

*Е.П. Волюнкина<sup>1</sup>, С.Н. Кузнецов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Сибирский государственный индустриальный университет

<sup>2</sup>Администрация г. Новокузнецка

## АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ОТХОДАМИ И РАЗРАБОТКА ИНТЕГРИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РЕГИОНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТВЕРДЫМИ БЫТОВЫМИ ОТХОДАМИ

Возрастающее количество и усложнение морфологического состава твердых бытовых отходов (ТБО) привело человечество к осознанию необходимости управления потоками отходов. Термин «Waste Management» (рус. – «управление отходами»), широко используемый в зарубежной практике, означает организацию обращения с отходами с целью снижения их влияния на здоровье человека и состояние окружающей среды [1]. Данное определение содержит четкую формулировку цели управления отходами. В отечественной научной литературе и нормативной документации определение термина «управление отходами» отсутствует, а на практике используется термин «обращение с отходами», определение которого дано в федеральном законе РФ № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления»: деятельность по сбору, накоплению, использованию, обезвреживанию, транспортированию, размещению отходов» [2]. Это определение не указывает на необходимость какого-либо управления данной деятельностью. Более близкое к термину «управление отходами» определение термина «обращение с отходами» дано в межгосударственном стандарте ГОСТ 30772 – 2001 [3], целью которого является гармонизация терминов с международной, региональной и отечественной правовой нормативной документацией: «обращение с отходами – виды деятельности, связанные с документированными организационно-технологическими операциями регулирования работ с отходами, включая предупреждение, минимизацию, учет и контроль образования, накопление отходов, а также их сбор, размещение, утилизацию, обезвреживание, транспортирование, хранение, захоронение, уничтожение и трансграничные перемещения». Это определение указывает на то, что обращение с отходами включает помимо непосредственных технологических работ с отходами (сбора, размещения и пр.) организационно-технологичес-

кое регулирование этих работ, в том числе предупреждение, минимизацию, учет и контроль их образования. Цель регулирования в данном определении не сформулирована.

В связи с отсутствием какой-либо теоретической и законодательной базы в области управления отходами в России термин «управление отходами» чаще всего просто заменяет термин «обращение с отходами» и обозначает процессы распоряжения отходами, включая сбор, транспортировку, переработку или захоронение (сегодня любой водитель мусоровоза или дворник может сказать, что он участвует в системе управления отходами). Однако результаты, достигнутые в этой области в европейских странах, для России продолжают оставаться недостижимыми.

Необходимость создания системы управления отходами осознается сегодня учеными, политиками и практиками всех стран мира. В принятой 15 июля 1975 г. Директиве № 75/442/ЕЭС (так называемой «Рамочной директиве»), являющейся первым законодательным документом в области управления отходами, впервые сформулированы и законодательно закреплены принципы обращения с отходами в виде Иерархии управления отходами.

Иерархия управления отходами (универсальная модель обращения с любым видом отходов) представляет собой классификацию действий с отходами по степени их приоритетности с точки зрения минимизации негативного воздействия на окружающую среду и здоровье человека и построена на следующих принципах:

- предотвращение или снижение образования отходов;
- разделение отходов у источника их образования;
- вторичное использование отходов путем возврата в производственный процесс;
- рециклинг (обработка отходов с целью получения из них новых видов сырья или продукции);

- обезвреживание отходов с целью снижения их опасности для природной среды;
- захоронение отходов (наименее предпочтительная альтернатива управления отходами).

При составлении международных и национальных планов и стратегий обращения с отходами законодательство ЕС предписывает руководствоваться данной иерархией отходов. Развитие специальных технологий переработки и утилизации отходов позволило расширить и конкретизировать эту иерархию в отношении твердых бытовых отходов, называемых за рубежом муниципальными (рис. 1).

Европейский опыт показывает, что управление обращением с бытовыми отходами – сложный процесс со многими привлеченными сторонами, который включает в себя правовые, технические, экономические и экологические аспекты. Эффективное управление обращением с отходами, обеспечивающее достижение поставленных целей, должно осуществляться в соответствии с теорией управления, согласно которой управление – это система различных форм и методов воздействия субъекта управления на объект управления для достижения поставленных целей [4]. В системе управления отходами объектом управления являются все процессы обращения с отходами, определенные выше. Субъектом управления (т.е. управляющей системой) являются уполномоченные государственные, региональные и муниципальные органы, обеспечивающие процесс управления. Системой управления отходами можно назвать такой процесс взаимодействия объекта управления и управляющей системы, который приводит к достижению поставленной цели управления. Приоритетной целью управления отходами является минимизация негативного воздействия отходов на окружающую среду и



Рис. 1. Иерархия управления муниципальными отходами

здоровье человека. Однако система управления бытовыми отходами включает также важные экономические вопросы: затраты и окупаемость для инвесторов, затраты и тарифы для органов власти и населения. Поэтому еще одной немаловажной задачей является минимизация затрат.

В федеральном законе ФЗ-89 определены полномочия субъектов управления отходами в России (управляющих систем) на каждом уровне управления. В частности, полномочия РФ (т.е. федерального уровня) включают, прежде всего, разработку и принятие федеральных законов и иных нормативных актов и осуществление государственного надзора в области обращения с отходами. В полномочия субъектов РФ входят разработка и реализация региональных программ в области обращения с отходами и государственный надзор на объектах регионального экологического надзора. Основные же полномочия в области организации обращения с отходами переданы органам местного самоуправления: организация сбора, вывоза, утилизации и переработки бытовых и промышленных отходов.

Для эффективного функционирования система управления отходами должна базироваться, прежде всего, на правовой основе, которая должна быть обеспечена на федеральном уровне управления. В развитых странах правовой основой управления отходами является целый пакет законодательных и нормативно-правовых документов (рис. 2).

Как видно из представленной схемы, для создания современной системы управления отходами в России необходимо разработать и принять целый ряд законов и нормативных документов, которые можно разделить на четыре основные группы:

- базовые законы;
- законы и правила по отдельным видам отходов;
- законы, регулирующие процессы переработки и захоронения отходов;
- законы по надзору и контролю за перемещением отходов.

Эти законы должны обеспечивать достижение целей управления отходами – экологическую безопасность и экономическую эффективность.

Однако помимо законодательной базы необходимо организовать экономически эффективное и экологически безопасное управление отходами на территории каждого региона и населенного пункта.

В органах местного самоуправления организацией управления ТБО занимаются, как правило, отделы или комитеты, отвечающие

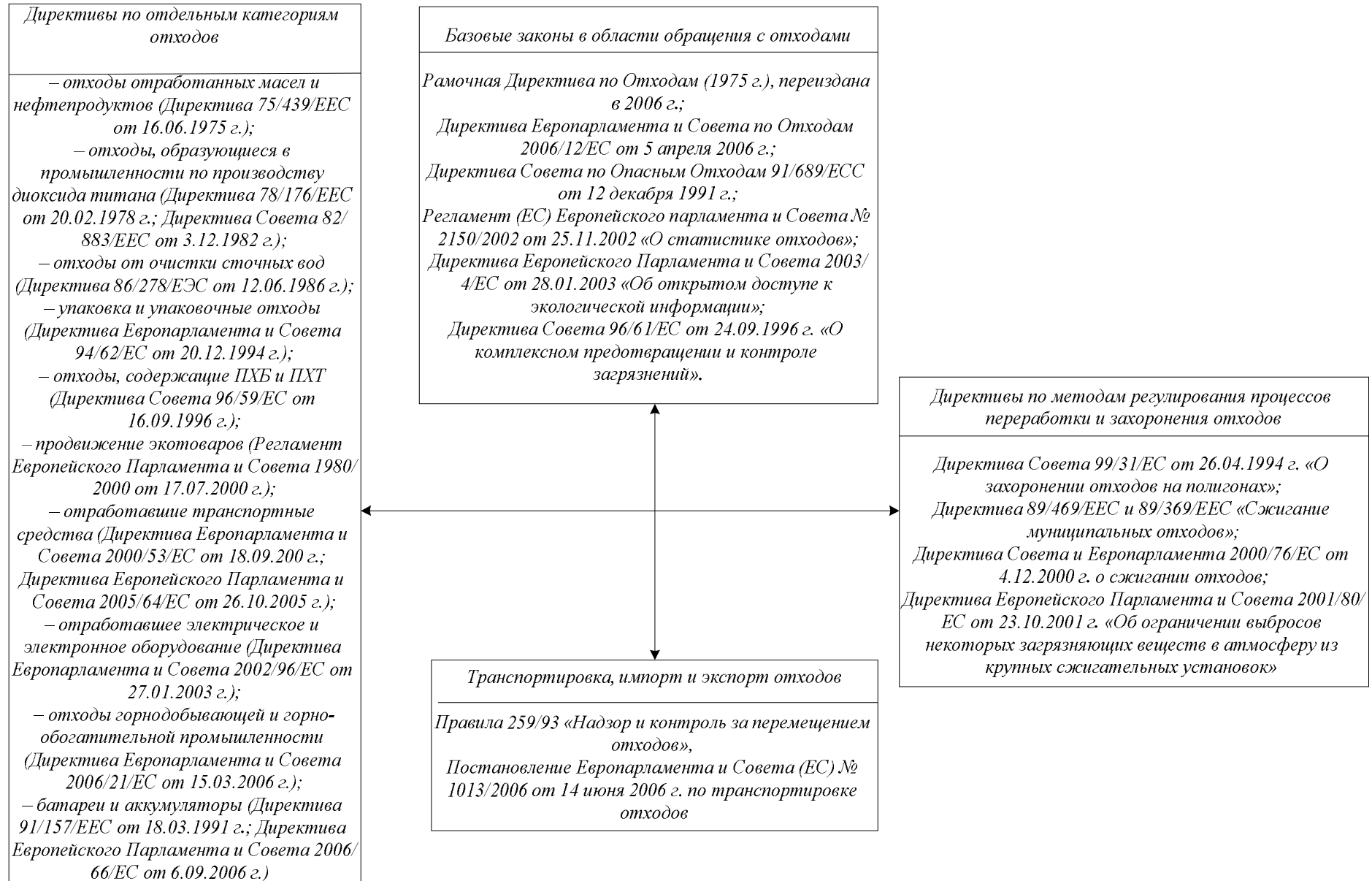


Рис. 2. Законодательные и нормативно-правовые документы ЕС в области обращения с отходами

в целом за ЖКХ, вынужденные решать множество других проблем в этой области и не имеющие достаточного времени и специалистов для создания эффективной и экологически безопасной системы управления ТБО на своей территории. Поэтому актуальной научной задачей является создание универсальных типовых моделей управления ТБО, которые могут быть использованы в любом регионе или населенном пункте.

Для разработки эффективных систем управления используется моделирование реальных процессов, при этом главной характеристикой модели является упрощение реальной жизненной ситуации, к которой она применяется.

Существующие в настоящее время модели управления ТБО можно разделить на три группы:

- организационно-административные (регулирующие);
- технологические;
- математические (экономико-математические, эколого-математические, интегральные (комплексные)).

В отечественной научной и специальной литературе основное внимание уделено разработке организационно-административных моделей управления ТБО, основанных на использовании организационных и распорядительных отношений между участниками процесса обращения с отходами. Примером такой модели является организационная и функциональная модель системы комплексного управления отходами (СКУО) на территории Ханты-Мансийского автономного округа [5], разработанная совместно с Берлинским техническим университетом (рис. 3). Эта модель включает субъекты, участвующие в управлении отходами, и их функции.

Автором работы [6] предложена государственно-концессионная модель управления сферой обращения с отходами, предполагающая сочетание государственной централизации управления с привлечением частных инвестиций (рис. 4). Эта модель включает четыре функциональных блока (регулирующий, технологический, консультационный и утилизационный), их функции, а также классифицирует

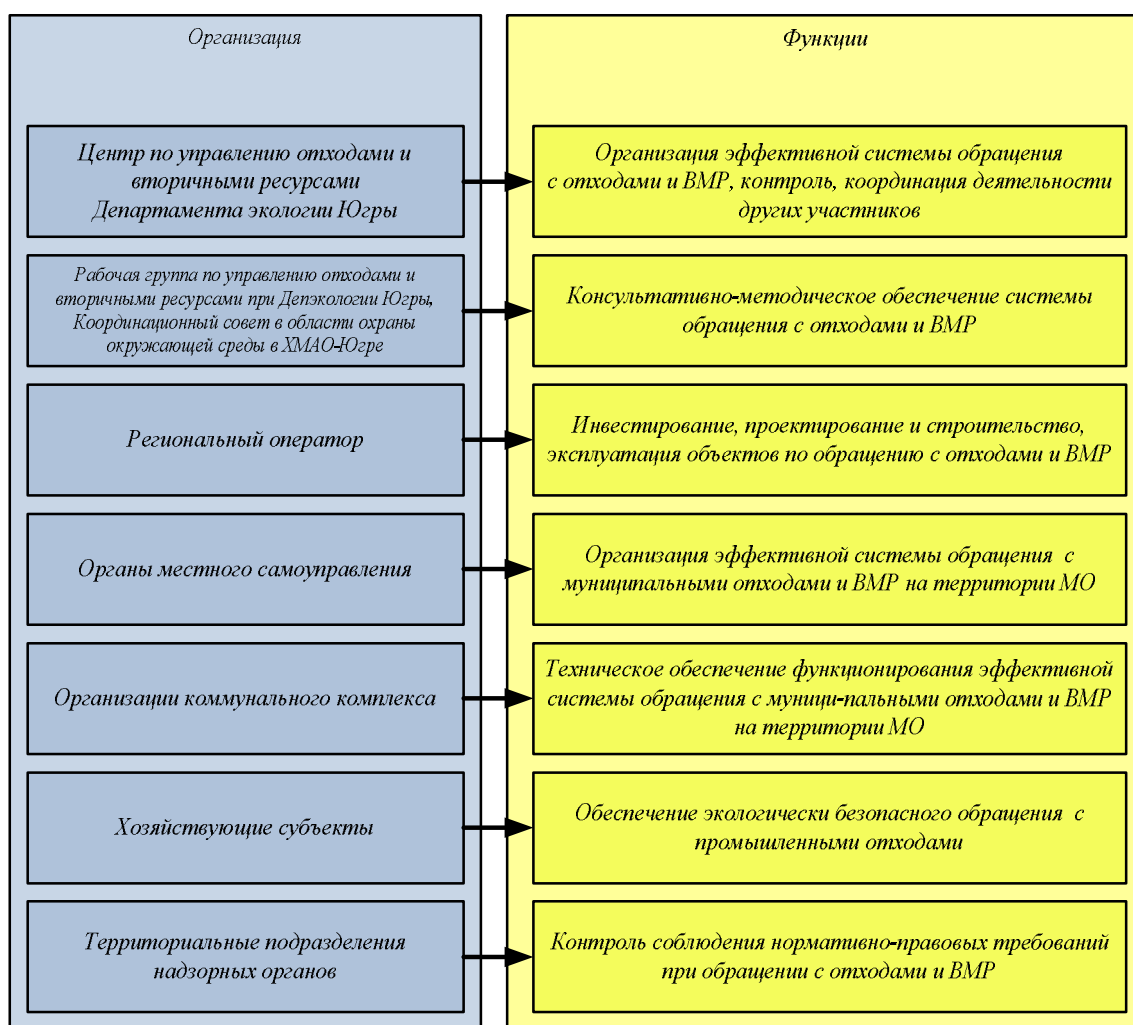


Рис. 3. Организационная и функциональная модель СКУО [5]

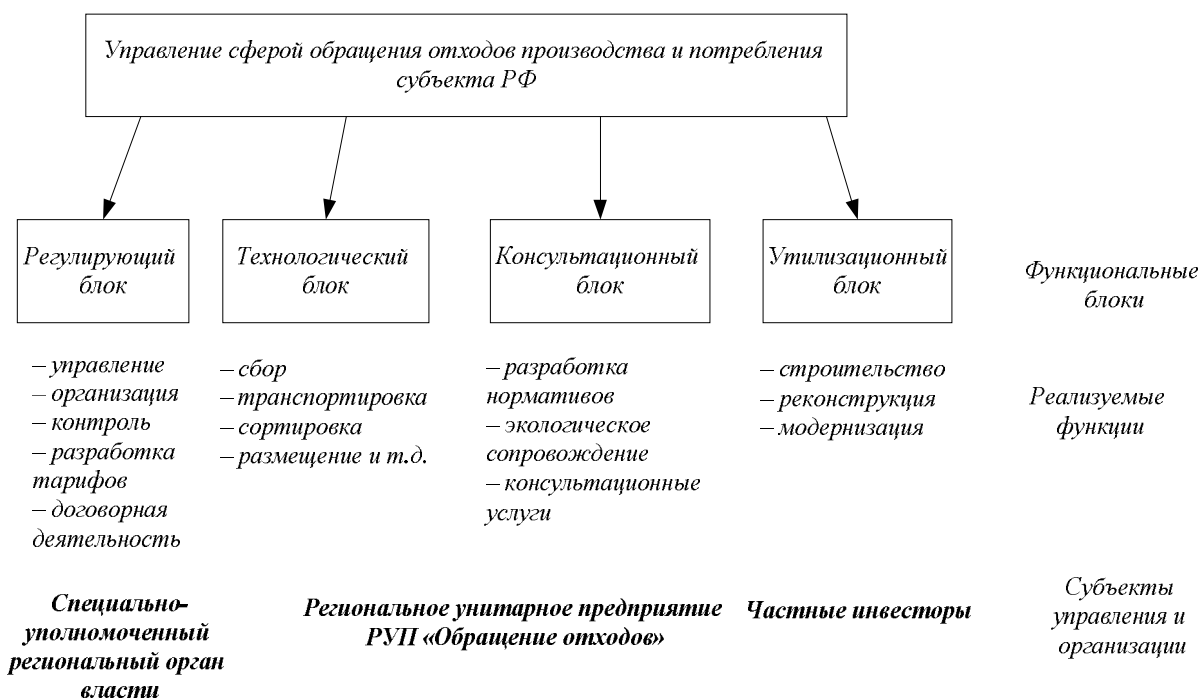


Рис. 4. Государственно-концессионная модель управления сферой обращения с отходами [6]

субъекты управления отходами на государственные региональные организации, унитарные и частные предприятия.

К организационно-административным моделям можно отнести и разработанную ФГУП «Федеральный центр благоустройства и обращения с отходами» [7] схему взаимодействия участников процесса обращения с отходами (рис. 5), в которой ключевую роль играет реализация комплекса организационно-управленческих мер.

Технологические модели включают комплекс технологических и технических решений в сфере обращения с отходами на различных этапах жизненного цикла отходов. Примером технологической модели является схема комплексного управления ТБО, разработанная авторами работы [8] (рис. 6). В качестве критериев оптимизации управления ТБО предложены степень утилизации отходов и суммарные затраты на сбор и транспортировку отходов.

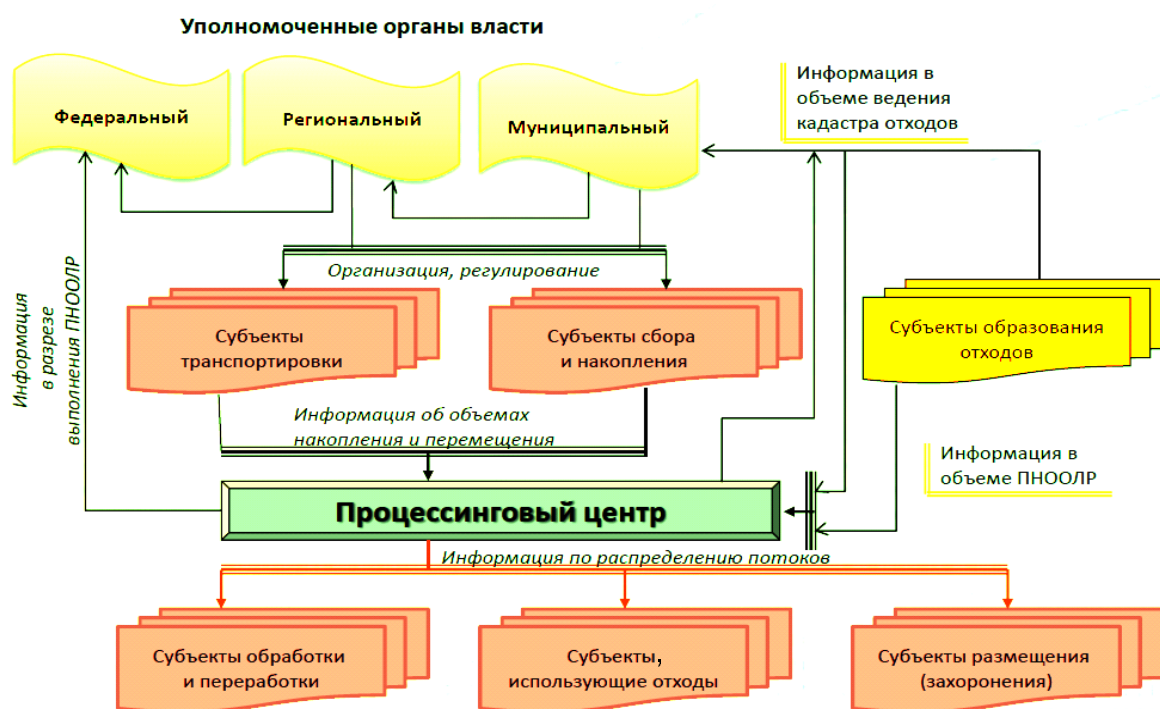


Рис. 5. Схема взаимодействия участников процесса обращения с отходами [7]

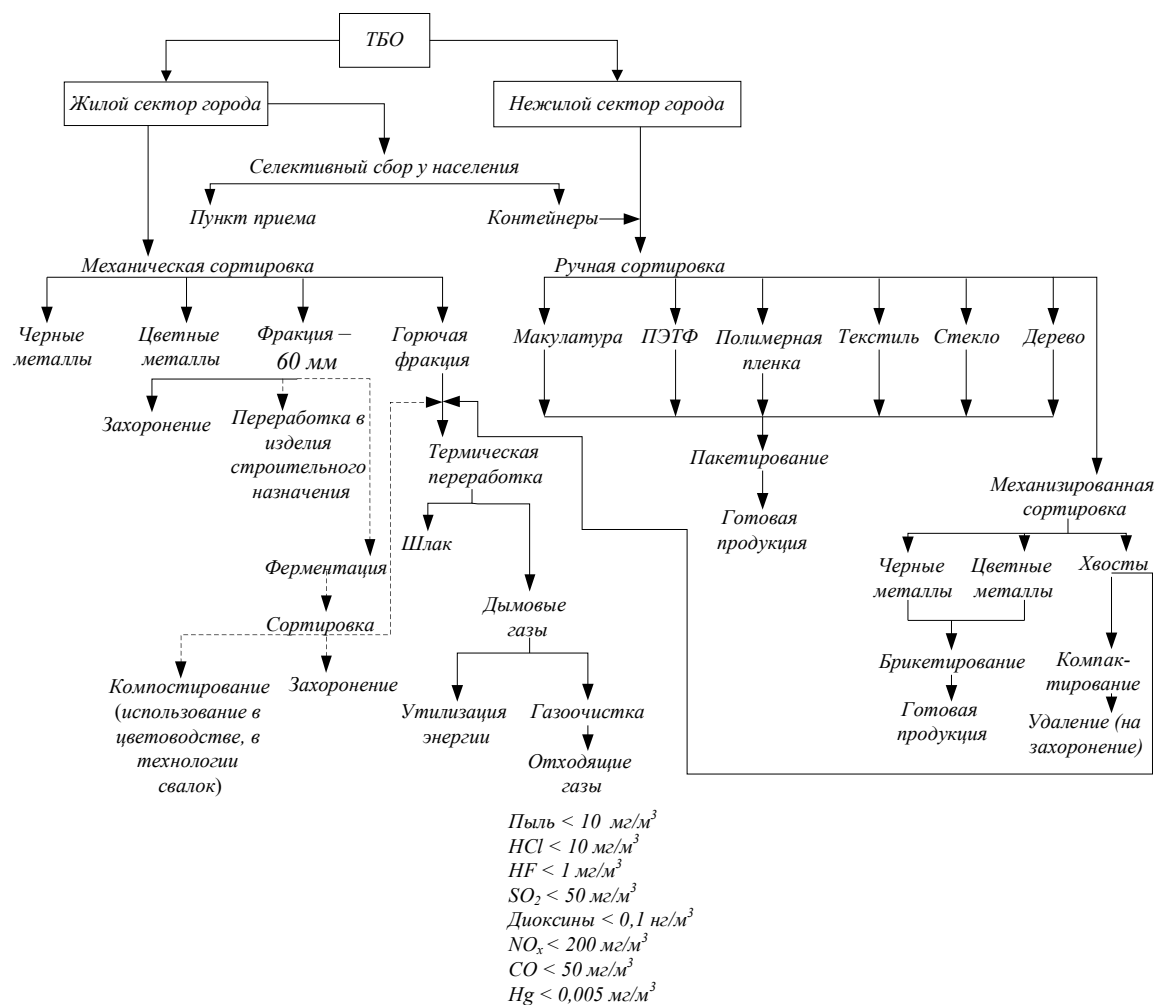


Рис. 6. Технологическая модель управления ТБО [8]

Организационно-административные и технологические модели являются информационными, помогают реализовать комплекс организационно-управленческих мер в регионе и получать информацию о некоторых технологиях утилизации отходов, но они не позволяют провести сравнение альтернативных схем управления отходами и выбор оптимальной схемы для конкретного региона с учетом количественно определенных экономических и экологических последствий. Этой цели можно достичь, используя ряд математических (аналитических) моделей, основанных на экономическом, экологическом или интегральном подходах.

Интегральная модель развития эколого-экономических систем в сфере обращения с отходами потребления (рис. 7) разработана в Саратовском государственном техническом университете, особое внимание в ней уделено оценке интегрированного эколого-экономического риска [9]. Эта модель включает формулы для расчета эколого-экономической эффективности систем обращения с отходами, но не включает целый ряд экологических и энергетические показатели, не позволяет принимающим

решения сделать всесторонне обоснованный выбор приемлемой стратегии обращения с отходами в регионе, включая выбор техники и технологий.

Авторами работы [10] на основе методологии жизненного цикла отходов разработана модель управления отходами в г. Иркутске. На рис. 8 схематически изображена концепция проведения оценки жизненного цикла (ОЖЦ) в виде системы с входными потоками (природные ресурсы и энергия) и выходными потоками (выбросы (сбросы), продукция). На основе предложенной модели были разработаны три сценария обращения с отходами в г. Иркутске и выполнена их сравнительная экологическая оценка.

В целом все отечественные модели являются автономными инструментами, не содержат инструментов количественной оценки параметров оптимизации и не могут быть эффективно использованы в повседневной практике управления отходами.

За рубежом разработан целый ряд экономико- и эколого-математических моделей управления муниципальными отходами. Целью боль-

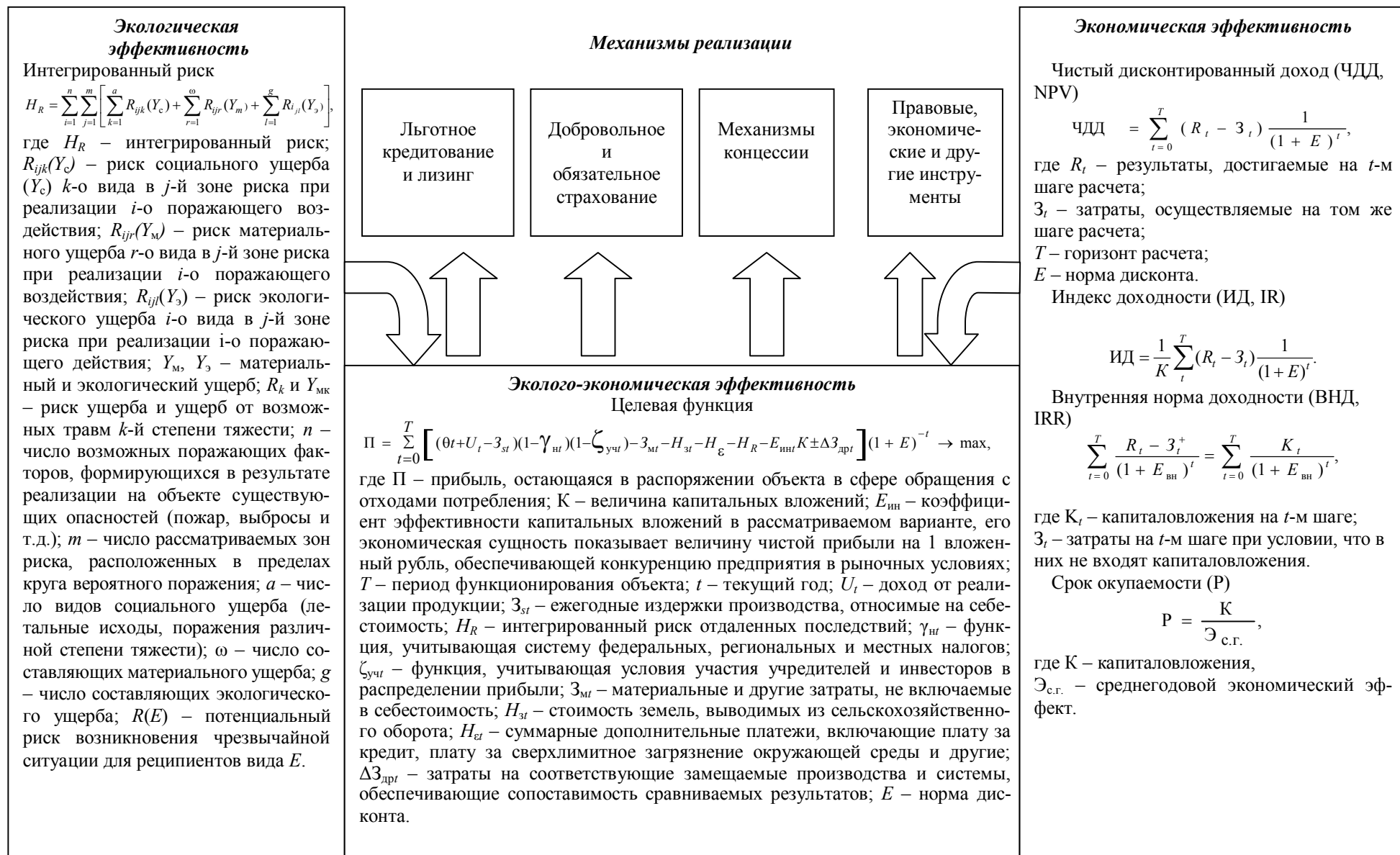


Рис. 7. Интегральная модель развития эколого-экономических систем в сфере обращения с отходами потребления [9]

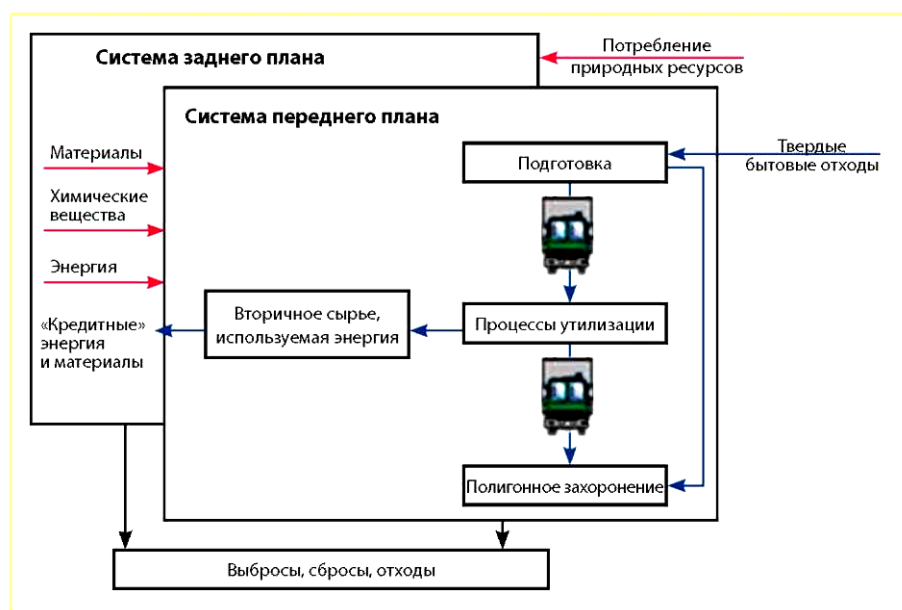


Рис. 8. Концепция ОЖЦ системы управления отходами [10]

шинства зарубежных моделей управления отходами является помощь принимающим решение. В большинстве случаев разработанные модели включают систему компьютерных интегрированных инструментов, способных помочь планирующему и принимающему решение на различных этапах проектных процедур. Такие модели являются по сути системой поддержки принятия решений на основании экономической и экологической целесообразности. Они позволяют количественно оценить с экологической и экономической точек зрения последствия принимаемого решения и сделать оптимальный выбор.

Наиболее известными за рубежом являются модели, разработанные Sprague и Watson (1996), Chang (1996), MacDonald (1996), Sudhir (1996), Bhargava (1997), Hasstrup и др. (1998), Boyle и Baetz (1998), Fiorucci (2003), Diaz и др. (2005), Simonetto и Brenstein (2007), Galante (2010) [11]. На рис. 9 показана используемая в данных моделях базовая структура системы принятия решений, включающая три основных компонента.

Стандартное экономическое моделирование позволяет найти минимально затратное решение, пренебрегая другими важными задачами, такими как экологические аспекты (например, полигон часто представляет наиболее удобное по затратному критерию решение, но, как правило, является наименее желательным с экологической точки зрения).

Chang разработал нелинейную модель, позволяющую учесть в расчете потоки отходов на нескольких этапах жизненного цикла, включая сбор, мусороперегрузочные станции, мусоросортировочные установки, полигоны и мусоросжигательные заводы [12]. Fiorucci предложена квадратичная модель, учитывающая морфологический состав отходов и позволяющая выбрать оптимальное место для установок переработки отходов с точки зрения минимизации суммарных эксплуатационных затрат [13]. Sudhir предложил модель сбора отходов, учитывающую экономические, экологические, технические и социальные аспекты [14]. Galante предложен интегральный подход для минимизации затрат и экологического влияния, измеренного выбросами [15].

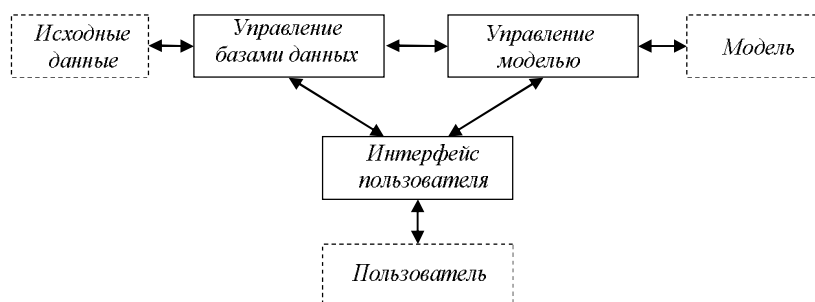


Рис. 9. Базовая структура системы принятия решений для управления отходами [11]

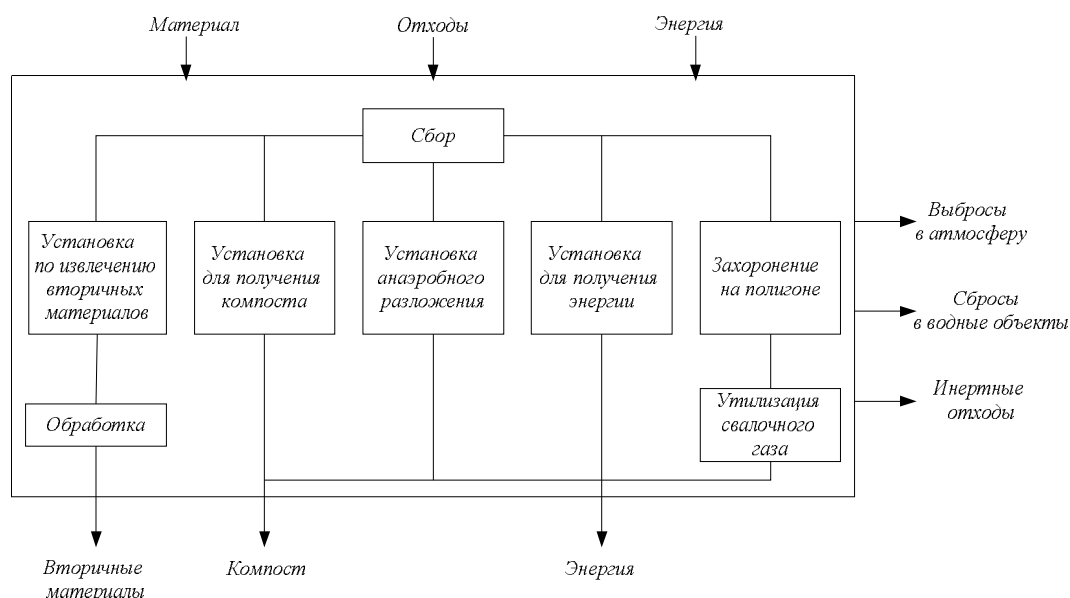


Рис. 10. Система связей интегрированной модели управления отходами [16]

Экологические модели анализа используют методологию жизненного цикла для количественной оценки потребления энергии и выбросов из указанного пользователем системы управления отходами. Разработана [16] интегрированная эколого-аналитическая модель управления отходами с использованием методологии жизненного цикла отходов для оценки количества потребленной энергии и выбросов в окружающую среду в реализованной системе управления отходами. В эту модель заложены различные варианты обращения с отходами: сортировка отходов, рециклинг, компостирование, анаэробное разложение, получение из отходов энергии, захоронение (рис. 10). Индикаторными параметрами модели являются потребление энергии, выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, включая парниковые газы, тяжелые металлы и стойкие органические загрязнители (диоксины и фураны). Модель реализована на персональном компьютере.

Для разработки полной модели управления отходами необходимы обширные знания и глубокий анализ всех аспектов обращения с отходами, включая характеристики и свойства отходов, технологии их переработки и утилизации, экономические и энергетические затраты. Обычно принимающий решение не имеет детального понимания всего цикла управления отходами и его последствий для окружающей среды и здоровья человека. Для решения этих задач должны быть задействованы компьютерные инструменты, а для разработки компьютерных программ должны быть разработаны соответствующие алгоритмы и методики расчетов.

Chang и Wang (1996), MacDonald (1996), Bhargava и Tettelbach (1997), Hastrup (1998),

Cheng (2003), Diaz (2005), Eugenio и Denis (2007), Paraskevopoulos (2008) использовали географическую информационную систему (ГИС) в разработанных моделях управления отходами [11]. В ГИС было использовано программное обеспечение для отображения на экране географической информации (местоположения объектов), а также для вывода на экран данных о количестве населения в регионе, маршрут транспортной сети по перемещению отходов, точечных источников загрязнения воздуха и воды. Разработанное программное обеспечение, интегрированное с ГИС, может помочь пользователю (принимающему решение представителю органов власти, инвестору или экологическому контролеру) в анализе и сравнении различных альтернатив сбора и утилизации отходов для выбора оптимального и наиболее экономически эффективного варианта.

Warangkana Sornil [17] разработана модель управления твердыми муниципальными отходами с использованием многоцелевого генетического алгоритма в качестве метода оптимизации (рис. 11). Автором предложена многоцелевая оптимизационная модель с различными источниками отходов и типами вторичного сырья, местной переработки, маршрутах транспортирования отходов для оценки каждого варианта с точки зрения себестоимости системы и объемов отходов, направляемых на захоронение на полигон. В модели предложены формулы и уравнения для расчета количества и затрат на каждом этапе жизненного цикла отходов: сбор и транспортировка, сортировка на мусороперегрузочной станции, переработка, компостирование, сжигание, захоронение. Выходными параметрами модели являются суммарные затраты

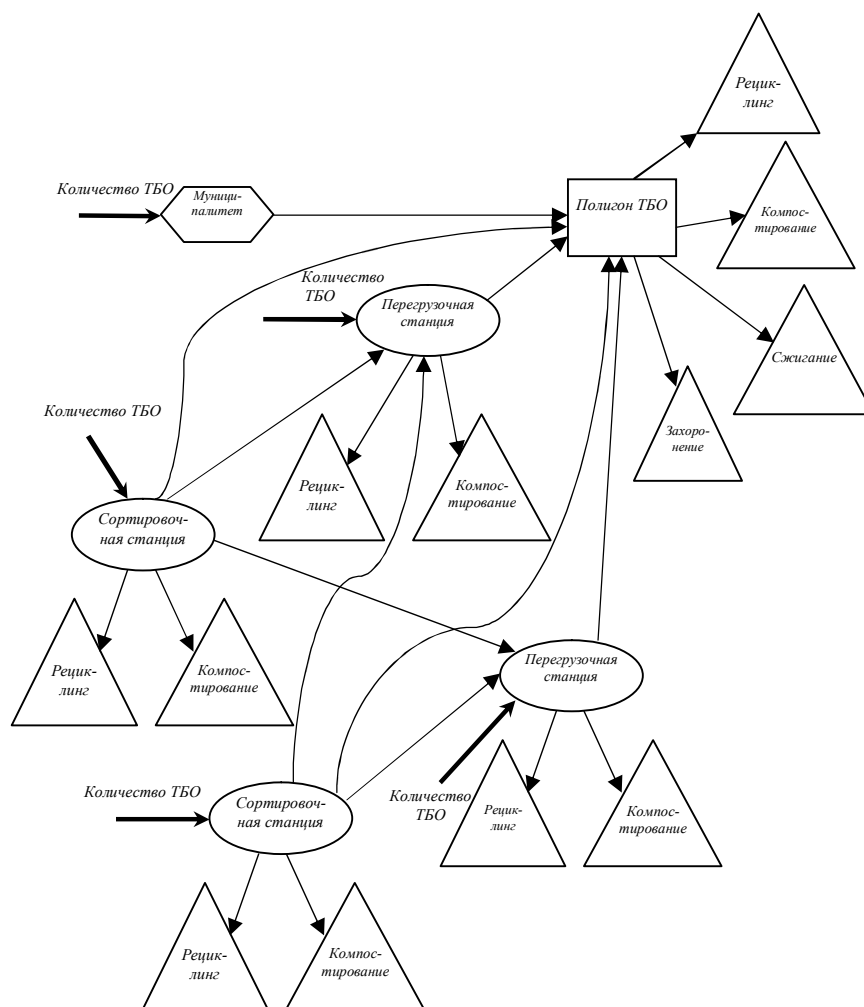


Рис. 11. Графическая модель управления ТБО на основе многоцелевого генетического алгоритма [17]

в конкретной системе управления отходами, суммарные доходы и себестоимость (тариф). Эта модель являлась первым шагом в разработке метода эколого-экономического моделирования, попыткой интегрированного анализа жизненного цикла отходов, оценки экологических и экономических показателей системы управления отходами в пределах географической информационной системы.

Генетический алгоритм использовался в управлении отходами и другими исследователями, однако разработанные модели учитывали только один или два этапа в жизненном цикле ТБО; например, модель Karadimas учитывала только сбор и транспортировку, а Chang – только размещение отходов на полигонах.

Авторами данной работы с учетом отечественных и зарубежных разработок в области моделирования регионального управления ТБО разработана интегрированная (комплексная) модель, учитывающая жизненный цикл отходов, Иерархию управления и многоцелевой генетический алгоритм в качестве метода оптимизации. Эта модель учитывает различные варианты обращения с отходами на каждом этапе жизненного цикла: сбор, транспор-

тировку, сортировку, перегрузку, переработку, компостирование, сжигание, захоронение с извлечением и без извлечения энергии. Структурная схема модели и система связей показаны на рис. 12.

Представленная модель является наиболее полной из всех известных и позволяет количественно оценить материальные, энергетические, экономические и экологические параметры при том или ином сценарии управления отходами. Выходными параметрами модели являются: количество полученных вторичных материальных ресурсов (BMP), вторичного топлива (RDF) или компоста, суммарные затраты, доходы, количество затраченной и полученной энергии, суммарные выбросы в атмосферу, сбросы сточных вод и количество остаточных отходов, направляемых на захоронение. Для проведения сравнительной оценки и выбора системы управления ТБО в регионе предложены следующие критерии оптимизации (расположены в порядке убывания приоритетности в соответствии с Иерархией управления отходами):

- минимальное количество захораниваемых

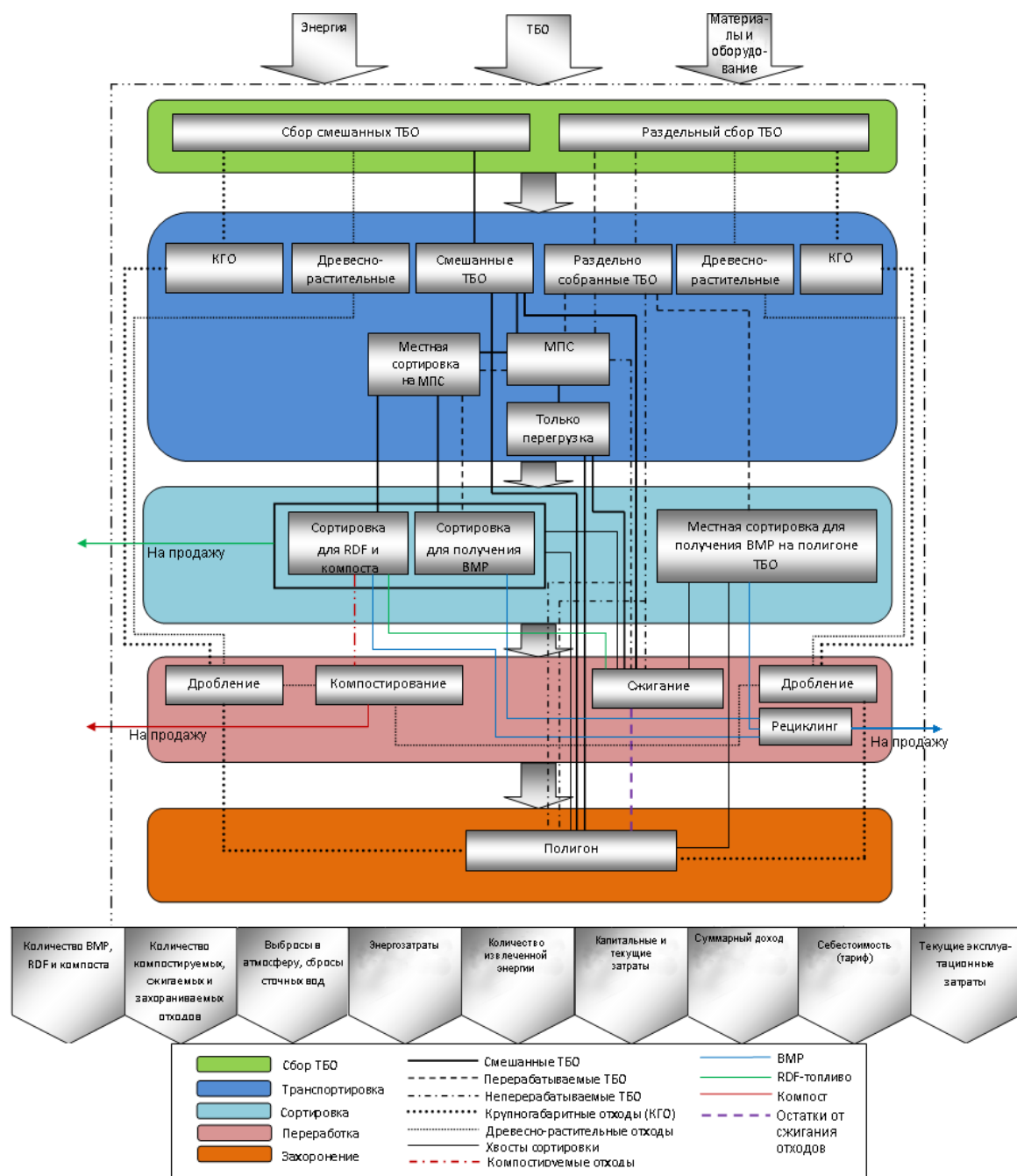


Рис. 12. Структурная схема и система связей модели регионального управления ТБО

отходов и максимальное вовлечение вторичных ресурсов в хозяйственный оборот;

- максимальная энергетическая эффективность;

- минимальное количество выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и сбросов сточных вод;

- максимальная экономическая эффективность.

Предложенная модель описана алгоритмом, блок-схема которого представлена на рис. 13.

Модель может быть реализована в виде программного комплекса, доступного для обычного пользователя, что позволит администраторам, инвесторам или органам экологи-

ческого контроля быстро оценить интересующие их конечные показатели, сравнить существующие и планируемые схемы обращения с отходами, выбрать оптимальную схему и оценить ее количественные, экономические, энергетические и экологические параметры.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волынкин Е.П. Комплексная система управления отходами металлургического предприятия // Вестник Российской академии естественных наук. 2006. Т. 6. № 3. С. 94 – 101.

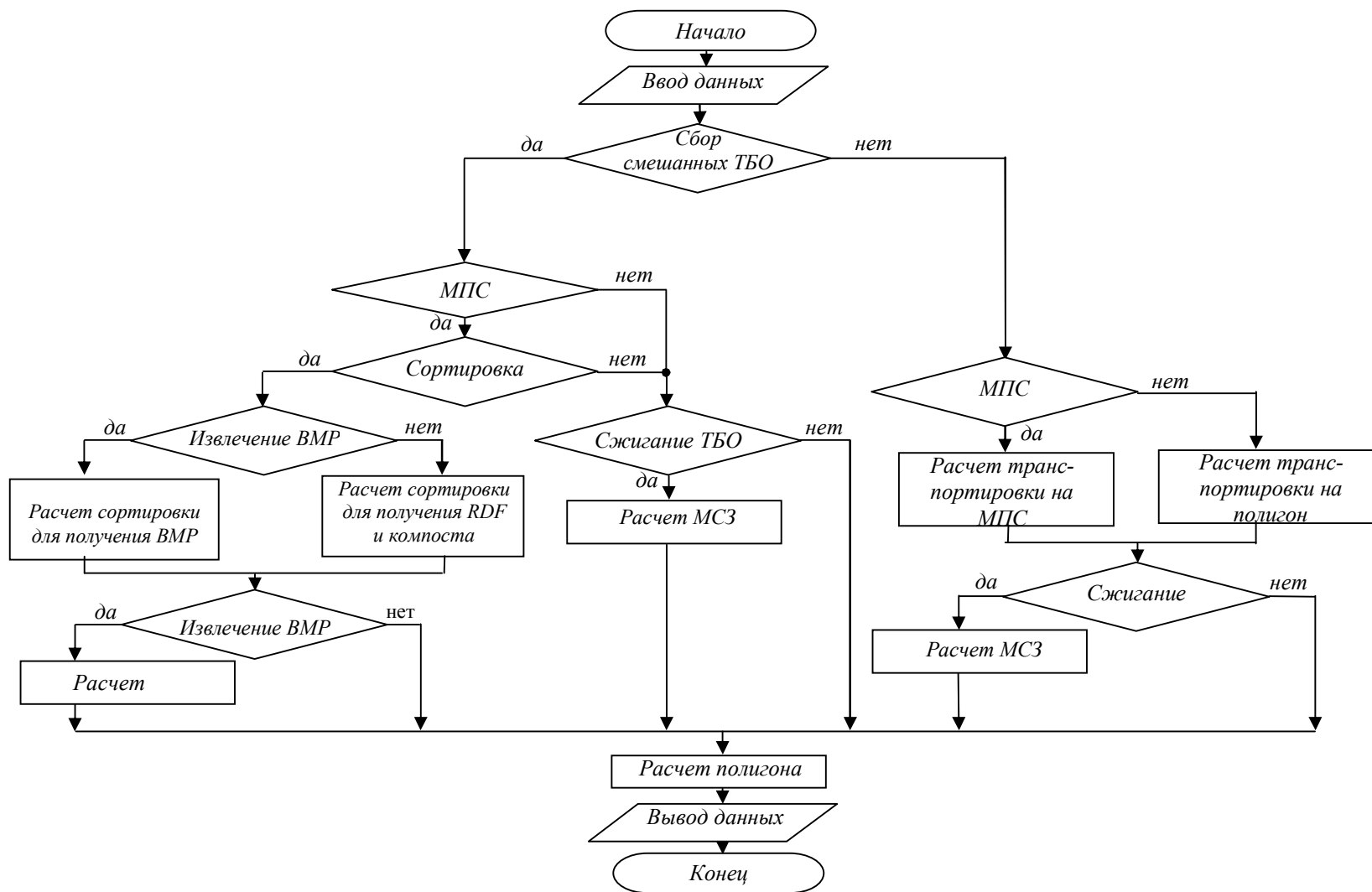


Рис. 13. Блок-схема алгоритма управления ТБО

2. Об отходах производства и потребления: федер. закон от 10 июня 1998 г., № 89-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. 2012. № 9.
3. ГОСТ 30772 – 2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения: Межгосударственный стандарт. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.
4. Т а р а с и к В.П. Математическое моделирование технических систем: учеб. пособие. – М.: Дизайн-ПРО, 2004. – 640 с.
5. Разработка постоянно действующей Концепции Обращения с Отходами (ККО) для Ханты-Мансийска, Россия. Итоговый доклад // Электронный ресурс: материалы конф. апр. 2012 г., Ханты-Мансийск. – Режим доступа: [http://www.ugrasu.ru/uploads/files/1\\_Final\\_Report\\_WMC&Ymplementatio n.pdf](http://www.ugrasu.ru/uploads/files/1_Final_Report_WMC&Ymplementatio n.pdf) (Дата обращения 10 июня 2013 г.).
6. Ч е п и г а П.Н. Совершенствование управления системой обращения с твердыми отходами в Российской Федерации // Проблемы современной экономики. 2010. № 4 (36). С. 22 – 30.
7. Формирование региональной отходоперерабатывающей индустрии программно-целевым методом // Электронный ресурс. – Режим доступа: <http://magichammer.ru/docs/prezent.pdf> (Дата обращения 10 июня 2013 г.).
8. Ш у б о в Л.Я., С т а в р о в с к и й М.Е., О л е й н и к А.В. Технологии твердых бытовых отходов: учебник / Под ред. Л.Я. Шубова – М.: Альфа-М: ИНФРА-М, 2011. – 400 с.
9. К о л о т ы р и н К.П. Управление развитием эколого-экономических систем в сфере обращения с отходами потребления. Автореф. канд. дис. – Саратов. 2010. – 20 с.
10. Т у л о х о н о в а А.В., У л а н о в а О.В. Сценарии оптимизации управления отходами // Твердые бытовые отходы. 2012. № 11. С. 44 – 51.
11. B a n i M.S., R a s h i d Z.A., H a m i d K.H.K. et al. The Development of Decision Support System for Waste Management: a Review // World Academy of Science, Engineering and Technology. 2009. № 25. P. 161 – 168.
12. C h a n g N.B., W a n g S.F. The development of an environmental decision support system for municipal solid waste management // Comput., Environ., and Urban Systems. 1996. Vol. 20. № 3. P. 201 – 212.
13. F i o r u c c i P., M i n c i a r d i R., R o b b a M., S a c i l e R. Solid waste management in urban areas development and application of decision support system // Resources, Conservation and Recycling. 2003. № 37. P. 301 – 328.
- S u d d h i r V., M u r a l e e d h a r a n V., S r i n i v a s a n G. Integrated solid waste management in urban India: a critical operational research framework // Socio-Economic Planning Sciences. 2002. № 30 (3). P. 163 – 181.
14. G a l a n t e G., A i e l l o G., E n e a M., P a n a s c i a E. A multi-objective approach to solid waste management // Waste Management. 2006. № 30. P. 1720 – 1728.
15. Measuring the environmental impact of waste management system. Электронный ресурс: Integrated solid waste management tools / University of Waterloo, Canada. – April, 2004. – Режим доступа: [http://www.iwm-model.uwaterloo.ca/ISWM\\_Manual\\_July04.pdf](http://www.iwm-model.uwaterloo.ca/ISWM_Manual_July04.pdf) (Дата обращения 5 марта 2013 г.).
16. Warangkana Sornil. Solid Waste Management Planning Using Multi-Objective Genetic Algorithm. Электронный ресурс – Режим доступа: <http://qa.nida.ac.th/fismain/mis/research/attach/579857.Solid%20Waste....Algorithm.pdf> (Дата обращения 5 марта 2013 г.).

© 2013 г. Е.П. Волынкина, С.Н. Кузнецов  
Поступила 19 сентября 2013 г.