

§4 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Мыльников Л.А., Файзрахманов Р.А.

РОЛЬ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ТОВАРНЫХ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Аннотация: Предметом исследования являются процессы поддержки принятия решений в производственно-экономических системах, обусловленные внедрением товарных инновационных проектов, а также экономико-математические модели и методы управления этими процессами. Объектом исследования является производственно-экономическая система промышленного предприятия, ориентированная на внедрение товарных инновационных проектов. Особое внимание уделяется вопросам проектирования и использования информационных систем на основе подходов имитационного моделирования для поддержки принятия решений и исследования товарных инновационных проектов на разных стадиях развития и внедряющих их производственно-экономических систем. Методологическую основу составили теория и методология принятия решений и управления социально-экономическими системами, положения теории менеджмента, общей теории систем, теории управления, системного анализа и исследования операций, методы экономико-математического и имитационного моделирования, статистического анализа, микроэкономического прогнозирования. Особым вкладом является обоснование необходимости для поддержки принятия решений при управлении товарными инновационными проектами в производственно-экономических системах использования методов имитационного моделирования на основе экономико-математических моделей и методов с привлечением информационных систем. Также выработаны требования к структуре информационной системы для решения возникающих управленческих задач.

Ключевые слова: имитационная модель, поддержка принятия решений, алгоритм,

инновационный проект, объемно-календарное планирование, информационная система, производственно-экономическая система, управление, метод, математическая модель

Abstract: *The subject of research is the decision support process in production and economic systems caused by the implementation of trade innovative projects and related economic and mathematical models and management methods. The object of the research is production and economic industrial enterprise system focused on implementation of trade innovative projects. The special attention is paid to the issues of design and usage of information systems based on simulation modeling for decision making support and studies of trade innovative projects at different stages of development. The study is based on theory and methodology of decision-making and management of social and economic systems, the provisions of the management theory, general systems theory, control theory, system analysis and operations research, methods of economic-mathematical modeling and simulation, statistical analysis, micro-economic forecasting. A special contribution of the study is in demonstrating that the decision making support in the management of the trade innovative projects in the industrial and economic systems requires the use of simulation modeling techniques based on econometric models and methods involving information systems. Also the requirements for the information system structure for emerging management challenges are developed.*

Keywords: *management, production system, software, production planning, innovation project, algorithm, decision support, simulation model, method, mathematical model*

Введение

Несмотря на то, что вектор развития экономики ориентирован на развитие промышленности и продуктовые инновационные проекты дают наибольший экономический эффект их успешная реализация не гарантирована.

Особенностью продуктовых инновационных проектов является то, что при внедрении инновационных проектов все или отдельные этапы реализации проекта имеют элементы новизны и неопределенности, которые будут зависеть от конкретного проекта. При этом инновационный проект рассматривается как открытая система, эволюционирующая вместе с внешней средой. Такой проект является целенаправленной системой, входя при этом в несколько целенаправленных систем разного уровня (производственная система, в которой осуществляется реализация проекта, отраслевая система и т.д.), а её части могут иметь собственные цели (люди, реализующие проект; стратегический, производственный, оперативный уровни управления и т.д.).

Основными сопутствующими признаками производственных систем, выпускающих продуктовые инновации, являются: сложности [5], связанные с управлением из-за множества неопределенностей связанных с неповторимостью процесса в связи с наличием научной новизны; увеличением материальной отдачи, проявляющейся в повышенной по сравнению с традиционными продуктами добавочной стоимости; междисциплинарности процесса связанного с разработкой и выпуском инновационной продукции; многофакторность процесса; иерархическая структура факторов и элементов; значительный объем

информации - данных и их связей, что определяет сложность, связанную с обозримостью; существование пространственной и временной взаимосвязи между элементами инновационного проекта; способность системы переключаться на различные типы поведения при изменении внешних условий. При этом, сами товарные инновации, имеют меньший, по сравнению с традиционными продуктами, время жизни товара, повышенное количество модификаций, и составных частей изделий, их выпуск задействует большее количество подсистем производственно-экономической системы задействованных во внедрении продукта.

Кроме этого несмотря на большой объем информации которой обладают производственные системы при внедрении инновационных проектов ощущается её недостаток в связи с недостаточным объемом данных, наличием данными носящими не достоверный или не систематический характер.

Инновационные разработки реализуются в системах, функционирующих в условиях неопределенности, которые проявляется по-разному - при определении целей и подцелей, при появлении случайных факторов, при недостатке ресурсов. Источниками неопределенности в системе являются случайные факторы, которые, к тому же, взаимосвязаны и оказывают косвенное воздействие на все параметры производственно-экономической системы в которой реализуется проект.

Все это вместе взятое накладывает повышенную ответственность на лицо, принимающее решения т.к. риски [1], связанные с реализацией инновационного проекта, существенно возрастают, а значит, возрастает востребованность методов и подходов, позволяющих повысить объективность принятия решений при управлении товарными инновационными проектами.

1. Обзор существующих подходов решения задач управления и поддержки-принятия решений в производственно-экономических системах

Вопросы управления и принятия решений при производстве товаров в производственно-экономических системах впервые были подняты Албертом Калмесом. В 1906 году вышла его книга «фабричное производство» в Сан Галене, в 1909 году в Лейпциге книга «Фабричная бухгалтерия», а в 1911 году в Лейпциге книга, ставшая основой развития данного направления «Статистика в фабричном и товарном производстве».

Работы Ф. Тейлора [8] и Г. Гантта, [13] легли в основу таких научных дисциплин, возникших в середине XX века, как промышленной инженерии, занимающейся управлением и организацией производства, а также, вместе с работами Ж. Фурье, Дж. фон Неймана и Л.В Канторовича, исследование операций.

Многие авторы отмечают особую роль управления и расширения области формализации принципов управления и увеличения «гибкости» в рамках существующих подходов или создания новых более совершенных методов и моделей (в частности В.Н. Архангельский).

Одним из перспективных направлений, является подход, основанный на производ-

ственных функциях. Основное направление исследований в этой области сосредоточено на поддержке принятия управленческих решений в системах с нелинейной стоимостью и системах с комбинаторной структурой. Большинство исследований в этой области посвящено задачам минимизации стоимости или прогнозирования спроса. Важной проблемой при рассмотрении таких задач является совместное рассмотрение задачи ценообразования, объемного планирования производства и управления закупками. Решение такой задачи поднимает проблему выбора рынка и внутренней структурной организации производственно-экономических систем. Рассмотрение задачи в такой взаимосвязи получило название проблемы Вернера-Витина [15].

В 1995 году для описания дублирующих и усовершенствующих инноваций Пепаллом было предложено использовать теорию игр [12] для учета взаимодействия и влияния проектов друг на друга. Такой подход позволил выйти на решение задач управления изменениями. Развитие такого подхода в области управления инновациями в настоящее время связано с агентным моделированием и использованием прогнозов.

Еще одним из подходов является модель управления, основанная на таком явлении как диффузия инноваций. Суть заключается в изучении опыта внедренных сходных продуктов в разных производственных системах для выявления общих черт.

Часто подход к управлению инновациями в производственных системах опирается схему событийного разбиения проектируемого процесса (метод моделирования Йордана, логическое моделирование Гейна).

Моделирование и работа с данными позволяют определять основные тенденции развития системы, проводить анализ чувствительности к изменениям, учитывать риски, отыскивать оптимальное сочетание ожидаемого эффекта и затрачиваемых ресурсов.

Отдельным крупным направлением в управлении социально-экономическими системами и производственными системами является группа методов, основанных на разных типах управления. Например, в литературе широко описываются такие типы управления как управление финансированием, управление организационными проектами, институциональное управление (управления в условиях ограничения), информационное управление. В рамках таких подходов разработано множество моделей, описывающих организацию финансирования, принятия решений определенными субъектами, модели поведения и управления институциями. Нельзя не отметить достижения Дж. Стиглица (модель Шапира-Стиглица), модели активных систем.

В начале 2000-х распространение получили методы объектного моделирования. Такой подход применительно к производственно-экономическим системам известен как мульти-агентные системы [9], которые позволяют учитывать такие факторы как автономность, зависимость от внешних факторов, гибкость, про-активность, социальный фактор, фактор интеллектуального управления в системе [7]. Наибольшей сложностью в рамках такого подхода является координация взаимодействия между частями производственно-экономических систем [10].

Разнообразие подходов связано с тем, что статистика, которую используют для принятия решений часто либо не полна, либо не актуальна, либо не стационарна в статисти-

ческом смысле. Само изучение процесса реализации инновационных проектов связано с изучением, в первую очередь, переходных процессов с этапа на этап реализации инновационного проекта. На проект существенное влияние оказывает человеческий фактор. Сам процесс характеризуется большой размерностью, многокритериальностью. Получается, что создание модели в данном случае для управления инновациями в производственно-экономических системах невозможно в рамках узкого математического аппарата.

2. Особенности решения задач принятия решений по управлению товарными инновационными проектами, реализуемыми в производственно-экономических системах на основе моделей

На данный момент сложилась ситуация, когда разработано множество методов, позволяющих рассматривать задачу управления инновационными проектами в разных аспектах. В рамках таких подходов разработано множество моделей принятия решений определенными субъектами, поведения и управления институциями.

Каждый из разработанных подходов решает специфическую задачу. В связи с чем, имеет свою ограниченную область применимости и использует свой набор данных собираемых из разных источников, характеризующих проект и производственно-экономическую систему, в которой он реализуется. Было бы целесообразно учитывать высокие результаты, которые они позволяют достигать при решении локальных задач.

Процесс моделирования будет сводиться к применению набора типовых или авторских моделей для каждой из составляющих инновационного проекта. При построении имитационных моделей можно совместить несколько подходов, рассматривая проект как объект со сложной структурой, который взаимодействует с другими проектами, и для которого производственная система является внешней средой. В свою очередь, для производственной системы внешней средой будет среда рынка. При этом каждый из объектов состоит из элементов, описывающих подсистемы и ресурсы объекта, а значения основных переменных являются общими и изменяются с учетом взаимовлияния друг друга и дополнительных внешних факторов. Совместное использование множества подходов, при наличии такой возможности, также будет повышать объективность оценок за счет снижения значения энтропии [4].

Первым шагом построения модели будет определение набора методов, моделей, методик, которые будут удовлетворять известной информация о системе и целям реализации проекта:

$$\{I, \Gamma, \varphi\} \rightarrow \{M_i(m_{i,ki})\}$$

где I - информация, которой обладает агент на момент принятия решения; Γ - цели; $\varphi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$ – вектор моделей продуктовых инновационных проектов представленных в виде кортежа:

$$\varphi_i = \{P, T\}$$

где P - множество значений параметров управления; T – множество потребностей

проекта в ресурсах; i – номер проекта; M_i – используемая методика; m_{ik_i} – параметр используемой методики.

Взаимосвязь между методами может быть представлена в следующем виде:

$$[\Psi_j] = \left([A][K]^T \begin{bmatrix} M_1(m_{1k_1}) \\ \dots \\ M_l(m_{lk_1}) \end{bmatrix} \right),$$

где $[A]$ – матрица инцидентности, $[\Psi]$ – вектор оценок используемых методик; $[K]$ – диагональная матрица корректирующих коэффициентов; $[M_i]$ – оценка используемой методики; l – количество используемых составляющих методик.

Если удастся установить взаимосвязь между методами, то это позволяет перейти к аппарату производственных функций и сформулировать задачу управления как оптимизационную задачу ($J\{m_{ik}\} \rightarrow opt$) или построить имитационную модель, элементы которой будут соответствовать выбранным методам (применяя к ним принцип «черного ящика»).

В обоих случаях стоит вопрос о выборе точек принятия решений. Принятие решений — это процесс, зависящий от множества показателей, связанный с этапами реализации проекта, внутренними производственными циклами. Количество оцениваемых параметров и особенности внутренней организации непосредственно влияют на количество точек принятия решения и размерность решаемой задачи (см. рис. 1).



Рис. 1. Этапы развития параметров инновационного проекта и точки принятия решений потребительских инновационных проектов, реализуемых в производственно-экономических системах.

Формализация задач в виде оптимизационных задач может столкнуться с проблемой NP – полноты. Так например задача совместного рассмотрения выбора рынка и объемного планирования производства относиться к этому классу задач и её решение возможно только при фиксировании отдельных факторов [14] или методами численного моделирования.

Следует учитывать, что инновационные проекты реализуются не в замкнутой среде. Это означает, что на параметры задачи будут оказывать влияние внешние факторы. В задачах планирования эти факторы могут быть получены на основании экспертных оценок и прогнозов, что не исключает ошибок. Поэтому важной составляющей исследования

является чувствительность принимаемых решений к отклонению параметров внешней среды (параметров, характеризующих рынок и производственно-экономическую систему) которые могут обладать Марковским свойством (Марковский процесс) и которые могут быть промоделированы методом Монте-Карло.

В условиях, когда решение принимается на перспективу и статистических данных недостаточно, многие параметры определяются на основании прогнозов [6] (в том числе и параметры оптимизационных задач).

Тогда общая схема построения и работы с моделью в точках принятия решений будет отличаться от классической схемы построения имитационной модели [11] за счет её заикливания и будет выглядеть как показано на рис. 2.

Рассмотрение задач управления инновационными проектами в микроэкономических системах можно разбить на два этапа на которых рассматриваются специфические задачи управления: этап подготовки или выбора проектов, этап реализации проекта в производственно-экономической системе.

На этапе подготовки и выбора проектов рассматриваются задачи формирования портфеля проектов, подготовки и подбора проекта под заданные требования, принятия решения о начале и продолжения проекта в сложившейся конъюнктуре, задача выбора рынков.

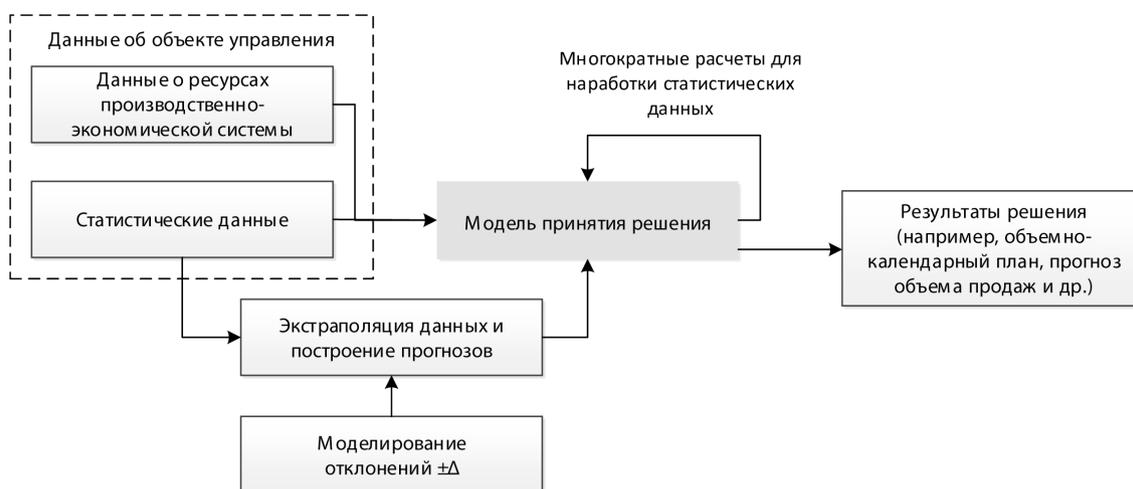


Рис. 2. Общая схема работы с моделью при принятии управленческих решений о реализации инновационных проектов.

На этапе реализации проекта: задача объемно-календарного планирования с учетом влияния среды, в которой он реализуется, подбора персонала под реализацию проекта, определения целевых значений показателей для проекта.

Формирование конкретной решаемой задачи осуществляется лицом, принимающим решение исходя из потребностей и особенностей рассматриваемой системы. Формализация задачи может осуществляться в рамках концепции производственной функции.

Учет влияния среды может учитываться через параметры, которые присутствуют в расчетах. Такой учет в задачах принятия решений и планирования может осуществляться только на основе данных прогнозов с учетом их достоверности через переход в нечёткое представление получаемых величин и моделирование возможных отклонений.

Наименьшая точность прогнозов при этом будет на наиболее удалённых во времени интервалах, а именно взгляд в удаленное будущее оказывает наибольшее влияние на принятие решения о начале реализации проектов и стратегическое планирование для их реализации.

При использовании элементов имитационного моделирования появляется возможность проведения исследований на устойчивость получаемых решений, чувствительность к исходным данным, а также возможность перейти к решению обратной задачи - определению условий при которых могут быть выполнены целевые значения для производственно-экономической системы.

Построение и исследование имитационных моделей для обозначенных задач возможно только с применением вычислительной техники.

3. Пример задачи принятия решений по управлению товарными инновационными проектами, реализуемыми в производственно-экономических системах на основе моделей

Рассмотрим подход к решению задач управления реализацией инновационных проектов в производственно-экономических системах на примере задачи объемного планирования производства.

В классической постановке задача объемного планирования выглядит следующим образом - пусть $x_i, i = \overline{1, N}$ - вектор неизвестных, каждая компонента которого определяет количество выпускаемой продукции типа i . Тогда критерий оптимальности данной задачи, определяющий максимум прибыли предприятия, запишется в следующем виде:

$$\sum_i C_i x_i \rightarrow \max$$

где $C_i, i = \overline{1, N}$ - чистая прибыль от производства i -ого товара

Ограничения на производственные мощности можно представить в следующем виде:

$$\sum_i R_{ij} x_i \leq P_j, j = \overline{1, M}$$

где $R_{ij}, j = \overline{1, M}, i = \overline{1, N}$ - потребность в мощностях каждого типа оборудования на единицу готового изделия задаваемая на основе технологических маршрутов производства; $P_j, j = \overline{1, M}$ - общий ресурс в мощностях для каждого типа оборудования найденный из расчета средней производительности по всему оборудованию данного типа.

Аналогичным образом представляется ограничение на ключевые материалы:

$$\sum_i S_{ki} x_i \leq T_k, k = \overline{1, K}$$

где $S_{ki}, k = \overline{1, K}, i = \overline{1, N}$ - потребность в ключевых материалах на единицу готового изделия задаваемая на основе спецификации изделий; $T_k, k = \overline{1, K}$ - объем доступных ключевых материалов, определенный на основе данных о состоянии склада и плана закупок.

Ограничения по рынку продаж, как по отдельным товарам, так и по их совокупности, можно представить в следующем виде:

$$\sum_i \alpha_i^q x_i \leq G^q, q = \overline{1, Q}$$

где $\alpha_i^q \in [0, 1], 1$ - если i -ый товар принадлежит совокупности $q, 0$ - если i -ый товар не принадлежит совокупности $q; G^q, q = \overline{1, Q}$ - ограничение, по рынку сбыта определяемое на основании прогноза.

При рассмотрении задачи объемно-календарного планирования C_i и G^q становятся зависимыми от времени и определяются на основании данных прогнозов. В этом случае возникает задача, упоминаемая выше – задача определения чувствительности получаемых результатов к колебаниям данных получаемых в результате прогнозирования.

Рассмотрим задачу на примере двух товаров. Пусть ожидаемая прибыль от товаров и ограничения рынка получены в результате прогнозирования и заданы в табличном виде (см. табл. 1)

Таблица 1

Ретроспективные данные прибыли и объема рынка легковых автомобилей (товар 1) и пикапов (товар 2) в США на основе данных государственной статистики и сайта <http://www.statista.com>.

	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Прибыль от выпуска товара 1 (C_1) долл. США	200	230	260	275	295	320	370	390	515	530
Прибыль от выпуска товара 2 (C_2) долл. США	125	155	185	200	225	235	290	305	440	455
Объем продаж для товара 1 (G^1) в тыс. шт.	10110	11183	11314	10673	8949,2	8489,2	7956,5	9148	10323,7	10979,2
Объем продаж для товара 2 (G^2) в тыс. шт.	2975,8	3435,9	3817	3199,6	2215,7	2029,3	2377,9	2928,5	3814,9	4446,7

Экспертным методом были оценены мощности производственно-экономической системы в 3000 единиц и потребности в мощностях на каждый вид продукции в 30 и 18

единиц. Аналогично по потребности в материалах. На период одного полного производственного цикла производственно-экономическая система может обеспечить 1000 единиц материалов при потребности на производство соответственно 5 и 8 единиц.

Тогда задача примет следующий вид:

$$\begin{aligned} C_1x_1 + C_2x_2 &\rightarrow \max, \\ 30x_1 + 18x_2 &\leq 3000, \\ 5x_1 + 8x_2 &\leq 1000, \\ x_1 &\leq G^1, \\ x_2 &\leq G^2, \\ x_1 &\geq 0, \\ x_2 &\geq 0. \end{aligned}$$

где C_1, C_2, G^1, G^2 – данные из табл. 1

После расчетов получаем план выпуска. При объемах выпуска, который может осуществлять рассматриваемая производственно-экономическая система объем рынка можно рассматривать как бесконечную величину. Поэтому изменения будем рассматривать только в части изменения прибыли получаемой от производства. При этом в силу большой трудоемкости расчетов рассмотрим только некоторые случаи (см. табл. 2).

Таблица 2.

Объемно-календарный план производства.

	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
x_1	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
x_2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
$x_1(C_1+100, C_2+100)$	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
$x_2(C_1+100, C_2+100)$	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
$x_1(C_1-100, C_2-100)$	100	100	100	100	40	40	40	40	40	40
$x_2(C_1-100, C_2-100)$	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100
$x_1(C_1+100, C_2-100)$	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
$x_2(C_1+100, C_2-100)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$x_1(C_1-100, C_2+100)$	0	0	0	0	0	40	40	40	40	40
$x_2(C_1-100, C_2+100)$	125	125	125	125	125	100	100	100	100	100

4. Информационная поддержка решения задач анализа данных и имитационного моделирования при управлении инновационными проектами

Из приведенных выше рассуждений видно, что решение задачи управления инновационными проектами затрагивает множество специальных разделов науки (систем-

ного анализа и исследования операций, математической статистики, математического и имитационного моделирования, менеджмента и др.). Такие задачи могут решаться с использованием различных программных решений:

- языки программирования (*C / C++ / C#, Java, Python, R, Modelica, AMPL*);
- программы для моделирования (*ANSYS, SciLab, MathLab, VisSim, AnyLogic*), пакеты, основанные на *Modelica (Dymola), LMS Imagine.Lab Amesim, Simul8*);
- программные пакеты для работы со статистическими данными (*SPSS, Alpine, Alteryx, Angoss, IBM SPSS Statistics, IBM SPSS Modeler, InfoCentricity Xeno, JMP, KNIME, Lavastorm, Mathworks' MATLAB, Megaputer's PolyAnalyst, Minitab, NCSS, RapidMiner, SAS, SAS Enterprise Miner, Salford Predictive Modeler (SPM), SAP'S KXEN, Stata, Statistica, Systat, Pentaho, EViews*, надстройки над языком *R (RapidMiner, R Commander, RKWard, RStudio, WEKA, Rapid Miner, KNIME, JGR, RKWard, SciViews-R, Statistical Lab, R Commander, Rattle, RStudio)*);
- программные пакеты для решения оптимизационных задач (*General Algebraic Modeling System, Lingo, Kimeme, LIONSolver, MIDACO, ModelCenter, optiSLang, OptiY, XTREME*, решатели (*BARON, DICOPT*), решатели на базе *AMPL (APOPT, Bonmin, BPMPD, CBC, CLP, CONOPT, Couenne, CPLEX, CPLEX CP Optimizer, FILTER, FortMP, Gecode, Gurobi, IPOPT, JaCoP, KNITRO, LGO, LocalSolver, lp_solve, MINOS, MINTO, MOSEK, SCIP, SNOPT, Sulum, WORHP, XA, Xpress)*); универсальные математические пакеты (*MathCad, Maple, Mathematica*);
- программные пакеты, решающие специализированные задачи в области принятия бизнес-решений (*RDE (prudsys), AIMMS*).

Проанализируем получившие наибольшее распространение решения с точки зрения их востребованности табл. 3.

Из сопоставительного анализа видно, что спрос на программное обеспечение присутствует как со стороны исполнителей работ, так и работодателей. При этом за исключение нескольких универсальных решений (*Mathematica, MatLab, Simul8*) и языков программирования поставленные задачи не могут быть комплексно решены. Универсальные пакеты имеют цену от нескольких тыс. долларов США, а языки программирования требуют навыков программирования и также цена некоторых из них составляет тыс. долларов США.

Кроме этого использование специализированных систем для анализа инновационных проектов является часто затруднительным в связи со специализацией имеющихся программных комплексов. Например, система *MatLab* имеет неприемлемо низкую скорость работы даже с небольшими объемами данных (в несколько тысяч записей), система *RapidMiner* не имеет возможности организации циклических расчетов, все системы не имеют возможностей для генерирования новых данных на основе результатов прогнозирования после исчерпания исходных статистических данных и т.д.

При большом количестве разработанного ПО, его разработчиками и потребителями являются в большинстве компании в США, Германии и другие странах с высокоэффективными производствами и развитыми рынками.

Высокая цена и большое количество предложений вместе с отсутствующим, на дан-

ный момент, решением учитывающем специфику инновационных проектов говорит о не занятом рынке и подтверждает востребованность специализированных вычислительных комплексов, позволяющих анализировать статистические данные и производить концептуальное бизнес-моделирование.

Устранение выявленных проблем существующих программных решений может быть устранено путем создания специализированного вычислительного комплекса с открытой архитектурой на базе языков, ставших де-факто стандартами в данной области (R и Modelica).

Целесообразно вести речь о расширяемой системе, позволяющей решать задачи управления инновационными проектами на базе, расширяемой архитектуры которая может быть коммерциализирована как программное решение, так и инструмент для оказания консалтинговых услуг. С учетом рассматриваемых при управлении инновационными проектами в производственно-экономических системах задач, такая система может иметь структуру, представленную на рис. 3.

Работа с моделями в такой системе состоит из нескольких шагов.

Во первых необходимо чтение данных и их подготовка (блоки 1 и 2 на рис. 3) для формирования потока синхронизированных данных. Например, в случае если разные переменные имеют статистический набор значений с разными интервалами, то необходимо или прореживать один набор данных или дополнять другой. При наличии пробелов данных или продолжении расчетов на интервалы, для которых нет статистики следует их дополнять данными полученными в результате экстраполяции или данными получаемыми в результате прогнозов.

Таблица 3.

Сравнение распространённости программного обеспечения пригодного для анализа процессов внедрения инновационных проектов.

	Страна разработчик	Лицензия	Известность (количество статей в WoS / SCOPUS)	Востребованность (количество предложений работы по данным www.monster.de)	Тип программного обеспечения
Stata (StataCorp - http://www.stata.com/)	США	Коммерческое ПО	5 881 / 3 878	5	
SAS (SAS Institute Inc. - http://www.sas.com/)	США	Коммерческое ПО	105 115 / 121 240	153	
SPSS Statistics и Modeler (IBM Inc. - www.ibm.com/software/analytics/spss/)	США - Германия	Коммерческое ПО	51 257 / 30 380	82	Независимое ПО с поддержкой R
RapidMiner (RapidMiner GmbH - http://rapidminer.org/)	Германия	Open Source GNU	52 / 95	6	На базе R
SciLab (SciLab Enterprises S.A.S. - http://www.scilab.org/)	Франция	Open Source GNU	265 / 403	5	
MatLab (The MathWorks Inc. - http://www.mathworks.com/)	США	Коммерческое ПО	48 146 / 82 230	482	
Statistica (DELL Inc. - http://www.statsoft.com/)	США	Коммерческое ПО	1 838 / 2 483	1	Независимое ПО с поддержкой R
WEKA (The University Waikato - http://www.cs.waikato.ac.nz/~ml/weka/)	Новая Зеландия	Open Source GNU	700 / 1 161	4	На базе R
Pentaho Business Analytics (Pentaho Corporation (Hitachi Group Company) - http://www.pentaho.com/)	США	Shareware	15 / 22	21	
R (The R Foundation - http://www.r-project.org/)	Сообщество разработчиков	Open Source GNU	35 972 / 55 122	200 (оценочно)	
NCSS (NCSS Statistical Software - http://www.ncss.com/)	США	Коммерческое ПО	1 196 / 1 701	-	
MiniTab (Minitab Inc. -)	США	Коммерческое ПО	707 / 1 039	3	
EViews (IHS Global Inc. - http://www.eviews.com/)	США	Коммерческое ПО	154 / 210	-	
KNIME (KNIME.com AG - https://www.knime.org/)	Швейцария	Open Source GNU	72 / 93	2	Интеграция с Python, R, SQL, Java, JSON, XML
VisSim (Altair Engineering - http://www.vissim.com/)	США	Коммерческое ПО	670 / 1 140	-	
Maple (Waterloo Maple Inc. - http://www.maplesoft.com/)	Канада	Коммерческое ПО	9 447 / 11 447	-	
Mathematica (Wolfram Research - http://www.wolfram.com/mathematica/)	США	Коммерческое ПО	129 / 175	4	
Lingo (LINDO SYSTEMS - http://www.lindo.com/)	США	Shareware	846 / 1 290	-	
AnyLogic (AnyLogic Company - http://www.anylogic.com/)	Россия	Коммерческое ПО	113 / 196	-	
Modelica (Modelica Association - https://www.modelica.org/)	Сообщество разработчиков	-	561 / 1 042	5	
AMPL (AMPL Optimization Inc. - http://ampl.com/)	США	Коммерческое ПО	188 / 312	2	
Simul8 (SIMUL8 Corporation - http://www.simul8.com/)	США	Коммерческое ПО	43 / 62	-	

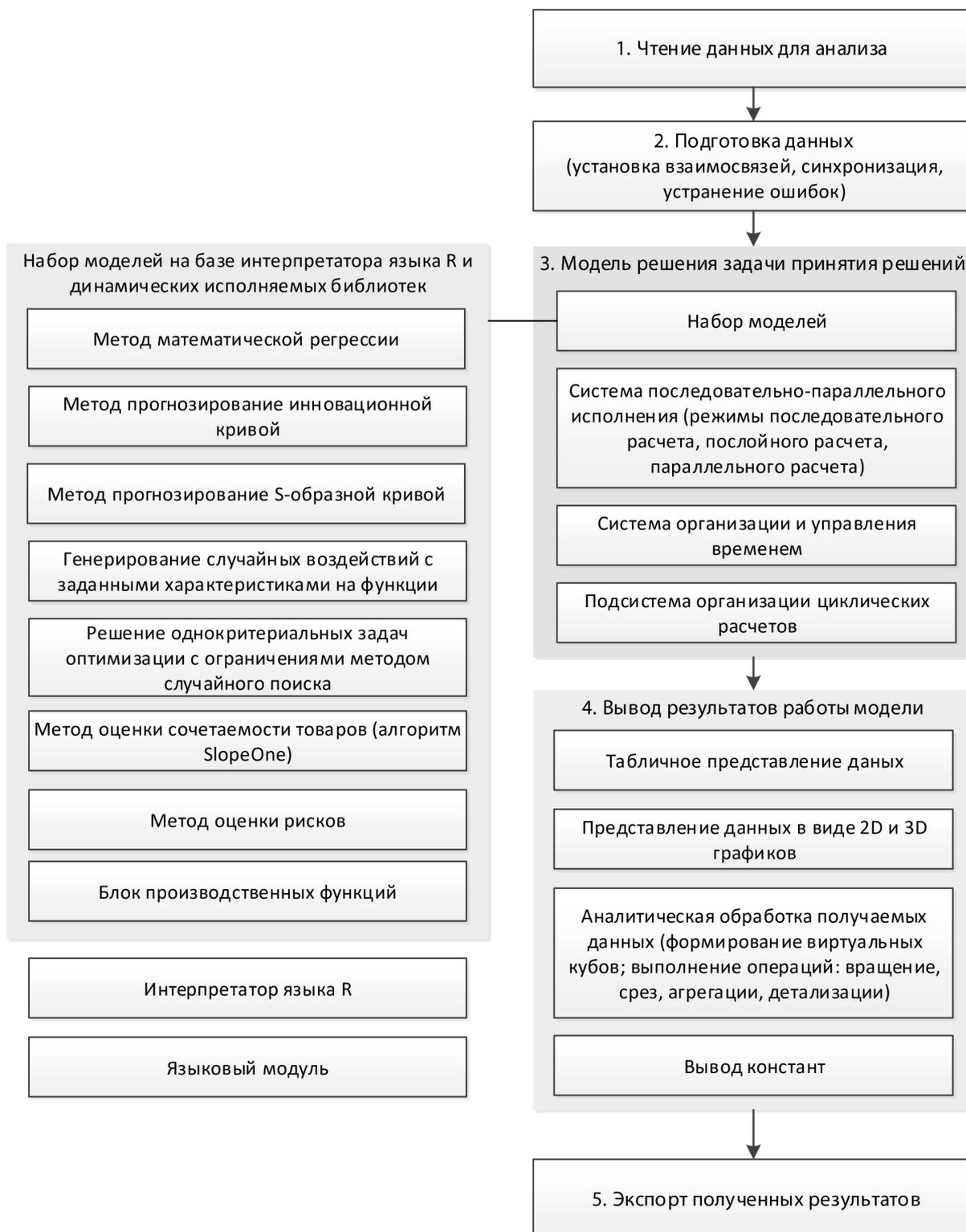


Рис. 3. Структура информационной системы для поддержки принятия управленческих решений при анализе инновационных проектов, реализуемых в производственно-экономических системах.

Основным этапом реализации системы является этап работы с моделью (блок 3 на рис. 3). Этот блок получает поток данных, производит его обработку и выдает некоторые результаты, с которыми будет работать эксперт. Для этого необходимо использовать набор методов для оценки различных характеристик изучаемой производственно-экономической системы и подход, позволяющий их объединить в общую модель.

Отдельные методы уже известны и могут быть использованы при реализации системы. В частности известным является метод математической регрессии и ряд других методов экстраполяции функций, существует несколько подходов для формализации инновационных кривых [6] и S-образных кривых [2], метод Монте-Карло для моделирования случайных воздействий, методы решения оптимизационных задач, алгоритмы семейства SlopeOne, способы оценки рисков [1], подходы на основе производственных функций [3].

Использование различных методов и подходов в рамках единой модели может осуществляться несколькими способами: последовательным вычислением, послойным вычислением, параллельным расчетом.

При использовании последовательного вычисления каждая модель получает номер в соответствии с порядком расчета и используя текущие значения входных данных в соответствии с заложенным в нее алгоритмом получает выходные значения и т.д. пока не будут произведены расчеты со всеми элементами модели.

Следующим способом вычисления модели является послойное вычисление, которое наиболее часто используется при работе с нейронными сетями. Это возможно если элементы модели можно разбить на «слои» - блоки работа которых не зависит от данных получаемых в блоках, находящихся на в том же слое. Таким образом расчет осуществляется последовательно группами блоков, что позволяет на вычислительных комплексах с несколькими ядрами увеличить производительность вычислений.

Использование параллельных расчетов возможно в случае если допустимо использование текущих входных данных для получения результатов на каждом блоке. На практике это приводит к тому, что распространение данных и получение достоверных результатов от входа к выходу происходит с запаздыванием, зависящим от количества последовательно-включенных блоков модели от её входа до выхода. Однако такой подход без ограничений позволяет распараллелить вычислительный процесс и поднять скорость вычислений. Осуществление параллельного расчета в отличие от предыдущих требует использование математического аппарата на базе теории матриц:

$$[\varphi] = -([A][M][A]^T)^{-1}[A][M][E],$$

где $[\varphi]$ – матрица значений величин на выходе блоков модели, $[A]$ – матрица инцидентности показывающая взаимосвязи между элементами модели, $[M]$ – матрица значений показывающих во сколько раз будет скорректирована величина входных значений элемента модели, $[E]$ – матрица дополнительных воздействий и отклонений (моделирующих случайные влияния внешней среды).

Важной особенностью имитационного моделирования при наличии случайных или псевдослучайных воздействий на систему является возможность многократного расчета

и получение таким образом статистической информации о возможных диапазонах отклонения получаемых решений и вероятностных оценок тех или иных исходов. При этом при планировании расчетов на отдаленную перспективу зная в какие моменты времени какая статистическая информация получалась можно получать решения с привязкой ко времени в будущем и оценивать возможность получения этих результатов точно в срок, с опережением или запозданием.

Блоки 4 и 5 на рис. 3 служат для накопления, отображения и сохранения накапливаемых данных получаемых в результате проводимых расчетов.

Заключение

В результате рассмотрения возникающих задач и рассмотрения существующих решений на рынке информационных систем можно сделать вывод о потребности в существовании специализированного решения, позволяющего проводить анализ принимаемых управленческих решений для повышения их объективности. Структурно такая система может быть реализована так как приведено в статье. Возникает отдельная задача определения минимального набора функциональных элементов, которые позволят решать обозначенные задачи и вопросы, связанные с работой с данными большой размерности для повышения точности получаемых оценок.

Статья подготовлена в рамках реализации проекта «Разработка программного обеспечения и экономико-математических моделей для поддержки процессов управления инновационными проектами в производственных системах» реализуемого согласно постановлению правительства Пермского края №166-п от 06.04.2011.

Библиография :

1. Абдуллаев А.Р., Мыльников Л.А., Васильева Е.Е. О рисках в инновационных проектах: причины появления, интегральные риски, экспертиза проектов с учетом рисков // Экономический анализ: теория и практик. 2012. № 40 (295). С. 41–49.
2. Алкдируоу Р.Х., Мыльников Л.А. Прогнозирование перспектив развития параметров инновационных проектов, описываемых S-образной кривой // VII Всероссийская школа-семинар молодых ученых «Управление большими системами»: Сборник трудов. 2010. (1). С. 118–123.
3. Батищева С.Э., Каданэр Э.Д., Симонов П.М. Математические модели микроэкономики / С.Э. Батищева, Э.Д. Каданэр, П.М. Симонов, Пермь: Перм. гос. ун-т., 2006. 314 с.
4. Гуревич И.М. Законы информатики-основа строения и познания сложных систем / И.М. Гуревич, М.: ТОРУС ПРЕСС, 2007. 400 с.
5. Мыльников Л.А. Микроэкономические проблемы управления инновационными проектами // Проблемы управления. 2011. № 3. С. 2–11.

6. Мыльников Л.А., Алкдиру Р.Х. Подход к прогнозированию развития и управления жизненным циклом инвестиционных проектов // Управление большими системами. 2009. № 27. С. 293–307.
7. Dignum V. An Overview of Agents in Knowledge Management под ред. M. Umeda [и др.], Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006. 175–189 с.
8. Gantt H.L., Forrer D. Organizing for work/ by Henry Laurence Gantt; edited and introduction by Donald A. Forrer. / H.L. Gantt, D. Forrer, Florida: Dr, Donald A. Forrer, 2006.
9. Jennings N.R. On agent-based software engineering // Artificial Intelligence. 2000. № 2 (117). С. 277–296.
10. Kaihara T., Fujii S. Game theoretic enterprise management in industrial collaborative networks with multi-agent systems // International Journal of Production Research. 2008. № 5 (46). С. 1297–1313.
11. Mylnikov L.A., Trusov A.V. On an approach to the design of a logical model of innovation project data // Scientific and Technical Information Processing. 2011. № 3 (38). С. 201–206.
12. Pepall L. Imitative Competition and Product Innovation in a Duopoly Model // Economica. 1995. № 64. С. 265–269.
13. Taylor F.W. The principles of scientific management / F.W. Taylor, New York, NY: Norton, 1967. 144 с.
14. Van den Heuvel W. [и др.]. Integrated market selection and production planning: complexity and solution approaches // Mathematical Programming. 2012. № 2 (134). С. 395–424.
15. Wagner H.M., Whitin T.M. Dynamic version of the economic lot size model // Management Science. 1958. № 5. С. 89–96.
16. Кульба В.В., Шульц В.Л., Шелков А.Б., Чернов И.В. Методы управления эффективностью реализации социально-экономических целевых программ // Тренды и управление. - 2013. - 4. - С. 4 - 28. DOI: 10.7256/2307-9118.2013.4.9603.

References:

1. Abdullaev A.R., Myl'nikov L.A., Vasil'eva E.E. O riskakh v innovatsionnykh proektakh: prichiny poyavleniya, integral'nye riski, ekspertiza proektov s uchetom riskov // Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktik. 2012. № 40 (295). С. 41–49.
2. Alkdiro R.Kh., Myl'nikov L.A. Prognozirovaniye perspektiv razvitiya parametrov innovatsionnykh proektov, opisyvaemykh S-obraznoi krivoi // VII Vserossiiskaya shkola-seminar molodykh uchenykh «Upravlenie bol'shimi sistemami»: Sbornik trudov. 2010. (1). С. 118–123.
3. Batishcheva S.E., Kadaner E.D., Simonov P.M. Matematicheskie modeli mikroekonomiki / S.E. Batishcheva, E.D. Kadaner, P.M. Simonov, Perm': Perm. gos. un-t., 2006. 314 с.
4. Gurevich I.M. Zakony informatiki-osnova stroeniya i poznaniya slozhnykh sistem / I.M. Gurevich, M.: TORUS PRESS, 2007. 400 с.
5. Myl'nikov L.A. Mikroekonomicheskie problemy upravleniya innovatsionnymi proektami // Problemy upravleniya. 2011. № 3. С. 2–11.
6. Myl'nikov L.A., Alkdiro R.Kh. Podkhod k prognozirovaniyu razvitiya i upravleniya zhiznennym tsiklom investitsionnykh proektov // Upravlenie bol'shimi sistemami. 2009. № 27. С. 293–307.
7. Dignum V. An Overview of Agents in Knowledge Management под ред. M. Umeda [и др.], Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006. 175–189 с.

8. Gantt H.L., Forrer D. Organizing for work/ by Henry Laurence Gantt; edited and introduction by Donald A. Forrer. / H.L. Gantt, D. Forrer, Florida: Dr, Donald A. Forrer, 2006.
9. Jennings N.R. On agent-based software engineering // Artificial Intelligence. 2000. № 2 (117). С. 277–296.
10. Kaihara T., Fujii S. Game theoretic enterprise management in industrial collaborative networks with multi-agent systems // International Journal of Production Research. 2008. № 5 (46). С. 1297–1313.
11. Mylnikov L.A., Trusov A.V. On an approach to the design of a logical model of innovation project data // Scientific and Technical Information Processing. 2011. № 3 (38). С. 201–206.
12. Pepall L. Imitative Competition and Product Innovation in a Duopoly Model // Economica. 1995. № 64. С. 265–269.
13. Taylor F.W. The principles of scientific management / F.W. Taylor, New York, NY: Norton, 1967. 144 с.
14. Van den Heuvel W. [i dr.]. Integrated market selection and production planning: complexity and solution approaches // Mathematical Programming. 2012. № 2 (134). С. 395–424.
15. Wagner H.M., Whitin T.M. Dynamic version of the economic lot size model // Management Science. 1958. № 5. С. 89–96.
16. Kul'ba V.V., Shul'ts V.L., Shelkov A.B., Chernov I.V. Metody upravleniya effektivnost'yu realizatsii sotsial'no-ekonomicheskikh tselevykh programm // Trendy i upravlenie. - 2013. - 4. - С. 4 - 28. DOI: 10.7256/2307-9118.2013.4.9603.