Ларин Сергей Николаевич
канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник
Хрусталев Олег Евгеньевич
канд. экон. наук, старший научный сотрудник
Кураева Ольга Анатольевна
ведущий инженер
ФГБУН «Центральный экономико-
математический институт РАН»
г. Москва

DOI 10.21661/r-474339

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОТРАСЛЕВЫХ ПОДСИСТЕМ СФЕРЫ ЖКХ

Аннотация*: основная цель настоящего исследования заключается в представлении сферы жилищно-коммунального хозяйства как системы для моделирования деятельности отраслевых подсистем. Объектом исследования является сфера жилищно-коммунального хозяйства, а в качестве предмета определены особенности подхода к моделированию деятельности отраслевых подсистем. Методическую основу составили основные положения теории исследования операций и методы экономико-математического моделирования. В результате проведенных исследований были получены теоретические обоснования формирования моделей отраслевых подсистем сферы жилищно-коммунального хозяйства. Новизна полученных результатов заключается в представлении сферы жилищно-коммунального хозяйства как сложной системы и выделение в ее составе отраслевых подсистем, для которых были сформулированы теоретические подходы к их моделированию.*

Ключевые слова*: жилищно-коммунальное хозяйство, принцип системности, отраслевые подсистемы, функциональные особенности моделирование.*

Сфера жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) представляет собой сложную систему, в которую входят предприятия более 30-ти отраслей экономики страны. Эффективное управление их деятельностью возможно на основе использования экономико-математического моделирования. Однако формирование модели управления сферой ЖКХ в соответствии с традиционным отраслевым подходом заранее обречено на серьезные трудности из-за необходимости учета чрезмерно большой комбинации различных по своей природе и разнонаправленных факторов, которые оказывают непосредственное воздействие на функционирование предприятий разных отраслей в составе сферы ЖКХ. Для упрощения подхода к решению этой задачи нами предложено использовать системный подход. Это позволит выделить по функциональному признаку в составе сферы ЖКХ как системы три ключевых отраслевых подсистемы, а именно: жилищный фонд и объекты социального назначения, объекты коммунальной инфраструктуры, а также объекты формирования комплекса жилищно-коммунальных услуг (ЖКУ). При этом размерность моделируемой системы будет сокращена, что значительно облегчит подход и к моделированию деятельности предприятий в рамках указанных трех ключевых подсистем.

Системное представление сферы ЖКХ и выделение в ее составе ключевых подсистем предполагает, что относящиеся к этим подсистемам экономические объекты различных отраслей обладают некоторыми специфическими особенностями. Они проявляются в том, что в зависимости от рода и условий деятельности некоторые из них можно отнести к детерминированным системам, а другие – к стохастическим [2, с. 143]. Покажем принципиальные особенности этих систем, которые необходимо учитывать при разработке экономико-математических моделей ключевых систем сферы ЖКХ.

Детерминированной принято считать систему, будущее состояние которой можно точно прогнозировать на основе информации о ее текущем состоянии. Связи между входом $u\ (t, x)$ и выходом $y\ (t, x)$ таких систем описываются при помощи оператора θ, свойства которого во времени либо не меняются, либо эти изменения точно известны. В простейшем случае детерминированную подсистему можно представить в таком виде:

$$y\ (t, x)=\theta u\ (t, x). \tag{1}$$

При этом вход $u\ (t, x)$ и выход $y\ (t, x)$ подсистемы считаются известными, а детерминированный оператор θ остается неизвестным.

Для моделирования подсистемы (1) формируется вспомогательная модель со входом $u\ (t, x)$ и выходом $y\ (t, x)$, которая характеризуется оператором θ. Эта модель представляет собой следующее уравнение:

$$y\ (t, x) = \theta u\ (t, x). \tag{2}$$

Задача моделирования подсистемы (1) будет заключаться в определении значения оператора θ при соблюдении условия максимальной близости выходов подсистемы $y\ (t, x)$ и ее модели $y\ (t, x)$. Различие между этими величинами характеризует показатель их разности (невязки, ошибки):

$$\varepsilon\ (t, x) = y\ (t, x) - y\ (t, x). \tag{3}$$

Невязка $\varepsilon\ (t, x)$ является функцией времени и пространственной координаты подсистемы. При этом каждый из ее аргументов определен на соответствующих ограниченных множествах: T – интервал времени; X – множество локализации пространственной координаты подсистемы. Таким образом, невязка характеризует близость выходов подсистемы и ее модели в любой момент времени из интервала Т и в каждой точке множества локализации пространственной координаты X.

Для количественной оценки близости могут использоваться некоторые числовые характеристики ε невязки ε, а именно: максимальная невязка (4), интегральная абсолютная невязка (5) и интегральная квадратичная невязка (6). Формулы для определения этих характеристик приведены ниже:

$$\varepsilon\ (\theta) = \varepsilon_{max} = max\,\varepsilon(t,x),\ t\in T,\ x\in X. \tag{4}$$

$$\varepsilon\ (\theta) = \varepsilon_{abc} = \int\limits_{t\in T}\int\limits_{x\in X} |\varepsilon(t,x)|\,dtdx\,. \tag{5}$$

$$\varepsilon\ (\theta) = \varepsilon_{sqr} = \int\limits_{t\in T}\int\limits_{x\in X} (\varepsilon(t,x))^2\,dtdx. \tag{6}$$

Выбрав одну из приведенных выше характеристик для оценки близости выходов системы и ее модели, можно получить количественную оценку качества модели или, другими словами, количественную меру соответствия оператора модели θ оператору подсистемы θ. Это дает возможность подбирать операторы модели с целью уменьшения оценки ее близости по сравнению с подсистемой. В результате приведенных выше рассуждений и проведенных преобразований можно утверждать, что под моделью детерминированной подсистемы следует понимать модель с детерминированным оператором θ^*, которая минимизирует оценку близости выходов подсистемы и ее модели, то есть $\min \varepsilon\ (\theta)$.

Для формирования алгоритма решения такого рода задачи следует задать класс операторов модели с точностью до конечной совокупности неизвестных параметров. С математической точки зрения это равнозначно параметризации оператора θ. Это означает, что данный оператор должен быть представлен некоторым набором неизвестных, но числовых параметров.

Для параметризованного оператора введем обозначение $\theta\ (W)$, где под W будем понимать вектор параметров. В параметризованном операторе выделены элементарные операторы и указаны связи между ними, тогда параметры можно считать характеристиками этих связей. При параметризованных операторах невязки становятся функциями параметров W, то есть $\varepsilon\ (W)$.

После параметризации оператора модели задача моделирования детерминированной подсистемы сводится к определению параметров W^* оператора модели θ таким образом, чтобы

$$W^* = arg\ min\, \varepsilon\, (W). \tag{7}$$

Основная отличительная характеристика стохастической подсистемы заключается в том, что ее состояние в конкретный момент времени может определять ее будущее состояние только с некоторой степенью вероятности [1, с. 87]. Соответственно, выход такой подсистемы будет представлять собой случайный процесс $y_\omega(t,\ x)$. Из этого вытекает принципиальное отличие стохастической подсистемы от детерминированной, которое заключается в том, что связь между входом и выходом такой подсистемы описывается стохастическим оператором θ_ω:

$$y_\omega(t, x) = \theta_\omega u\ (t, x) \tag{8}$$

Стохастический оператор можно рассматривать как совокупность *S* детерминированных операторов, каждый из которых реализуется с определенной вероятностью, где под ω будем понимать номер конкретного детерминированного оператора в этой совокупности.

Существуют два класса реализации операторов из совокупности *S* в интервале времени *T*.

Для первого класса детерминированные операторы, реализующиеся с вероятностью *p*, сохраняют свои свойства на всем интервале времени *T*. В качестве самого простого примера этого класса реализации может выступать конечный пронумерованный набор детерминированных операторов $\theta_1,\dots,\ \theta_s$, а ω – представляет собой случайную целочисленную величину, которая принимает значения в интервале *[1,s]* с определенной функцией распределения вероятностей $P(\omega)$.

Для второго класса детерминированные операторы из совокупности *S* могут реализовываться в произвольный момент времени на всем интервале *T*. В этом случае ω будет представлять собой случайную функцию $\omega\,(m, h)$ со значениями из интервала *[1, s]* и функцией распределения вероятностей $P\ (\omega(m\_h),\ \dots,\ \omega\,(m_0, h))$.

Для моделирования подсистемы (8) сформируем вспомогательную подсистему со стохастическим оператором θ_{ω}:

$$y_{\omega}(t, x) = \theta_{\omega} u\ (t, x). \tag{9}$$

В дальнейшем приходим к заключению, что невязка между выходами стохастической подсистемы и ее модели становится так же случайным процессом:

$$\varepsilon_\omega(t,x) = y_\omega(t,x) - y_\omega(t,x), \tag{10}$$

где ω является либо случайной функцией, либо случайной величиной. Соответственно случайными величинами становятся и оценки близости выходов подсистемы и ее модели (4)–(6). Поэтому для получения количественной оценки близости выходов подсистемы и ее модели используются числовые характеристики соответствующих случайных величин. Обычно для этого достаточно использовать их средние значения и вместо оценок (4)–(6) будет использоваться следующая совокупность оценок: средняя максимальная невязка (11), средняя интегральная абсолютная невязка (12), средняя интегральная квадратичная невязка (13). Формулы для их определения приведены ниже:

$$\varepsilon = \varepsilon_{max} = M\{\max|\varepsilon_{\omega}(t,x)|\},\ t\in T,\ x\in X. \tag{11}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{abs} = M\left\{\int\limits_{t\in T}\int\limits_{x\in X}|\varepsilon_{\omega}(t,x)|\,dtdx\right\}. \tag{12}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{sqr} = M\left\{\int\limits_{t\in T}\int\limits_{x\in X}(\varepsilon_{\omega}(t,x))^2\,dtdx\right\}. \tag{13}$$

В выражениях (11) – (13) символ M означает операцию математического ожидания. В дальнейшем процесс формирования модели для стохастической подсистемы аналогичен рассмотренному выше процессу формирования модели для детерминированной системы. Разница будет заключаться только в том, что минимальное значение невязки будет определяться среди стохастических операторов выбранного класса. При этом любой выбранный класс операторов должен быть описан в параметризованном виде. Однако, в отличие от детерминированной подсистемы, параметры W рассматриваются как случайные величины, которые характеризуются соответствующими функциями распределения вероятностей $p(W,\beta)$. Вид функций распределения вероятностей обычно устанавливается на основе качественной априорной информации, а их параметры β (средние значения, дисперсии, высшие моменты) образуют группу неслучайных параметров модели стохастического оператора модели. Они определяются из следующего выражения:

$$\beta^* = arg\ min\,\varepsilon(\beta), \tag{14}$$

где средние невязки будут определяться из выражений (11)-(13). Случайные параметры модели стохастической подсистемы генерируются с помощью источников случайных чисел и законами распределения вероятностей $p(W,\beta^*)$.

Полученные нами результаты позволяют сделать вывод о том, что в процессе проведения исследований были выявлены особенности моделирования ключевых подсистем в составе сферы ЖКХ как системы и обоснована необходимость их учета для проведения эффективной комплексной модернизации этой сферы.

Список литературы

1. Кузьмин Е.А. Неопределенность в экономике: понятия и положения / Е.А. Кузьмин // Вопросы управления. – 2012. – №2 (2). – С. 80–92.

2. Писарук Н.Н. Исследование операций / Н.Н. Писарук. – Минск: БГУ, 2013. – 272 с.