

УДК 332.87

Ларин С.Н., Малков У.Х., Соколов Н.А. Особенности формализованного описания информации при моделировании взаимодействия экономических субъектов сферы жилищно-коммунального хозяйства

Features of the formalized description of information in the modeling of interaction between economic entities sphere of housing and communal services

Ларин С.Н., Малков У.Х., Соколов Н.А.

1. Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,
2. Кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник
3. Кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник
ФГБУН Центральный экономико-математический институт РАН, г. Москва

Larin S.N., Malkov U.CH., Sokolov N.A.

1. PhD in Engineering, Leading Researcher
2. PhD in Physics and Mathematics, Leading Researcher
3. PhD in Physics and Mathematics, Leading Researcher
FGBUS Central Economical and Mathematical Institute RAS, Moscow

Аннотация. Проблема модернизации и моделирования взаимодействия экономических субъектов сферы жилищно-коммунального хозяйства в настоящее время является как никогда актуальной для нашей страны. В этой сфере взаимодействуют как экономические субъекты, так и отдельные подсистемы, однако эффективность их взаимодействий пока остается низкой. Предметом данной статьи является поиск и обоснование эффективных подходов для решения задач моделирования взаимодействия экономических субъектов в условиях стохастическо-детерминированных систем. В качестве объекта исследования выбрана сфера жилищно-коммунального хозяйства и особенности ее представления как объекта моделирования. Научная новизна исследования определяется обоснованием возможности совместного использования стохастических и детерминированных моделей на уровне экономических субъектов и функциональных подсистем. К числу основных результатов исследования можно отнести новые подходы к формализованному описанию принципиальных особенностей, выявление пространственной динамики и причинно-следственных связей между всеми участниками процессов взаимодействия, детализация взаимосвязей входных и выходных процессов и подходы к их преобразованию при помощи операторов, представлены подходы к решению задач детерминированного и стохастического моделирования развития сферы ЖКХ.

Ключевые слова: жилищно-коммунальное хозяйство, система, формализованное описание, стохастические и детерминированные модели.

Abstract. The problem of modernization and modeling of the interaction of economic actors in the sphere of housing and communal services is now more relevant for our country than ever. In this sphere, both economic entities and individual subsystems interact, however, the effectiveness of their interactions remains low. The subject of this article is the search and justification of effective approaches for solving problems of modeling the interaction of economic entities in the context of stochastic-deterministic systems. As an object of research, the sphere of housing and communal services and the features of its representation as a model object were chosen. The scientific novelty of the study is determined by the justification for the possibility of sharing stochastic and deterministic models at the level of economic entities and functional subsystems. Among the main results of the study are new approaches to the formalized description of the principal features, the identification of spatial dynamics and cause-effect relationships between all participants in the interaction processes, the detailing of the interrelationships of input and output processes and approaches to their transformation with the help of operators, presents approaches to solving deterministic problems and stochastic modeling of the development of housing and communal services.

Keywords: housing and communal services, a system, a formalized description, stochastic and deterministic models

Введение

Анализируя сферу жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) с позиций общей теории систем, можно утверждать, что она представляет собой нетривиальный объект для моделирования, поскольку относится к стохастическо-детерминированным системам [3, 5]. К числу принципиальных особенностей таких систем относится необходимость учета функционально-пространственных факторов при моделировании взаимодействий ее экономических субъектов. Поскольку стохастическо-детерминированные системы и составляющие их подсистемы имеют, как правило, двухуровневую структуру, то и в моделях как самой сферы ЖКХ, так и ее структурных составляющих будут присутствовать два – микро- и макро- – уровня взаимодействия ее экономических субъектов. Это обстоятельство тоже можно считать одной из принципиальных особенностей сферы ЖКХ как объекта моделирования. Еще одной принципиальной особенностью этой сферы является подход к моделированию взаимодействия ее структурных составляющих – различных подсистем со своими функциональными особенностями.

В данной статье представлены подходы к формализованному описанию указанных принципиальных особенностей, пространственной динамики и причинно-следственных связей между всеми участниками процессов взаимодействия, взаимосвязи входных и выходных процессов и их преобразованию при помощи операторов, а также сформулированы задачи детерминированного и стохастического моделирования развития сферы ЖКХ как системы.

Основная часть

1. Подход к формализованному описанию особенностей моделирования

Для формализованного описания указанных принципиальных особенностей представим пространственную динамику и причинно-следственные связи между всеми участниками процессов взаимодействия.

Пространственная динамика сферы ЖКХ описывается набором временных факторов, которые выступают в качестве аргументов для основных процессов, возникающих при взаимодействии экономических субъектов и функциональных подсистем. При этом каждый участник процесса взаимодействия может оперировать удобным для него набором временных факторов, что нередко приводит к несопоставимости измерений во времени и свидетельствует об общей неоднородности этого процесса.

Причинно-следственные связи обычно используются для выявления и описания входных и выходных процессов. Анализ факторов, характеризующих эти связи, показывает, что они имеют преимущественно феноменологичный характер и в большой степени зависят от целей исследования, состава исследуемых факторов, наличия или отсутствия предпочтений у различных групп факторов или между факторами одной группы. При этом входные процессы описываются набором переменных, при помощи которых можно осуществлять целенаправленное управление взаимодействием экономических субъектов и функциональных подсистем сферы ЖКХ. В основном к таким переменным относятся вариативные показатели программ инфраструктурного развития сферы ЖКХ. Кроме того, входные процессы так же описываются набором переменных, которые не оказывают влияние на управление взаимодействием экономических субъектов и функциональных подсистем сферы ЖКХ. К

таким переменным чаще всего относят всю совокупность факторов, отражающих влияние компонентов внешней среды на развитие сферы ЖКХ. Все остальные переменные будем относить к числу факторов, которые используются для описания выходных процессов.

2. Взаимосвязи входных и выходных процессов при моделировании

Краткий анализ принципиальных особенностей сферы ЖКХ как стохастическо-детерминированной системы позволяет утверждать, что в ней происходит преобразование двух типов входных процессов – программ развития инфраструктурных составляющих $P_{ИС}(t, x)$ и учета воздействия факторов внешней среды $P_{ВС}(t, x)$ – в выходной процесс $P_{ВГ}(t, x)$. Указанные процессы представляют собой функции времени $t \in T$ и причинно-следственных связей между всеми участниками процессов взаимодействия в сфере ЖКХ $x \in X$. Под $t(1, ..., T)$ будем понимать определенный период времени, на протяжении которого исследуется пространственная динамика сферы ЖКХ. Под $x(1, ..., X)$ будем понимать определенные состояния развития сферы ЖКХ, в которые она переходит в результате реализации процессов взаимодействия экономических субъектов и функциональных подсистем.

Представляется очевидным, что между входными и выходными процессами существуют прямые и обратные связи. Другими словами, нельзя считать эти процессы независимыми друг от друга. Однако, эти зависимости имеют разную природу. Входной процесс $P_{ИС}(t, x)$ связан с выходным процессом $P_{ВГ}(t, x)$ через разработку планов и программ инфраструктурного развития сферы ЖКХ, в которых устанавливаются конечные цели и критериальные показатели для оценки их достижения. Взаимосвязи между этими процессами достаточно легко поддаются вычислению как количественно, так и качественно при помощи использования различных шкал оценок [1, 4].

Входной процесс $P_{ВС}(t, x)$ отражает воздействие внешней среды и ее факторов на инфраструктурное развитие сферы ЖКХ. Он связан с выходным процессом $P_{ВГ}(t, x)$ не так явно, поскольку пространственное взаимодействие сферы ЖКХ и внешней среды не имеет четких границ. Она осуществляется через так называемую «размытую границу».

Входные и выходные процессы могут описываться достаточно большим числом переменных, которые отражают происходящие во времени изменения функционально-пространственной структуры сферы ЖКХ в целом и всех участников реализуемых в ее масштабах процессов взаимодействия на уровне экономических субъектов и функциональных подсистем. Поскольку количество переменных и соответствующих им факторов очень велико, то для получения качественно значимых результатов их необходимо сократить. Однако в большинстве случаев такой подход влечет за собой появление неопределенности. Поскольку в дальнейшем мы будем вести речь о подходах к математическому моделированию развития сферы ЖКХ, то нами будет использоваться вероятностная модель неопределенности.

3. Преобразование входных и выходных процессов при помощи операторов

Представление неопределенности как набора случайных событий позволяют представить входной и выходной процессы в виде некоторого множества, но в практической деятельности из этого множества всегда будет использоваться только один процесс. В такой ситуации очень полезным

оказывается свойство стохастической упорядоченности, которое показывает, что только один процесс из рассматриваемого множества, а именно, процесс $P(t, x)$ может быть реализован с максимальной вероятностью. При этом число переменных, используемых для описания этого процесса, уже упорядочено за счет сокращения мало значимых факторов.

При математическом моделировании преобразования входного процесса $P(t, x) = \{P_{IC}(t, x), P_{BC}(t, x)\}$ в выходной процесс $P_{BP}(t, x)$ удобно воспользоваться оператором преобразования B . Описание и исследование этого оператора обычно выполняется при помощи построения его разложения. Для этого между входным и выходным процессами вводится несколько внутренних процессов, которые связаны с определенными промежуточными состояниями моделируемой системы. Связи между внутренними процессами также характеризуются соответствующими операторами. Выбор внутренних процессов определяется на основании дополнительной информации о свойствах преобразования входных и выходных процессов, реализуемых в модели развития сферы ЖКХ [2].

Исследование сферы ЖКХ как системы для моделирования начнем с формирования координат ее состояния $q(t, x) = \{q_1(t, x), \dots, q_r(t, x)\}$. Они представляют собой набор переменных $q \in 1, \dots, r$, которые считаются существенными при изучении поведения системы. При этом он может совпадать или быть отличным от состава переменных, которыми описывается входной процесс. Преобразование координат состояния $q(t, x)$ в выходной процесс описывается оператором D . Поскольку и координаты состояния $q(t, x)$ и выходной процесс $P(t, x)$ представляют собой детерминированные величины, то и оператор D будет так же детерминированной величиной.

Поскольку сфера ЖКХ в нашем исследовании представлена как система со стохастическими и детерминированными свойствами, то она будет обладать определенной спецификой в части преобразования входного процесса $P(t, x)$ в состояние системы с координатами $q(t, x)$. Это преобразование характеризует оператор F .

Таким образом, оператор B преобразования входного процесса в выходной можно представить в виде последовательного использования двух других операторов преобразования, а именно:

$$B = D \circ F \quad (1).$$

Практика показывает, что на микроуровне сферы ЖКХ как системы присутствует достаточно большое число элементов, характеризующихся случайным поведением. Его можно описать соответствующим набором переменных $g(t, x) = \{g_1(t, x), \dots, g_l(t, x)\}$, $g \in 1, \dots, l$ которые принято считать координатами стохастического состояния элемента системы. Преобразование входного процесса в стохастическое состояние описывает стохастический оператор S , который одновременно является оператором для преобразования входных и выходных процессов на микроуровне сферы ЖКХ как моделируемой системы.

Преобразование стохастического состояния $g(t, x)$ в детерминированное состояние $q(t, x)$ реализуется при моделировании сферы ЖКХ через естественные процессы «перемешивания».

Возникающее при этом большое число элементарных стохастических процессов характеризует оператор A , который описывает операцию осреднения переменных через величину их математического ожидания. Эта особенность позволяет нам представить оператор F в следующем виде:

$$F = A \circ S \quad (2).$$

Если объединить выражения (1) и (2), то можно увидеть, что преобразование входных и выходных процессов при моделировании развития сферы ЖКХ как системы может быть описано следующей последовательностью операторов:

$$B = D \circ A \circ S \quad (3).$$

Поскольку оператор D является детерминированным, а оператор A – стохастическим, то представляется целесообразным сформулировать задачи моделирования для каждого из них, которые могут использоваться при моделировании развития сферы ЖКХ как системы.

4. Задачи детерминированного и стохастического моделирования

Как известно, детерминированной принято считать систему, поведение которой поддается точному прогнозированию в будущем на основе информации о ее состоянии в текущий момент времени. Взаимосвязь между входом $u(t, x)$ и выходом $y(t, x)$ такой системы можно описать при помощи оператора Θ , свойства которого либо не меняются во времени, либо эти изменения заранее известны. Эту ситуацию отражает система:

$$y(t, x) = \Theta u(t, x) \quad (4).$$

В системе (4) параметры входа $u(t, x)$ и выхода $y(t, x)$ являются известными величинами, а вот параметры детерминированного оператора Θ остаются неизвестными.

Процесс решения этой модели заключается в создании вспомогательной системы (модели) со входом $u(t, x)$ и выходом $\bar{y}(t, x)$, которую будет описывать оператор $\bar{\Theta}$. При этом исходная модель примет следующий вид:

$$\bar{y}(t, x) = \bar{\Theta} u(t, x) \quad (5).$$

Решения задачи моделирования (4) будет заключаться в определении такого значения оператора $\bar{\Theta}$, при котором выходы системы $y(t, x)$ и модели $\bar{y}(t, x)$ оказались максимально близки друг другу. Разность между значениями $y(t, x)$ и $\bar{y}(t, x)$ характеризуется величиной допустимой ошибки:

$$\varepsilon(t, x) = y(t, x) - \bar{y}(t, x) \quad (6).$$

Эта ошибка представляет собой функцию времени и пространственных координат системы. Она характеризует близость выходов системы и модели в каждый момент времени на интервале T и в каждой точке множества локализации X . При этом в качестве оценки близости используются числовые характеристики этой ошибки, рассчитанные по формулам для определения максимальной величины ошибки, интегральной абсолютной величины ошибки или интегральной квадратичной величины ошибки. Выбрав какую-либо величину ошибки для оценки близости системы и ее модели, мы

получаем количественную характеристику качества модели или, другими словами, количественную меру адекватности оператора модели $\bar{\Theta}$ оператору системы Θ .

Особенностью стохастических систем является возможность с определенной долей вероятности определить ее будущее состояние по ее состоянию в конкретный момент времени. Выход такой системы представляет собой случайный процесс $y_{\omega}(t, x)$ и поэтому взаимосвязь между входом и выходом такой системы описывается при помощи стохастического оператора Θ_{ω} . Эта ситуация отражается системой:

$$y_{\omega}(t, x) = \Theta_{\omega} u(t, x) \quad (7).$$

Если представить стохастический оператор совокупностью детерминированных операторов, каждый из которых реализуется с определенной долей вероятности, то тогда ω - номер детерминированного оператора в их совокупности. При этом необходимо уточнить, что на практике могут иметь место два случая реализации операторов из их совокупности.

В первом случае детерминированные операторы реализуются с вероятностью p и сохраняют свои свойства на всем интервале времени T . Примером такого случая может быть конечный набор пронумерованных детерминированных операторов $\Theta_1, \dots, \Theta_s$, а ω - случайная целочисленная величина, принимающая значения в интервале $[1, \dots, s]$ с определенной функцией распределения вероятности $P(\omega)$.

Во втором случае детерминированные операторы могут реализовываться в произвольный момент времени из интервала T . При этом ω будет уже случайной функцией $\omega(mh)$ со значениями из интервала $[1, \dots, s]$ и функцией распределения вероятности $P(\omega(m_0h), \dots, \omega(m_sh))$.

Дальнейший подход во многом аналогичен решению задачи детерминированного моделирования системы. Для стохастической системы (7) создается вспомогательная модель со стохастическим оператором $\bar{\Theta}_{\omega}$:

$$\bar{y}_{\omega}(t, x) = \bar{\Theta}_{\omega} u(t, x) \quad (8).$$

Теперь ошибка между входами системы и модели представляет собой случайный процесс, а ω будет уже либо случайной величиной, либо случайной функцией:

$$\varepsilon_{\omega}(t, x) = y_{\omega}(t, x) - \bar{y}_{\omega}(t, x) \quad (9).$$

Соответственно и оценки близости выходов системы и модели становятся так же случайными величинами. Поэтому для получения количественных оценок близости выходов системы и модели используются числовые расчетные характеристики соответствующих случайных величин, а именно: средней максимальной ошибки; средней интегральной абсолютной ошибки или средней интегральной квадратичной ошибки. Выбрав какую-либо величину ошибки для оценки близости системы и ее модели, мы получаем количественную характеристику качества модели или, другими словами, количественную меру адекватности оператора модели $\bar{\Theta}_{\omega}$ оператору системы Θ .

Заключение

На основании полученных в ходе проведения исследований результатов можно сформулировать следующие выводы:

1. Исходя из основных положений общей теории систем, сфера жилищно-коммунального хозяйства может быть представлена как стохастическо-детерминированная система.

2. Подобного рода системы обладают определенными особенностями, которые подлежат учету при представлении этой сферы в качестве объекта моделирования. К ним относятся функционально-пространственные факторы взаимодействия ее экономических субъектов, двухуровневая структура взаимодействия экономических субъектов и функциональных подсистем, обоснование выбора подходов к моделированию развития сферы ЖКХ как системы.

3. Представлены подходы к формализованному описанию указанных принципиальных особенностей, пространственной динамики и причинно-следственных связей между всеми участниками процессов взаимодействия в сфере ЖКХ.

4. Раскрыты взаимосвязи входных и выходных процессов и особенности их преобразования при помощи операторов, а также сформулированы задачи детерминированного и стохастического моделирования развития сферы ЖКХ.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект №17-06-00015а «Формирование методологических основ комплексной модернизации и инновационного развития сферы жилищно-коммунального хозяйства: концептуальные обоснования, механизмы, модели, технологии, инструментарий».

Библиографический список

1. Кузьмин Е.А. Неопределенность в экономике: понятия и положения // Вопросы управления, 2012. №2(2). С. 80-92.
2. Ларин С.Н., Герасимова Е.В., Стебеньева Т.В. Принятие решений институциональными агентами сферы жилищно-коммунального хозяйства в условиях вероятностной неопределенности: оценка эффективности и рисков // Международный научно-исследовательский журнал, 2017, Выпуск 01(55), январь. С.33-36.
3. Ларичев О.Н. Теория и методы принятия решений. – М.: Логос, 2002. – 392 с.
4. Орлов А.И. Математика случая: Вероятность и статистика – основные факты. – М.: МЗ-Пресс, 2004. – 110 с.
5. Писарук Н.Н. Исследование операций. – Минск: БГУ, 2013. – 272 с.