

Автоматизированная информационная система учета и контроля обращения с твердыми коммунальными отходами

Ф. Т. Алескеров¹, А. Б. Жулин¹, Б. А. Моргунов¹, А. В. Седов¹

¹Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия

¹Общество с ограниченной ответственностью «Большая Тройка», г. Москва, Россия

Аннотация. Приводится описание Автоматизированной информационной системы учета и контроля обращения с твердыми коммунальными отходами, ее базовых моделях и применениях. Дан краткий обзор работ по указанной проблеме.

Ключевые слова: сбор твердых бытовых отходов, кластеринг источников, оптимизация маршрутов, программное обеспечение, мобильные приложения, применения.

DOI 10.14357/20718632200105

Введение

Проблема организации и учета обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) в настоящий момент остро стоит во всем мире. Некоторые страны, например, Япония или Швейцария, довольно далеко успели продвигаться по пути ее решения. Но в России этой отраслью только начинают всерьез заниматься. С 1 января 2016 года вступил в силу Федеральный Закон №458-ФЗ о внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления». В соответствии с ним каждый регион должен разработать территориальную схему обращения с отходами. После того, как будет разработана территориальная схема обращения с отходами, регионом проводится конкурс на выбор регионального оператора. В каждом субъекте будет выбран 1 или несколько региональных операторов.

В задачи такого оператора будет входить организация управления обращения с отходами в

масштабах целого региона, что подразумевает решение логистических, финансово-экономических задач соответствующего масштаба. Региональный оператор по обращению с отходами отвечает за всю технологическую цепочку: сбор и накопление, транспортирование, обработку и утилизацию, захоронение отходов. Он должен обеспечить проведение договорной кампании, расчет оптимальных маршрутов и их соблюдение каждым транспортным средством, менеджмент и контроль. Решение задач такого уровня подразумевает работу с большими данными, формирование уникальных алгоритмов оптимизации, решение ресурсоемкой транспортной задачи с огромным количеством неизвестных в режиме реального времени.

Для решения всех вышеперечисленных задач создан Программно-аппаратный комплекс комплексная автоматизированная система управления «Управление отходами» (далее – ПАК КАСУ «Управление отходами»). Программное обеспечение полностью покрывает

нужды деятельности регионального оператора по обращению с отходами, включая расчет логистики, финансы, документооборот, мониторинг транспорта и т.п. Масштаб данных, с которыми работает система: несколько тысяч транспортных средств для вывоза мусора, для которых осуществляется ежедневное планирование задач, расчет оптимальных маршрутов и контроль за их выполнением в режиме реального времени, несколько тысяч отходообразователей, с которыми поддерживается договорная и финансовая деятельность, миллионы тонн ТКО, обрабатываемых и утилизируемых ежегодно на уровне отдельного субъекта РФ.

Для решения описанных задач в системе реализована уникальная математическая модель, основной задачей которой является минимизация расходов на обращение с ТКО в течение срока действия территориальной схемы обращения с отходами при условии достижения установленных целевых показателей в сфере обращения с ТКО. В качестве параметров, характеризующих систему обращения с отходами, используются в том числе такие параметры, как технико-экономические показатели объектов инфраструктуры по обращению с отходами, пространственные показатели, характеризующие места размещения объектов по обращению с отходами, транспортные маршруты и влияющие на них факторы, сроки ввода или вывода объектов в эксплуатацию и из эксплуатации, сроки реализации инвестиционных мероприятий и т.п.

На сегодняшний день разработанная коллективом авторов математическая модель является абсолютно уникальной, не имеет аналогов в России. Программное обеспечение, разработанное на ее основе, отвечает всем требованиям современного законодательства, и нашло широкое практическое применение.

1. Обзор проблемы

Управление ТКО (англ. MSWM - municipal solid waste management) привлекает значительный интерес исследователей из различных стран. В рамках Программы ООН по окружающей среде (United Nations Environment Programme, 2001) проведены исследования по управлению отходами в многих странах. Доста-

точно полный обзор этих работ приведен в [16]. В этой же работе приведен детальный анализ типов отходов, изучена переработка различных типов отходов в 23 ситуациях, исследованы факторы, способствующие и препятствующие переработке ТКО. Исследование проведено в Мексике и Китае.

В [2, 4, 10] предложено описание процессов управления сбора и переработки отходов, как задачи многоцелевого управления. В [9,15] дано фундаментальное описание всех циклов управления сбора и переработки отходов, в том числе учет расхода энергетических ресурсов, финансовых и экологических затрат. Приведены примеры использования методологий оценки жизненного цикла кадастровых отходов для трех регионов Швеции.

В [13] дано описание ситуации с ТКО в Индии, изучены процессы раздельной переработки отходов. В [14] изучена проблема моделирования сбора ТКО на уровне муниципалитетов, предложены эффективные алгоритмы управления процессом вывоза мусора. В [11] проведен обзор 153 работ по оценке жизненного цикла экологического функционирования систем обработки ТКО. В [12] проведен обзор систем по управлению ТКО и превращению отходов в энергию на примере ряда европейских стран.

В [6] оценен ряд сценариев управления ТКО по 7 критериям. В качестве критериев выбраны: размер инвестиций, операционные затраты, транспортные затраты, риски для окружающей среды, требования к инфраструктуре, требования к квалификации персонала, уровень выбросов.

2. Типы отходов и структурная схема системы

В настоящее время в России установлено, что отходы имеют 5 классов опасности (приказ Министерства природных ресурсов РФ от 15.06.2001 года № 511). Первые три класса составляют чрезвычайно опасные, высокоопасные, умеренно опасные отходы, а следующие 2 класса составляют малоопасные и практически неопасные отходы. Мы не рассматриваем в настоящей работе первые четыре класса отходов, т.к. они требуют специальной техники вывоза и специальных мест захоронения.

Для отходов 5-го класса опасности, который, в основном, составляет ТКО, предложено использовать следующую структуру анализа и организации их вывоза.

Сначала проводится расчет объемов отходов в источниках их накопления. В первой итерации этот расчет может быть сделан на основе приближенного анализа по средней величине производства отходов населением, а затем эти оценки можно уточнять по мере внедрения системы (в частности, путем использования мобильных приложений – см. далее).

Далее производится расчет вывоза отходов, структурная схема которого приведена на Рис. 1.

3. Основы математической модели

Основной задачей математической модели является минимизация расходов на обращение с ТКО при условии достижения установленных целевых показателей. В качестве параметров, характеризующих систему обращения с отходами, используются параметры, являющиеся

эндогенными для системы, включая технические параметры, такие как емкость полигонов и их мощность (количество отходов, принимаемых за год), мощность объектов обезвреживания отходов, сортировочных станций, перегрузок и пр., показатели обращения с отходами (доля получаемого вторичного сырья, количества остатков от сжигания отходов и пр.), показатели выработки электрической и тепловой энергии (для сжигания отходов), пространственные показатели, характеризующие места размещения объектов по обращению с отходами и транспортные маршруты, а также временные показатели, характеризующие сроки ввода или вывода объектов в эксплуатацию или из эксплуатации, сроки реализации инвестиционных мероприятий и другие параметры.

Сценарий характеризуется набором экзогенных параметров, к которым относятся, прежде всего, финансовые показатели, характеризующие уровень инфляции, процентных ставок, цен на различные виды ресурсов, расходы на строительство новых объектов и модернизацию

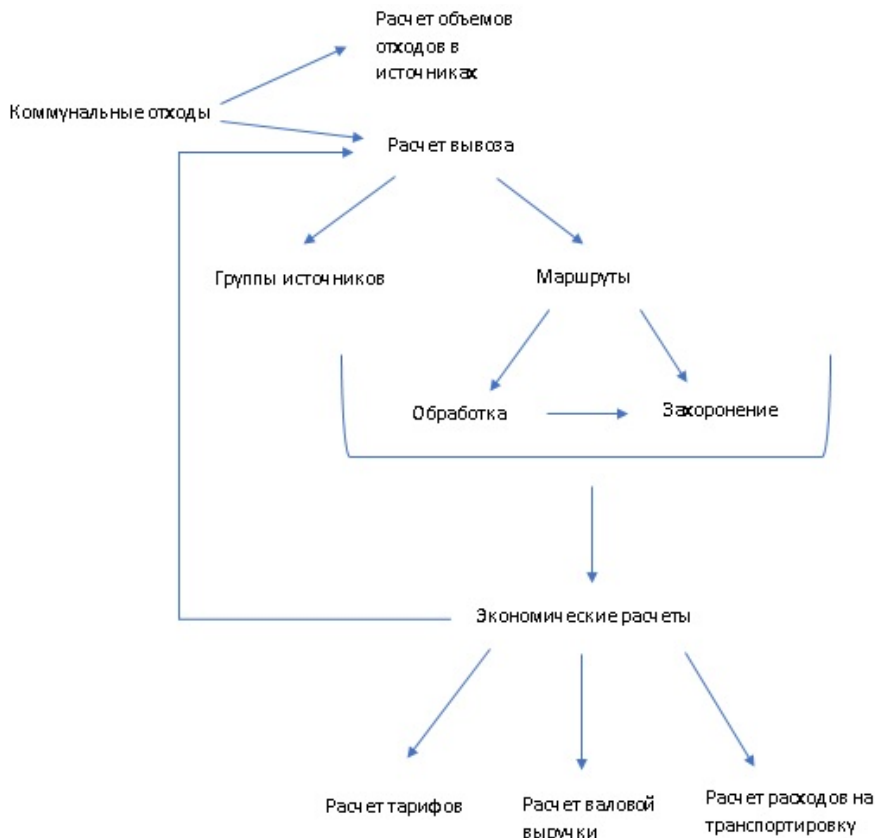


Рис 1. Структурная схема системы

существующей инфраструктуры, расходы на эксплуатацию объектов и пр. Для каждой системы обращения отходов и каждого сценария рассчитываются дополнительные показатели, такие как доля отходов, проходящих сортировку, обезвреживание, попадающих во вторичный оборот и пр. При этом оптимизация территориальной схемы обращения с отходами может осуществляться как без установления ограничений, так и при задании минимальных значений таких параметров.

Оптимизация производится путем выбора оптимальных технических, пространственных и временных показателей территориальной схемы обращения с отходами при заданном сценарии и целевых показателях.

4. Кластеризация источников и оптимизация маршрутов

В качестве моделей выделения групп источников, которые объезжают фиксированные группы мусоровозов, предлагается использовать многоступенчатую схему, на первом этапе которой используется алгоритм надпорогового выбора (Айзерман, Алескерев, 1990), причем в качестве порога берется эффективный радиус поселения. Далее при получении группы однородных источников эта модель применяется еще раз с оценкой возможности выполнения маршрута одним мусоровозом.

Ежедневные маршруты мусоровозов между объектами обращения с отходами прокладываются автоматически с учетом графа дорог используемой картографической подосновы Системы. Граф схемы потоков отходов является совокупностью одного или нескольких деревьев (связных ациклических ориентированных графов), в которых корни деревьев соответствуют объектам захоронения отходов (в качестве корней деревьев также могут рассматриваться объекты по термическому обезвреживанию отходов, далее – конечные объекты по обращению с отходами), узлы ветвления степени больше 1 – станциям перегрузки, объектам по обработке отходов либо объектам по обезвреживанию отходов (далее – промежуточные объекты по обращению с отходами), вершины и узлы степени 1 – источникам образования отходов. Графы ориентированы от вершин

к корням деревьев, ребра графов соответствуют маршрутам движения отходов. Каждое отдельное дерево представляет собой зону обслуживания объекта захоронения отходов. Каждое отдельное поддерево с корнем в виде станции перегрузки, объекта по обработке отходов либо объекта по обезвреживанию отходов представляет собой зону обслуживания такого объекта. Каждая вершина графа, соответствующая источнику образования отходов, характеризуется количеством (массой) образующихся отходов. Каждое ребро графа характеризуется стоимостью транспортирования отходов по маршруту, соответствующему этому ребру.

Дистанция, которую проезжает мусоровоз внутри населенного пункта теоретически может быть определена путем поиска оптимальных маршрутов мусоровозов, охватывающих каждую контейнерную площадку. Подобные задачи с математической точки зрения относятся к модификации ресурсоемкой классической задачи коммивояжера [7].

На маршруты движения мусоровозов накладывается ограничение: конечная емкость не позволяет объехать все контейнерные площадки одним непрерывным маршрутом. По указанной причине, данная модифицированная задача не может быть решена методами, дающими точное решение задачи коммивояжера. Приемлемым с точки зрения производительности и качества получаемых решений является улучшенный жадный алгоритм. Такой алгоритм осуществляет поиск локально оптимального маршрута на несколько шагов вперед, допуская, что итоговое решение также окажется оптимальным.

В Системе осуществляется упрощенный расчет, позволяющей с некоторой погрешностью, но максимально быстро рассчитать основные показатели модели, и полный расчет, позволяющий более точно рассчитать все параметры модели на основе вышеперечисленных алгоритмов.

Основным упрощением, наряду с использованием статистического алгоритма оценки длины маршрутов внутри населенных пунктов, является предположение о независимости маршрутов мусоровозов в соседних населенных пунктах. За счет данного упрощения удается

решать задачи о построении маршрутов как полным, так и упрощенным подходами за приемлемое время.

Приведем некоторые детали.

Расстояние между центром населенного пункта и объектом по обращению с отходами определяется путем выбора наиболее экономически выгодного маршрута на графе потоков отходов. Граф схемы потоков отходов является совокупностью одного или нескольких деревьев (связанных ациклических ориентированных графов), в которых корни деревьев соответствуют объектам захоронения отходов (в качестве корней деревьев также могут рассматриваться объекты по термическому обезвреживанию отходов, далее – конечные объекты по обращению с отходами), узлы ветвления степени больше 1 – станциям перегрузки, объектам по обработке отходов либо объектам по обезвреживанию отходов (далее – промежуточные объекты по обращению с отходами), вершины и узлы степени 1 – источникам образования отходов. Графы ориентированы от вершин к корням деревьев, ребра графов соответствуют маршрутам движения отходов. Каждое отдельное дерево представляет собой зону обслуживания объекта захоронения отходов. Каждое отдельное поддерево с корнем в виде станции перегрузки, объекта по обработке отходов либо объекта по обезвреживанию отходов представляет собой зону обслуживания такого объекта. Каждая вершина графа, соответствующая источнику образования отходов, характеризуется количеством (массой) образующихся отходов. Каждое ребро графа характеризуется стоимостью транспортирования отходов по маршруту, соответствующему этому ребру.

Дистанция, которую проезжают мусоровозы внутри населенного пункта, теоретически может быть определена путем поиска оптимальных маршрутов мусоровозов, охватывающих каждую контейнерную площадку. Улучшенный жадный алгоритм, несмотря на свою относительно высокую производительность, не позволяет оперативно рассчитывать маршруты спецтранспорта. Затраты мощности на работу данного алгоритма также не оправданы в случае низкого качества (недостаточной полноты) информации о месте расположения контейнер-

ных площадок. При отсутствии координат и свойств всех контейнерных площадок целесообразно производить статистическую оценку дистанции, которую проезжают мусоровозы внутри населенного пункта. Для калибровки статистической оценки дистанции был использован более точный улучшенный жадный алгоритм.

На первом этапе статистического метода оценки длины маршрутов мусоровозов внутри поселения рассчитывается эффективный радиус поселения – среднего взвешенного по массе расстояния от центра масс поселения до каждой контейнерной площадки. Используется предположение о том, что все контейнерные площадки равномерно с некоторым случайным разбросом распределены вблизи окружности данного радиуса. Длина маршрутов оценивается по следующей формуле:

$$L_K = 2 \pi R_K a(N),$$

где L_K – длина маршрутов; R_K – средний эффективный радиус; $a(N)$ – калибровочный коэффициент.

Значение калибровочного коэффициента было определено с помощью компьютерной модели на основе результатов работы более ресурсоемкого и точного алгоритма прокладки маршрутов (модифицированного жадного алгоритма для задачи коммивояжера с ограничениями) определена зависимость калибровочного коэффициента a от количества контейнерных площадок внутри населенного пункта.

Расчетная стоимость транспортирования отходов определяется аналогично порядку расчета тарифов на обращение с отходами с учетом расходов на топливо, заработную плату, амортизацию транспортных средств и других расходов, возникающих у организации, транспортирующей отходы. Ежегодная индексация таких расходов осуществляется на размер индекса потребительских цен.

5. Программное обеспечение

На основе описанной математической модели и оптимизационных алгоритмов создано и функционирует программное обеспечение Автоматизированная информационная система «Редактор территориальных схем обращения с отходами», которая входит в Программно-

аппаратный комплекс комплексную автоматизированную систему управления «Управление отходами». ПАК КАСУ «Управление отходами» включен в единый реестр российских программ для ЭВМ и баз данных Минкомсвязи России, а также зарегистрирован в качестве интеллектуальной собственности Федеральной службой по интеллектуальной собственности [5]. Часть функционала, необходимого для воплощения задач АИС УКПО в части оптимизации маршрутов и расчета финансово-экономических показателей деятельности региональных операторов, реализована в АИС «Редактор территориальных схем обращения с отходами», в том числе это относится к функционалу оптимизации текущей схемы обращения с отходами в заданных разработчиком ограничениях; моделирования оптимальной схемы расположения проектируемых объектов инфраструктуры в области обращения с отходами по заданным параметрам (с учетом максимального расстояния от населенного пункта до объекта инфраструктуры; минимальной мощности объекта инфраструктуры (тонн в год); ресурса объекта, расходов на его обслуживание и ремонт; уровня переработки отходов на объекте); проведения расчета логистических потоков отходов от источников образования отходов до конечных объектов приема отходов; проведения расчета экономических показателей (определение расходов на транспортирование отходов до промежуточных объектов по обращению с отходами; определение расходов на полную цепочку обращения с отходами; определение тарифов для населения, инвестиционные затраты региональных операторов, а так же другие экономические показатели схемы обращения с отходами в целом); вывода статистических данных показателей схемы.

6. Использование мобильных приложений и аппаратная часть системы

В состав Системы входят следующие мобильные приложения, работающие на платформе Android:

- Мобильное приложение водителя. С его помощью распределяются задания на день для ав-

тотранспортных средств, задаются маршруты, формируются и отправляются в Систему отчеты о прогрессе выполнения. С помощью мобильного приложения фотографируется каждый мусорный контейнер до и после выгрузки его содержимого в мусоровоз, автоматически формируются ежедневные отчеты о выполнении, осуществляется связь с диспетчерами.

- Мобильное приложение для инвентаризации стационарных объектов. Оно служит для сбора и систематизации информации об объектах инфраструктуры отрасли обращения с отходами региона, включая мусоросортировочные и мусороперегрузочные станции, объекты размещения, утилизации, хранения, переработки, транспортировки отходов.

- Мобильное приложение для граждан. Приложение представляет собой продолжение открытой части Системы, размещенной на специальном web-портале, и позволяет осуществлять общественный контроль за отраслью, а также обратную связь пользователей услуг региональных операторов по обращению с отходами. Каждый человек может легко получить интересующую его информацию, заказать услугу по вывозу мусора в нужное время и по адекватной цене, пожаловаться на несанкционированную свалку.

В состав аппаратной части Системы включено следующее оборудование:

- Автомобильный трекер ГЛОНАСС. По сути, автомобильный трекер является мозгом системы. Автомобильный трекер ГЛОНАСС оснащен портами RS-485, имеет собственную радиошину для подключения внешних устройств, например, считывателей RFID меток, навесного оборудования на автотранспорт (датчиков давления, температуры, внешних датчиков давления на навесные механизмы и много другое).

- RFID метки на контейнеры. Позволяют фиксировать факты вывоза отходов. На каждый контейнер предполагается устанавливать 1 такую метку. Также в перспективе планируется разработать и запустить в производство для юридических лиц датчик определения объема наполняемости контейнера.

- Считыватель RFID меток. Подключается к трекеру ГЛОНАСС и передает через него информацию в Систему.

- Пункты весового контроля и специально разработанный для них 3G-LTE модем. Модем подключается к системе весового контроля для передачи данных на сервера Системы, а также к камерам и шлагбауму для организации въезда-выезда транспортных средств на территории объектов инфраструктуры по обращению с отходами.

В Системе также заложена возможность подключения мобильных пунктов контроля за окружающей средой (превышение ПДК в сточных водах на полигонах, в воздухе и в почве) на каждом объекте инфраструктуры для осуществления непрерывного мониторинга за состоянием окружающей среды. Все мобильные станции подключены к единой программно-аппаратной платформе и могут своевременно оповещать о любых тревожных сигналах, предотвращая нежелательные происшествия.

7. Применения

На основе АИС "Редактор территориальных схем обращения с отходами" разработаны электронные модели территориальных схем обращения с отходами Московской, Архангельской, Сахалинской, Кемеровской, Тамбовской, Ярославской, Рязанской, Нижегородской, Ленинградской, Вологодской, Челябинской, Мурманской, Тюменской, Кировской, Липецкой, Пензенской областей, Приморского, Ставропольского края, Республики Крым, Ханты-Мансийского АО – Югра, Ямало-Ненецкого автономного округа. В настоящий момент эта работа продолжается в других субъектах Российской Федерации. Всего в перечисленных субъектах проживает около 1/3 населения России. Важно отметить, что при расчете тарифа на услуги по обращению с отходами, закладываемого в территориальную схему, учитываются все, даже наиболее сложные финансовые, логистические, социальные аспекты его формирования. При условии реализации территориальных схем, созданных на основе предлагаемых моделей, потенциальная экономия платежей населения за услуги по вывозу твердых коммунальных отходов в сумме по всем перечисленным субъектам может составить более 10 млрд рублей в год.

Заключение

Дальнейшее развитие систем управления отходами должно идти по двум основным направлениям. Во-первых, это использование различных экономических механизмов, повышающих эффективность сбора и переработки отходов. Несколько точек зрения по этому вопросу приведены в [3]. Во-вторых, необходимо развивать модели и механизмы управления, заложенные в предлагаемую систему. Предлагаемые методы можно развивать в направлении исследований, которые предложены в [16].

В дальнейшем исследование может включать также проведение анализа производства и переработки ТКО, основанного на предложенных моделях в [8] для Китайской народной республики.

Литература

1. Айзерман М.А., Алескеров Ф.Т. «Выбор вариантов (основы теории)», М., Наука, 1990 (ISBN 5-02-014091-0).
2. Волынкина Е. П., Кузнецов С. Н. Анализ моделей управления отходами и разработка интегрированной модели для регионального управления твердыми бытовыми отходами // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2013. №7. С. 47-59.
3. Петрова Н.Р., Макарова И.Р. Транспортирование и размещение отходов: механизмы регулирования // Твердые бытовые отходы. 2008. №7. С. 23-27.
4. Чепига П.Н. Совершенствование управления системой обращения с твердыми отходами в Российской Федерации // Проблемы современной экономики. 2010. №4 (36). С. 22-30.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017664305 от 20.12.2017
6. Asli Coban, Irem Firtina Ertis, Nur Ayvaz Cavdaroglu Municipal solid waste management via multi-criteria decision making methods: A case study in Istanbul, Turkey, Journal of Cleaner Production 180 (2018) 159-167
7. Belenky A. Operations Research in Transportation Systems: Ideas and Schemes of Optimization Methods for Strategic Planning and Operations Management. L., NY : Springer, 2010.
8. Dong Qing Zhang, Soon Keat Tan, Gersberg M. R. Municipal solid waste management in China: Status, problems and challenges. // Journal of Environmental Management. 2010. № 91. P. 1623-1633.
9. Eriksson. O., Carlsson Reich M., Frostell. B., Björklund A., Assefa G., Sundqvist -O.J., Granath J., Baky A., Thyselius L. Municipal solid waste management from a systems perspective // Journal of Cleaner Production. 2005. №13. P. 241-252.

10. Galante G., Aiello G., Enea M., Panascia E. A multi-objective approach to solid waste management // *Waste Management*. 2006. №30. P. 1720-1728.
11. Harshit Khandelwal, Hiya Dhar, Arun Kumar Thalla, Sunil Kumar, Application of life cycle assessment in municipal solid waste management: A worldwide critical review, *Journal of Cleaner Production* 209 (2019) 630-654
12. J. Malinauskaite, H. Jouhara, D. Czajczynska, P. Stanchev, E. Katsou, P. Rostkowski, R.J. Thorne, J. Colon, S. Ponsa, F. Al-Mansour, L. Anguilano, R. Krzyzynska, I.C. Lopez, A. Vlasopoulos, N. Spencer Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe, *Energy* 141 (2017) 2013-2044
13. Khaiwal Ravindra, Kamalpreet Kaur, Suman Mor System analysis of municipal solid waste management in Chandigarh and minimization practices for cleaner emissions, *Journal of Cleaner Production* 89 (2015) 251-256
14. Le Hoang Son, Amal Louati Modeling municipal solid waste collection: A generalized vehicle routing model with multiple transfer stations, gather sites and inhomogeneous vehicles in time windows, *Waste Management* 52 (2016) 34-49
15. Powell J. The potential for using life cycle inventory analysis in local authority waste management decision making // *Journal of Environmental Planning and Management*. 2000. № 43 (3). P. 351.
16. Troschinetz M. A., Mihelcic R. J. Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries // *Waste Management*. 2009. № 29. P. 915-923.

Алескеров Фуад Тагиевич, доктор технических наук, профессор, руководитель Департамента математики Факультета экономических наук НИУ ВШЭ. Количество печатных работ: 12 книг, более 200 статей, из них более 100 рецензируемых научных изданиях, патентов и авторских свидетельств: 5. Область научных интересов: теория индивидуального, коллективного и многокритериального выбора; теория принятия решений; теория бинарных отношений; микроэкономика; макроэкономика; теория политических процессов; дискретные математические модели; банковское дело. E-mail: alesk@hse.ru

Жулин Андрей Борисович, проректор, директор Института государственного и муниципального управления НИУ ВШЭ. Количество печатных работ: 39. Область научных интересов: административная реформа; организационное проектирование; регламентация; управление по результатам; информатизация в интересах федеральных и региональных органов исполнительной власти РФ. E-mail: azhulin@hse.ru

Моргунов Борис Алексеевич, доктор географических наук, кандидат экономических наук, профессор, директор Института экологии НИУ ВШЭ. Количество печатных работ: 28, включая 3 монографии. Область научных интересов: природопользование; управление природопользованием; экономика природопользования; экологическая политика. E-mail: bmorgunov@hse.ru

Седов Артем Владимирович, Генеральный директор ООО «Большая Тройка». Кандидат технических наук. Окончил Московский государственный строительный университет в 2009 г. Автор 105 публикаций (включая 1 монографию). Лауреат премии Правительства РФ 2018 года в области образования. Область научных интересов: Вычислительная математика; информационные технологии. E-mail: as@big3.ru

Automated Information System for Accounting and Control of the Municipal Solid Waste Management

F. T. Aleskerov¹, A. B. Zhulin¹, B. A. Morgunov¹, A. V. Sedov¹

¹ National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

¹BigThree LLC, Moscow, Russia

Abstract. We give a description of Automated information system of the management of the municipal solid waste collection, its basic models and applications. We provide also a short survey of publications on the problem.

Keywords: solid waste collection, clustering of sources, optimization of routs, software, mobile apps, applications.

DOI 10.14357/20718632200105

References

1. Aizerman M. A., Aleskerov F. T. Vybor variantov (osnovy teorii), [Choice of variants (foundations of the theory)] M., Nauka [Science], 1990 (ISBN 5-02-014091-0)
2. Volynkina Ye. P., Kuznetsov S. N. Anliz modelei upravleniya otkhodami i razrabotka integrirovannoi modeli dlya regionalnogo upravleniya tverdymi bytovymi otkhodami [Analysis of waste management models and development of an integrated model for the regional management of municipal solid waste] // *Vestnik Sibirskogo gosudar-*

- syvennogo industrial'nogo universiteta. [Bulletin of the Siberian State Industrial University] 2013. №7. P. 47-59.
3. Petrova N. R., Makarova I. R. Transportirovaniye i razmescheniye otkhodov: mehanizmy regulirovaniya [Waste transportation and disposal: regulatory mechanisms] // Tverdye bytovye otkhody [Municipal solid waste]. 2008. №7. P. 23-27.
 4. Chepiga P.N. Sovershenstvovaniye upravleniya sistemoi obrascheniya s tverdymi otkhodami v Rossiiskoi Federatsii [Improving the solid waste management in the Russian Federation] // Problemy sovremennoi ekonomiki [Problems of the modern economy]. 2010. №4 (36). C. 22-30.
 5. Certificate of the state registration of the computer program №2017664305, date: 20.12.2017
 6. Asli Coban, Irem Firtina Ertis, Nur Ayvaz Cavdaroglu Municipal solid waste management via multi-criteria decision making methods: A case study in Istanbul, Turkey, *Journal of Cleaner Production* 180 (2018) 159-167
 7. Belenky A. Operations Research in Transportation Systems: Ideas and Schemes of Optimization Methods for Strategic Planning and Operations Management. L., NY : Springer, 2010.
 8. Dong Qing Zhang, Soon Keat Tan, Gersberg M. R. Municipal solid waste management in China: Status, problems and challenges. // *Journal of Environmental Management*. 2010. № 91. P. 1623-1633.
 9. Eriksson. O., Carlsson Reich M., Frostell. B., Björklund A., Assefa G., Sundqvist -O.J., Granath J., Baky A., Thyselius L. Municipal solid waste management from a systems perspective // *Journal of Cleaner Production*. 2005. №13. P. 241-252.
 10. Galante G., Aiello G., Enea M., Panascia E. A multi-objective approach to solid waste management // *Waste Management*. 2006. №30. P. 1720-1728.
 11. Harshit Khandelwal, Hiya Dhar, Arun Kumar Thalla, Sunil Kumar, Application of life cycle assessment in municipal solid waste management: A worldwide critical review, *Journal of Cleaner Production* 209 (2019) 630-654
 12. J. Malinauskaite, H. Jouhara, D. Czajczynska, P. Stanchev, E. Katsou, P. Rostkowski, R.J. Thorne, J. Colon, S. Ponsa, F. Al-Mansour, L. Anguilano, R. Krzyzynska, I.C. Lopez, A. Vlasopoulos, N. Spencer Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe, *Energy* 141 (2017) 2013-2044
 13. Khaiwal Ravindra, Kamalpreet Kaur, Suman Mor System analysis of municipal solid waste management in Chandigarh and minimization practices for cleaner emissions, *Journal of Cleaner Production* 89 (2015) 251-256
 14. Le Hoang Son, Amal Louati Modeling municipal solid waste collection: A generalized vehicle routing model with multiple transfer stations, gather sites and inhomogeneous vehicles in time windows, *Waste Management* 52 (2016) 34-49
 15. Powell J. The potential for using life cycle inventory analysis in local authority waste management decision making // *Journal of Environmental Planning and Management*. 2000. № 43 (3). P. 351.
 16. Troschinetz M. A., Mihelcic R. J. Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries // *Waste Management*. 2009. № 29. P. 915-923.

Aleskerov Fuad Tagiyevich, Head of the Department of Mathematics for Economics, National Research University “Higher School of Economics”, 109028 Moscow, 11 Pokrovsky Bulvar. Publications: 12 books, more than 200 articles, more than 100 in peer-reviewed journals and volumes, Copyright certificates, patents: 5. Topics of interest: Decision theory, social choice theory, individual choice theory, multicriteria choice theory, theory of binary relations, theory of political processes, discrete mathematical models, banking. E-mail: alesk@hse.ru

Zhulin Andrey Borisovich. Vice Rector, Director of Institute for Public Administration and Governance, National Research University “Higher School of Economics” 109028 Moscow, 11 Pokrovsky Bulvar. Graduated from Lomonosov Moscow State University in 2003. 39 publications. Topics of interest: Administrative reform; organizational design, regulation, performance management, and information system development for federal and regional executive bodies of the Russian Federation. E-mail: azhulin@hse.ru

Morgunov Boris Alekseevich. Director, Institute of Ecology, National Research University “Higher School of Economics” (NRU HSE), Myasnitskaya street, 20, 101000, Moscow, Russia, doctor of geographical sciences, professor. Graduated from the Russian State University of Physical Education, Sport, Youth and Tourism (SCOLIPE) in 1987. 28 published articles (including 3 monographs). Topics of interest: environmental management, Arctic research, sustainable development, environmental safety, development of works on the continental shelf, improvement of energy efficiency of the economy. E-mail: bmorgunov@hse.ru

Sedov Artem Vladimirovich. CEO BigThree LLC. Moscow, Novorayzanskay St., 31, bl.23. Candidate of Engineering Sciences. Graduated from Moscow State University of Civil Engineering in 2009. 56 patents, 105 published articles (including 1 monograph). Awarded for the 2018 Government prizes in educations. Topics of interest: computational mathematics, information technologies. E-mail: as@big3.ru