Отечественный и зарубежный опыт экономико-математического моделирования в сфере управления обращением с отходами

Автор статьи:
В.А. Перекальский
Государственный университет управления
г. Москва, Российская Федерация

V.A. Perekalskiy
State University of Management
Moscow, Russian Federation
E-mail: v.perekalskiy@gmail.com

В статье рассматривается проблематика утилизации отходов производства и потребления. Обосновывается необходимость использования экономико-математического моделирования для создания и развития отрасли утилизации отходов. Рассматриваются мировой опыт и практические задачи, в которых применяются экономико-математические модели.

DOMESTIC AND FOREIGN EXPERIENCE OF ECONOMIC-MATHEMATICAL MODELING OF WASTE MANAGEMENT

Abstract: the article deals with the problems of waste recycling. The necessity use of economic-mathematical modeling for the creation and development of the waste recycling industry have been substantiated. The international experience and practical situations of application of economic-mathematical models have been considered.

Keywords: agent-based model, decision making, economic-mathematical modeling, fuzzy mathematical programming, optimization, recycling, scenario approach, simulation model, waste management.

На сегодняшний день в развитых странах мира чётко осознаётся значимость вторичного сырья в воспроизводстве общественного продукта. Актуальность решения проблем утилизации отходов производства и потребления, вовлечения вторичных материальных ресурсов в экономический оборот, формирования ресурсной базы производства на основе вторичного сырья, создания и развития рентабельных отраслей утилизации отходов и управления обращением с отходами очевидна для всего мирового сообщества. Перечисленные проблемы носят не только экономический, но и ярко выраженный социальный, экологический характер.

Основываясь на результатах исследований видных российских и советских учёных В. Г. Горшкова, В. И. Данилова-Данильяна, К. С. Лосева, А. М. Макарьевой и других, можно говорить о том, что допустимые пороги антропогенного воздействия на природу превышены в десятки раз [1, с.31]. В то же время, исходя из современного российского опыта, становится очевидно, что без ответственной, системной, научно обоснованной, учитывающей международный опыт государственной политики в области управления отходами в частности и охраны окружающей природной среды в целом создание отрасли утилизации отходов не представляется возможным. При этом под отходоперерабатывающей отраслью понимается некая надотраслевая (межотраслевую) структура, состоящая из промышленности, преобразующей материальные потоки отходов в востребованное сырье, и взаимосвязанных с ней отраслей, производящих продукцию и энергию. Таким образом, можно говорить, что специфика отходоперерабатывающей отрасли в том, что она является одновременно и добывающей, и перерабатывающей.

Некоторые учёные и специалисты считают [1, с.31-32], что отрасль утилизации отходов, в силу своей специфики, должна быть мобилизационной и развиваться на плановой (индикативной и директивной) основе, а значит, кроме прочего, необходима разработка четких государственных стратегий, планов и программ по развитию отрасли утилизации отходов в целом и подотраслей утилизации отдельных видов отходов в частности. Научно обоснованная и системная разработка такого рода документов невозможна без применения экономико-математического моделирования.

Экологическое моделирование развито достаточно хорошо, существует множество различных моделей антропогенного воздействия на окружающую среду, однако только экологических и эколого-математических моделей недостаточно для создания, развития и эффективного (в первую очередь экономически) функционирования отрасли утилизации отходов. Исходя из отечественного и зарубежного опыта обращения с отходами [2, с.70], любой проект по утилизации тех или иных видов отходов должен тщательно обосновываться, должны быть найдены подходящие эффективные технологии, оценены спрос и предложение, рассчитаны

издержки, рентабельность, период окупаемости, определены экологические характеристики проекта и разнообразные риски и т.д. Для решения такого рода задач, как правило, используются различные экономико-математические модели.

Проблема утилизации отходов сложна и многогранна. Существуют различные виды и классы отходов, которые требуют различных технологий переработки. Отходы, образующиеся в процессе производства, и отходы потребления обладают разными характеристиками. Есть высокотехнологичные товары, после выведения которых из эксплуатации, образуются разнородные отходы, которые невозможно переработать совместно, по единой технологии, на одном предприятии. В качестве примера такого рода товаров можно привести автомобили, содержащие различные чёрные и цветные металлы, стекло, пластмассы, масла, резину и так далее. Важную роль в утилизации отходов играет логистическая составляющая (сбор и транспортировка отходов и готовой продукции). Таким образом, в связи со сложностью и комплексностью проблемы утилизации различных отходов, необходимостью учитывать экономические, экологические, социальные и другие факторы экономико-математические модели, используемые в этой сфере предметно-специфичны. Определим и приведём некоторые типы задач и виды экономико-математических моделей, которые применяются в решении этих задач.

А. М. Корнилов и К. Т. Пазюк в статье «Экономико-математическое моделирование рециклинга твердых бытовых отходов и использование вторичного материального сырья» [2, с.75-80] предлагают несколько схем моделирования на примере переработки изношенных автомобильных шин. В рамках статического подхода к моделированию авторами рассматриваются варианты решения двух задач: размещения пунктов специализации и концентрации переработки по районам края и специализации и концентрации по месту переработки в одном районе края.

Учитывая, что на практике параметры подобной модели подвергаются различным воздействиям, зачастую случайным, авторы предлагают перейти к динамической задаче размещения, факторы воздействия на параметры которой изменчивы, а решения принимаются в условиях неопределенности. Такая постановка позволяет оценить риск вложений в бизнес на период окупаемости или период кредита. В модели учитываются факторы риска, влияющие на параметры объема, цены и затрат как переработчиков, так и потребителей.

Для формирования рациональной организационно-технологической структуры системы авторециклинга и концепции стратегического управления потоками автотранспортных отходов на территории региона (в качестве примера использовалась Московская область) Ю. В. Трофименко с соавторами были сформированы балансовые модели функционирования региональной системы авторециклинга, учитывающие материальную и финансовую составляющую [3, с.6]. Для ответа на вопрос, будет ли вся система авторециклинга экономически эффективной при условии, что каждый из субъектов стремится к экономически целесообразному поведению, было проведено имитационное моделирование с применением сценарного подхода. Были использованы различные сценарии (базовый, кризисный, сценарий полного сбора отходов и идеальный), построения организационно-технологической структуры системы обращения с отходами эксплуатации автотранспорта, изменения цены на сырье, вторичные запчасти, материалы, наличия государственной финансовой поддержки социально и экологически значимых субъектов, изменения доли сбора, глубины переработки ВЭТС и других отходов эксплуатации автотранспорта.

Экономико-математическое моделирование в сфере управления обращением с отходами за рубежом развито существенно лучше и имеет более богатую историю. Рассмотрим некоторые примеры.

Группа учёных в рамках проекта “Development of the Model and Technologies of Logistics of the Communal Waste Transport” [4, с.63-76], финансируемого министерством науки Республики Сербии, решала задачу выбора оптимальной системы управления утилизацией ТБО (далее Системы) в центре города Ниш. Целью оптимизации являлась максимальная эффективность Системы и максимальная удовлетворённость пользователей Системы. В связи со сложностью Системы и её вариативной производительностью использовался многокритериальный метод оптимизации и метод анализа иерархий. Исследователями были определены три возможных варианта Системы: без построения математической модели (на основе оценок и опыта), на основе алгоритма Кларка–Райта и на основе географической информационной системы.

В связи со сложностью Системы процедура оптимизации была разделена на три уровня: выбор технологии обработки отходов, выбор передаточных станциях, выбор маршрутов сбора и транспортировки отходов. Итоговыми критериями для выбора оптимальной Системы стали (в порядке убывания важности): доступность мест расположения контейнеров для производителя отходов; длина маршрута движения мусоровозов; загруженность дорог на маршруте следования; влияние мест расположения контейнеров на городское пространство; количество мест расположения контейнеров. Полученное решение позволяет сократить маршрут движения мусоровоза на 2,87 км в день (примерно на 1000 км в год), со всеми вытекающими экономическими и экологическими последствиями.

Коллектив учёных с факультета промышленной инженерии университета Майами провёл исследование с целью

создания инструмента для моделирования и оптимизации инфраструктуры утилизации твёрдых отходов в штате Флорида [5]. Разработанный комплекс помогает отрасли утилизации твердых отходов достичь 75% коэффициента рециклинга к 2020 году, в то время как сейчас во Флориде действует установленный законодательно ещё в 1988 году коэффициент 30%. Разрабатываемый инструмент включает в себя следующие компоненты: структурированную базу данных, включающую все объекты, производящие и перерабатывающие отходы в штате Флорида, а также инфраструктурные объекты. Модуль оценки, позволяющий выбирать интересующие округа, после чего загружаются соответствующие условия и агенты из базы данных. Модуль автоматически создаёт экономические и эксплуатационные связи между агентами. Кроме того, в модуль интегрирована географическая информационная система, позволяющая строить дорожную сеть и рассчитывать характеристики маршрутов между агентами. Третий компонент – это модуль оптимизации распределения ресурсов, включающий гибридную агентно-дискретную модель. Модель состоит из модуля, проверяющего соответствие атрибутов каждого агента актуальному содержанию базы данных и эксплуатационной (тоннаж), экономической и экологической (коэффициент рециклинга) моделям. Механизм анализа рассматривает целесообразность и производительность всех вариантов решения.

Коллективом исследователей был произведён обзор работ эколого-экономического планирования обращения с отходами. Среди основополагающих можно выделить работы, посвящённые разработке методологии идентификации экологических проблем, возникающих во время сбора, переработки и захоронения отходов; анализу эколого-экономических компромиссов в развитии систем утилизации ТБО; планированию систем утилизации ТБО, интегрирующих различные компромиссные варианты и решения для сторон, участвующих в обращении с ТБО; стратегическому планированию оптимального расположения перевалочных станций и оптимальному распределению отходов.

Специфика комплексных систем управления отходами заключается не только в том, что необходимо множество специализированных предприятий, транспортных средств, объектов инфраструктуры, но и в том, что права собственности на эти объекты колеблются в широком диапазоне: от муниципальной и государственной собственности до многочисленных частных фирм и предприятий. В связи с этим в системе присутствуют разнообразные динамические связи между агентами [5, с. 15]. Кроме того, многие регионы (области, штаты) не имеют полного цикла переработки отходов и вынуждены налаживать связи с соседними регионами или даже странами.

В данный момент этот коллектив учёных ведёт работу над проектом “Многоцелевое агентно-ориентированное моделирование и оптимизация программ рециклинга «в один поток»” [7]. В рамках этого исследования будет создан инструмент, включающий два модуля: модуль-симулятор и оптимизационный модуль. Различные источники неопределенности системы будут параметризованы и включены в имитационную модель. С помощью предлагаемых инструментов заинтересованные стороны смогут имитировать различные сценарии, пока не придут к компромиссному решению.

В работе «A new fuzzy mathematical model in recycling collection networks: a possibilistic approach» [6, с. 1687-1694] решается задача размещения множества поставщиков, центров сбора вторичного сырья и предприятий–переработчиков вторичного сырья, обладающих различными характеристиками и не являющихся однородными и однотипными, в утилизационной отрасли. Учитывая, что спрос, доходы, мощности, издержки и расстояния являются неопределёнными, предлагается использовать вероятностный подход на основе нечёткого математического программирования. Соответственно, основываясь на исследованиях, публикуемых в современной литературе, для решения поставленной задачи предлагается применить смешанное нелинейное программирование. Авторами проведён ряд вычислительных экспериментов для иллюстрации применимости разработанной модели в среде цепочек поставок и, чтобы помочь лицам, принимающим решения, облегчить проводимый ими анализ. Построенная модель также позволяет одновременно справляться с неопределённостью, возникающей из-за отсутствия или неполноты данных, а также с неопределённостью, обусловленной неточностью исходных данных.

Итак, проведённое исследование показало, что проблема утилизации отходов сложна и многогранна, а экономико-математические модели, используемые в этой сфере, предметно-специфичны. Одной из наиболее универсальных задач является задача географического размещения различных объектов инфраструктуры утилизации, определения необходимых мощностей этих объектов и описания материальных и финансовых потоков, возникающих между ними. Экономико-математическое моделирование в сфере управления обращением с отходами лучше всего развито именно в решении этой задачи. В зависимости от наличия исходных данных, принимаемых гипотез, сложности и неоднородности моделируемой системы утилизации отходов применяется широкий спектр моделей и методов. Опыт экономико-математического моделирования систем утилизации отходов в России недостаточно богат в сравнении с общемировым, что обусловлено отсутствием в России отходоперерабатывающей отрасли как таковой и в масштабах страны, и в масштабах отдельных регионов.

Список литературы:

1. Кузнецов П. И. О становлении и развитии отходоперерабатывающей отрасли. // Твердые бытовые отходы. 2012. №4.

2. Корнилов А. М., Пазюк К. Т. Экономико-математическое моделирование рециклинга твердых бытовых отходов и использование вторичного материального сырья // Вестник ТОГУ. 2008. №2(9).

3. Трофименко Ю. В., Ахметов Л. А., Трофименко К. Ю. Финансовые потоки в региональной системе обращения с отходами эксплуатации автомобильного транспорта ("Авторециклинг") // Транспорт: наука, техника, управление. 2009. №5.

4. Marković D., Janošević D., Jovanović M., Nikolić V. Application method for optimization in solid waste management system in the city of Niš // Facta universitatis. Series: Mechanical Engineering. 2010. Том 8, №1.

5. 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.

6. 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. №78.

7. www.ie.miami.edu