аппаратом, позволяющим учесть все факторы и огра-

ничения транспортирования отходов как опасного груза в рамках построения методологии решения поставленной актуальной научно-исследовательской задачи. Математические модели, применяемые для экономического и организационно-управленческого анализа транспортных сетей, различны в зависимости от поставленных целей, решаемых научно-исследовательских и практических задач, используемому математическому аппарату [6–8]. При проведении исследований представлялось необходимым определить, какой объем и какая степень детализации показателей по результатам экономико-математического моделирования будут необходимы и достаточны в рамках формирования методологии создания единой комплексной системы обращения со строительными отходами. Было принято во внимание, что имитационное моделирование ставит своей задачей детальное воспроизведение всех физико-технических характеристик процесса движения, включая развитие этого процесса во времени. Для более сложных с точки зрения применяемого математического аппарата динамических моделей характерна значительно большая детализация описания движения, потребность в больших вычислительных ресурсах [9]. При этом прогнозные модели могут применяться для определения основных параметров транспортных потоков движения отходов в единой сети с учетом существующих и прогнозируемых на перспективу региональных дорожно-транспортных условий, грузопотока, инфраструктуры и характеристик транспортной сети, географии размещения потокообразующих объектов (поставщики, потребители, переработчики отходов), а также заданных в модели ограничений. Прогноз загрузки транспортной сети позволяет моделировать расчет усредненных характеристик движения, грузопотока как внутри региона, так и за его пределами, интенсивность потока, распределение специальных транспортных средств по видам и категориям перевозимых опасных грузов и ряд других характеристик.

Процесс исследования влияния каждого из показателей на оптимизацию моделируемого процесса транспортировки отходов может быть осуществлен путем факторного и экспертного анализов, методом априорного ранжирования факторов. При проведении априорного ранжирования экспертным путем определяется место фактора в каждом ранжированном ряду из предложенной выборки показателей с указанием при необходимости их размерности и предполагаемых интервалов варьирования [10].

Такой подход позволяет реализовать сравнительную оценку влияния различных показателей на параметры оптимизации системы и тем самым правильно отобрать факторы для последующего включения в модель, обоснованно исключив некоторые из них из дальнейшего рассмотрения.

По результатам системного анализа можно сделать вывод о том, что основными факторами, определяющими характеристики моделируемой транспортной сети будут являться:

- потокообразующие (количество и виды образующихся, перерабатываемых, вторично используемых отходов на предприятиях, производственная мощность этих объектов? грузоподъемность транспортных средств);
- географические (размещение объектов, геометрия сети);
- региональные условия (пропускная, провозная способность и состояние улично-дорожной сети, специального транспорта, организация движения, тарифы);
- ограничения, связанные в основном с обеспечением экологической, санитарной, противопожарной, технической безопасности в процессе обращения (погрузки, выгрузки, транспортирования и пр.) отходов, а также экономической целесообразностью деятельности по переработке, утилизации строительных отходов (предельная оптимальная дальность транспортировки, себестоимость переработки, конечная цена вторичного сырья как товара, наличие потребителей и пр.).

Исходя из проведенного анализа сделано предположение о том, что применение прогнозных моделей будет достаточным при моделировании количественных характеристик перевозки отходов с учетом изменений в транспортной сети, объемах образования, переработки отходов, характере перевозимых опасных грузов, размещении, производственной мощности объектов модели рассматриваемой системы.

Однако не вызывает сомнения, что элементы и составляющие грузового транспортного потока в зависимости от различных факторов отличаются высокой степенью неопределенности, т.е. стохастичностью [11–17]. Кроме того, показатели экономической целесообразности и экологической, санитарной, технической безопасности как затратного механизма негативно влияют друг на друга. Можно сказать, что эти показатели антагонистичны, так как бизнес-структуры повсеместно стремятся снизить себестоимость товаров, оказываемых транспортных услуг за счет «экономии» на природоохранных санитарно-гигиенических мероприятиях, со-

блюдении технических правил эксплуатации подвижного состава, безопасности дорожного движения, охране труда и здоровья работников. Все это необходимо оценивать при моделировании транспортного потока с учетом ограничений, в первую очередь регламентированных правовыми нормами.

Формирование экономико-математической модели распределения транспортных потоков по улично-дорожной сети может осуществляться в соответствии с первым поведенческим принципом Вардропы или принципом пользовательской оптимизации. Распределение транспортных потоков, согласно этому принципу, соответствует конкурентному бескоалиционному равновесию, при котором каждый из участников дорожного движения стремится достигнуть конечного пункта как можно выгоднее для себя и из имеющихся возможных вариантов следования выбирает тот маршрут, по которому будет нести минимальные затраты на проезд [18].

В общем виде математический подход к решению и исследованию задач оптимизации транспортной системы состоит в сведении данной задачи к эквивалентной прогнозно-оптимизационной задаче или вариационному неравенству. Рассмотрим постановку задачи о распределении объемов перевозок отходов по транспортной сети в виде многоиндексной распределительной задачи линейного программирования. Целесообразно в качестве основного критерия для оптимального распределения объемов перевозок использовать критерий минимума транспортных затрат, связанных с перевозкой отходов как опасного груза. В качестве критерия могут быть также выбраны максимальная прибыль, минимальный пробег транспортных средств, минимальный простой подвижного состава, максимальный объем перевозимых грузов.

Математическая постановка транспортной задачи состоит в следующем. Однотипный вид отходов сосредоточен у m поставщиков в объемах: $a_1, a_2, \dots, a_m$. Данный опасный груз необходимо доставить n потребителям — переработчикам отходов в объемах $b_1, b_2, \dots, b_n$. Известны C_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$) — стоимости перевозки единицы груза от каждого i -го поставщика каждому j -му потребителю. Требуется составить план перевозок, при котором запасы всех поставщиков вывозятся полностью, запросы всех потребителей удовлетворяются полностью и суммарные затраты на перевозку всех грузов минимальны. Постановка транспортной задачи состоит в определении оптимального

плана перевозок однотипного груза из m пунктов отправления в объемах $a_1, a_2, \dots, a_m$ в n пунктов назначения в объемах $b_1, b_2, \dots, b_n$ [9, 19–24].

Математическая модель транспортной задачи в общем случае имеет вид:

$$Z(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

Целевая функция задачи (1) выражает требование обеспечить минимум суммарных затрат на перевозку всех отходов. Группа из m уравнений (2) определяет, что запасы всех m поставщиков отходов вывозятся полностью, а группа из n уравнений (3) выражает требования полностью удовлетворить запросы всех n потребителей — переработчиков отходов во вторичные продукты. Неравенства (4) являются условиями неотрицательности всех переменных задачи. Математическая формулировка транспортной задачи состоит в нахождении $X = (x_{ij})$, $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$, удовлетворяющее системе ограни-

чений (2), (3), условиям неотрицательности (4) и обеспечивающее минимум целевой функции (1). В данной модели транспортной задачи предполагается, что суммарные запасы поставщиков отходов равны суммарным запросам их потребителей [9, 25, 26]:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j.$$

Для того чтобы транспортная задача линейного программирования имела решение, необходимо и достаточно, чтобы суммарные запасы поставщиков отходов равнялись суммарным запросам их потребителей, сводя задачу к оптимальному балансу — минимизации размещения отходов в природной среде на захоронение и максимизации использования отходов во вторичном хозяйственном обороте. Но такая задача является упрощенным вариантом в том случае, если образующиеся строительные отходы будут напрямую доставляться их потребителям для изготовления вторичной продукции или производства каких-либо работ (например, использование боя кирпича, бетона для подсыпки и устройства временных автодорог, древесных отходов — на деревообрабатывающих предприятиях, оработанного строительного грунта —

Моделируемая сеть транспортирования отходов: завод ЖБК — завод железобетонных конструкций; ДОК — деревообрабатывающий комбинат; ККЗ — кирпично-керамический завод

Model-based waste transportation network: RCS plant — plant for reinforced concrete structures; DOK — woodworking plant; KKZ — brick and ceramics factory

для засыпки траншей, рекультивации полигонов ТБО, отработанных бетонных и железобетонных конструкций — на заводах ЖБК).

Несколько отличаются методы и принципы решения задачи оптимального транспортирования и распределения потоков отходов как опасного груза с учетом наличия и размещения сортировочно-складских и перерабатывающих отходов комплексов и предприятий (СПК). При решении данной задачи транспортная сеть представляется в виде ориентированного графа с множеством вершин и дуг сети (рис.), а поиск оптимального решения с учетом ограничений осуществляется с использованием теории графов. Каждая дуга соответствует реальному участку автодороги без перекрестков. Каждая вершина представляет узел (перекресток) или место существенного изменения характеристик дороги. Таким образом, задача последовательного оптимального упорядочения замкнутого маршрута движения может быть сформулирована в рамках теории графов или как общий случай ассиметричной задачи коммивояжера.

Математическая формулировка производственно-транспортной задачи прикрепления производителей конкретной продукции к ее потребителям с учетом функционирования СПК может быть представлена следующим образом: $i = 1, \dots, k$ — предприятия (объекты), являющиеся источниками образования отходов; $j = 1, \dots, r$ — СПК; $n = 1, \dots, m$ — потребители отходов; x_{ij} — грузопоток от i -го предприятия до j -го СПК; x_{jk} — грузопоток от j -го СПК до n -го потребителя; x_j — количество хранимых и перерабатываемых отходов в СПК; C_j — стоимость хранения и переработки единицы отходов в СПК; Q_i — количество отходов, транспортируемых от i -го объекта; q_j — потребность n -го получателя продукции; C_{ij} и C_{jn} — стоимости перемещения единицы груза соответственно из i -го пункта в j -й СПК и из j -го СПК в n -й пункт потребления.

Для построения математических моделей добавляется формальное описание моделируемых факторов и ограничений. Задача распределения материальных потоков между производителями отходов, СПК и потребителями формулируется следующим образом:

$$\sum R = \min \left(\sum_{ij} x_{ij} + \sum_j x_j + \sum_{jn} x_{jn} \right),$$

при наличии ограничений: $(X_{ij}, X_j, X_{jn}) > 0$;

$$Q_i = \sum x_{ij}; X_j = \sum x_{ij}; q_j = \sum x_{jn}.$$

Целевая функция $\sum R$ выражает суммарные затраты, связанные с транспортировкой и переработкой грузов в СПК и дальнейшей транспортировкой потребителям. Задача состоит в том, чтобы найти значения X_{ij} и X_{jn} , минимизирующие целевую функцию при соблюдении вышеуказанных четырех ограничений. Ограничения X_j и q_j представляют условия баланса образования отходов, вторичного сырья и их потребления для производства из них новой продукции. В модель могут быть внесены ограничения по провозной способности автотранспорта на участках улично-дорожной сети (i, j) и (j, n) , а также по перерабатывающей способности СПК W_j (производительность, пропускная способность): $\sum_j W_j < \sum_j X_j$ [7, 27].

В случае необходимости оптимизации количества и размещения СПК производственно-транспортная задача дополняется комбинаторной на основе применения метода направленного перебора вариантов.

К таким задачам допустимо применять и эвристические методы, позволяющие в большинстве случаев получать оптимальные решения различных задач в области проектирования, прогнозирования и управления, эффективные в условиях применения интерактивных систем, когда за профессионалом-экспертом остается выработка окончательных решений (в отличие от формальной процедуры, лежащей в основе метода полного перебора). Эвристические методы определения места размещения распределительных центров эффективны для решения практических задач, дают близкие к оптимальным результаты при невысокой сложности вычислений, однако не обеспечивают отыскания оптимального решения.

При исследовании процесса обращения отходов может быть применен и метод XYZ, позволяющий разделить весь материальный поток на три группы в зависимости от степени равномерности спроса и точности прогнозирования. В группу x входит вторичное сырье, спрос на которое равномерен или подвержен незначительным колебаниям (остатки цемента, бетона, металл, дерево), и объем реализации хорошо прогнозируется. Группа y включает вторичное сырье, образующееся неравномерно, например из-за сезонного характера строительного производства. Группа z — это отходы, спрос на которые возникает эпизодически (остатки лакокрасочных материалов, полимеры). Признаком, на основании которого конкретную позицию относят к группе x , y или z является коэффициент вариации спро-

са $v = 100 \% \sqrt{(\sum((x_i - x)/n)/x}$, где n — количество периодов; x_i — конкретное значение; x — среднее значение спроса по оцениваемой позиции. В ходе проведения анализа сначала определяется коэффициент вариации по отдельным позициям, затем группировка объектов управления в порядке возрастания коэффициента вариации и, наконец, разделение совокупности объектов на группы x , y или z , завершается процесс построением кривой x , y , z [26–28].

По результатам исследования и анализа использования различных научных методов и подходов авторами сделан вывод о том, что при построении методологии модели единой системы обращения отходов представляется целесообразным комплексное применение и адаптация ряда методов экономического анализа (экономической, математической статистики и методов теории принятия решений) на различных этапах решения конкретных исследовательских задач:

- эвристические методы — для оценки спроса на различное вторичное сырье, отходы, вариантов оптимизации размещения сортировочно-перерабатывающих комплексов;
- факторный и кластерный анализ, ранжирование, квалиметрический и экспертный анализ — в процессе выявления противоречий при обосновании проблемы, требующей разрешения при проведении научного исследования, выделения показателей и факторов, оказывающих влияние на оптимизацию моделируемого процесса транспортировки отходов, а также формирования принципов и критериев методологии построения системы обращения строительных отходов;
- теория ограничений — как системный подход при установлении ограничений моделируемой системы;
- экономико-математическое моделирование, теория графов — для оптимизации распределения потоков строительных отходов от поставщиков к потребителям по транспортной сети с учетом ограничений.

По результатам проведенных научно-прикладных исследований формируется методика, позволяющая проанализировать и дать оценку конкретному виду отходов по уровню нагрузок и воздействия на человека и окружающую среду, ранжировать по степени экологической опасности и токсичности, возможности использования в качестве вторичного сырья для производства строительной продукции. Данная методика разработана в рамках теории ограничений с использованием сопоставительного (экспертного) анализа, базирующегося на сборе и оценке

(экспертной и пр.) научно-практической информации, аргументации, последующих логических рассуждений и выводах, а также индексного метода, формирующего индексные показатели опасности отхода. Методика характеризуется комплексным подходом к оценке воздействия отработанных строительных материалов, сырья, изделий на окружающую среду с выделением всех свойств строительных отходов (радиационных, химических, санитарно-гигиенических, физических, структурных, экологических, биологических), которые объективно могут определять возможность использования в качестве вторичного сырья при производстве новой продукции [5, 28–30].

Для повышения научно-практической значимости исследований, методически определены, обоснованы и закреплены основные составляющие (этапы) формирования единой отраслевой, межрегиональной или региональной комплексной системы обращения строительных отходов:

- полная инвентаризация (для ее проведения разработан новый специальный алгоритм сбора данных и акт обследования):
источников и объектов, образующих строительные отходы с определением полной и достоверной информации об их видах, количестве, опасности, токсичности, состоянии, структуре, сезонности образования; условиях и требованиях в части раздельного сбора, хранения, транспортирования, возможности использования в качестве вторичного сырья для производства продукции; не утилизируемых и не подлежащих вторичной переработке отходов; способах использования, уничтожения, захоронения; путях и способах минимизации образования отходов; предварительной сепарации, извлечения полезных продуктов и вторичного сырья из отходов; соблюдении требований экологической и гигиенической безопасности в процессе их обращения;

предприятий, имеющих возможность перерабатывать строительные отходы во вторичную продукцию с определением потенциальной производственной мощности по переработке, объемов выпускаемой продукции из вторичного сырья и отходов; видах, объемах, характеристиках, сезонности, качестве, безопасности поступающего сырья, способах и условиях хранения; себестоимости продукции; экологичности и санитарно-гигиенической безопасности выпускаемой продукции;

- предварительная разработка отраслевой либо региональной схемы размещения поставщиков и потребителей вторичного сырья и от-

ходов, сетевой модели «существующее положение» с учетом минимизации образования не утилизируемых и не подлежащих переработке, размещаемых в природной среде либо уничтожаемых отходов с определением баланса спроса и предложения по каждой позиции, возможности и условиях транспортировки, географических и климатических условий, дорожно-транспортной инфраструктуры, грузопотоков, пропускной и провозной способности дорог, сезонности, себестоимости перевозок. На этом этапе определяется избыток (недостаток) отходов и необходимость в размещении, строительстве сортировочно-перерабатывающих комплексов, перегрузочных станций, новых производств по производству продукции из вторичного сырья и строительных отходов;

- формирование прогнозной модели-схемы развития и размещения сортировочно-перерабатывающих комплексов, перегрузочных станций, новых производств продукции из строительных отходов с учетом территориальных географо-климатических особенностей, социальных, экономических, технических условий и ограничений, требований действующего законодательства, оптимизируемых с использованием методов экономико-математического моделирования, экономического анализа, эвристических методов;

- определение капитальных вложений, эксплуатационных расходов, дисконтированных во времени, сравнение по результативности, оптимальности, экологической безопасности различных вариантов осуществления хозяйственной деятельности (использование автомобильного или железнодорожного транспорта для перевозки опасных грузов, варианты технологий переработки отходов и пр.), прогноз и оценка возможных рисков, ущербов, прибыли, рентабельности, других экономических показателей;

анализ вклада данной системы в устойчивое инновационное развитие отрасли, региона;

формирование окончательной схемы размещения объектов комплексной системы обращения отходов как предпроектной разработки с соблюдением всех нормативно-правовых процедур, в т.ч. инженерно-экологических изысканий, оценки воздействия на окружающую среду;

- проведение анализа и оценки окончательного варианта схемы в части соблюдения требований действующего законодательства, предварительных общественных слушаний, общественной экологической экспертизы и далее — государственной экспертизы предпроектной документации с осуществлением предварительного согла-

сования со всеми государственными органами, учреждениями, организациями в установленном законодательством порядке.

В рамках разработанной методологии даны практические рекомендации повышения эффективности деятельности в области ресурсосбережения и обращения отходов в соответствии с которыми предлагается:

- создание Федерального агентства по ресурсосбережению и обращению с отходами (по аналогичным экологическим направлениям такие федеральные агентства функционируют с 2004 г. (водных ресурсов, гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды (проблемы мониторинга, контроля источников загрязнения атмосферного воздуха), недропользования)), подчиненного непосредственно Правительству РФ в силу актуальности, первостепенной важности и значимости проблемы, тесно взаимоувязанной со устойчивым инновационным направлением развития российского государства;

- выделение в организационно-управленческих структурах органов исполнительной власти управлений по обращению отходов, которые станут регулятивно-управляющим центром региональных комплексных систем обращения отходов; при этом в рамках проведенного научного исследования разработаны проекты положений об агентстве и региональных управлениях с учетом функций и разграничения полномочий в данной сфере с учетом требований действующего законодательства;

- усиление ответственности отраслевых министерств, региональных органов исполнительной власти за обеспечение ресурсосбережения, рационального использования природных ресурсов, внедрения безотходных и малоотходных технологий, организацию перерабатывающих отходы производственно-технических комплексов и систем максимально возможного вторичного использования отходов с минимизацией их поступления на захоронение в природную среду, в частности, введение сформированных по результатам исследования следующих результирующих целевых годовых показателей:

количество собранного, использованного, переработанного вторичного сырья;

количество перерабатывающих отходы предприятий, производств, внедренных ресурсосберегающих, безотходных, малоотходных технологий;

доля перерабатывающих отходы производств в промышленном комплексе региона;

процентное соотношение перерабатываемых отходов к количеству образовавшихся за отчетный период;

величина сокращения захораниваемых, уничтожаемых отходов в природной среде;

объем выпускаемой продукции из вторичного сырья и отходов;

процентное соотношение объемов продукции из вторичного сырья и природных ресурсов;

ущерб, нанесенный природной среде в связи с изъятием природных ресурсов вместо использования вторичного сырья для производства продукции;

эффективность внедрения ресурсосберегающих технологий;

себестоимость продукции из вторичного сырья;

развитие малого и среднего бизнеса в сфере рециклинга;

- установление ответственности выборных (назначаемых) руководителей органов исполнительной власти субъектов РФ за решение проблем ресурсосбережения и вторичной переработки отходов;

- юридическое уточнение понятия «экологическая безопасность» с точки зрения решения проблем ресурсосбережения и вторичной переработки отходов как первостепенной природоохранной задачи в рамках обеспечения устойчивого инновационного безопасного развития страны;

- введение норм административной и гражданско-правовой ответственности за неиспользование производственно-технической возможности ресурсосберегающих, безотходных технологий, непринятие должностными и юридическими лицами мер по раздельному сбору, использованию, сдаче на переработку образовавшихся отходов, подлежащих утилизации, переработке;

- принятие на уровне Правительства РФ решений по существенному снижению налоговой нагрузки на хозяйствующие субъекты, внедряющие ресурсосберегающие, безотходные тех-

нологии, перерабатывающие вторичное сырье и отходы в новую качественную безопасную продукцию, всевозможные льготы, субсидии малому и среднему бизнесу;

- осуществление полной, достоверной и объективной инвентаризации объектов образования отходов, потенциальных перерабатывающих производств с целью планирования объемов внедрения сортировочно-перерабатывающих комплексов на основе предложенной в научном исследовании методологии создания комплексных систем по обращению отходов, развитие малого и среднего бизнеса в данной сфере.

Предложенные авторами подходы к созданию методологии комплексной системы обращения строительных отходов — это попытка поиска научно обоснованных организационно-управленческих направлений решения назревших актуальных задач экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения, экономии природных ресурсов, переработки отходов во вторичную продукцию, без которых сейчас невозможно устойчивое инновационное развитие российского государства. По мнению авторов, конкретные тактические инженерно-технические, экономико-математические научные задачи в рамках сформированной методологии в данной области, такие как создание и развитие математического аппарата для оптимизации сетевых моделей, разработка пакета прикладных программ, новых экологически безопасных технологий переработки строительных отходов, экономически эффективных методов оптимизации технологических процессов обращения с опасными отходами, ценовой, тарифной и налоговой политики, созданию новой конкурентоспособной на мировом рынке продукции из вторичного сырья, конструирование новых типов подвижного состава для транспортировки опасных грузов, могут быть решены в ходе и по результатам научных исследований при подготовке диссертаций на соискание ученых степеней кандидатов технических, экономических наук, проектно-изыскательских и научно-исследовательских работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Детмер У. Теория ограничений Голдратта : системный подход к непрерывному совершенствованию / пер. с англ. У. Саламатова. 4-е изд. М. : Альпина паблишерз, 2012. 443 с.
2. Шрагенхайм Э. Теория ограничений в действии: Системный подход к повышению эффективности компании / пер. с англ. У. Саламатова. М. : Альпина Паблишер, 2014. 284 с.

3. Костарев С.Н., Мурынов А.И. Автоматизированное проектирование, управление и системный анализ природно-технических объектов утилизации отходов // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика (INNOTECH 2010) : материалы II Международной интернет-конференции молодых ученых, аспирантов, студентов (1 ноября–1 декабря 2010 г.). Пермь : Изд-во Пермского гос. техн. ун-та, 2010. С. 19–26.

4. Anink D., Mak J., de Haas F., Boonstra C., Willers W. Handleiding duurzame woningbouw : milieubewuste materiaalkeuze bij nieuwbouw en renovatie. Stuurgroep experimenten volkshuisvesting, Rotterdam, November 1993.
5. Цховребов Э.С., Четвертаков Г.В., Шканов С.И. Экологическая безопасность в строительной индустрии. М. : Альфа-М, 2014. 302 с. (Современные технологии)
6. Абрамова М. В. Абрамова М.В., Бачурина Н.Д. Сетевая модель управления потоками отходов // Вестник Восточноукраинского университета им. В. Даля. 2008. № 3 (121). С. 73–78.
7. Гасников А.В., Кленов С.Л., Нурминский Е.А., Холодов Я.А., Шамрай Н.Б. Введение в математическое моделирование транспортных потоков. М. : Изд-во Мос. центра непрер. математ. образ., 2012. 428 с.
8. Перекальский В.А. Отечественный и зарубежный опыт экономико-математического моделирования в сфере управления обращением с отходами // Стратегии бизнеса. 2013. № 2 (2). С. 38–41.
9. Смирнов Н.Н., Киселев А.Б., Никитин В.Ф., Юмашев М.В. Математическое моделирование автотранспортных потоков. М. : Изд-во МГУ, 1999. 184 с.
10. Тарасов Р.В., Макарова Л.В., Бахтулова К.М. Оценка значимости факторов методом априорного ранжирования // Современные научные исследования и инновации. 2014. № 4 (36). Ст. 46. Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2014/04/33181>.
11. Алексанин А.В. Организация систем логистики потоков отходов строительного производства : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М. : МГСУ, 2013. 24 с.
12. Алимов А. Использование возможностей логистики в модернизации работы с отходами производства (логистика отходов) // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, конкуренция. 2009. № 1. С. 37–39.
13. Вайсман Я.И., Тагилова О.А., Садохина Е.Л. Разработка методологических принципов создания и оптимизации учета движения отходов с целью повышения эколого-экономико-социальной эффективности управления их обращением // Экология и промышленность России. 2013. № 12. С. 40–45.
14. Губенко В.К., Лямзин А.А., Помазков М.В., Губенко О.В. Логистика отходов в мегаполисе // Материалы 11 Междунар. науч.-практ. конф. Киев : Мин. транс. и связи Украины, 2009. 200 с.
15. Корнилов А.М., Пазюк К.Т. Экономико-математическое моделирование рециклинга твердых бытовых отходов и использование вторичного материального сырья // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2008. № 2 (9). С. 69–80.
16. Celik N., Antmann E., Shi X., Hayton B. Simulation-based optimization for planning of effective waste reduction, diversion, and recycling programs // Department of Industrial Engineering, University of Miami. 2012.
17. Marković D., Janošević D., Jovanović M., Nikolić V. Application method for optimization in solid waste management system in the city of Niš // Factauniversitatis. Series: Mechanical Engineering. 2010. Vol. 8. Pp. 65–67.
18. Монтгомери Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных / сокр. пер. с англ. В.А. Коптяева. Ленинград : Судостроение, 1980. 383 с.
19. Bando M., Hasebe K., Nakayama A., Shibata A., Sugiyama Y. Dynamical model of traffic congestion and numerical simulation // Phys. Rev. E. 1995. Vol. 51. Pp. 1035–1042.
20. Fotheringham A.S. A new set of spacial-interaction models: the theory of competing destinations // Envir. & Plan. A. 1983. Vol. 15. Pp. 15–36.
21. Nesterov Yu., de Palma A. Stationary dynamic solutions in congested transportation networks: summary and perspectives // Networks and Spatial Economics. 2003. Vol. 3. Pp. 371–395.
22. Nixon J.D., Wright D.G., Dey P.K., Ghosh S.K., Davies P.A. A comparative assessment of waste incinerators in the UK // Waste Management. 2013. Vol. 33. P. 2234.
23. Papageorgiou M. Applications of automatic control concepts to traffic flow modeling and control. Berlin : Springer, 1983. Pp. 32–36.
24. Vahdani B., Tavakkoli-Moghaddam R., Baboli A., Mousavi S. A new fuzzy mathematical model in recycling collection networks: a possibilistic approach // World Academy of Science, Engineering and Technology. 2013. Vol. 78. Pp. 45–49.
25. Диниц Е.А. Экономные алгоритмы нахождения кратчайших путей в сети // Транспортные системы. М. : ВНИИСИ, 1978. С. 36–44.
26. Левкин Г.Г. Экологические аспекты управления цепями поставок // Логистика. 2009. № 2 (47). С. 24–25.
27. Кристофидес Никос. Теория графов: Алгоритм. Подход / пер. с англ. Э.В. Вершкова, И.В. Кональцева; под ред. Г.П. Гаврилова. М. : Мир, 1978. 432 с.
28. Цховребов Э.С., Величко Е.Г. Научно-методологические подходы к созданию модели комплексной системы управления потоками строительных отходов // Вестник МГСУ. 2015. № 9. С. 95–110.
29. Садов А.В., Цховребов Э.С. Пути решения проблемы обращения с отходами на уровне региона // Вестник РАЕН. 2011. № 5. С. 29–31.
30. Цховребов Э.С., Величко Е.Г. Вопросы охраны окружающей среды и здоровья человека в процессе обращения строительных материалов // Строительные материалы. 2014. № 5. С. 99–103.

Поступила в редакцию в августе 2016 г.

Об авторах: **Цховребов Эдуард Станиславович** — кандидат экономических наук, доцент, заместитель директора, **Научно-исследовательский центр по проблемам управления ресурсосбережением и отходами (ФГУ «НИЦПУРО»)**, 141006, г. Мытищи, Олимпийский пр-т, д. 42, rebrovstanislav@rambler.ru;

Величко Евгений Георгиевич — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительных материалов, **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, pct44@yandex.ru.

Для цитирования: *Цховребов Э.С., Величко Е.Г.* Прикладные аспекты методологии создания единой комплексной системы обращения строительных отходов // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 2 (101). С. 201–213. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.2.201-213

REFERENCES

1. Dettmer W.H. Goldratt's Theory of Constraints. ASQ Quality Press, 2006, 378 p.
2. Schragenheim E. Management Dilemmas : The Theory of Constraints Approach to Problem Identification and Solutions. CRC Press, 1998, 232 p.
3. Kostarev S.N., Murynov A.I. Avtomatizirovannoe proektirovanie, upravlenie i sistemnyy analiz prirodno-tekhnicheskikh ob'ektov utilizatsii otkhodov [Computer-Assisted Design, Management and System Analysis of Natural and Technical Objects of Waste Treatment]. *Innovatsionnye tekhnologii: teoriya, instrumenty, praktika (INNOTECH 2010) : materialy II Mezhdunarodnoy internet-konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov, studentov (1 noyabrya–1 dekabrya 2010 g.)* [Innovative Technologies : Theory, Tools, Practice (INNOTECH 2010) : Proceedings of the II International Internet Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students (November 1–December 1, 2010)]. Perm', Izd-vo Permskogo gos. tekhn. un-ta Publ., 2010, pp. 19–26. (In Russian)
4. Anink D., Mak J., de Haas F., Boonstra C., Willers W. Handleiding duurzame woningbouw : milieubewuste materiaalkeuze bij nieuwbouw en renovatie. Stuurgroep experimenten volkshuisvesting, Rotterdam, November 1993.
5. Tskhovrebov E.S., Chetvertakov G.V., Shkanov S.I. *Ekologicheskaya bezopasnost' v stroitel'noy industrii* [Ecological Safety in the Construction Industry]. Moscow, Al'fa-M Publ., 2014, 302 p. (Sovremennye tekhnologii [Modern technologies]). (In Russian)
6. Abramova M. V. Abramova M.V., Bachurina N.D. Setevaya model' upravleniya potokami otkhodov [Online Waste Streams Management Model]. *Vestnik Vostochnoukrainskogo universiteta im. V. Dala* [Bulletin of Eastern Ukrainian University named after V. Dal']. 2008, no. 3 (121), pp. 73–78. (In Russian)
7. Gasnikov A.V., Klenov S.L., Nurminskiy E.A., Kholodov Ya.A., Shamray N.B. *Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie transportnykh potokov* [Introduction to Mathematical Traffic Simulation]. Moscow, Izd-vo Mos. tsentra neprer. matemat. obraz. Publ., 2012, 428 p. (In Russian)
8. Perekal'skiy V.A. Otechestvennyy i zarubezhnyy opyt ekonomiko-matematicheskogo modelirovaniya v sfere upravleniya obrashcheniem s otkhodami [Domestic and Foreign Experience of Economic and Mathematical Modeling in the Sphere of Waste Treatment Management]. *Strategii biznesa* [Business Strategies]. 2013, no. 2 (2), pp. 38–41. (In Russian)
9. Smirnov N.N., Kiselev A.B., Nikitin V.F., Yumashhev M.V. *Matematicheskoe modelirovanie avtotransportnykh potokov* [Mathematical Traffic Simulation]. Moscow, Izd-vo MGU Publ., 1999, 184 p. (In Russian)
10. Tarasov R.V., Makarova L.V., Bakhtulova K.M. Otsenka znachimosti faktorov metodom apriornogo ranzhirovaniya [Evaluation of Significance of Factors Using the Method of a Priori Ranking]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii* [Modern Scientific Researches and Innovations]. 2014, no. 4 (36), Article 46. Available at : <http://web.snauka.ru/issues/2014/04/33181>. (In Russian)
11. Aleksanin A.V. *Organizatsiya sistem logistiki potokov otkhodov stroitel'nogo proizvodstva : avtoreferat dissertatsii ... kandidata tekhnicheskikh nauk* [Organization of Construction Waste Streams Logistics Systems : Synopsis of Thesis ... of Candidate of Technical Sciences]. Moscow, MGSU Publ., 2013, 24 p. (In Russian)
12. Alimov A. Ispol'zovanie vozmozhnostey logistiki v modernizatsii raboty s otkhodami proizvodstva (logistika otkhodov) [Use of Opportunities of Logistics In Modernization of Work with Production Waste (Logistics of Waste)]. *RISK : Resursy, Informatsiya, Snabzhenie, Konkurentsia* [RISK: Resources, Information, Supply, Competition]. 2009, no. 1, pp. 37–39. (In Russian)
13. Vaysman Ya.I., Tagilova O.A., Sadokhina E.L. Razrabotka metodologicheskikh printsipov sozdaniya i optimizatsii ucheta dvizheniya otkhodov s tsel'yu povysheniya ekologo-ekonomiko-sotsial'noy effektivnosti upravleniya ikh obrashcheniem [Development of Methodological Principles of Creation and Optimization of Waste Movement Record Keeping with the Purpose of Improvement of Ecological, Economic and Social Effectiveness of the Waste Treatment Management]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia]. 2013, no. 12, pp. 40–45. (In Russian)
14. Gubenko V.K., Lyamzin A.A., Pomazkov M.V., Gubenko O.V. Logistika otkhodov v megapolise [Logistics of Waste in Metropolis]. *Materialy 11 Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Proceedings of 11th International Scientific and Practical Conference]. Kiev, Min. trans. i svyazi Ukrainy Publ., 2009, 200 p. (In Russian)
15. Kornilov A.M., Pazyuk K.T. Ekonomiko-matematicheskoe modelirovanie retsiklinga tverdykh bytovykh otkhodov i ispol'zovanie vtorichnogo material'nogo syr'ya [Economical and Mathematical Simulation of Recycling of Solid Domestic Waste and Usage of Secondary Raw Materials]. *Vestnik Tikhookeanskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of PNU]. 2008, no. 2 (9), pp. 69–80. (In Russian)

16. Celik N., Antmann E., Shi X., Hayton B. Simulation-Based Optimization for Planning of Effective Waste Reduction, Diversion, and Recycling Programs. Department of Industrial Engineering, University of Miami, 2012.
17. Marković D., Janošević D., Jovanović M., Nikolić V. Application Method for Optimization in Solid Waste Management System in the City of Niš. Factauniversitatis. Series: Mechanical Engineering, 2010, vol. 8, pp. 65–67.
18. Montgomery D.C. Design and Analysis of Experiments. Wiley, 8 edition, April, 2012, 752 p.
19. Bando M., Hasebe K., Nakayama A., Shibata A., Sugiyama Y. Dynamical Model of Traffic Congestion and Numerical Simulation. Phys. Rev. E. 1995, vol. 51, pp. 1035–1042.
20. Fotheringham A.S. A New Set of Spatial-Interaction Models: the Theory of Competing Destinations. Envir. & Plan. A. 1983, vol. 15, pp. 15–36.
21. Nesterov Yu., de Palma A. Stationary Dynamic Solutions in Congested Transportation Networks: Summary and Perspectives. Networks and Spatial Economics, 2003, vol. 3, pp. 371–395.
22. Nixon J.D., Wright D.G., Dey P.K., Ghosh S.K., Davies P.A. A Comparative Assessment of Waste Incinerators in the UK. Waste Management, 2013, vol. 33, p. 2234.
23. Papageorgiou M. Applications of Automatic Control Concepts to Traffic Flow Modeling and Control. Berlin, Springer, 1983, pp. 32–36.
24. Vahdani B., Tavakkoli-Moghaddam R., Baboli A., Mousavi S. Anew Fuzzy Mathematical Model in Recycling Collection Networks: a Possibilistic Approach. World Academy of Science, Engineering and Technology. 2013, vol. 78, pp. 45–49.
25. Dinic E.A. Ekonomnye algoritmy nakhozhdeniya krachayshikh putey v seti [Economic Algorithms for Finding of the Shortest Paths in the Network]. *Transportnye sistemy* [Transport Systems]. Moscow, VNIISI Publ., 1978, pp. 36–44. (In Russian)
26. Levkin G.G. *Ekologicheskie aspekty upravleniya tsepyami postavok* [Environmental Aspects of Supply Chain Management]. *Logistika* [Logistics]. 2009, no. 2 (47), pp. 24–25. (In Russian)
27. Christofides N. Graph Theory : An Algorithmic Approach. Academic Press, 1975, 400 p. (In Russian)
28. Tskhovrebov E.S., Velichko E.G. Nauchno-metodologicheskie podkhody k sozdaniyu modeli kompleksnoy sistemy upravleniya potokami stroitel'nykh otkhodov [Scientific and Methodological Approaches to Creation of Model of the Unified Construction Waste Streams Management System]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 9, pp. 95–110. (In Russian)
29. Sadov A.V., Tskhovrebov E.S. Puti resheniya problemy obrashcheniya s otkhodami na urovne regiona [Ways of Solution of The Issue of Waste Treatment at The Regional Level]. *Vestnik RAEN* [Bulletin of Russian Academy of Natural Sciences]. 2011, no. 5, pp. 29–31. (In Russian)
30. Tskhovrebov E.S., Velichko E.G. Voprosy okhrany okruzhayushchey sredy i zdorov'ya cheloveka v protsesse obrashcheniya stroitel'nykh materialov [Issues of Protection of the Environment and Human Health in the Construction Materials Handling Process]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2014, no. 5, pp. 99–103. (In Russian)

Received in August, 2016

About the authors: **Tskhovrebov Eduard Stanislavovich** — Candidate of Economical Sciences, Associate Professor, Deputy Director, **Research Center on Problems of Resource Saving and Waste Management (FGU NITSPURO)**, 42 Olimpiyskiy pr., Mytishchi, 141006, Russian Federation; rebrovstanislav@rambler.ru;

Velichko Evgeniy Georgievich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Construction Materials, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; pct44@yandex.ru.

For citation: Tskhovrebov E.S., Velichko E.G. Prikladnye aspekty metodologii sozdaniya edinoi kompleksnoy sistemy obrashcheniya stroitel'nykh otkhodov [Application Aspects of Methodology of Creation of the Unified Building Waste Treatment System]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2017, vol. 12, issue 2 (101), pp. 201–213. (In Russian) DOI: 10.22227/1997-0935.2017.2.201-213