

УДК 681.5:007

МЕТОДОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ В АСПЕКТЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

О.В. Пещерова

Тамбовский государственный технический университет
Россия, 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106
E-mail: praktika_tstu@mail.ru

Н.С. Попов

Тамбовский государственный технический университет
Россия, 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106
E-mail: eco@nnn.tstu.ru

Л.Н. Чуксина

Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина
Россия, 392000, г. Тамбов, ул. Интернациональная, д. 33
E-mail: ecologij@mail.ru

Ключевые слова: управление развитием сложных систем; системный подход; макро-системы; учение В.И. Вернадского; методология.

Аннотация: Современный этап развития цивилизации характеризуется небывалым ростом новых научных знаний о взаимодействиях экономики, природы и общества, позволяющих объективно оценивать ресурсный и рекреационный потенциал Земли, обосновывать выбор траектории роста мировой экономики и обеспечивать подъем благосостояния народов. Представленная в работе методология решения задач управления сложными системами как объектов устойчивого развития является одной из попыток системной организации знаний о возникшей проблеме. Также в работе приведено описание одного из примеров практического применения методологии для решения задач управления процессом биологической очистки.

1. Введение

В последние десятилетия мировое научное сообщество интенсивно разрабатывает теорию устойчивого развития, фундаментальные положения которой позволят ответить на вопрос о том, каким образом при существующих темпах роста народонаселения возможно повышение уровня его благосостояния в условиях ограниченной поддерживающей способности природной среды и сокращения невозобновляемых запасов природных ресурсов. Достаточного опыта решения столь сложной и многопрофильной проблемы у человечества нет, а поэтому необходимо проводить комплексное ее исследование в целях научного обоснования оптимальной траектории роста экономических систем.

На данном этапе развития знаний о природе и обществе наиболее продуктивными научными школами, занятыми исследованием особенностей рассматриваемой проблемы, являются неоклассическая, физико-экономическая и инженерно-экологическая, базирующиеся на идеях антропоцентризма, устойчивого развития, использования новых технологий, оптимизации экстернальных издержек, комплексной переработки сырья и управления экосистемами с учетом свойств их упругости, самоорганизации и гомеостаза.

Вследствие множественности результатов, полученных различными научными школами, в науке об устойчивом развитии назрела необходимость в системной организации знаний в виде методологии – учения о принципах, методах, формах и инструментах познания закономерностей процесса коэволюции социально-экономических и экологических систем. Наличие методологии существенно упрощает проведение прикладных исследований.

2. Описание методологии

Представленная в данной работе методология формировалась одновременно и как «путеводитель», и как «конструктор» для решения задач моделирования и управления процессами устойчивого развития, а поэтому является частью более общего системного подхода к исследованию других глобальных биосферных проблем. Ее особенности связаны с единым подходом к анализу процессов «промышленной» и «природной» технологии, с горизонтом задач планирования в 20 и более лет, исследованием природо-промышленных систем различного уровня сложности и поиском компромиссных вариантов их устойчивого развития.

Содержание методологии организовано в виде алгоритма из восьми информационных блоков, представленного на рис. 1. Наличие обратных связей в блоках 6 и 7 позволяет корректировать решения, принятые в предыдущих блоках.



Рис. 1. Методология решения задач управления сложными системами.

В блоке 1 содержатся фундаментальные выводы академика В.И. Вернадского об эволюции биосферы в ноосферу и резолюции международных форумов по устойчивому развитию. Учение В.И. Вернадского является предтечей теории устойчивого развития. В его работах показана глубокая взаимозависимость геохимических и геофизических процессов и процессов, порождаемых живой материей. Ключевые положения учения об эволюции биосферы сформулированы ученым в виде биогеохимических принципов, важнейший из которых звучит следующим образом: «биогенная миграция атомов химических элементов в биосфере всегда стремится к максимальному своему проявлению» [1]. Иначе говоря, живое вещество, обладая целеустремленным поведением, всегда ориентировано на максимальное потребление материально-энергетических ресурсов, что приводит к их дефициту, конкуренции видов, росту отходов и изменению качества среды обитания. Именно эти обстоятельства становятся объектами исследования в теории устойчивого развития.

В блоке 2 содержатся базовые положения, определяющие особенности научных подходов к решению задач устойчивого развития в виде 7 принципов, например, таких как: «комплексное исследование проблемы на расширенном пространстве состояний системы: экономика-экология-общество» или «циклической воспроизводимости состояний экосистем в контрольные моменты времени».

В блоке 3 введено и формализовано понятие природо-промышленной системы как единой научной платформы для решения конкретных задач устойчивого развития. Природо-промышленной системой (ППС) названо множество объектов отраслей промышленного (аграрного) сектора и объектов природной среды, образующих единую технико-экономическую и экологическую структуру рассматриваемого региона, упорядоченно взаимодействующих друг с другом в процессах обмена информацией, потребления материально-энергетических ресурсов и переработки отходов. ППС представляют собой особый класс термодинамически открытых больших биотехнологических

систем с иерархической структурой организации элементов, детерминированно-стохастической природой отдельных процессов, нелинейным характером их поведения и с запаздываниями в информационно-измерительных каналах.

В блоке 4 приведены возможные постановки задач устойчивого развития с векторным критерием [2]. Эти задачи обозначены как А, В, С, ..., Н и обладают различной степенью сложности, являясь статическими или динамическими, детерминированными или вероятностными. Оптимальное решение принимается по условию выполнения «критической» устойчивости ППС, известному в экологической экономике.

В блоке 5 формализована постановка задачи автоматизированного моделирования ППС на основе концепции «экологического» реактора, базисом которой являются достижения теории химического реактора. Экологический реактор представляет собой открытую, саморегулируемую систему, образованную из биотопа, биоценозов и природных источников энергии, предназначенную для синтеза биологических видов в количествах и соотношениях, определяемых сложившимися на длительном периоде времени условиями ее функционирования. Экореактор характеризуется конкретными пространственно-временными границами, конечным числом контактов с внешней средой, известными механизмами взаимодействия живых организмов и химических веществ, а также известной гидродинамической структурой материально-энергетических потоков, существующих между интересующими точками его входов и выходов. Концепция экологического реактора особенно полезна при моделировании экологических подсистем.

Действия в блоке 6 позволяют оценить результативность системы управления ППС методом Монте-Карло, либо аналитическими методами, в случае использования достаточно простых моделей (например, решение в среднем квадратическом для вероятностных дифференциальных уравнений).

В блоке 7 методологии осуществляется проверка решений замкнутой системы управления ППС на устойчивость. И в зависимости от особенности задачи управления здесь могут быть использованы различные критерии оценивания и подходы, известные в классической теории устойчивости для детерминированных и вероятностных систем, базирующиеся на «внутреннем» и «внешнем» описаниях. В одном из рассмотренных примеров использован критерий «абсолютной» устойчивости.

На основании результатов оценки устойчивости решений принимаются практические рекомендации – блок 8.

3. Практическое применение предложенной методологии

Рассмотрим более подробно возможности применения методологии на примере разработки экологически безопасного и экономически эффективного варианта модернизации технологической схемы и оборудования городских очистных сооружений. Основной целью данного проекта являлось повышение качества очистки сточных вод в условиях изменения расхода входного потока и содержания соединений азота и фосфора в нем в долгосрочной перспективе.

В соответствии с алгоритмом методологии, представленным на рис. 1, исследование проводилось в 8 этапов. На первом этапе (блок 1) были изучены наиболее распространенные современные мировые практики по реконструкции городских очистных сооружений, а также проведен совместный энергоаудит в соответствии с разработанной методикой [3]. На втором этапе (блок 2) была проведена адаптация научного подхода под решаемые задачи проекта с использованием ряда принципов. Формализация городских очистных сооружений как природо-промышленной системы с позиции устойчивого развития была осуществлена на третьем этапе исследования (блок 3). Сле-

дующий этап (блок 4) включал постановку задачи оптимального энергопотребления в подсистеме «А – О» при условии выполнения экологических показателей очистки воды. В соответствии с 5 блоком методологии была разработана и апробирована математическая модель процесса очистки воды в подсистеме А – О [4], а также предложена двухуровневая система управления биологической очисткой с прогнозатором нагрузки на входе и адаптацией процесса очистки по содержанию кислорода [5]. Следующий этап (блок 6) был посвящен проведению имитационного исследования системы воздухораспределения в коридорах аэротенка с использованием разработанной двухуровневой системы управления [6]. По результатам исследования снижение электропотребления воздуходувками может составить до 15%. В блоке 7 была проведена проверка на устойчивость разработанной системы с использованием критерия абсолютной устойчивости.

4. Заключение

Описанная в данной работе методология может быть использована для решения задач энергосбережения, для разработки технологий утилизации и переработки отходов, организации системы мониторинга воздушного и водного бассейнов. Основным преимуществом представленной методологии является учет не только эколого-экономических, но и социально-экономических показателей, что представляет собой особую ценность для перехода региона на траекторию устойчивого развития.

Список литературы

1. Вернадский В.И. Собрание сочинений: Т. 9. Химическое строение биосферы Земли и ее окружение. Биосфера и ноосфера / Науч. ред. и сост. Э. М. Галимов; Ин-т геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского; Комиссия РАН по разработке научного наследия академика В. И. Вернадского. М.: Наука, 2013. 574 с.
2. Повышение энергоэффективности природо-промышленных систем: учебное пособие / Н.С. Попов, В. Бьянко, И.О. Лысенко [и др.]; под общ. ред. Н.С. Попова. Тамбов : Изд-во Першина Р.В., 2014. 146 с.
3. Попов Н.С., Чан Минь Тьинь, Чуксина Л.Н. Научно-правовые основы проведения совместного энерго аудита // Вопр. соврем. науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. 2014. № 2 (51). С. 34-42.
4. Н. С. Попов [и др.] Моделирование оптимального распределения воздуха в коридорном аэротенке // Вопр. соврем. науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. 2016. № 1 (59). С. 19-28.
5. Попов Н.С., Пещерова О.В., Чан Минь Тьинь, О структуре системы управления процессом биологической очистки сточных вод // Вопр. соврем. науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. 2015. № 3 (57). С. 34-45.
6. Попов Н.С., Пещерова О.В., Чан Минь Тьинь. Статистическое моделирование и прогнозирование изменений входной нагрузки на городских очистных сооружениях // Вопр. соврем. науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. 2015. № 4 (58). С. 130-137.