



УДК 004

Г.Ж. Абдыкерова, А.С. Чабиев  
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

#### ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

*Информационная система (ИС)* собирает, обрабатывает, хранит, анализирует и распространяет информацию для специфических целей. Как и любая система, ИС включает входную информацию (данные, инструкции) и выходную информацию (отчеты, расчеты). Она обрабатывает входную информацию и производит выходную информацию, которая посылается пользователю или другой системе. Она может также включать механизм обратной связи, который контролирует операции. Как и любая другая система, ИС действует в окружающей среде.

Для обеспечения основных бизнес-процессов оценки инновационных проектов выделим функциональные подсистемы, то есть произведем декомпозицию. Управление процессом оценки состоит из следующих процессов: получить проект; зарегистрировать проект, оценить по критериям; оценить по экономическим показателям; комплексность экспертов; график, отчеты; результат (рис. 1).



Рисунок 1 – Контекстная диаграмма функциональной модели ИС оценки инновационных проектов

Каждый процесс функциональной модели представляет собой самостоятельную подсистему, которая имеет свои процессы, направленные на достижение общей цели функционирования. Рассмотрим принцип функционирования модели. Главная задача экспертизы инновационного проекта – предоставление сведений о перспективности новых технологических и организационных решений, оформленных в виде проекта, экономической целесообразности и рискованности инвестиций на основе интегральной оценки самого

инновационного решения и внешних условий, в которых оно будет осуществлено. Проведение экспертизы представляет собой исключительно трудную задачу, и ее качество во многом определяется квалификацией экспертов и размерами средств, выделяемых на ее проведение. Оценка проекта на первом этапе регулируется согласно критериям конкурентоспособности и инновационности, которые определяют основные возможности будущего проекта.

Входной информацией является: заявка проекта, анкета заявителя, паспорт проекта, бизнес-план проекта. Критерии отбора есть признаки, по которым определяют приоритетность проекта. Взаимодействие данных интерфейсов в подсистеме «Метод Мак-Кинси оценки проекта» преобразует в выходную информацию – показатели критерий – которая является входной информацией для других подсистем системы. Названные интерфейсы в подсистеме «Экономические показатели» формируют данные экономических показателей, которые являются входной информацией для подсистемы «Выводы, принятия решений». Выходная информация данного блока представляет собой результат оценки инновационного проекта, которая служит для принятия решений по проекту. Вся выходная информация подсистем аккумулируется за счет внутреннего взаимодействия подсистем, и формируется единая выходная информация. Пользователями системы являются эксперты и руководители (разработчики) проекта, которые осуществляют ввод данных в систему; операции обработки, передачи, хранения информации возложены на программные средства проектируемой системы.

В информационной модели оценки инновационных проектов можно выделить несколько информационных процессов, связанных:

- с формированием параметров информационного проекта;
- со сбором, накоплением и хранением статических данных и называемых информационными процессами сбора данных;
- с решением различных расчетных операций, называемых расчетными информационными процессами.

Информационная модель позволяет также сформировать требования к техническим решениям, лежащие в основе алгоритмического комплекса средств автоматизации. Именно такая структура описания информационной модели лежит в основе возможности отделения данных от прикладных программных средств, использующих эти данные.

Представленная на рис. 2 информационная модель дает общее описание оценки инновационных проектов, не раскрывая сущности каждого информационного процесса.

Целью инфологического моделирования является обеспечение наиболее естественных для человека способов сбора и представления той информации, которую предполагается хранить в создаваемой базе данных. Поэтому инфологическую модель данных пытаются строить по аналогии с естественным языком (последний не может быть использован в чистом виде из-за сложности компьютерной обработки текстов и неоднозначности любого естественного языка).

Инфологическая модель соответствует диаграмме «сущность-связь». Основными конструктивными элементами инфологических моделей являются сущности, связи между ними и их свойства (атрибуты).

Основу ИС составляет реляционная база данных, программные средства, обеспечивающие логику обработки данных, интерфейс пользователя.

Разработка информационного обеспечения включает подготовку документов, содер-

жащих информацию, необходимую для решения задачи, и анализ этой информации. Такой анализ позволит произвести формализацию данных, которая имеет целью их однозначное определение для хранения, поиска и обработки информации.

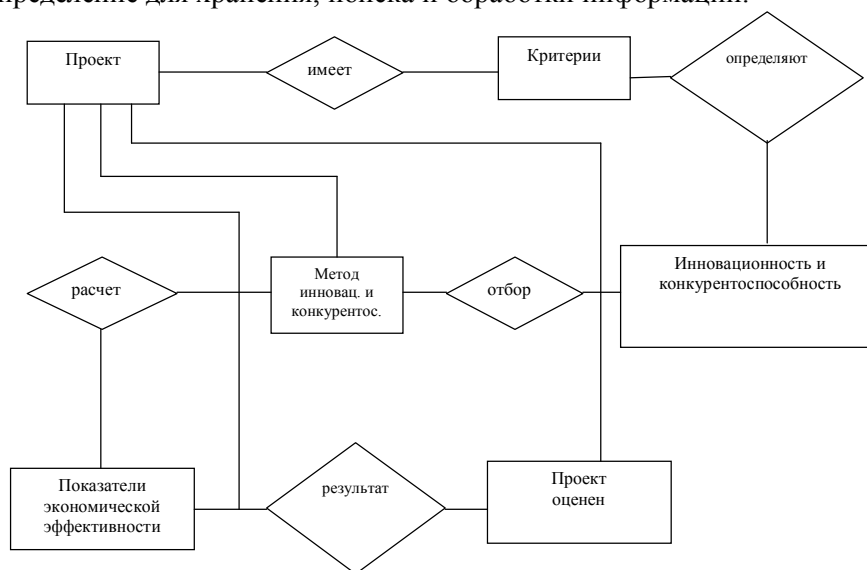


Рисунок 2 – Информационная модель оценки инновационных проектов

Проанализировав исходную информацию предметной области с целью определения состава и структуры информации для последующей формализации и построения информационно-логической модели данных, был определен реквизитный состав входной и результирующей информации. Выделим следующую инфологическую модель (рис. 3).

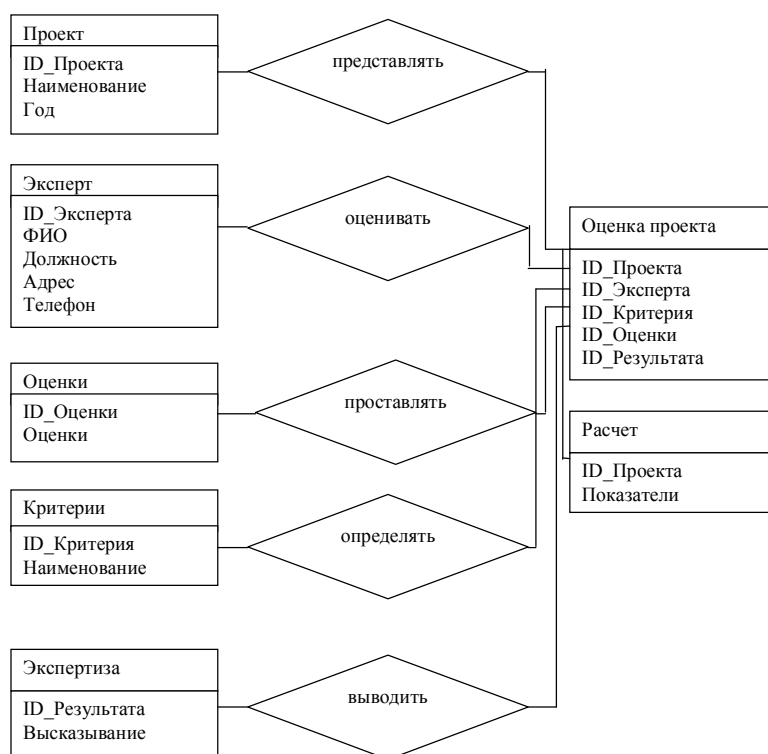


Рисунок 3 – Инфологическая модель ИС

Для пользователя подсистемы оценки эффективности инновационных проектов в любой момент времени должны быть доступны все данные о проектах, экспертах, оценках, сведениях из справочников критериев для их использования в последующих расчетах.

Пользователь (эксперт) должен иметь возможность выполнять следующие операции:

- зарегистрировать в журнале поступившую заявку на проведение оценки проекта;
- оценить проект путем проставления баллов по критериям инновационности и конкурентоспособности проекта;
- оценить экономическую эффективность проекта;
- выполнить комплексную оценку проекта;
- редактировать данные;
- выдать результат (рекомендацию).

Фрагмент физической модели базы данных предоставлен на рис. 4.

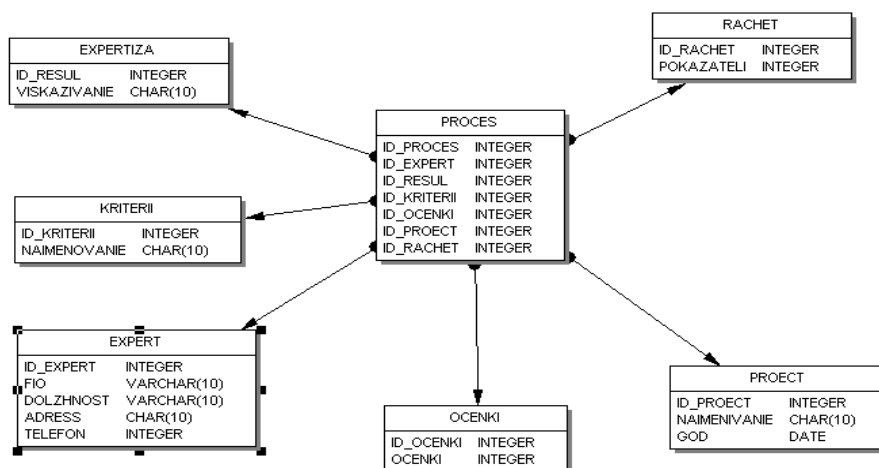


Рисунок 4 – Фрагмент физической модели базы данных

Технологический аспект описывает конкретные технологии, отобранные для внедрения системы. Выбор технологий и интерфейсов, реализующих узлы системы, является важным шагом при достижении масштабируемости, информационной безопасности, высокой производительности и функциональности системы. Также основательный подход к вопросу выбора технологии позволяет получить максимальную выгоду от аппаратной и программной части компьютерной системы.

В Delphi основой работы с базами данных являлся Borland Database Engine (BDE) – процессор баз данных фирмы Borland. BDE служит посредником между приложением и базами данных. Он предоставляет пользователю единый интерфейс для работы, развязывающий пользователя от конкретной реализации базы данных. Благодаря этому не надо менять приложение при смене реализации базы данных. Приложение Delphi обращается к базе данных через BDE. BDE поддерживает естественный доступ к таким базам данных, как Microsoft Access, FoxPro, Paradox, dBase и ряд других. Если собственного драйвера нужной СУБД в BDE нет, то используется драйвер ODBC. ODBC (Open Database Connectivity) – DLL, аналогичная по функциям BDE, но разработанная фирмой Microsoft.

Таким образом, в разработке ИС применяется целый ряд современных технологий, которые позволяют выполнить качественную обработку и передачу данных между подсистемами ИС.

Разработка ИС относится к автоматизированной информационно-управляющей системе. Пользователями проектируемой системы являются участники проекта, они осуществляют ввод данных в систему; операции обработки, передачи, хранения информации возложены на программные средства проектируемой системы с участием экспертов. Выбор архитектуры проектируемого программного средства главным образом зависит от поставленной задачи и количества пользователей сети. Для реализации подсистемы оценки эффективности была выбрана двухзвенная архитектура, так как приложение разрабатывается в расчете на одного пользователя. На рис. 5 представлена архитектура информационной системы, которая представляет собой единую платформу управления оценкой инновационного проекта.

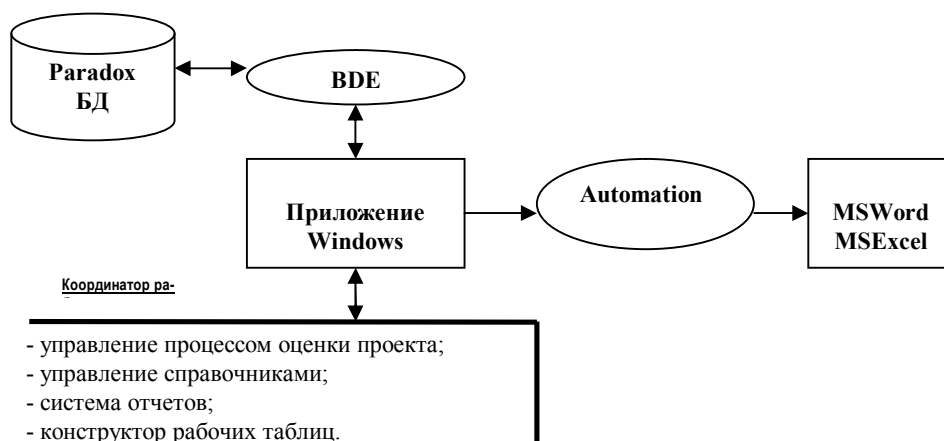


Рисунок 5 – Архитектура информационной системы оценки проекта

Основные компоненты системы представлены в виде: хранилища данных (BDE Administrator), организация которого удовлетворяет принципам оценки инновационных проектов, ориентированной на результат; Windows-приложение представляет собой интерфейс взаимодействия пользователя с базой данных для организации и управления работой оценки проекта; программных модулей в MS Excel, которые представляют собой вычислительные модули.

Координатор работ отвечает за всю организацию работ по этапному проведению оценки проекта, основные функции которого заключаются в управлении процессом оценки проекта, управлении справочниками системы, формировании текущих и оперативных отчетов по исполнению в среде Microsoft Excel, а также позволяет представить данные в максимально удобной форме.

Информационная система разработана в виде СППР, реализующей ввод данных для экспертизы проекта, отбор проектов по критериям инновационности и конкурентоспособности, оценку экономической эффективности проекта, комплексную оценку проекта. Разработка приложений пакета была выполнена в среде Delphi, в качестве платформы базы данных использована BDE Administrator.

Алгоритм функционирования информационной системы оценки инновационных проектов включает 3 этапа (рис. 6).

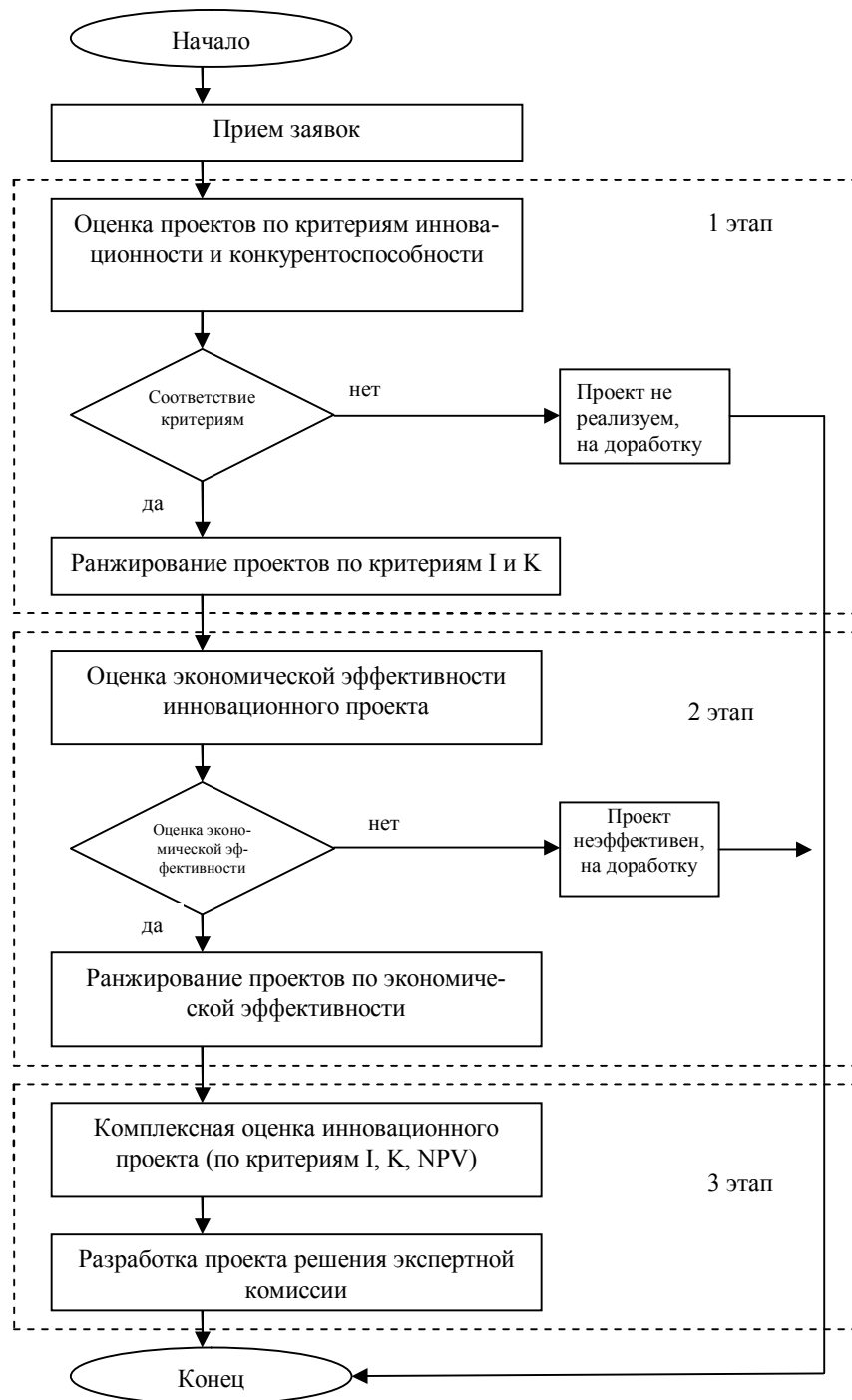


Рисунок 6 – Алгоритм оценки инновационных проектов

На первом этапе из поступивших заявок осуществляется отбор инновационных проектов по критериям инновационности и конкурентоспособности. Оценка проектов на этом

этапе осуществляется экспертным путем. Проекты, успешно прошедшие первоначальный отбор, переходят ко второму этапу оценки.

На втором этапе осуществляется оценка экономической эффективности инновационных проектов. Проекты, соответствующие показателям экономической эффективности, переходят на заключительный этап оценки.

Третий этап оценки представляет собой комплексную оценку проекта с учетом инновационности, конкурентоспособности и экономической эффективности.

В завершение процедуры оценки экспертной комиссией разрабатывается проект решения.

Работоспособность методов, моделей и программного решения была проверена на инновационных проектах ТОО РНТП «Алтай» и ВКГТУ им. Д. Серикбаева.

Таким образом, разработанная информационная система оценки инновационных проектов определяет программно-целевой подход к экспертизе проектов с учетом их инновационности, конкурентоспособности и экономической эффективности.

Получено 25.12.09

УДК 621.311.3

**Д.С. Ахметбаев**  
РГКП, г. Экибастуз

#### ПРИМЕНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА СИСТЕМНЫХ ФУНКЦИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВУХПОЛЮСНИКОВ

В теоретической электротехнике особое внимание уделяется двухполусникам, так как общая задача анализа часто сводится к определению тока или напряжения какой-либо одной ветви сложной схемы электрической цепи. Относительно выделенной ветви, вся остальная часть схемы условно изображается в виде прямоугольника, называемого двухполусником [1].

Пассивный двухполусник, запитанный от идеального источника тока, изображен на рис. 1.

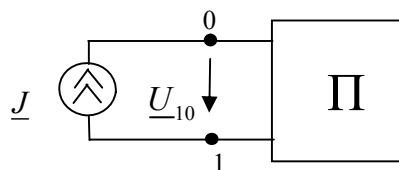


Рисунок 1 - Двухполусник

Если считать, что воздействие источника тока  $J$  является возмущением, то в качестве реакции цепи на это возмущение может быть принято его входное напряжение  $\underline{U}_{10}$  [2]. Тогда системная функция сопротивления двухполусника, определяемая как отношение вынужденной реакции цепи на возмущение, имеет вид



$$\underline{Z} = \frac{U_{10}}{J}, \quad (1)$$

которая совпадает с известным его входным сопротивлением.

Входное сопротивление, в свою очередь, определяется эквивалентным преобразованием исходной схемы и приведением ее к простейшему виду. При этом изменяется геометрический образ преобразуемой части цепи с соответствующим изменением ее параметров.

Применение теории матричной алгебры позволяет получить уравнение преобразованной эквивалентной схемы, которое может быть основой для составления геометрического образа и определения параметров эквивалентной схемы [3]. Следует отметить, что само преобразование матричного уравнения состояния электрической цепи не встречает особых затруднений, а затруднения возникают при составлении эквивалентной схемы и определении ее параметров. Поэтому разработка метода расчета системных функций сопротивления пассивного двухполюсника, без выполнения каких-либо преобразований схемы, имеет важное практическое значение.

Применение коэффициентов распределения узловых токов для расчета матриц узловых сопротивлений схемы сложной цепи рассмотрено в работе [4], где получено аналитическое выражение, позволяющее найти точные значения обобщенных параметров схемы электрической цепи, в виде:

$$Z = C^T ZC. \quad (2)$$

В данной работе рассматривается методика применения коэффициентов токораспределения для расчета системных функций сопротивления пассивных двухполюсников. С целью обеспечения простоты изложения предлагаемого метода ниже рассматриваются различные схемы двухполюсника, начиная с простейшей по мере ее усложнения.

Последовательное соединение нагрузки показано на рис. 2.

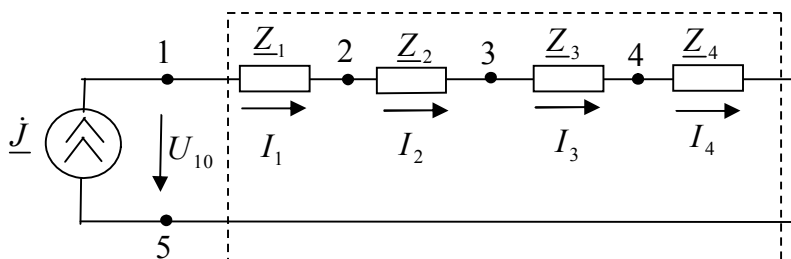


Рисунок 2 - Неразветвленная цепь

Для схемы с последовательно соединенными сопротивлениями (рис. 2) матрица  $C$  определяется непосредственно по схеме и имеет вид [5]:

$$C = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Выражение для системной функции сопротивления двухполюсника в развернутой форме запишется:

$$\underline{Z}_{\text{ex}} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \underline{Z}_1 & & & \\ & \underline{Z}_2 & & \\ & & \underline{Z}_3 & \\ & & & \underline{Z}_4 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{vmatrix} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 + \underline{Z}_4. \quad (4)$$

Из формулы (3) видно, что результаты произведения матриц представлены в виде суммы сопротивлений ветвей, которые полностью совпадают с правилом эквивалентирования последовательной цепи.

Матрица коэффициентов распределения задающего тока (рис. 3, а) имеет вид [6]:

$$C = \begin{vmatrix} 1 - \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_{22}}{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_2^2} \\ \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_1 \underline{Z}_2}{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_2^2} \\ \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2}{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_2^2} \end{vmatrix}, \quad (5)$$

где  $\underline{Z}_{11} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2$ ,  $\underline{Z}_{22} = \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3$ , которая определяется решением системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} I_{k1} \underline{Z}_{11} - I_{k2} \underline{Z}_2 &= -\underline{Z}_1 \\ -I_{k1} \underline{Z}_2 - I_{k2} \underline{Z}_{22} &= 0 \end{aligned} \right\},$$

составленный по расчетной схеме 3, б.

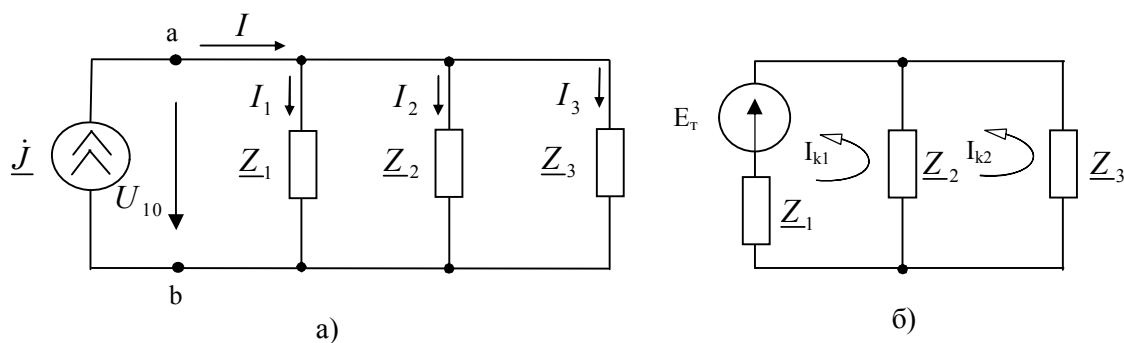


Рисунок 3 - Параллельное соединение нагрузки: а – исходная схема, б – расчетная схема

Тогда выражение для системной функции сопротивления запишется в виде

$$Z_{ex} = \left\| 1 - \frac{Z_{11}Z_{22}}{Z_{11}Z_{22} - Z_2^2} \frac{Z_{11}Z_{22} - Z_1Z_2}{Z_{11}Z_{22} - Z_2^2} \frac{Z_{11}Z_2}{Z_{11}Z_{22} - Z_2^2} \right\| \cdot \left\| \begin{matrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \end{matrix} \right\| \times$$

$$\times \left\| \begin{matrix} 1 - \frac{Z_1Z_{22}}{Z_{11}Z_{22} - Z_2^2} \\ \frac{Z_1Z_{22} - Z_1Z_2}{Z_{11}Z_{22} - Z_2^2} \\ \frac{Z_1Z_2}{Z_{11}Z_{22} - Z_2^2} \end{matrix} \right\| = Z_1 \left( 1 - \frac{Z_1Z_{22}}{Z_{11}Z_{22} - Z_2^2} \right)^2 + Z_2 \left( \frac{Z_1Z_{22} - Z_1Z_2}{Z_{11}Z_{22} - Z_2^2} \right)^2 + Z_3 \left( \frac{Z_1Z_2}{Z_{11}Z_{22} - Z_2^2} \right)^2 =$$

$$= \frac{Z_1Z_2Z_3}{Z_1Z_2 + Z_1Z_3 + Z_2Z_3}. \quad (6)$$

В результате умножения трех матриц получено выражение для системной функции сопротивления совпадающее с формулой, определяемой обычным эквивалентированием параллельной цепи.

Смешанное соединение нагрузки изображено на рисунке 4.

Матрица коэффициентов токораспределения (рис. 4) имеет вид [6]:

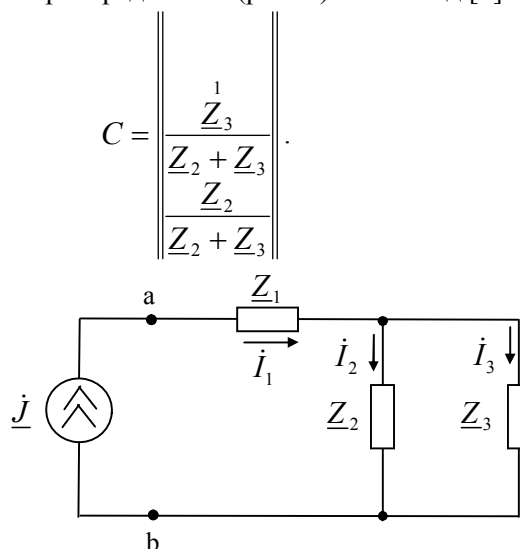


Рисунок 4 - Смешанное соединение цепи

В результате преобразования матричного уравнения, составленного на основе матрицы (2), получено выражение (7)

$$\underline{Z} = \left\| 1 \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} \right\| \cdot \left\| \begin{matrix} \underline{Z}_1 \\ \underline{Z}_2 \\ \underline{Z}_3 \end{matrix} \right\| \cdot \left\| \begin{matrix} 1 \\ \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} \\ \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} \end{matrix} \right\| = \underline{Z}_1 + \frac{\underline{Z}_2 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3}, \quad (7)$$

совпадающее с формулой, определяемой обычным преобразованием.

Таким образом, вышеприведенные матричные преобразования уравнений системных функций сопротивления применительно к простейшим схемам не требуют дополнительных доказательств.

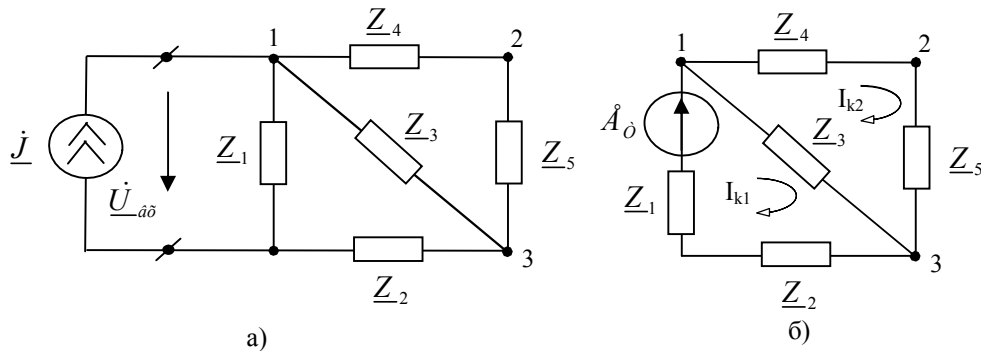


Рисунок 5 - Сложное соединение нагрузки: а – исходная схема, б – расчетная схема

Системная функция сопротивления, относительно зажимов (01), схемы, изображенной на рисунке 5, а, определяется согласно вышеизложенной методике по формуле (2), которая в результате матричного преобразования имеет вид:

$$Z_{\text{вх}} = \left\| \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_{22}}{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_3^2} - 1 \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_{22}}{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_3^2} \frac{\underline{Z}_1 (\underline{Z}_4 + \underline{Z}_5)}{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_3^2} \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_3^2} \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_3^2} \right\| \times$$

$$\times \left\| \begin{matrix} \underline{Z}_1 \\ \underline{Z}_2 \\ \underline{Z}_3 \\ \underline{Z}_5 \end{matrix} \right\| \cdot \left\| \begin{matrix} \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_{22}}{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_3^2} - 1 \\ \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_{22}}{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_3^2} \\ \frac{\underline{Z}_1 (\underline{Z}_4 + \underline{Z}_5)}{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_3^2} \\ \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_3^2} \\ \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_3^2} \end{matrix} \right\| = \underline{Z}_1 \left( \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_{22}}{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_3^2} - 1 \right)^2 + \underline{Z}_2 \left( \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_{22}}{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_3^2} \right)^2 +$$

$$+ \underline{Z}_3 \left( \frac{\underline{Z}_1 (\underline{Z}_4 + \underline{Z}_5)}{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_3^2} \right)^2 + \underline{Z}_4 \left( \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_3^2} \right)^2 + \underline{Z}_5 \left( \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_3^2} \right)^2 = \frac{\underline{Z}_1 [\underline{Z}_{22} (\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3) - \underline{Z}_3^2]}{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_3^2}, \quad (6)$$

где

$$C = \begin{pmatrix} \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_{22}}{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_3^2} - 1 \\ \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_{22}}{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_3^2} \\ \frac{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_3^2}{\underline{Z}_1 (\underline{Z}_4 + \underline{Z}_5)} \\ \frac{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_3^2}{\underline{Z}_1 \underline{Z}_3} \\ \frac{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_3^2}{\underline{Z}_1 \underline{Z}_3} \\ \frac{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_3^2}{\underline{Z}_1 \underline{Z}_3} \\ \frac{\underline{Z}_{11} \underline{Z}_{22} - \underline{Z}_3^2}{\underline{Z}_1 \underline{Z}_3} \end{pmatrix} - \text{столбцовая матрица комплексных коэффициентов токораспре-}$$

деления, определяемая решением системы уравнений, составленной по схеме рис. 5, б [6]

$$\begin{cases} I_{k1} \underline{Z}_{11} - I_{k2} \underline{Z}_3 = \underline{Z}_1 \\ -I_{k1} \underline{Z}_3 - I_{k2} \underline{Z}_{22} = 0 \end{cases},$$

где  $\underline{Z}_{11} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3$ ,  $\underline{Z}_{22} = \underline{Z}_3 + \underline{Z}_4 + \underline{Z}_5$  - контурные сопротивления.

Полученная расчетная формула (8) может быть проверена путем определения входного сопротивления цепи относительно зажимов (01) на основе последовательно – параллельного преобразования цепи.

Проведенные исследования показали, что при известном коэффициенте токораспределения значения системных функций сопротивления двухполюсников могут быть найдены аналитическим путем для любой схемы произвольной сложности. Это существенно повышает эффективность расчетов электрических цепей, выполняемых с использованием свойств двухполюсников.

На основе вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Полученная системная функция сопротивления как частный случай системных функций электрической цепи характеризует входное сопротивление двухполюсника.
2. Основная задача расчета системных функций сопротивления двухполюсника сводится к определению коэффициентов токораспределения в схеме, которые изучены достаточно хорошо и широко используются при различных расчетах электрической цепи сложной структуры.
3. Предлагаемый метод повышает эффективность расчетов по мере усложнения схемы исследуемой электрической цепи.

#### Список литературы

1. Зевеке Г.В. Основы теории цепей /Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. - М.: Энергия, 1965. - 415 с.
2. Толстов О.Г. Теория электрических цепей /О.Г. Толстов, А.А. Теврюков. - М.: Высшая школа, 1971. - 295 с.
3. Максимович Н.Г. Линейные электрические цепи и их преобразование. - М.; Л.: Госэнергоиздат, 1961. - 264с.
4. Ахметбаев Д.С. Расчет узловых сопротивлений сложной схемы электрической сети энергосистем // Энергетика и топливные ресурсы Казахстана. - 2003. - № 10. - С. 75-76.
5. Веников В.А. Электрические системы. Математические задачи энергетики. - М.: Энергия, 1971. - 322 с.
6. Ахметбаев Д.С. Математическое моделирование стационарных режимов электрических цепей // Вестник ПГУ. - 2004. - № 2. - С. 108-114.

Получено 10.11.09

УДК 681.3.06

**Ю.А. Вайс**

ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

**МОДЕЛЬ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ЗДОРОВЬЯ**

Установлено, что «большая часть человечества умирает от тех же болезней, что и фараоны в Египте». Основная цель «врачевания» - не сохранение здоровья, а устранение болезни, которая уже есть. Исследования в различных государствах показали, что состояние здоровья на 50 % зависит от образа жизни, на 20 % - от экологии и только на 10 % - от уровня здравоохранения в стране. Современная наука, опираясь на достижения в генетике, науке управления и организации, выдвигает новые концепции: более важным становится не предотвращение развития заболевания, а создание условий для успешной работы всех органов и систем организма, и он сам справляется с проблемой. В области организации здравоохранения положена концепция равной ответственности государства и самого гражданина за его здоровье. Мониторинг здоровья - это забота не только о его восстановлении, но, главное, его созидании. Какими показателями измерять и какими нормами оценивать этот уровень созидания - главные задачи исследования феномена качества здоровья. Всемирная организация здравоохранения сформулировала хорошо известное определение здоровья: «здоровье - это состояние полного физического, психического и социального благополучия, а не просто отсутствие заболевания или физического недостатка». В 60-е и 70-е годы XX в. социологи, философы, врачи и политики начали проявлять интерес к концепциям «качества жизни» и «стандарта жизни», а в конце XX века - к «качеству здоровья». При этом качество здоровья вырастает в актуальную проблему здравоохранения с четко очерченной политикой ее реализации.

Качество здоровья стало собирательным определением, оно включает все те человеческие потребности, которыми часто пренебрегают в системе здравоохранения. Одна из причин возникновения движения «за качество жизни» и «качество здоровья» в общественном сознании и медицине — растущая неудовлетворенность населения медицинским обслуживанием. Специфическим аспектом неудовлетворенности было то, что в своих попытках добиться продления жизни любой ценой, сосредоточившись лишь на необходимости лечения, медицина упустила базовые системные факторы в оздоровлении населения. В настоящее время нет конкретных результатов, в которых бы рекомендовался обоснованный перечень индикаторов для измерения качества здоровья. Однако с большой долей уверенности можно предположить, что эти индикаторы представляют сложную многофакторную модель. Причем модель качества здоровья должна быть адекватна конкретному региону. Повышение качества здоровья в мягкой эволюционной форме проявится в снижении внешних угроз и рисков завтрашнего дня, повышении работоспособности, повышении общественной значимости, семейного комфорта и уверенности в себе, сокращении расходов на пребывание в стационаре.

Состояние здоровья населения и особенно детей всех возрастных групп Восточно-Казахстанской области требует постоянного внимания и принятия мер. К сожалению следует отметить, что до сих пор отсутствует целостная государственная, долговременная программа мониторинга здоровья молодого населения как на государственном, так и ре-

гиональном уровнях. Для внедрения научно-обоснованной системы мониторинга качества здоровья необходимо решить целый ряд научных и практических задач. Понятие качества здоровья должно стать основным концептуальным подходом для кардинального решения проблем здоровья населения региона.

Вместе с тем чтобы управлять (контролировать, прогнозировать) качеством здоровья, необходима система современного информационного и математического обеспечения, в которой накапливались, обрабатывались, актуализировались и индцировались данные как персонально по каждому жителю региона, начиная с момента его рождения, так и данные внешних и внутренних рисков. Эта система должна работать в режиме «реального времени» и соответствующим целевым образом построена в форме мониторинговой экспертной системы. В связи с тем, что в данной системе интегрируются данные социально-экономического, экологического, политического, демографического характера с возможностью территориальной селекции, она должна проектироваться как геоинформационная система. Это необходимо для грамотного выделения приоритетных проблем в области здоровья и планирования программ по оздоровлению населения на всех уровнях – от местного и регионального до национального и международного.

В результате была разработана методика исследований, в которой в качестве количественного критерия планируется оценивать риск снижения качества здоровья. На рисунке (рис.1) представлена графическая модель интерпретации указанного риска.

Согласно статистическим данным средняя продолжительность жизни в нашем регионе составляет 60 лет. Таким образом, можно предположить, что, накапливаясь в течение жизни, к 60-ти годам суммарная вероятность риска снижения качества здоровья достигает 1, т.е. приводит к смертельному исходу. Рассматривая эту условную линию как функцию зависимости вероятности риска от возраста, можно определить среднюю величину риска снижения качества здоровья в связи со снижением качества здоровья для каждого года жизни условного жителя региона и, следовательно, оценить качество здоровья данного жителя по формуле

$$P_{jkз} = 1 - P_{jpc}. \quad (1)$$

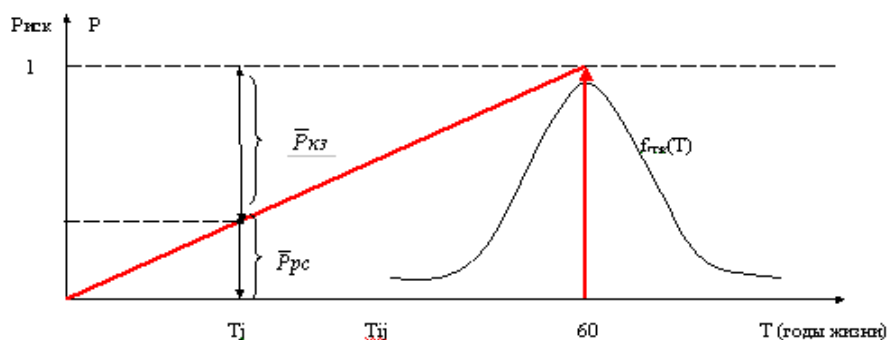


Рисунок 1 – Графическая интерпретация риска снижения качества здоровья

Предположив, что величина продолжительности жизни распределена по нормальному закону и  $f_{пж}(T)$  – функция плотности распределения продолжительности жизни в условиях данного условного региона, можно смоделировать продолжительность жизни каждого  $i$ -го жителя данного региона ( $T_i$ ). Таким образом, условная линия вероятности

риска снижения качества здоровья сдвигается, и по ней можно определить качество здоровья данного  $i$ -го жителя на  $j$ -м году его жизни (рис. 2).

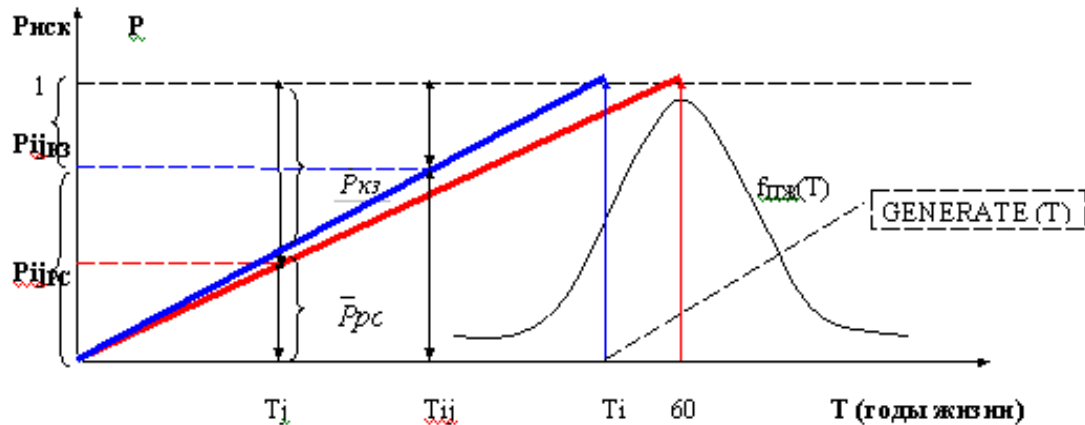


Рисунок 2 - Графическая интерпретация риска снижения качества здоровья  $i$ -го жителя на  $j$ -м году его жизни

Риск снижения качества здоровья образуется под влиянием различных факторов, т.е. суммарное влияние можно выразить формулой

$$P_{kz} = 1 - \sum P_i \quad (2)$$

где  $P_i$  – вероятность влияния  $i$ -го фактора на риск снижения качества здоровья.

Для проведения исследования были выбраны следующие группы факторов, которые тем или иным образом влияют на качество здоровья человека: экологическая обстановка, состояние здравоохранения, наследственность, экономическое благосостояние и образ жизни.

На каждом этапе жизни влияние факторов неодинаково, следовательно, для успешного моделирования требуется корректировка условной линии вероятности снижения качества здоровья. Для этого методом экспертных оценок каждому фактору присваивается соответствующий «вес». С учетом определенных весов формула для определения вероятностной оценки качества здоровья приобретает вид:

$$P_{kz} = 1 - \sum_{i=1}^n a_i P_{iPC} \quad (3)$$

где  $a_i$  – «вес» фактора,  $P_{iPC}$  – вероятность влияния  $i$ -го фактора.

Таким образом, полученная формула позволяет оценить качество здоровья с учетом любых факторов, влияние которых необходимо учитывать в данном регионе, а также с учетом значимости выбранных факторов для региона, оцененной экспертами.

Следующим шагом в разработке модели системы «качество здоровья» должно стать детальное исследование влияния перечисленных факторов на риск снижения качества здоровья и определение функций зависимости влияния данных факторов на здоровье человека от возраста.

На рисунках (рис. 3-6) представлены графики, отображающие влияние некоторых из вышеперечисленных факторов на риск снижения качества здоровья в зависимости от возраста человека.



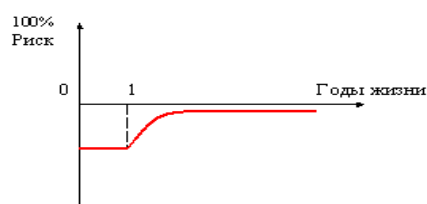


Рисунок 3 - Влияние здравоохранения на риск снижения качества здоровья

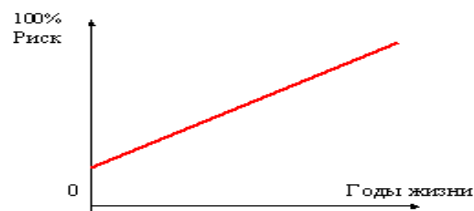


Рисунок 4 - Влияние неблагоприятной экологической обстановки на риск снижения качества здоровья

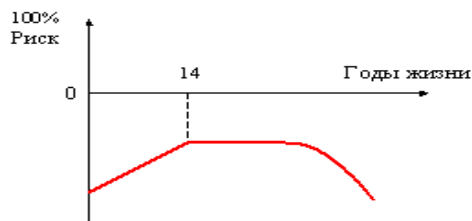


Рисунок 5 - Влияние высокого экономического благосостояния на риск снижения качества здоровья

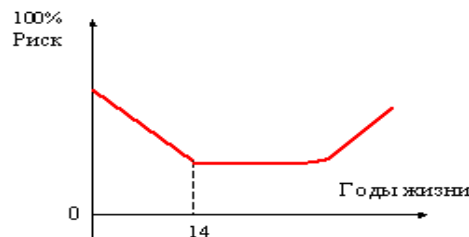


Рисунок 6 - Влияние низкого экономического благосостояния на риск снижения качества здоровья

Проанализировав графики, можно сделать вывод, что различные внешние факторы могут оказывать как отрицательное, так и положительное влияние на качество здоровья. Например, неблагоприятная экологическая обстановка повышает риск снижения качества здоровья, причем отрицательное влияние имеет тенденцию увеличиваться, так как в организме накапливаются вредные вещества, попадающие из окружающей среды, такие, как радионуклиды и соли тяжелых металлов. Также повышает риск снижения качества здоровья низкое экономическое благосостояние. Это влияние особенно ощутимо в период формирования организма, то есть в детском и подростковом возрасте, когда необходимо поступление в организм всех витаминов и микроэлементов, полноценное питание и отдых в оздоровительных учреждениях. Влияние этого фактора возрастает также в пенсионном возрасте, когда организму, как правило, требуются медикаменты и оздоровительные процедуры. При низком экономическом благосостоянии человек не в состоянии позволить дорогостоящее лечение и питание, и наоборот, высокий уровень экономического благосостояния уменьшает риск снижения качества здоровья во всех тех случаях, когда низкое благосостояние его увеличивает. И в заключение, здравоохранение, конечно, положительно влияет на качество здоровья. Особенно это влияние ощутимо до года жизни каждого жителя, когда он находится под постоянным вниманием врачей, фиксирующих развитие ребенка, чтобы выявить и лечить отклонения на ранних стадиях, когда лечение наиболее эффективно и безопасно.

В процессе дальнейшей работы требуется определить математические функции влияния перечисленных факторов, а также других факторов, упомянутых выше.

В общем случае для каждого конкретного региона требуется определение списка факторов, влияние которых релевантно для жителей данного региона и требуется проведение аналогичной работы по определению математических зависимостей.

Получено 18.11.09

УДК 004

**Г.М. Мутанов, Ж.Д. Мамыкова, Г.Ж. Абдыкерова**  
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск**РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ**

Инновационный проект представляет собой сложную систему взаимообусловленных и взаимоувязанных по ресурсам, срокам и исполнителям мероприятий, направленных на достижение конкретных целей (задач) на приоритетных направлениях развития науки и техники.

Оценка инновационного проекта - важная и сложная процедура, которая представляет собой непрерывный процесс и должна учитывать многие факторы: финансовые результаты реализации проекта на всех этапах его жизненного цикла; воздействие данного проекта на другие в рамках портфеля НИОКР предприятия; влияние проекта в случае его успеха на экономику предприятия и страны в целом и т.п.

Главной особенностью инновационных проектов является то, что они относятся к категории объектов наиболее высокого риска для инвестиций, которые достаточно сложно оценить ввиду отсутствия эффективных методов оценки для них.

В этой связи важен выбор эффективного механизма оценки инновационных проектов, учитывающего особенности каждого конкретного проекта (область применения, сфера отрасли и т.д.). Актуальность научного осмысления такого выбора очевидна. В теоретическом аспекте эта проблема находится в сопряжении с поиском путей совершенствования методов оценки проектов, а в практическом - с реализацией проектов на основе современных информационно-коммуникационных технологий.

Решение поставленной задачи представляется возможным на качественно новом уровне на стыке двух научных направлений экономики и информационных систем. Поддержка принятия решений - это актуальная сфера информационных приложений, данное направление интенсивно развивается как в форме нетрудно интегрируемых обособленных программных решений, так и в форме внутрисистемных информационных средств. На практике в процессе оценки инновационных проектов назрела потребность перехода от задач автоматизации учёта к задачам поддержки принятия управленческих решений, в этой связи актуальным является создание компьютерных систем поддержки принятия решений.

*Системы поддержки принятия решений (СППР) (DSS - Decision Support Systems)* представляют собой информационные системы, которые максимально приспособлены к решению задач управления и являются инструментом, который помогает лицу, принимающему решения, принимать обоснованные и эффективные управленческие решения. СППР позволяют автоматически анализировать большие объёмы информации в режиме реального времени. С помощью DSS могут решаться неструктурированные и слабоструктурированные многокритериальные задачи. СППР возникли в результате слияния управленческих информационных систем и систем управления базами данных.

Одним из главных вопросов разработки СППР является выбор математических моделей и методов принятия решений, составляющих основу ее функционирования.

Выделяются различные виды компьютерной поддержки принятия решений: СППР,

экспертные системы, советующие системы и т.д. [1].

*Советующие системы* предполагают последовательное интерактивное взаимодействие с оператором с целью выявления параметров текущей проблемной ситуации и выдачи поэтапных рекомендаций оператору по решению возникшей проблемы.

*Экспертные системы* разрабатываются для компьютерного представления и хранения знаний высококвалифицированных экспертов с тем, чтобы ими могли в дальнейшем воспользоваться специалисты с более низкой квалификацией. Экспертные системы направлены на класс задач с повторяющимися решениями, при этом опыт и интуиция эксперта возрастает с годами. Предполагается, что проблемы, подлежащие решению, являются слабоструктурированными. Экспертные системы могут применяться для различных видов деятельности, которые можно сгруппировать по следующим категориям: интерпретация, прогноз, диагностика, проектирование, планирование, наблюдение, отладка, ремонт, обучение, управление. Именно при решении слабоструктурированных проблем человеческая интуиция имеет особую ценность. Диапазон применения экспертных систем очень широк, но каждая из таких систем может работать только в одной ограниченной области.

*Компьютерная СППР* – это интерактивная автоматизированная система, использующая модели выработки решений, обеспечивающая пользователям эффективный доступ к распределенной базе данных и предоставляющая им разнообразные возможности по отображению информации. В таком понимании СППР представляет собой совокупность следующих подсистем: комплекса распределенных технических средств; комплекса математических моделей; анализа состояний и выработки решений; базы данных; систем управления моделями, языков моделирования, обработки и отображения информации. В состав СППР входят три главных компонента: база данных, база моделей и программная подсистема.

Компьютерные СППР, как правило, ориентированы на конкретные математические методы принятия решений.

Оценка инновационных проектов относится к социально-экономическим системам, удобным инструментом при системном анализе таких систем является инструментарий когнитивной структуризации и системно-когнитивная концепция.

*Когнитология* - это сфера деятельности, связанная с анализом знания (в лице конкретных теорий) и обеспечением его (знания) дальнейшего развития [2].

Цель когнитивной структуризации - формирование и уточнение гипотезы о функционировании исследуемой системы, т.е. структурных схем причинно-следственных связей, их качественной и(или) количественной оценки [3].

Одной из структурных схем причинно-следственных связей являются *когнитивные решетки* (шкалы, матрицы), которые позволяют определять стратегии поведения (например производителя на рынке). Решетка образуется с помощью системы факторных координат, где каждая координата соответствует одному фактору, показателю (например финансовому) или некоторому интервалу изменения этого фактора. Каждая область решетки соответствует тому или иному поведению. Показатели могут быть относительными (например от 0 до 1), абсолютными (например от минимального до максимального), биполярными («высокий или большой» - «низкий или маленький») [3].

Когнитивная решетка разрабатываемой СППР (рис. 1) представляет собой результат метода оценки инновационности и конкурентоспособности, где каждая область, а их 9, образуется за счет координат показателей инновационной привлекательности и конку-

рентоспособности, характеризует соответствующий проект по определенным критериям инновационности и конкурентоспособности, такая решетка дает визуализацию полученных решений и рекомендаций.

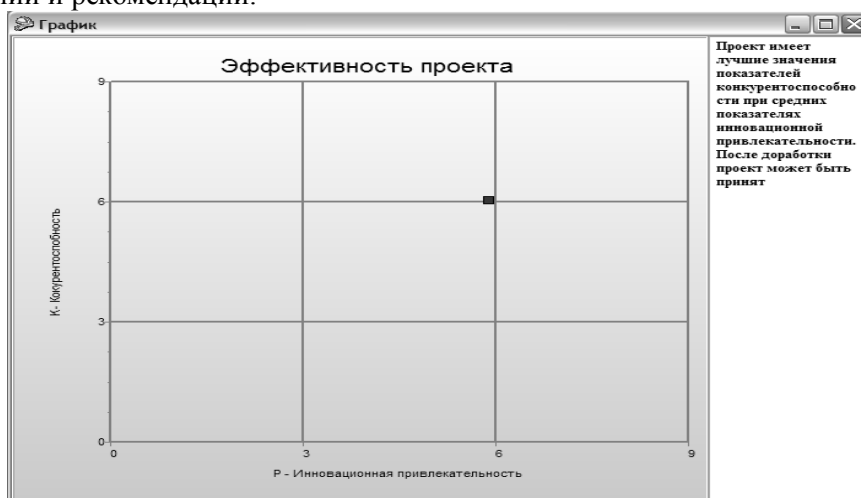


Рисунок 1 - Когнитивная решетка инновационности и конкурентоспособности инновационного проекта

Когнитивный инструментарий позволяет снижать сложность исследования, формализации, структурирования, моделирования системы.

Когнитивный подход к проектированию и разработке компьютерной СППР состоит из следующих этапов:

1. Необходимо провести комплексное обследование предметной области – процесса оценки инновационных проектов, а также проанализировать информационные потоки, определить справочную и управляющую информацию, формы входной и выходной документации.

Результатом проведенного исследования должно быть техническое задание на разработку проекта, содержащее постановку задачи, цель, назначение, решаемые задачи, основное содержание работ, включающее требования к функциональному, информационному, программному, техническому, технологическому обеспечению.

На этом же этапе необходимо разработать математическую часть процесса оценки инновационных проектов.

В результате обследования вырабатываются методы и математические модели по определению критериев конкурентоспособности и инновационности инновационного проекта, модель и план построения компьютерной СППР.

2. Переходим к проектированию и построению компьютерной СППР. Необходимо изучить существующие программные и технические средства разработки программного обеспечения, аппаратно-техническое обеспечение рабочих мест пользователей и др.

В соответствии с техническим заданием проекта на втором этапе разрабатывается функциональная модель информационных процессов СППР. Методология структурного анализа и проектирования систем (SADT) является наиболее подходящим методом для построения функциональной модели и является полной методологией для создания описания систем, основанной на концепциях системного моделирования.

Разработанная функциональная модель информационных процессов служит основанием для разработки информационной модели предметной области, программных и технологических средств и основных моделей и форм представления информационно-справочного контента.

Информационная модель представляет собой совокупность описаний информационных процессов оценки инновационных проектов. На основании данной модели необходимо разработать структуру базы данных, архитектуру проектируемой СППР, систему управления доступом.

Результатом данного этапа должны быть: положения об информационной системе процесса оценки инновационных проектов, требования к оформлению информационных материалов, соответствующие шаблоны рабочих таблиц, формы ввода, инструкции по вводу, обновлению информации в информационной системе.

3. Третий этап, предназначенный для создания и наполнения информационно-справочного контента, должен быть строго регламентирован.

Таким образом, реализуя последовательно все этапы, разрабатывается компьютерная СППР оценки инновационных проектов.

Главной целью проектирования и создания информационной системы оценки инновационных проектов является обеспечение комплексной информационной поддержки процесса экспертизы проектов с использованием информационных и телекоммуникационных технологий.

Для достижения главной цели были поставлены и решены следующие задачи:

- формирование единого банка данных, отражающего и обеспечивающего своевременное и оперативное размещение полной, объективной, достоверной, непротиворечивой информации об инновационных проектах;
- обеспечение единой для всех пользователей информационной среды, общих стандартов подготовки информационных материалов и нормативно-справочных ресурсов;
- обеспечение эффективных двухсторонних коммуникаций и каналов обратной связи;
- обеспечение централизованного доступа к отчетной информации и удобной навигации по всей информационной системе;
- создание оформления, обеспечение централизованного доступа к отчетной информации и удобной навигации по всей информационной системе.

Функциональная значимость СППР заключается в определении критериев конкурентоспособности и инновационности инновационного проекта посредством метода экспертных оценок и метода оценки экономической эффективности. Результаты такого оценивания представляются в виде матрицы инновационной привлекательности проекта и оценки экономической эффективности, а также формализованного паспорта инновационного проекта. Структурная схема информационной системы изображена на рис. 2.

*База знаний* – это центральная часть СППР, которая содержит знания, необходимые для понимания, формулирования и решения задач. Включает в себя два основных элемента: факты такие, как проблемная ситуация и теоретические знания о проблемной области; и специальные эвристики - правила, которые направляют использование знаний при решении специфических задач в отдельной области. Кроме того, механизм вывода, тесно связанный с базой знаний, содержит стандартные правила решения задач и принятия решений. Информация и знания в базе знаний представлены и включены в компьютерную программу путем реализации процесса, называемого *представление знаний*.

*Механизм логического вывода* является мозгом СППР, его также называют управляющей структурой или интерпретатором правил. Эта компонента является в основном компьютерной программой, которая обеспечивает методологию для рассуждения об информации в базе знаний, а также для формулирования заключений. Она дает указания о том, как использовать знания системы.

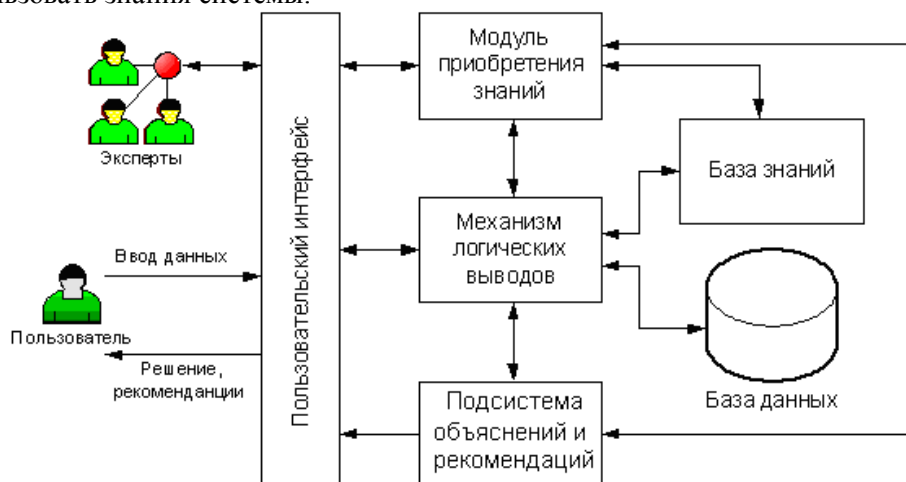


Рисунок 2 – Структура компьютерной СППР

*Модуль приобретения знаний* - механизм получения знаний.

*Подсистема объяснений и рекомендаций* - механизм, который не только обеспечивает возможность получения от экспертов поддержку базы знаний, но и при необходимости ее дополнения способен давать заключения, представлять различные комментарии к этому заключению, объяснять его мотивы.

*База данных* предназначена для хранения всей информации обо всех проектах и принятых решениях.

*Пользовательский интерфейс* представляет с собой оболочку взаимодействия пользователя с программой.

Разработка информационной системы относится к автоматизированной информационно-управляющей системе.

Информационная система разработана в виде СППР, реализующей ввод данных для экспертизы проекта, отбор проектов по критериям инновационности и конкурентоспособности, оценку экономической эффективности проекта, комплексную оценку проекта. Разработка приложений пакета была выполнена в среде Delphi, в качестве платформы базы данных использована BDE Administrator.

#### Список литературы

1. Блюмин С.Л. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности / С.Л. Блюмин, И.А. Шуйкова. – Липецк: ЛЭГИ, 2001. – 138 с.
2. Интернет-журнал Общества Открытой Науки и науки о науке // <http://cognitology.narod.ru/Index.htm>
3. Казиев В.М. Введение в анализ, синтез и моделирование систем // [http://www.intuit.ru/department/expert/intsys/7/intsys\\_7.html](http://www.intuit.ru/department/expert/intsys/7/intsys_7.html).

Получено 25.12.09

УДК 338+519.6(519.8)

**С.А. Нурбаева, И.Ю. Быкова**  
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

**МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ДВУХЭТАПНОЙ ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ УНИВЕРСИТЕТА**

В настоящее время принципиальные изменения в политической и экономической жизни Казахстана, развитие демократических принципов управления требует от руководителей вузов глубокого изучения современных методов и форм управления. Каждый ректор, проректор, декан и любой администратор организации образования обязан владеть теорией, практикой и искусством управления, уметь четко определять цели своей деятельности, определять стратегию и тактику, необходимые для их достижения, принимать управленческие решения и нести персональную ответственность за них. Поэтому очень важно изучить и проникнуться идеями тотального менеджмента качества образования для их внедрения в практику. Такая стратегия нацеливает на то, что развитие системы образования должно перейти на более новый уровень – инновационный путь развития каждого субъекта высшей школы, обеспечивающий конкурентоспособность вуза и востребованность его деятельности на рынке образовательных услуг.

Следовательно, в процессе стратегического планирования инновационного развития университета необходимо учитывать влияние факторов внешней и внутренней среды, а также то, что в процессе планирования имеющаяся информация не всегда бывает исчерпывающей, поэтому задачу планирования лучше представлять в виде стохастической, позволяющей корректировать первоначальный план [1].

Таким образом, процесс планирования инновационного развития университета можно разбить на два глобальных этапа. На первом этапе выбирается предварительный план. На втором этапе производится компенсация невязок и возможных возмущений, вызванных внутренней и внешней средой, а также невязок, выявленных после наблюдения реализованных значений случайных параметров первоначального планирования. Причем выбор предварительного плана должен гарантировать существование плана компенсации.

Запишем задачу планирования инновационного развития университета в следующем виде:

$$\sum_{i=1}^m \beta_i (X_i^* - X_i(t, \omega)) \rightarrow \min ; \quad (1)$$

$$X_i(t, \omega) \leq d_i(t, \omega), \quad i = \overline{1; m}; \quad (2)$$

$$X_i(t, \omega) \geq X_i(t, \omega) + S_i(t, \omega) + C_i(t, \omega), \quad i = \overline{1; m}; \quad (3)$$

$$X_i \geq 0, \quad i = \overline{1; m}, \quad \sum_{i=1}^m \beta_i = 1, \quad \omega \in \Omega, \quad (4)$$

где  $X_i^*$  – эталонные показатели достижения стратегического развития университета; через  $X_i$  – текущее состояние достижения выполнения критерия по стратегическому развитию университета по оценке эксперта;  $i$  – номер критерия оценки стратегического развития университета;  $t$  – период планирования;  $m_i$  – количество экспертных оценок, полученных по  $i$ -му критерию;  $d_i$  – пороговая величина  $i$ -го критерия оценки стратегического развития университета;  $S_i(t)$  – эффект от проводимых мероприятий в университете, согласно стратегическому плану;  $C_i$  – воздействие внешней среды (чаще всего этот показатель имеет отрицательное значение).

В модели (1)-(4) в качестве критериев результативности использовались следующие виды оценок:  $X_1(t)$  – ориентация на становление инновационного университета;  $X_2(t)$  – гармоничное развитие образовательной, научной, производственной и консалтинговой деятельности университета;  $X_3(t)$  – развитие непрерывного, многогранного, многоуровневого образования и эксперта образовательных услуг;  $X_4(t)$  – совершенствование управления университетским комплексом на основе принципов менеджмента качества и инновации;  $X_5(t)$  – повышение качества подготовки, переподготовки и повышения квалификации специалистов на основе конкурентного развития образовательной технологии;  $X_6(t)$  – осуществление масштабных научных исследований в области разработки концепции и наукоемких технологий;  $X_7(t)$  – обеспечение благоприятных социальных условий для работников университета. В качестве коэффициентов  $\beta$  можно использовать весовые коэффициенты приоритетности критериев.

Перепишем задачу (1) – (4) в более компактной форме:

$$\beta(X^* - X(t, \omega)) \rightarrow \min; \quad (5)$$

$$A(\omega)X(t, \omega) \geq B(t, \omega); \quad (6)$$

$$X \geq 0; \quad \omega \in \Omega, \quad (7)$$

где  $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m)$ ,  $X^* = (X_1^*, X_2^*, \dots, X_m^*)$ ,  $X(t, \omega) = (X_1(t, \omega), X_2(t, \omega), \dots, X_m(t, \omega))$ ;

$$B = \left\{ \begin{array}{l} -d(t, \omega) \\ X(t-1) + S(t, \omega) + C(t, \omega) \end{array} \right\}, \quad \text{причем} \quad -d(t, \omega) = (-d_1(t, \omega), -d_2(t, \omega), \dots, -d_m(t, \omega));$$

$$X(t-1) = (X_1(t-1), X_2(t-1), \dots, X_m(t-1)); \quad S(t, \omega) = (S_1(t, \omega), S_2(t, \omega), \dots, S_m(t, \omega));$$

$$C(t, \omega) = (C_1(t, \omega), C_2(t, \omega), \dots, C_m(t, \omega)).$$

В качестве метода решения рассмотренной двухэтапной стохастической задачи планирования инновационного развития университета (5)-(7) можно использовать метод обобщенных стохастических градиентов. Однако, этот метод не предполагает дифференцируемости целевой функции задачи и не требует задания стохастических характеристик случайных параметров условий задачи, поэтому целесообразно применять метод стохастических градиентов, который является общим методом стохастической аппроксимации.

Для итеративного решения задачи используется последовательность реализаций матриц  $A(\omega)$ , векторов  $b(\omega, t)$  и  $\beta(\omega)$ .

Метод стохастических градиентов может быть использован также для решения нели-



нейной двухэтапной стохастической задачи.

Применение метода обобщенных стохастических градиентов основано на следующих соображениях.

Пусть требуется минимизировать выпуклую вниз функцию  $\varphi(x)$  на выпуклом множестве  $K$ .

Рассмотрим следующий итеративный процесс случайного поиска решения задачи

$$x^{(\delta+1)} = \pi_k(x^{(\delta)} - \rho_\delta \gamma_\delta \xi^{(\delta)}), \quad (8)$$

где  $x^{(0)}$  – произвольный  $n$ -мерный вектор, принадлежащий множеству  $K$  (начальная точка процесса);  $\rho_\delta$  – величина шага на  $s$ -й итерации;  $\gamma_\delta$  – нормирующий множитель;  $\xi^{(\delta)}$  – случайный вектор, условное математическое ожидание которого относительно  $x^{(0)}, x^{(1)}, \dots, x^{(\delta)}$  зависит линейно от обобщенного градиента  $\varphi_x$  (субградиента или опорного функционала) функции  $\varphi(x)$  в точке  $x^{(\delta)}$ :

$$M(\xi^{(\delta)} | x^{(0)}, x^{(1)}, \dots, x^{(\delta)}) = a_\delta \varphi_x(x^{(\delta)}) + m^{(\delta)}, \quad (9)$$

где  $a_\delta$  – некоторое число;  $m^{(\delta)}$  –  $n$ -мерный вектор.

Применим  $\pi_k(x)$  – оператор проектирования на множество  $K$ , т.е. такой, что  $\pi_k(x) \in K$  и  $\|x - \pi_k(x)\|^2 \leq \|y - x\|^2$  для любого  $y \in K$ .

Другими словами, оператор проектирования  $y = \pi_k(x)$  представляет собой решение следующей задачи выпуклого программирования с квадратичной целевой функцией:

$$\inf_{y \in K} \|x - y\|^2. \quad (10)$$

Значения  $a_\delta$  и  $m^{(\delta)}$  в (9) могут зависеть от  $x^{(0)}, \dots, x^{(\delta)}$ . Однако предполагается, что существуют постоянные  $l_\delta$  и  $r^{(\delta)} = \{r_j^{(\delta)}\}$ , такие, что  $|a_\delta(x^{(0)}, \dots, x^{(\delta)})| \leq l_\delta$ ;  $\|m^{(\delta)}(x^{(0)}, \dots, x^{(\delta)})\| \leq r^{(\delta)}$ .

Пусть  $\min_K \varphi(x) = \varphi(x^*) > -\infty$ . Тогда имеет место следующая теорема.

Теорема 1. Пусть:

а) известна величина  $h_\delta(x^{(0)}, \dots, x^{(\delta)})$ , такая, что

$$M(\|\xi^{(s)}\|^2 | x^{(0)}, \dots, x^{(s)}) \leq h_s^2 \leq \sigma_\beta^2 < \infty \quad (11)$$

при  $\|x^{(k)}\| \leq \beta < \infty$ ,  $k = 0, 1, \dots, s$ , где  $\sigma_\beta$  – некоторая константа;

б) нормирующий множитель  $\gamma_s$  удовлетворяет условию

$$0 < \underline{\gamma} \leq \underline{\gamma}_s(\tau_s \|x^{(s)}\| + h_s) \leq \bar{\gamma} < \infty, \text{ где } \tau_s = \begin{cases} 1 & \text{при } \|m^{(s)}\| > 0, \\ 0 & \text{при } \|m^{(s)}\| = 0; \end{cases}$$

в) величины  $\rho_s, a_s, l_s, r^{(s)}$  таковы, что  $\rho_s \geq 0$ ;  $a_s \geq 0$ ;  $\sum_{s=0}^{\infty} \rho_s r^{(s)0} < \infty$ ;  $\sum_{s=0}^{\infty} \rho_s^2 < \infty$ ;

$$\sum_{s=0}^{\infty} \rho_s l_s = \infty.$$

Тогда почти для каждого  $\omega$  последовательность  $x^{(s)}(\omega)$  сходится к решению задачи  $\min_{x \in K} \varphi(x)$ .

Заметим, что  $M(\|\xi^{(s)}\|^2 | x^{(0)}, x^{(1)}, \dots, x^{(s)})) = \sum_{i=1}^n D(\xi_i^{(s)} | x^{(0)}, \dots, x^{(s)}) + \dots + a_s^2 \|\varphi_x(x^{(s)})\|^2 + 2a_s (\varphi_x(x^{(s)}), m^{(s)}) + \|m^{(s)}\|^2$ .

Отсюда следует, что если сумма дисперсий компонент вектора  $\xi(s) = \{\xi_1^{(s)}\}$  и  $\|\varphi_x(x^{(s)})\|$  ограничены на  $K$ , то  $h_s = \text{const}$  и условие (11) выполняется.

При явно заданном множестве  $K$  процесс (8) может быть использован для решения двухэтапной задачи стохастического программирования.

Заметим, что субградиент в точке  $x_0$  целевого функционала детерминированной задачи, эквивалентной двухэтапной задаче стохастического программирования, равен  $\varphi_x(x_0) = M\{\beta - \gamma^*(A, b, x_0)A\}$  [2].

Поэтому для вычисления предварительного плана  $x^*$  двухэтапной задачи или, что то же самое, решения эквивалентной детерминированной задачи

$$\min_k f(x) = \min_k M\{\beta(x^* - x(\omega, t)) + \gamma^*(F, b(\omega, t)x(\omega, t))(b(\omega, t) - Ax(\omega, t))\}. \quad (12)$$

Предложим следующий алгоритм решения задачи (12), при выполнении условий (6) и (7).

Выберем последовательности  $\rho_s$  и  $\gamma_s$ , удовлетворяющие условиям теоремы 1. В нашем случае  $a_s = 1$ ,  $m^{(s)} = 0$ , и, следовательно,  $l^{(s)} = 0$ .

Пусть на  $s$ -м шаге вычислен вектор  $x^{(s)}$  – очередное приближение предварительного плана двухэтапной задачи. Для получения  $(s+1)$ -го приближения следует:

а) выбирать в соответствии с заданной вероятностной мерой случайную реализацию параметров условий задачи

$$A^{(s)} = A(\omega^{(s)}), \quad b^{(s)} = b(\omega^{(s)}), \quad \beta^{(s)} = \beta(\omega^{(s)});$$

б) вычислить решение  $\gamma^*(A^{(s)}, b^{(s)}, x^{(s)})$  задачи, двойственной к задаче второго этапа, при  $x = x^{(s)}$ ,  $A = A^{(s)}$ ,  $b = b^{(s)}$ ;

в) определить  $x^{(s+1)}$  по формуле (8). При этом  $\xi^{(s)} = \beta^{(s)} - \gamma^*(A^{(s)}, b^{(s)}, x^{(s)})A^{(s)}$ .

В соответствии с теоремой 1 указанный процесс приводит с вероятностью 1 к решению двухэтапной задачи.

Обратим внимание, что в ряде случаев при явно заданном множестве  $K$  вычисление оператора проектирования  $\pi_k(x)$ , и, следовательно, определение  $x^{(s+1)}$  может быть существенно упрощено. Рассмотрим несколько таких случаев.

1. Пусть  $K = \{x | x \geq 0\}$ . В этом случае решение задачи (10), как легко видеть, записы-

вается в следующем виде:  $y^s = \pi_k(x) = \max\{0, x\}$ .

Поэтому процесс (8) при  $K = \{x | x \geq 0\}$  имеет вид

$$x^{(s+1)} = \max\{0, x^{(s)} - \rho_s \gamma_s \xi^{(s)}\}. \quad (13)$$

2. Пусть  $K = \{x | \alpha_j \leq x_j \leq \beta_j\}$ . Видно, что в этом случае итеративный процесс (8) принимает вид

$$x_j^{(s+1)} = \begin{cases} \alpha_j, & \text{если } x_j^{(s)} - \rho_s \eta_s \xi_j^{(s)} \leq \alpha_j; \\ x_j^{(s)} - \rho_s \eta_s \xi_j^{(s)}, & \text{если } \alpha_j < x_j^{(s)} - \rho_s \eta_s \xi_j^{(s)} < \beta_j; \\ \beta_j, & \text{если } x_j^{(s)} - \rho_s \eta_s \xi_j^{(s)} \geq \beta_j. \end{cases} \quad (14)$$

3. Пусть  $K = \{x | Qx = g\} = \{x | (q^{(i)}, x) = g_i, i = 1, \dots, m\}$ , где векторы  $q^{(1)}, \dots, q^{(m)}$  – строки матрицы  $Q$  – линейно независимы.

В этом случае задача (10) записывается в виде

$$(x - y, x - y) \rightarrow \min \quad (15)$$

$$(q^{(i)}, y) = g_i, i = 1, \dots, m. \quad (16)$$

Решение этой задачи (по методу Лагранжа) определяет оператор проектирования  $y^* = \pi_k(x) = x - \sum_{i=1}^m \lambda_i q^{(i)}$ , где  $\lambda_i$  – множители Лагранжа.

Поэтому процесс (8) принимает вид

$$x^{(s+1)} = \pi_k(x^{(s)} - \rho_s \eta_s \xi^{(s)}) = x^{(s)} - \rho_s \eta_s \xi^{(s)} - \sum_{i=1}^m \lambda_i q^{(i)}. \quad (17)$$

Умножая обе части равенства скалярно на  $q^{(j)}$  и учитывая, что  $x^{(s+1)}$  и  $x^{(s)}$  – точки множества  $K$ , получаем систему линейных уравнений, определяющих множители Лагранжа  $\lambda_i$ ,

$$\rho_s \eta_s (\xi^{(s)}, d^{(j)}) = - \sum_{i=1}^m \lambda_i (d^{(i)}, d^{(j)}), \quad j = 1, \dots, m. \quad (18)$$

4. Пусть  $K = \{x | g(x) \leq 0\}$ , где  $g(x)$  – выпуклая дифференцируемая функция. Задача (10), определяющая оператор проектирования, имеет в этом случае решение

$$y = \pi_k(x) = \begin{cases} x, & \text{если } g(x) \leq 0, \\ \tilde{x}, & \text{если } g(x) > 0, \end{cases} \quad (19)$$

где  $\tilde{x}$  вычисляется из условий  $x = \tilde{x} + \lambda \frac{qg(\tilde{x})}{qx}$ ;  $\lambda \geq 0$ ;  $g(\tilde{x}) = 0$ .

Приведенный результат непосредственно следует из принципа оптимальности для задач выпуклого программирования.

Процесс (8) при  $K = \{x | g(x) \leq 0\}$  принимает вид

$$x^{(s+1)} = \begin{cases} x^{(s)} - \rho_s \eta_s \xi^{(s)}, & \text{если } g(x^{(s)} - \rho_s \eta_s \xi^{(s)}) \leq 0, \\ \tilde{x}, & \text{если } g(x^{(s)} - \rho_s \eta_s \xi^{(s)}) > 0, \end{cases} \quad (20)$$

где  $\tilde{x}$  вычисляется из условий  $x^{(s)} - \rho_s \eta_s \xi^{(s)} = \tilde{x} + \lambda \frac{qg(\tilde{x})}{dx}$ ;  $\lambda \geq 0$ ;  $g(\tilde{x}) = 0$ .

В частности, если ограничение  $g(x) \leq 0$  линейно,  $(\alpha, x) \leq \alpha$ , то  $\tilde{x} = x^{(s)} - \rho_s \eta_s \xi^{(s)} - \lambda \alpha$ , где  $\lambda$  вычисляется из условий  $(\alpha, \tilde{x}) = \alpha$ .

Если ограничение  $g(x) \leq 0$  имеет вид  $\|x\| \leq \alpha$ , то  $\tilde{x} = \frac{\alpha(x^{(s)} - \rho_s \eta_s \xi^{(s)})}{\|x^{(s)} - \rho_s \eta_s \xi^{(s)}\|}$ .

5. Пусть  $K$  – выпуклый многогранник  $K = \{x \mid Qx \leq q\}$ . В этом случае вычисление оператора проектирования сводится к решению задачи квадратичного программирования

$$\|x - y\|^2 \rightarrow \min, \quad (21)$$

$$Qy \leq q. \quad (22)$$

И итерационный процесс (8) требует на каждом шаге решения задачи квадратичного программирования

$$x^{(s+1)} = \min_{Qy \leq q} \|x^{(s)} - \rho_s \eta_s \xi^{(s)} - y\|^2. \quad (23)$$

Еще одним из возможных методов решения двухэтапной стохастической задачи планирования инновационного развития университета является метод Келли, предполагающий возможность вычисления  $Mf((x, A, b) = M\{\gamma^*(A, b, x)(b - Ax)\})$  по заданной величине  $x$  и известным стохастическим характеристикам случайных параметров условий задачи.

Метод основан на общих свойствах детерминированной задачи, эквивалентной двухэтапной стохастической задаче, и на идее выпуклого программирования. Эквивалентная детерминированная задача имеет вид:

$$\min_{x \in K} Q(x) = \min_{x \in K} \{\bar{\beta}(x^* - \bar{x}(\omega, t)) + MQ(x, A, b)\} \quad (24)$$

или

$$\bar{\beta}(x^* - \bar{x}(\omega, t)) + M[\gamma^*(A, b, x)(b - Ax)] \rightarrow \min, \quad (25)$$

$$x \in K. \quad (26)$$

Задача (25), (26) может быть переписана в виде

$$v \rightarrow \min, \quad (27)$$

$$M\{\beta(x^* - x(\omega, t)) + \gamma^*(A, b, x_0)(b - Ax)\} \leq v, \quad x \in K. \quad (28)$$

Пусть  $x^0 \in K$ . Рассмотрим задачу

$$v^{(1)} \rightarrow \min; \quad (29)$$

$$M\{\beta(x^* - x(\omega, t)) + \gamma^*(A, b, x^0)(b - Ax)\} \leq 0; \quad (30)$$

$$x \in K. \quad (31)$$

Пусть  $K$  – выпуклое многогранное множество, тогда задача (29) – (31) не вызывает трудностей. В общем случае, когда  $K$  выпуклое, но немногогранное множество, рассматриваемый здесь метод не является эффективным и может быть использован лишь для качественного анализа задачи, притом, что  $K$  – ограниченное множество. Теперь пусть  $x^i$  – решение задачи (29) – (31). На второй итерации решается задача

$$v^{(2)} \rightarrow \min ; \quad (32)$$

$$M[\beta(x^* - x(\omega, t)) + \gamma^*(A, b, x^0)(b - Ax)] \leq v, \quad (33)$$

$$M[\beta(x^* - x(\omega, t)) + \gamma^*(A, b, x^1)(b - Ax)] \leq v, \quad x \in K. \quad (34)$$

Пусть оптимальный план этой задачи  $x^i$ .

На  $k$ -й итерации решается задача

$$v^{(k)} \rightarrow \min ; \quad (35)$$

$$M[\beta(x^* - x(\omega, t)) + \gamma^*(A, b, x^i)(b - Ax)] \leq v; \quad i = 0, 1, \dots, k-1; \quad x \in K. \quad (36)$$

Метод Келли показал, что  $\lim_{k \rightarrow \infty} f(x^k) = \min_{x \in K} f(x)$ , хотя  $\lim_{k \rightarrow \infty} x^k$  не обязательно является

оптимальным планом задачи.

Рассмотрим возможный вариант применения метода возможных направлений к решению двухэтапной задачи линейного стохастического программирования. Потребуем существования и непрерывности градиента целевой функции эквивалентной детерминированной задачи. Для этого достаточно, чтобы вероятностная мера была абсолютно непрерывна относительно меры Лебега. Также будем предполагать возможность вычисления всех математических ожиданий, значения которых используются в излагаемом ниже алгоритме. Тогда эквивалентная детерминированная задача к (25), (26) может быть записана в виде

$$f(x) = M\{\beta(x^* - x(\omega, t)) + \gamma^*(A, b, x)(b - Ax)\} \rightarrow \min, \quad x \in K \quad (37)$$

или

$$f_i(x) = M\{(\beta - qB + A)x + u^*(A, b, x)B + (Ax - b)\} \rightarrow \min, \quad x \in K, \quad (38)$$

причем  $f(x)$  и  $f_i(x)$  отличаются на постоянную величину.

В принятых предположениях функция  $f(x)$  обладает градиентом

$$\nabla_x f(x) = M\{\beta - \gamma^*(A, b, x)A\} \quad (39)$$

или, что то же самое

$$\nabla_x f(x) = M\{\beta - qB + A + u^*(A, b, x)B + A\}. \quad (40)$$

Рассмотрим следующий итеративный алгоритм решения задачи  $\min_{x \in K} f(x)$ , где  $K$  – компактное множество.

Шаг 1. Выбираем  $x_0 \in K$ .

В случае, когда  $K = K_1$ , шаг не представляет труда. В качестве  $x_0$  выбирается любой вектор, удовлетворяющий условиям  $A^{(1)}x_0 = b^{(1)}$ ,  $x_0 \geq 0$ .

Шаг 2. Вычисляем

$$\eta_k = \min_{x \in K} \{x \nabla_x f(x_k)\}. \quad (41)$$

Шаг 3. Если  $\eta_k = x_k \nabla_x f(x_k)$ , то  $x_k$  является решением задачи. Пусть  $\eta_k < x_k \nabla_x f(x_k)$ . Обозначим через  $\tilde{x}_k$  решение задачи (41). Переходим к шагу 4.

Шаг 4. Вычислим

$$\min_{\lambda} f(\lambda x_k + (1-\lambda)\tilde{x}_k), \quad 0 \leq \lambda \leq 1. \quad (42)$$

Обозначим решение этой задачи через  $\lambda_k$ . Очередное приближение предварительного плана  $x$  двухэтапной стохастической задачи определяется по формуле

$$x_{k+1} = \lambda_k x_k + (1-\lambda_k)\tilde{x}_k. \quad (43)$$

Переходим к шагу 2. Будем рассматривать двухэтапные задачи, в которых  $K_1 \subset K_2$ ,  $K_1$  - ограничено и не пусто, задача второго этапа имеет конечное решение, вероятностная мера абсолютно непрерывна относительно меры Лебега и математические ожидания случайных параметров условий задачи существуют.

Имеет место следующее утверждение.

**Теорема 2.** Последовательность  $f(x_k)$  сходится к оптимальному значению целевой функции детерминированной задачи, эквивалентной двухэтапной стохастической задаче линейного программирования. Последовательность  $\{x_k\}$  содержит сходящуюся подпоследовательность. Каждая сходящаяся подпоследовательность из  $\{x_k\}$  сходится к оптимальному предварительному плану  $x^*$  двухэтапной стохастической задачи.

Нужно сказать, что общие методы решения двухэтапной задачи стохастического программирования достаточно трудоемки.

Трудности численного анализа двухэтапной задачи возрастают, если нет явного выражения для множества  $K$  предварительных планов задачи. Один из подходов к приближенному анализу решения двухэтапной задачи заключается в оценке оптимального значения ее целевой функции. Двухэтапной задаче приводятся в соответствие детерминированные задачи и оптимальные значения показателей, качества которых оценивают сверху и снизу целевую функцию стохастической задачи на оптимальном предварительном плане  $x^*$ .

Теперь зафиксируем реализацию случайных параметров условий двухэтапной задачи линейного стохастического программирования. Получим детерминированную линейную задачу:

$$\beta(x^*) - x(\omega, t) + qy \rightarrow \min; \quad (44)$$

$$Ax + By = b; \quad (45)$$

$$A^{(1)}x = b^{(1)}; \quad (46)$$

$$x \geq 0, \quad y \geq 0. \quad (47)$$

Будем рассматривать лишь  $x \in K$ . Пусть  $f(x, A, b, v) = \min(vx + qy)$ .

Обозначим через  $f_1^*$  минимальное (при  $x \in K$ ) значение целевой функции  $f(x, A, b, v)$ , соответствующее двухэтапной задаче, в которой случайные параметры условий заменены своими математическими ожиданиями. Пусть этот минимум достигается при  $x = x_0 = x^*(\bar{A}, \bar{b}, \bar{v})$ . Таким образом,

$$f_1^* = f(x_0, \bar{A}, \bar{b}, \bar{v}) = f[x^*(\bar{A}, \bar{b}, \bar{v}), \bar{A}, \bar{b}, \bar{v}]. \quad (48)$$

Обозначим через  $f_2^*$  математическое ожидание оптимального значения  $f(x, A, b, v)$  по всевозможным реализациям случайных параметров условий задачи  $f_2^* = M \min_{x \in K} f(x, A, b, v)$ .

Введем, наконец, еще величину  $f_3^* = Mf[x^*(\bar{A}, \bar{b}, \bar{v}), A, b, v]$ , которая представляет собой математическое ожидание оптимального значения целевой функции стохастической задачи при условии, что в качестве предварительного плана выбран вектор  $x^*(\bar{A}, \bar{b}, \bar{v})$ .

Величины  $f_1^*$  и  $f_3^*$  вычисляются без труда в результате решения соответствующих задач линейного программирования. Эти величины позволяют оценить оптимальное значение  $f^*$  целевой функции двухэтапной задачи стохастического программирования 
$$f^* = \min_{x \in K} Mf(x, A, b, v).$$

Имеет место следующее утверждение.

Теорема 3.  $f_1^* \leq f^* \leq f_3^*$ .

Задача двухэтапного стохастического программирования, вообще говоря, не может быть точно решена, если заменить случайные параметры условий их математическими ожиданиями. Можно указать достаточные условия, при которых замена допустима.

Теорема 4. Замена допустима, если случайным является только вектор ограничений и если функцию  $f(x, A, b)$ , определяющую показатель качества решения эквивалентной детерминированной задачи (25), (26), можно представить в виде 
$$f(x, A, b) = f^1(x, A)b + f^2(A, d) + f^3(x, A).$$

Вычисление величин  $f_1^*$ ,  $f_2^*$  и  $f_3^*$  связано с существенно менее трудоемкими расчетами, чем решение задачи двухэтапного стохастического программирования. Разности  $f_3^* - f_1^*$  и  $f_3^* - f_2^*$  характеризуют погрешности, которые могут быть получены, если заменить решение стохастической задачи вычислением оптимальных планов более простых детерминированных задач.

Приведенные вычислительные методы нахождения решения двухэтапной стохастической задачи планирования инновационного развития университета могут быть также использованы для стохастических задач принятия технических, стратегических, экономических, социальных, политических и других видов решений, рассматриваемых в два этапа.

#### Список литературы

1. Быкова И.Ю. Исследование проблем принятия решения в условиях неполноты информации. – СПб.: СПбГУ, 1999. – 24с.
2. Юдин Д.Б. Задачи и методы стохастического программирования. – М.: Советское радио, 1979. – 367 с.

Получено 15.10.09

УДК 338+519.6(519.8)

**С.А. Нурбаева, И.Ю. Быкова**  
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

**ПОСТРОЕНИЕ РЕКУРРЕНТНЫХ АПОСТЕРИОРНЫХ РЕШАЮЩИХ ПРАВИЛ ДЛЯ СТОХАСТИЧЕСКОЙ  
МОДЕЛИ ПЛАНИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ УНИВЕРСИТЕТА**

В современных условиях преодоления мирового финансового кризиса и выработки стратегии на устойчивое развитие экономической и политической жизни страны перед высшей школой стоит задача не только выживания, но и выбора дальнейшего пути развития образовательной системы, направленной на выпуск востребованных, конкурентоспособных специалистов.

Инновационная деятельность в вузе является показателем того, что в условиях перехода к устойчивому развитию в РК необходимо гибко реагировать на потребности рыночной экономики, управления, промышленности, социальной сферы.

Это, в свою очередь, требует разработки и внедрения новых ресурсов для подготовки не только конкурентоспособных специалистов, но и специалистов, следующих принципу «образование на протяжении всей жизни» [2]. Для осуществления намеченных целей необходимо провести внутренние и внешние стратегические преобразования не только высших учебных заведений, но и всей системы образования.

Стратегические преобразования затрагивают все сферы деятельности университета и интересы всех категорий сотрудников, студентов, преподавателей, а также потребителей выпускников вузов. Поэтому все они находят отражение в стратегическом планировании, в формировании комплексных, всеобъемлющих программ развития вуза [3].

Основной особенностью стратегического плана развития вуза является то, что он охватывает все направления деятельности вуза (образовательную, организационно-экономическую, научно-исследовательскую, производственно-хозяйственную, финансовую и другие) и все этапы функционирования (профориентацию, формирование контингента, обучение, трудоустройство специалистов и т.д.). План формируется на всех направлениях и этапах, исходя из заданных целей, конечных результатов, характеризуется высокой концентрацией и тесной связью каждого вида ресурсов с его целевым назначением, определенным через конечные программные продукты.

Так, выбрав путь инновационного развития, Восточно-Казахстанский государственный технический университет разработал стратегический план осуществления поставленных целей. Процесс стратегического планирования инновационного развития можно представить в виде модели, которая должна учитывать возможность корректировки плана при проведении тех или иных мероприятий и учитывать вероятностную среду воздействия внутренних и внешних факторов на процесс планирования. Поэтому модель стратегического планирования инновационного развития университета целесообразно рассматривать в стохастической постановке в виде многоэтапной стохастической модели.

Введем некоторые понятия, необходимые для формальной постановки многоэтапной задачи стохастического программирования.

Пусть  $\Omega_i$ ,  $i = 0, 1, \dots, n$  – некоторые множества-пространства элементарных событий (состояний природы)  $\omega_i$  на  $i$ -м этапе. Пространство  $\Omega_0$  состоит из единственного элемента  $\omega_0$ . Обозначим через  $\Omega^k$  декартово произведение  $\Omega_i$ ,  $i = 1, \dots, k$ ,  $\omega^k = (\omega_1, \dots, \omega_k)$ ;  $\Omega^n = \Omega$ . Пусть на  $\Omega$  задана вероятностная мера  $P$ . Вероятностная мера  $P^k$  на  $\Omega^k$  определяется следующим образом: если  $A \subset \Omega^k$ , то  $P^k(A) = P(A \cdot \Omega_{k+1} \cdot \dots \cdot \Omega_n)$ . Наконец,  $P_k$  есть условная вероятностная мера на  $\Omega_k$ : для любых  $A \subset \Omega_k$ ,  $B \subset \Omega^{k-1}$

$$P_k(A | \omega^{k-1} \in B) = \frac{P^k(A \cdot B)}{P^k(\Omega_k \cdot B)}, \quad (\Omega, \Sigma, P) - \text{вероятностное пространство}; \quad \Sigma - \text{соответст-}$$



вующая  $\sigma$  – алгебра.

Рассмотрим последовательность множеств  $x_0, x_1, \dots, x_n$  произвольной структуры  $x_k \in X_k$ ,  $k = 0, 1, \dots, n$ . Множество  $X_0$  состоит из одной точки  $x_0$ . Обозначим через  $X^k$  декартово произведение  $X_i$ ,  $i = k_1, \dots, k$ ,  $x^k = (x_1, \dots, x_k) \in X^k$ ,  $X^n = X$ .

Пусть для каждого  $\omega^k \in \Omega^k$  и  $x^k \in X^k$ ,  $k = 1, \dots, n$ , задана вектор-функция  $\varphi_k(\omega^k, x^k)$  размерности  $m_k$ ; а на множестве  $X$  для каждого  $\omega \in \Omega$  задан функционал  $\varphi_0(\omega^n, x^n)$ . Пусть, кроме того,  $G_k^0 = G_k^0(\omega^k)$ ,  $k = 1, \dots, n$  некоторые, вообще говоря, случайные множества, а  $b_1(\omega^{k-1}) - m_k$  – мерные случайные величины – ограниченные измеримые вектор-функции от  $\omega^{k-1}$ . Соответственно  $b^k(\omega^{k-1}) - \sum_{i=1}^k m_i$  – мерная вектор-функция. Будем считать, что  $b^k(\omega^{k-1})$  принадлежит некоторому банахову пространству. Будем его обозначать через  $B_k$ .

Обозначим, кроме того, через  $M_{\omega_k} \{u(\omega^k) | \omega^{k-1}\}$  (условное математическое ожидание  $u(\omega^k)$ ) в предположении, что известна реализация  $\omega^{k-1}$ .

Введенные понятия и обозначения позволяют сформулировать общую схему многоэтапной задачи стохастического программирования с условными статистическими ограничениями.

Обозначим через

$$\begin{aligned} \varphi_0(\omega^n, x^n(\omega^n, t)) &= \sum_{i=1}^m \beta_i^n (x_i^* - x_i^n(t, \omega^n)); \\ \varphi_k(\omega^k, x^k(\omega^k, t)) &= AX(\omega^k, t); \\ b_k(\omega, t) &= \left\{ \begin{array}{l} -d_i(\omega^k, t) \\ x_i(\omega^k, t-1) + S_i(\omega^k, t) + C_i(\omega^k, t) \end{array} \right\}, \end{aligned}$$

где  $X_i^*$  – эталонные показатели достижения стратегического развития университета; через  $X_i$  – текущее состояние достижения выполнения критерия по стратегическому развитию университета по оценке эксперта;  $i$  – номер критерия оценки стратегического развития университета,  $t$  – период планирования;  $m_i$  – количество полученных экспертных оценок по  $i$ -му критерию;  $d_i$  – пороговая величина  $i$ -го критерия оценки стратегического развития университета;  $S_i(t)$  – эффект от проводимых мероприятий в университете, согласно стратегическому плану;  $C_i$  – воздействие внешней среды.

Тогда многоэтапная стохастическая задача планирования инновационного развития университета с условными статистическими ограничениями примет вид:

$$M_{\omega^n} \varphi_0(\omega^n, x^n(\omega^n, t)) \rightarrow \inf; \quad (1)$$

$$M_{\omega_k} \{\varphi_k(\omega^k, x^k(\omega^k, t)) | \omega^{k-1}\} \geq b_k(\omega^{k-1}, t), \quad k = 1, \dots, n; \quad (2)$$

$$x \geq 0; \quad \omega \in \Omega. \quad (3)$$

Будем вычислять апостериорные решающие правила [1], т.е. определять решение сре-

ди случайных величин  $x^n(\omega^n t) = (x_1(\omega^1, t), \dots, x_n(\omega^n, t))$ .

Будем по-прежнему обозначать через  $p^i$  вероятностную меру на  $\Omega_i$ , определенную следующим образом:

Если  $A \subset \Omega^i$ , то  $p^i(ZA) = p(A \cdot \Omega_{i+1} \cdot \dots \cdot \Omega_n)$ , а через  $p_i$  – условную вероятностную меру на  $\Omega_i$ : для всяких  $A \subset \Omega_i$ ,  $B \subset \Omega^{i-1}$   $p_i(A | \omega^{i-1} \in B) = \frac{p^i(A \cdot B)}{p^i(\Omega_i \cdot B)}$ .

Меру  $p^n$  будем предполагать непрерывной.

Переформулируем задачу (1) – (3) в интегральной форме.

Требуется минимизировать

$$\int_{\Omega_n} \varphi_0(\omega^n, x_1(\omega^1, t), x_2(\omega^2, t), \dots, x_n(\omega^n, t)) dp^n \quad (4)$$

на совокупности измеримых отображений  $x^n(\omega^n, t) = (x_1(\omega^1, t), \dots, x_n(\omega^n, t))$ ,  $x_i(\omega^i, t) : \Omega^i \rightarrow X_i$ , удовлетворяющих условиям

$$\int_{\Omega_i} \varphi_i(\omega^i, x_1(\omega^1, t), \dots, x_i(\omega^i, t)) dp_i \geq b_i(\omega^{i-1}), \quad i = 1, \dots, n. \quad (5)$$

Будем предполагать, что  $b_i(\omega^{i-1})$  – ограниченные измеримые вектор-функции. Введем  $\sum_{k=1}^i m_k$  – мерные вектор-функции  $b^1(\omega^{i-1}, t) = (b_1, t, b_2(\omega^i, t), \dots, b_i(\omega_i(\omega^{i-1})))$  и определим, как и ранее, норму  $b^i(\omega^{i-1}, t)$  в соответствии с соотношением

$$\|b^i(\omega^{i-1}, t)\| = \max(|b_1|, \sup_{\omega^1} |b_2(\omega^1, t)|, \dots, \sup_{\omega^{i-1}} |b_i(\omega^{i-1}, t)|), \quad (6)$$

где  $|b_j|$  – евклидова норма вектора  $b_j$  в  $m_j$ -мерном евклидовом пространстве. Совокупность всех таких вектор-функций образует банахово пространство. Обозначим его через  $B_i$ . Каждому вектору-функции  $b^n(\omega^{n-1} \in B_n)$  соответствует своя задача (4), (5). Обозначим через  $S(b^n(\omega^{n-1}))$  – нижнюю грань целевого функционала этой задачи в зависимости от правой части ограничений (5). Заметим, что  $S(b^n(\omega^{n-1}, t))$  – функция на  $B_n$ .

Зафиксируем  $\omega^{k-1}$ ,  $x^{k-1}(t)$ ,  $b_k(t) \in R_{m_k}$  и рассмотрим следующую задачу.

Требуется минимизировать

$$\int_{\Omega_k} \varphi_0(\omega^{k-1}, \omega_k, x^{k-1}(t), x_k(\omega^k, t)) dp_k \quad (7)$$

на совокупности всех измеримых отображений  $x_k(\omega^k) = x_k(\omega^{k-1}, \omega_k) : \Omega_{k-1} \times \Omega_k \rightarrow X_k$ , таких, что

$$\int_{\Omega_k} \varphi_k(\omega^{k-1}, \omega_k, x^{k-1}(t), x_k(\omega^k, t)) dp_k \geq b_k. \quad (8)$$

Обозначим нижнюю грань минимизируемого функционала в этой задаче через  $S_k(\omega^{k-1}, x^{k-1}, b_k)$ . Для последующих построений представляет интерес утверждение:

Теорема 1.  $S(b^k(\omega^{k-1}))$  совпадает с нижней гранью минимизируемого функционала в следующей задаче.

Требуется минимизировать

$$\int_{\Omega_{k-1}} S_k(\omega^{k-1}, x^{k-1}(\omega^{k-1}), b_k(\omega^{k-1})) dp^{k-1} \quad (9)$$

среди всех  $x^{k-1}(\omega^{k-1}) = (x_1(\omega^1), \dots, x_{k-1}(\omega^{k-1}))$ , таких, что

$$\int_{\Omega_i} \varphi_i(\omega^i, x^i(\omega^i)) dp_i \geq b_i(\omega^{i-1}), \quad i = 1, 2, \dots, k-1. \quad (10)$$

В самом деле, если  $x^k(\omega^k) = (x_1(\omega^1), \dots, x_k(\omega^k))$  удовлетворяет условиям (5), то

$$\int_{\Omega_k} \varphi_k(\omega^{k-1}, \omega_k, x^{k-1}(\omega^{k-1}), x_k(\omega^k)) dp_k \geq b_k(\omega^{k-1}).$$

Поэтому по определению  $S_k(\omega^{k-1}, x^{k-1}(\omega^{k-1}), b_k(\omega^{k-1})) \leq \int_{\Omega_k} \varphi_0(\omega^k, x^k(\omega^k)) dp_k$ .

Отсюда следует, что нижняя грань целевого функционала задачи (9), (10) не больше  $S(b^k(\omega^{k-1}))$ . С другой стороны, мы можем найти  $x^{k-1}(\omega^{k-1})$  так, чтобы выполнялось соотношение (8) и чтобы интеграл (9) отличался от нижней грани целевого функционала задачи (9), (10) не более чем на заданное  $\varepsilon > 0$ . Рассматривая для каждого  $\omega^{k-1}$  задачу (7), (8) с  $x^{k-1} = x^{k-1}(\omega^{k-1})$ , мы найдем  $x_k(\omega^k)$  такое, чтобы оно удовлетворило условию (8) и чтобы интеграл (7) отличался от интеграла (10) не более чем на  $\varepsilon$ . Тогда вектор-функция  $x^k(\omega^k) = (x^{k-1}(\omega^{k-1}), x_k(\omega^k))$  удовлетворяет условиям (5). Обозначая через  $S$  нижнюю грань целевого функционала задачи (9), (10), получаем

$$\begin{aligned} S(b^k(\omega^{k-1})) &\leq \int_{\Omega^k} \varphi_0(\omega^k, x^k(\omega^k)) dp^k = \int_{\Omega^{k-1}} \left\{ \int_{\Omega_k} \varphi_0(\omega^{k-1}, \omega_k, x^{k-1}(\omega^{k-1}), x_k(\omega^{k-1}, \omega_k)) dp_k \right\} \\ &\cdot dp^{k-1} \leq \int_{\Omega^{k-1}} [S_k(\omega^{k-1}, x^{k-1}(\omega^{k-1}), b_k(\omega^{k-1})) + \varepsilon] dp^{k-1} \leq S + \varepsilon. \end{aligned} \quad (11)$$

В силу произвольности  $\varepsilon$  устанавливаем, таким образом, искомое равенство  $S(b^k(\omega^{k-1}))$  и нижней грани минимизируемого функционала в задаче (9), (10).

Используя теорему 1 (или непосредственной проверкой), можно убедиться в справедливости следующего утверждения.

Теорема 2. При выпуклых по  $x$  функциях  $\varphi_0(\omega^n, x^n)$  и  $-\varphi_k(\omega^k, x^k)$ ,  $k = 1, \dots, n$ , функционал  $S(b^n(\omega^{n-1}))$  выпуклый.

При  $n = 1$  выпуклость  $S(b_1)$  следует из теоремы Ляпунова о векторных мерах [4]. Для справедливости утверждения при  $n = 1$  нет необходимости в допущении о выпуклости  $\varphi_0$  и  $-\varphi_1$ . При  $n > 1$  обеспечение выпуклости  $S(b^n(\omega^{n-1}))$  требует некоторых предположений о структуре целевой функции и ограничений задачи, например выпуклости  $\varphi_0$  и  $-\varphi_1$ ,  $k = 1, \dots, n$ .

Подчеркнем, что выпуклость  $\varphi_0$  и  $-\varphi_k$  по  $x$  достаточное, но отнюдь не необходимое

условие для выпуклости  $S(b^n(\omega^{n-1}))$ .

Для решения стохастической задачи инновационного развития университета (4), (5) построим апостериорные решающие правила.

Для этого построим задачу, двойственную к (4), (5), и рекуррентную последовательность решающих правил.

Рассмотрим следующую последовательность функций:

$$\begin{aligned} h_n(\lambda_n, \omega^n, x^{n-1}) &= \sup_{x_n \in X_n} [(\lambda_n, \varphi_n(\omega^n, x^{n-1}, x_n)) - \varphi_0(\omega^n, x^{n-1}, x_n)]; \\ H_n(\lambda_n, \omega^{n-1}, x^{n-1}) &= \int_{\Omega_n} h_n(\lambda_n, \omega^{n-1}, \omega_n, x^{n-1}) dp_n; \\ \bar{S}_n(\omega^{n-1}, x^{n-1}) &= \sup_{\lambda_n \geq 0} [(\lambda_n, b_n(\omega^{n-1})) - H_n(\lambda_n, \omega^{n-1}, x^{n-1})]; \\ h_{n-1}(\lambda_{n-1}, \omega^{n-1}, x^{n-2}) &= \sup_{x_{n-1} \in X_{n-1}} [(\lambda_{n-1}, \varphi_{n-1}(\omega^{n-1}, x^{n-2}, x_{n-1})) - \bar{S}_n(\omega^{n-1}, x^{n-2}, x_{n-1})]; \\ H_{n-1}(\lambda_{n-1}, \omega^{n-2}, x^{n-2}) &= \int_{\Omega_{n-1}} h_{n-1}(\lambda_{n-1}, \omega^{n-2}, \omega_{n-1}, x^{n-2}) dp_{n-1}; \\ \bar{S}_{n-1}(\omega^{n-2}, x^{n-2}) &= \sup_{\lambda_{n-1} \geq 0} [(\lambda_{n-1}, b_{n-1}(\omega^{n-2})) - H_{n-1}(\lambda_{n-1}, \omega^{n-2}, x^{n-2})]; \\ &\dots\dots\dots \\ h_k(\lambda_k, \omega^k, x^{k-1}) &= \sup_{x_k \in X_k} [(\lambda_k, \varphi_k(\omega^k, x^{k-1}, x_k)) - \bar{S}_{k+1}(\omega^k, x^k)]; \\ H_k(\lambda_k, \omega^{k-1}, x^{k-1}) &= \int_{\Omega_k} h_k(\lambda_k, \omega^{k-1}, \omega_k, x^{k-1}) dp_k; \\ \bar{S}_k(\omega^{k-1}, x^{k-1}) &= \sup_{\lambda_k \geq 0} [(\lambda_k, b_k(\omega^{k-1})) - H_k(\lambda_k, \omega^{k-1}, x^{k-1})]; \\ &\dots\dots\dots \\ h_1(\lambda_1, \omega_1) &= \sup_{x_1 \in X_1} [(\lambda_1, \varphi_1(\omega_1, x_1)) - \bar{S}_2(\omega_1, x_1)]; \\ H_1(\lambda_1) &= \int_{\Omega_1} h_1(\lambda_1, \omega_1) dp_1; \quad \bar{S}_1 = \sup_{\lambda_1 \geq 0} [(\lambda_1, b_1) - H_1(\lambda_1)]. \end{aligned}$$

Здесь символом  $(\cdot, \cdot)$  обозначается скалярное произведение в евклидовом пространстве, а неравенство  $\geq$  понимается в смысле обычного упорядочения относительно неотрицательного ортанта,  $\lambda_k = \{\lambda_{kj}\}$ ,  $k = 1, \dots, n$ ;  $j = 1, \dots, m_k$ .

Обозначим через  $\bar{S}(b^n(\omega^{n-1}))$  замыкание функции  $S(b^n(\omega^{n-1}))$  по норме пространства  $B_n$ , т.е.  $\bar{S}(b^n(\omega^{n-1}))$  есть наибольшая полунепрерывная снизу на  $B_n$  функция, не превосходящая  $S(b^n(\omega^{n-1}))$ . Тогда будет справедливым следующее равенство.

Теорема 3.  $\bar{S}_1 = \bar{S}(b^n(\omega^{n-1}))$ .

Здесь  $b^n(\omega^{n-1})$  – не переменный параметр, а в точности тот набор функций, который стоит в правых частях (5).

Действительно, в случае  $n = 1$  утверждение справедливо, равенство  $\bar{S}_1 = \bar{S}(b^n(\omega^{n-1}))$

является истинным [5]. Допустим, что теорема верна для  $n = k - 1$ , рассмотрим случай, когда  $n = k$ . Зафиксируем, как и  $\omega^{k-1}$ ,  $x^{k-1}$  и рассмотрим задачу (9), (10). Заметим теперь, что поскольку задача (6), (7) одноэтапная, то  $\bar{S}_k(\omega^{k-1}, x^{k-1})$  совпадает с  $\bar{S}_k(\omega^{k-1}, x^{k-1}, b_k(\omega^{k-1}))$ , где  $\bar{S}_k(\cdot, \cdot, \cdot)$  означает замыкание  $S_k(\cdot, \cdot, \cdot)$  по  $b_k(\cdot)$ .

Поэтому

$$\begin{aligned} h_{k-1}(\lambda_{k-1}, \omega^{k-1}, x^{k-2}) &= \sup_{x_{k-1} \in x_{k-1}} [(\lambda_{k-1}, \varphi_{k-1}(\omega^{k-1}, x^{k-2}, x_{k-1})) - S_k(\omega^{k-1}, x^{k-1})] = \\ &= \sup_{x_{k-1} \in x_{k-1}} [(\lambda_{k-1}, \varphi_{k-1}(\omega^{k-1}, x^{k-2}, x_{k-1})) - S_k(\omega^{k-1}, x^{k-1}, b_k(\omega^{k-1}))], \end{aligned}$$

т.е. значения  $S_{k-1}(\omega^{k-2}, x^{k-2})$  - вычисленные значения для задач (4), (5) и (9), (10), совпадают.

Следовательно, для них совпадают и все  $\bar{S}_i, i \leq k - 1$ . По индуктивному предположению, справедливому для задачи (9), (10),  $\bar{S}_1$  равно значению замыкания функции, равной нижней грани функционала (9) задачи (9), (10) в зависимости от правой части ограничения (10), в заданной точке  $b^{k-1}(\omega^{k-2})$ . Но, как видно из теоремы 1, эта функция в точности совпадает с  $S(b^n(\omega^{n-1}))$ . Отсюда следует требуемый результат.

Сформулируем рекуррентное решающее правило в виде достаточного условия оптимальности.

Теорема 4. Пусть существуют такие вектор-функции  $x^n(\omega^n) = (x_1(\omega_1), \dots, x_n(\omega^n))$  и  $\lambda_1, \lambda_2(\omega_1), \dots, \lambda_n(\omega^{n-1}) \geq 0$ , что удовлетворяются условия (5) (как равенства при  $\lambda_{ij}(\omega^{i-1}) \neq 0$ ) и

$$h_k(\lambda_k, \omega^k, x^{k-1}(\omega^{k-1})) = (\lambda_k, \varphi_k(\omega^k, x^k(\omega^k))) - \bar{S}_{k+1}(\omega^k, x^k), \quad (12)$$

где  $\bar{S}_{n+1}(\omega^n, x^n) = \varphi_0(\omega^n, x^n)$ , а остальные  $\bar{S}_k$  определяются, как и выше.

Тогда  $x^n(\omega^n)$  – решение задачи (4), (5).

Имеем

$$\begin{aligned} \int_{\Omega_n} \varphi_0(\omega^n, x^n(\omega^n)) dp^n &= \int_{\Omega_n} \bar{S}_{n+1}(\omega^n, x^n(\omega^n)) dp_n = - \int_{\Omega_n} h_n(\lambda_n(\omega^{n-1})) dp_n + \\ &+ \int_{\Omega_n} (\lambda_n(\omega^{n-1}), \varphi_n(\omega^n, x^n(\omega^n))) dp_n = -H_n(\lambda_n(\omega^{n-1}), \omega^{n-1}, x^{n-1}(\omega^{n-1})) + \\ &+ (\lambda_n(\omega^{n-1}), b_n(\omega^{n-1})) \leq \bar{S}_n(\omega^{n-1}, x^{n-1}(\omega^{n-1})). \end{aligned}$$

Поэтому

$$\begin{aligned}
\int_{\Omega_{n-1} \times \Omega_n} \varphi_0(\omega^n, x^n(\omega^n)) dp^n &\leq \int_{\Omega_{n-1}} \bar{S}_n(\omega^{n-1}, x^{n-1}(\omega^{n-1})) dp_{n-1} = \\
&= - \int_{\Omega_{n-1}} h_{n-1}(\lambda_{n-1}(\omega^{n-2}), \omega^{n-1}, x^{n-2}(\omega^{n-2})) dp_{n-1} + \\
&+ \int_{\Omega_{n-1}} \lambda_{n-1}(\omega^{n-1}), \varphi_{n-1}(\omega^{n-1}, x^{n-1}(\omega^{n-1})) dp_{n-1} = \\
&= -H_{n-1}(\lambda_{n-1}(\omega^{n-2}), \omega^{n-2}, x^{n-2}(\omega^{n-2})) + (\lambda_{n-1}(\omega^{n-2}), b_{n-1}(\omega^{n-2})) \leq \bar{S}_{n-1}(\omega^{n-2}, x^{n-2}(\omega^{n-2})), \\
&\dots\dots\dots \\
\int_{\Omega_k \times \dots \times \Omega_n} \varphi_0(\omega^n, x^n(\omega^n)) dp^n &\leq \int_{\Omega_k} \bar{S}_{k+1}(\omega^{k-1}, x^{k-1}(\omega^{k-1})) dp_k = \\
&= - \int_{\Omega_k} h_k(\lambda_k(\omega^{k-1}), \omega^k, x^{k-1}(\omega^{k-1})) dp_k + \int_{\Omega_k} (\lambda_k(\omega^{k-1}), \varphi_k(\omega^k, x^k(\omega^k))) dp_k = \\
&= -H_k(\lambda_k(\omega^{k-1}), \omega^{k-1}, x^{k-1}(\omega^{k-1})) + (\lambda_k(\omega^{k-1}), b_k(\omega^{k-1})) \leq \bar{S}_k(\omega^{k-1}, x^{k-1}(\omega^{k-1})), \\
&\dots\dots\dots \\
\int_{\Omega^n} \varphi_0(\omega^n, x^n(\omega^n)) dp^n &\leq \int_{\Omega_1} \bar{S}_2(\omega_1, x_1(\omega_1)) dp_1 = - \int_{\Omega_1} h_1(\lambda_1, \omega_1) dp_1 + (\lambda_1, b_1) \leq \bar{S}_1 \leq S(b^n(\omega^{n-1})).
\end{aligned}$$

Но с другой стороны,  $\int_{\Omega^n} \varphi_0(\omega^n, x^n(\omega^n)) dp^n \geq S(b^n(\omega^{n-1}))$ .

Итак,  $\int_{\Omega^n} \varphi_0(\omega^n, x^n(\omega^n)) dp^n = S(b^n(\omega^{n-1}))$ , т.е.  $x^n(\omega^n)$  – решение задачи (4), (5). Теорема доказана.

Подчеркнем, что в многоэтапных стохастических задачах с выпуклым функционалом  $\varphi_0(\omega^n, x^n)$  и вогнутыми составляющими вектор-функционал  $\varphi_k(\omega^k, x^k)$  и произвольной мерой  $p^n$ , так же как и в задачах с непрерывной мерой  $p^n$  и произвольными функционалами  $\varphi_0$  и  $\varphi_k$ , оптимальные значения целевых функционалов на чистых и смешанных апостериорных стратегиях совпадают. Это значит, что для решения таких задач можно ограничиться построением оптимальных апостериорных решающих правил. Необходимость в построении оптимальных апостериорных решающих распределений в этом случае отпадает.

Таким образом, построенные рекуррентные апостериорные решающие правила для исходной многоэтапной стохастической модели планирования инновационного развития университета позволяют находить наилучшие значения функционала модели с учетом вносимых корректировок решений на каждом этапе планирования.

#### Список литературы

1. Быкова И.Ю. Исследование проблем принятия решения в условиях неполноты информации. – Санкт-Петербург: СПбГУ, 1999. – 24 с.
2. Тотальный менеджмент качества в высшем образовании / Под ред. Каланова Ш.М., Бишимбаева В.К. – Астана: Фолиант, 2006. – 476 с.
3. Трансформация технического вуза в инновационный университет: методология и практика / Под ред. д.т.н., проф. Г.М. Мутанова. – Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2007. – 480 с.
4. Юдин Д.В. Задачи и методы стохастического программирования. – М.: Советское радио, 1979. – 367 с.
5. Юдин Д.В. Математические методы управления в условиях неполной информации. – М.: Советское радио, 1974. – 400 с.

Получено 15.10.09

УДК 681.2 (075.8): 681.5(075.8): 006.91(075.8)

**А. П. Парамзин**

ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХКАНАЛЬНОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ  
С ПЕРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ**

Объектом исследования является автоматическая система, типичные структуры которой приведены на рис. 1. Обоснование выбора таких структур, приводимое во многих работах автора статьи, основано на необходимости создания систем, удовлетворяющих высоким требованиям к точности, стабильности и чувствительности в заданном диапазоне рабочих частот в статическом режиме работы. Диапазон рабочих частот устанавливается в пределах  $0 \div f_0$  Гц. При этом акцент делается на максимизацию глубины отрицательной обратной связи, определяемой из выражения  $\beta_1 K_1(p) \{1 + K_2(p)\}$ . Поскольку в контексте проводимого исследования соблюдается принцип суперпозиции и обе структуры считаются адекватными, то ограничимся только одной – левой.

Как было показано в [1], при скачкообразном изменении управляющего воздействия  $x(t)$  в системе возникает колебательный переходный процесс с большим перерегулированием (строчными буквами обозначены оригиналы). Если нагрузка системы чувствительна к перегрузкам, то перерегулирование недопустимо. В системе (рис. 1) с линейными характеристиками каналов апериодический характер переходного процесса может быть обеспечен только путём уменьшения глубины отрицательной обратной связи. Однако это решение противоречит основному назначению данной системы. Таким образом, возникает коллизия между значениями показателей качества в статическом и переходном режимах.

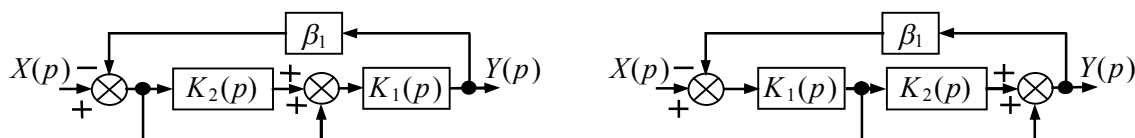


Рисунок 1 - Типичные структуры двухканальной автоматической системы:  $X(p)$  – входное воздействие,  $Y(p)$  – выходная переменная,  $K_1(p)$  – передаточная функция основного канала;  $K_2(p)$  – передаточные функции дополнительного канала;  $\beta_1$  – безынерционный делитель,  $p$  – оператор Лапласа

Примечание: для статического режима важны точность, стабильность и чувствительность; для переходного - быстродействие и минимум перерегулирования.

Целью данной статьи является изменение структуры системы (рис. 1), параметры которой должны адаптироваться к требованиям качества переходного процесса без снижения показателей точности и чувствительности.

Развиваемая автором статьи общая теория систем рассматриваемого класса требует,

чтобы свойства каналов систем со структурой (рис. 1) были эквивалентны либо свойствам инерционных звеньев, либо звеньев, скорректированных оптимально по Боде. Для решения поставленной задачи достаточно будет представить:

$$K_1(p) = K_{10}/B_1(p), \quad K_2(p) = K_{20}/B_2(p),$$

где  $K_{10}$  и  $K_{20}$  – статические коэффициенты передачи (усиления);

$B_1(p)$  и  $B_2(p)$  – полиномы оператора  $p$ .

С целью упрощения опустим оператор « $p$ » и обозначим  $K_1 = K_{10}/B_1$ ,  $K_2 = K_{20}/B_2$ ,  $X$ ,  $Y$ , тогда передаточная функция системы (рис. 1) примет вид

$$\frac{Y}{X} = \frac{K_1(K_2 + 1)}{1 + \beta_1 K_1(K_2 + 1)} = \frac{K_{10}(B_2 + K_{20})}{B_1 B_2 + \beta_1 K_{10}(B_2 + K_{20})}. \quad (1)$$

Согласно приведённой в [2] методике оптимального синтеза исследуемой системы наилучшие показатели качества в статическом режиме достигаются при условии, если полиномы  $B_1(p)$  и  $B_2(p)$  имеют второй порядок:

$$B_1(p) = (\tau p + 1)(\tau_3 p + 1); \quad B_2(p) = (\tau_1 p + 1)(\tau_2 p + 1), \quad (2)$$

где  $\tau$ ,  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_3$  – постоянные времени.

Условие (2) обеспечивается на этапе предварительного формирования передаточных функций  $K_1(p)$ ,  $K_2(p)$ , что позволяет ввести максимальную глубину отрицательной обратной связи.

После ввода весовых коэффициентов  $n_1 = \tau_1/\tau$ ,  $n_2 = \tau_2/\tau$ ,  $n_3 = \tau_3/\tau$ , получим:

$$B_1(p) = (\tau p + 1)(n_3 \tau p + 1); \quad B_2(p) = (n_1 \tau p + 1)(n_2 \tau p + 1). \quad (3)$$

Первоначально сопоставим протекающие в системе переходные процессы, как реакцию на скачкообразное изменение управляющего воздействия вида  $\{x(t) = 1(t), t \geq 0\}$ , при следующих значениях параметров системы (подробнее смотри в [1]):

вариант 1 (оптимальный):

$$\begin{aligned} f_0 = 1 &\rightarrow \tau = 0,159155; \\ Y(0)/X(0) = y(\infty)/x(\infty) &= 10; \\ n_1 = n_2 = n_3 &= 1; \\ \beta_1 K_{10} &= 100; \\ K_{20} &= 10. \end{aligned}$$

вариант 2 (неоптимальный):

$$\begin{aligned} f_0 = 1 &\rightarrow \tau = 0,159155; \\ Y(0)/X(0) = y(\infty)/x(\infty) &= 10; \\ n_1 = n_2 = n_3 &= 1; \\ \beta_1 K_{10} &= 100; \\ K_{20} &= 1. \end{aligned}$$

Значения параметров варианта 1 обеспечивают системе глубину обратной связи

$$20 \lg \{\beta_1 K_{10}(1 + K_{20})\} = 20 \lg \{100(1 + 10)\} \approx 61 \text{ дБ},$$

а значения параметров варианта 2 обеспечивают системе глубину обратной связи

$$20 \lg \{\beta_1 K_{10}(1 + K_{20})\} = 20 \lg \{100(1 + 1)\} \approx 46 \text{ дБ},$$

и по этому показателю второй вариант проигрывает первому.

Кривые переходных процессов представлены на рис. 2. Хотя переходный процесс варианта 2 затянут, но у него нет перерегулирования, и по этому показателю он предпочтительней варианта 1.



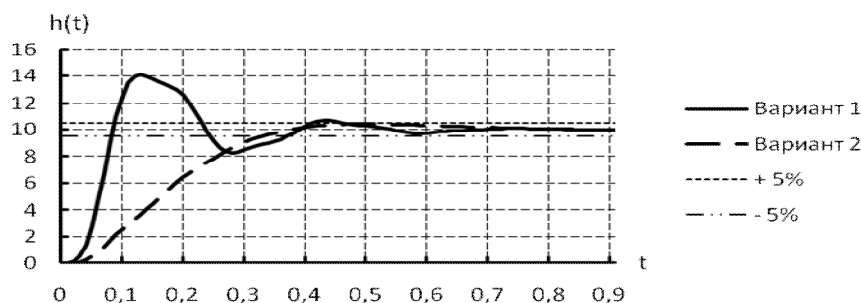


Рисунок 2 - Кривые переходных процессов вариантов 1 и 2

Гипотетический вид переходного процесса в рассматриваемой системе объединил положительные качества обоих рассматриваемых вариантов (рис. 3).

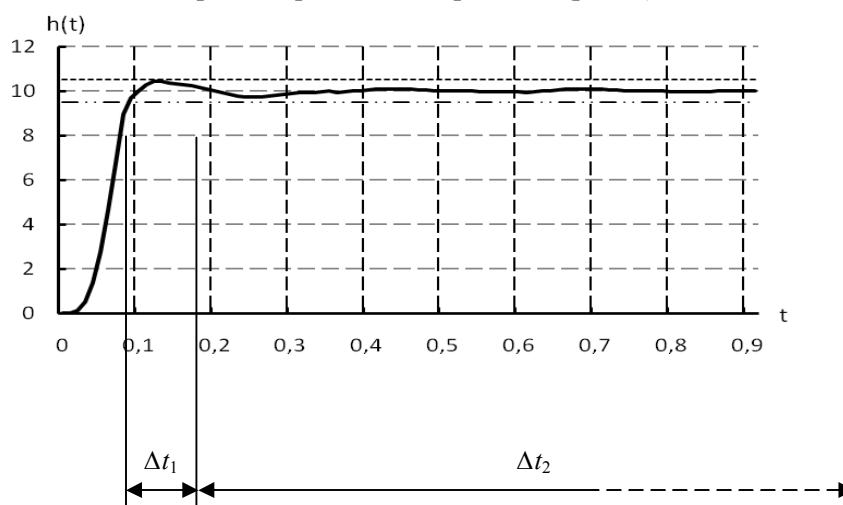


Рисунок 3 - Желаемый вид переходного процесса

На начальном этапе перехода системы из одного устойчивого состояния в другое должно обеспечиваться высокое быстродействие, что обусловлено целью создания подобных систем. Следовательно, до входа в зону допустимой погрешности (в данном случае взята зона  $\pm 5\%$  от значения  $y(\infty)/x(\infty) = 10$ ) параметры системы должны соответствовать варианту 1. На рис. 3 длительность данного этапа помечена как  $\Delta t_1$ .

В дальнейшем, на этапе длительностью  $\Delta t_2$  должен работать механизм корректировки значения  $K_{20}$  таким образом, чтобы не допускать выхода  $y(t)$  за пределы зоны допустимой погрешности. После затухания переходного процесса параметры системы должны соответствовать варианту 1 и обеспечивать требуемое качество в установившемся режиме.

Для формирования переходного процесса, подобного рис. 3, в состав системы (рис. 1) включен узел (рис. 4), функция которого – отслеживать в реальном масштабе времени изменения выходной величины  $y(t)$  и корректировать значение статического коэффициента передачи  $K_{20}$ .

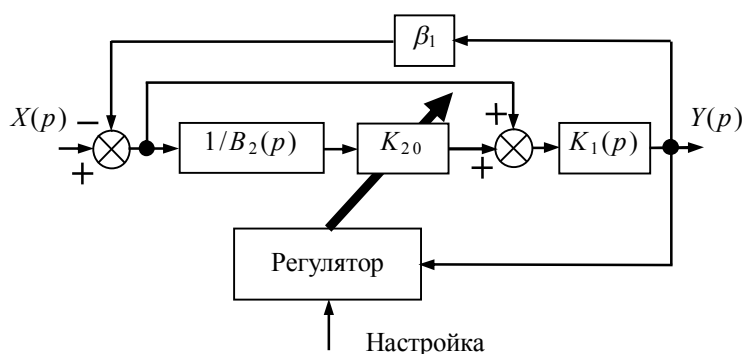


Рисунок 4 - Структура системы с переменным параметром

Таким образом, концептуально предложено решение изменения структуры системы рис. 1, которое позволяет реализовать максимальные значения показателей качества в статическом режиме при приемлемых показателях переходного процесса по управлению. Алгоритм функционирования встроенного в систему регулятора будет рассмотрен в следующих работах.

## Список литературы

1. Парамзин А.П. Исследование переходных процессов в автоматической системе с активным корректором // Вестник ВКТУ. – 2009. – № 2. – Усть-Каменогорск: ВКТУ, 2009.
2. Парамзин А.П. Оптимизация частотных характеристик в замкнутых системах аддитивной коррекции погрешностей по входу /А.П. Парамзин, В.М. Сергеев // Проблемы технического прогресса и экологии в строительстве и других отраслях экономики Казахстана: Сб. науч. тр. – Усть-Каменогорск: ВКТУ, 1998.

Получено 22.10.09

УДК 004.056

**Д.Ж. Сатыбалдина**  
ЕНУ, г. Астана**ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ИНФОРМАЦИОННЫМИ РИСКАМИ**

Применение информационных технологий, с одной стороны, дает значительные преимущества в деятельности предприятий и организаций, а с другой – потенциально создает предпосылки для утечки, хищения, утраты, искажения, подделки, уничтожения, копирования и блокирования информации и, как следствие, нанесение экономического, социального или других видов ущерба. Таким образом, проблема информационных рисков и нахождения путей снижения ущерба становится с каждым годом все острее. Разнообразие угроз и рисков диктует необходимость комплексного подхода к их минимизации, а масштаб бизнеса требует разработки новых инструментов эффективного управления рисками. В условиях интеграции экономики республики в мировую систему деятельность казахстанских предприятий окажется эффективной только в том случае, если они смогут отвечать самым высоким международным стандартам, в том числе стандартам управления рисками. В связи с этим является актуальным разработка методов и инструменталь-

ных средств управления рисками на основе мирового опыта в области процессов, процедур и стандартов качества функционирования.

В настоящей работе исследован подход в моделировании процессов нарушения информационной безопасности (ИБ) организации на основе классификации и оценки вероятности основных информационных угроз, источников их возникновения и уязвимостей автоматизированных систем управления рассматриваемого объекта информатизации. Данный процессный подход является основой построения автоматизированной информационной системы (АИС) управления информационными рисками.

Мировая практика управления рисками ИБ показала, что распространенным подходом к оценке и управлению рисками ИБ является подход, описанный Американским национальным институтом стандартов (National Institute of Standards and Technology – NIST) в документе SP 800-30 [1]. Методы оценки рисков ИБ представляют различные комбинации метода ранжирования угроз и метода анализа причин и последствий и носят качественный или количественный характер [2]. Методы количественного характера (например, RiscWatch, CRAMM и др.) выражают риски в числовых данных, т.е. ожидаемые потери в числовом эквиваленте (различные шкалы, денежное выражение), и вероятность или частоту этих потерь (например, ежегодные ожидаемые потери). Качественные методики и методы (например, КОНДОР+, COBRA, OCTAVE и др.) не имеют числовых оценок и обычно выражают мнение экспертов.

Многие организации для достижения непрерывного улучшения их деятельности в сфере деловых операций и управления рисками используют требования следующих стандартов и спецификаций, таких как ISO 9000 (Менеджмент качества), ISO 14001 (Экологический менеджмент), ISO 27001 (Менеджмент информационной безопасности) и др. Использование проверенной системы менеджмента в сочетании с регулярными последующими периодическими оценками дает организации возможность непрерывно обновлять свои цели, стратегию, работу и уровень услуг.

Для всех систем менеджмента имеется ряд общих инструментов и общих процессов, которые можно использовать при внедрении. В первую очередь, это касается использования «процессного подхода», основанного на систематической идентификации и управлении различными процессами, реализуемыми внутри организации, и, в особенности, взаимосвязи между такими процессами. В соответствии с процессным подходом, управление рисками – процесс циклический:

- выбор анализируемых объектов и уровня детализации их рассмотрения;
- выбор методики оценки рисков;
- идентификация активов;
- анализ угроз и их последствий, определение уязвимостей в защите;
- оценка рисков;
- выбор защитных мер;
- реализация и проверка выбранных мер;
- оценка остаточного риска.

Таким образом, суть работ по управлению рисками состоит в том, чтобы оценить их размер, выработать эффективные и экономичные меры по уменьшению этого размера и затем убедиться, что риски заключены в приемлемые рамки (и остаются таковыми). Следовательно, управление рисками включает в себя два вида деятельности, которые чередуются циклически: (пере)оценка (измерение) рисков и выбор эффективных и экономич-

ных защитных средств (нейтрализация рисков).

Данный процессный подход является основой построения АИС «ИТ\_Риск\_Менеджер». Система предназначена для построения моделей угроз, защиты от них, проведения анализа за возможных событий и оценки рисков в результате нарушений ИБ.

Основой разработки можно назвать технологии Microsoft .NET и ADO.NET. Для программирования использовался объектно-ориентированный язык C#. Средой разработки послужила Microsoft Visual Studio 2005.

В АИС «ИТ\_Риск\_Менеджер» созданы базы данных (БД) структурных моделей: метаклассы, классы, массивы угроз, массивы уязвимостей, меры защиты, требования к защите, средства защиты. Справочные базы данных (СБД) имеют возможность постоянно обновляться при появлении новой информации. В качестве хранилища вышеперечисленных и других данных используется БД реляционного типа.

Таким образом, входными данными для оценки рисков являются:

- информация по подразделениям (отделы);
- инвентаризация активов с указанием критичности;
- угрозы, действующие на активы;
- уязвимости, через которые реализуются угрозы;
- вероятность реализации угрозы через данную уязвимость;
- критичность реализации угрозы через данную уязвимость.

Основная база данных – справочник классов. Любой объект информационной системы позиционируется в ней через отнесение к тому или иному классу объектов. В справочник угроз попадают всевозможные угрозы нарушения ИБ. Упорядочивание и классификация угроз производятся путем их отнесения к определенному массиву угроз и отнесением этого массива угроз к определенному классу объектов. Одна и та же угроза может входить в несколько массивов угроз и может быть отнесена к нескольким классам объектов. СБД мер защиты содержит информацию по всем известным мерам защиты от угроз. СБД требований защиты содержит описание всех известных требований к защите средств и процессов информационных систем. Система обладает хорошими возможностями по обновлению и пополнению баз данных.

В основе метода лежит комплексный подход к оценке рисков, сочетая количественные и качественные методы анализа.

На первом этапе рассчитывается *уровень угрозы по уязвимости (Th)* на основе критичности и вероятности реализации угрозы через данную уязвимость. Расчет производится по формуле:

$$Th = \frac{PR}{10} \cdot \frac{P(V)}{100}, \quad (1)$$

где  $Th$  – уровень угрозы по уязвимости;  $PR$  – критичность реализации угрозы через данную уязвимость (указывается в уровнях от 1 до 10);  $P(V)$  – вероятность реализации угрозы через данную уязвимость (указывается в процентах).

Значение уровня угрозы по уязвимости получаем в интервале от 0 до 1. Чтобы рассчитать *уровень угрозы по всем уязвимостям (CTh)*, через которые возможна реализация данной угрозы на активе, просуммируем полученные уровни угроз через конкретные уязвимости по формуле (значения уровня угрозы по всем уязвимостям получим в интервале от 0 до 1):

$$CTh = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Th_i). \quad (2)$$

Аналогично, учитывая все угрозы, действующие на актив, рассчитываем *общий уровень угроз по активу* ( $CThR$ ):

$$CThR = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - CTh_i). \quad (3)$$

Значение общего уровня угроз по активу получим в интервале от 0 до 1.

*Риск по активу* ( $AR$ ) рассчитывается по формуле:

$$AR = CThR \cdot \frac{AD}{10}, \quad (4)$$

где  $AD$  – критичность актива (указывается в уровнях от 1 до 10).

В результате получим значение риска по активу в интервале от 0 до 1.

Аналогично, учитывая все активы, принадлежащие отделу, рассчитываем *общий уровень угроз по отделу* ( $PThR$ ):

$$PThR = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - CThR_i). \quad (5)$$

Значение общего уровня угроз по отделу получим в интервале от 0 до 1. *Риск по отделу* ( $PR$ ) рассчитывается по формуле:

$$PR = PThR \cdot \frac{PD}{10}, \quad (6)$$

где  $PD$  – критичность отдела (указывается в уровнях от 1 до 10).

В итоге получим значение риска по активу в интервале от 0 до 1.

*Риск по проекту* ( $CR$ ) рассчитывается по формуле (значение риска по проекту получим в интервале от 0 до 1):

$$CR = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - PR_i). \quad (7)$$

По каждой из моделей в соответствующих графах указываются экспертные оценки цены риска и вероятности события риска. Цена риска указывается в оценочных единицах. Вероятность события риска указывается в процентах и не может превышать 100 %. Результат вычислений может быть отображен в графической форме, визуально показывая наиболее опасные участки.

Механизм оценивания рисков по существу является экспертной системой, в которой базу знаний составляют правила, отражающие логику взаимосвязи входных величин и риска. В простейшем случае, это «табличная» логика, в общем - более сложная логика, отражающая реальные взаимосвязи, которые могут быть формализованы с помощью продукционных правил вида «Если ..., то». При этом необходимо учитывать множество источников информации и неопределенность самой информации.

В большинстве случаев показатели, оцениваемые при анализе рисков, однозначно нормировать невозможно. Ряд параметров оказывается недоступным для точного измерения, и тогда в его оценке неизбежно появляется субъективный компонент, выражаемый нечеткими оценками типа «высокий», «низкий», «наиболее предпочтительный» и т.д. Тогда параметр описывается как лингвистическая переменная со своим термом-множеством значений [3], а связь количественного значения некоторого фактора с его качественным лингвистическим описанием задается так называемыми функциями принадлежности

фактора нечеткому множеству.

Задача осложняется тем, что показателей много, изменяются они зачастую разнонаправленно, и поэтому при анализе стремятся «свернуть» набор всех исследуемых частных показателей в один комплексный, по значению которого и судится о степени безопасности организации.

В работе использованы методы теории нечетких множеств, основанные на статистической обработке мнений группы экспертов. В качестве примера рассмотрим задачу определения текущего состояния некоторой организации (предприятия, фирмы и т.п.). Пусть заданы два временных интервала I и II, по которым проводится сопоставительный анализ состояния информационной безопасности организации. Пусть это состояние в каждом из периодов характеризуется набором N показателей, построенных на основании отчетности анализа инцидентов за период. В периоде I это показатели  $X_1, \dots, X_N$  со значениями  $x_{I1}, \dots, x_{IN}$ ; в периоде II - те же показатели со значениями  $x_{II1}, \dots, x_{IIN}$ , причем предполагается, что система показателей  $\{X\}$  достаточна для достоверного анализа (для классификации и сопоставления состояний организации).

Полное множество состояний A организации разбито на пять (в общем случае пересекающихся) нечетких подмножеств вида:

- $A_1$  - нечеткое подмножество состояний «предельного неблагополучия»;
- $A_2$  - нечеткое подмножество состояний «неблагополучия»;
- $A_3$  - нечеткое подмножество состояний «среднего качества»;
- $A_4$  - нечеткое подмножество состояний «относительного благополучия»;
- $A_5$  - нечеткое подмножество состояний «предельного благополучия».

То есть терм-множество лингвистической переменной «Состояние организации» состоит из пяти компонентов. Каждому из подмножеств  $A_1, \dots, A_5$  соответствуют свои функции принадлежности  $\mu_1(V), \dots, \mu_5(V)$ , где V - комплексный показатель состояния информационной безопасности организации, причем чем выше V, тем «благополучнее» состояние организации.

Поставим в однозначное соответствие функции принадлежности  $\mu(V)$  нечеткое число

$$\beta(a_1, a_2, a_3, a_4), \quad (8)$$

где  $a_1$  и  $a_4$  - абсциссы нижнего основания, а  $a_2$  и  $a_3$  - абсциссы верхнего основания трапеции, задающей  $\mu$  в области с ненулевой принадлежностью носителя V соответствующему нечеткому подмножеству.

Вернемся к комплексному показателю V. Ясно, что он функционально или алгоритмически связан с набором исходных X показателей:

$$V_I = \Psi(X_{I1}, \dots, X_{IN}); \quad (9)$$

$$V_{II} = \Psi(X_{II1}, \dots, X_{IIN}), \quad (10)$$

но вид  $\Psi$  неизвестен и подлежит установлению.

В отношении каждого показателя известно, как его изменение влияет на изменение V. В качестве оценки риска ущерба в результате нарушения информационной безопасности введем лингвистическую переменную «Степень риска» со значениями {Наивысшая, Высокая, Средняя, Низкая, Незначительная}. Взаимно однозначное соответствие лингвистических переменных «Состояние организации» и «Степень риска» задано таблицей.

*Соответствие лингвистических переменных*

Значение переменной «Состояние организации»	Значение переменной «Степень риска»
Предельное неблагополучие	Наивысшая
Неблагополучие	Высокая
Среднее качество	Средняя
Относительное благополучие	Низкая
Предельное благополучие	Незначительная

Тогда задача комплексного анализа состояния информационной безопасности может быть сформулирована следующим образом [4]: определить процедуру  $\Psi$  (функцию или алгоритм), связывающую набор показателей  $\{X\}$  с комплексным показателем  $V$ . Тогда, по мере получения количественных значений  $V$  и на основании функций  $\{\mu\}$ , конструируется следующее утверждение:

«Текущее состояние организации:

- предельно благополучно с уровнем соответствия  $\mu_1(V)$ ,
- относительно благополучно с уровнем соответствия  $\mu_2(V)$ ,
- среднего качества с уровнем соответствия  $\mu_3(V)$ ,
- неблагополучно с уровнем соответствия  $\mu_4(V)$ ,
- предельно неблагополучно с уровнем соответствия  $\mu_5(V)$ ».

Это утверждение придает определенный вес каждой из гипотез принадлежности текущего состояния организации к одному из нечетких подмножеств  $\{A\}$ . Лицо, принимающее решение в отношении организации, может удовлетвориться той гипотезой, для которой значение  $\mu(V)$  максимально, и, таким образом, для себя качественно оценить состояние организации.

Пусть  $D(X_i)$  - область определения параметра  $X_i$ , несчетное множество точек оси действительных чисел. Определим лингвистическую переменную «Уровень показателя  $X_i$ » с введением пяти нечетких подмножеств множества  $D(X_i)$ :

- $B_1$  - нечеткое подмножество «очень низкий уровень показателя  $X_i$ »,
- $B_2$  - нечеткое подмножество «низкий уровень показателя  $X_i$ »,
- $B_3$  - нечеткое подмножество «средний уровень показателя  $X_i$ »,
- $B_4$  - нечеткое подмножество «высокий уровень показателя  $X_i$ »,
- $B_5$  - нечеткое подмножество «очень высокий уровень показателя  $X_i$ ».

Задача описания подмножеств  $\{B\}$  - это задача формирования соответствующих функций принадлежности  $\mu_{1-5}(x_i)$ .

В АИС использован метод построения функций принадлежности, основанный на статистической обработке мнений группы экспертов [5], в соответствии с которым далее выстраиваем показатели  $X_i$  по порядку убывания значимости для анализа и определим абсциссы трапецевидных Т-чисел. Принадлежность Т-числа  $V$  одному из нечетких подмножеств  $\{A\}$  состояний фирмы определяется с использованием формул пересечения и объединения нечетких подмножеств.

По результатам этапа оценки рисков составляется «Отчет об обработке информационных рисков компании» (Risk treatment plan), который подробно описывает способы обработки рисков. Кроме этого, составляется «План снижения рисков». В настоящем

плане четко описываются общие рекомендации или конкретные меры по снижению рисков; сотрудники, ответственные за выполнение каждого положения плана; сроки выполнения плана.

Таким образом, представленная в работе АИС «IT\_Риск\_Менеджер» позволяет оценить или переоценить уровень текущего состояния информационной безопасности организации, снизить потенциальные потери путем повышения устойчивости функционирования корпоративной сети, разработать концепцию и политику безопасности, а также предложить планы защиты от выявленных угроз и уязвимых мест.

#### Список литературы

1. NIST Special Publication 800-30. Risk Management Guide for Information Technology Systems. – Gaithersburg, USA, 2002. – 54 p.
2. Александрович Г.Я. Автоматизация оценки информационных рисков компании /Г.Я. Александрович, С.Н. Нестеров, С.А. Петренко //Безопасность компьютерных систем. 4. Конфидент. –2003. –№2.– С. 78-81.
3. Zadeh L. Fuzzy sets // Information and Control. – 1965. – № 8. – Р. 338-353.
4. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. – М.: Радио и связь, 1981. – 286 с.
5. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB.– М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.

Получено 21.10.09

УДК 004.738.5

**А.М. Уркумбаева**

ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

#### ИНФОРМАЦИОННО-ПРОГРАММНАЯ ПОДДЕРЖКА ОЦЕНКИ РИСКА ГОСУДАРСТВЕННЫХ ПРОГРАММ

Тщательная проработка и учет рисков стали неотъемлемой частью и важной составляющей успеха при реализации проектов любой сферы деятельности. Однако все чаще приходится принимать решения в условиях неопределенности, которые могут привести к непредвиденным последствиям и, соответственно, нежелательным исходам. Особенно актуален данный вопрос при реализации государственных программ (ГП), средства на реализацию которых выделяются из бюджетной системы, через которую мобилизуются финансовые ресурсы, используемые для решения экономических и социальных проблем общества. Поэтому своевременное выявление, а также адекватная и наиболее точная оценка рисков с использованием информационных технологий, способствует принятию обоснованных решений для оперативного и эффективного управления и анализа ГП.

В общем случае под риском понимают возможность наступления некоторого неблагоприятного события, влекущего за собой различного рода потери. Эти потери могут проявляться в снижении качества выполнения ГП, превышении стоимости ее реализации, невыполнении мероприятий ГП в срок.

К сожалению, в существующих методиках анализа и управления рисками последствия возникновения рисков ситуаций обычно оцениваются в скалярной форме (например «убыток-прибыль»), поэтому применение данных методов оценки риска ГП, средства на реализацию которых выделяются из бюджета, невозможно. Это определяет необходи-



мость применения качественных методов анализа и управления рисками, использующих аппарат теории нечетких множеств и когнитивного моделирования, а также метод экспертных оценок.

Когнитивные технологии предназначены для моделирования и анализа систем, характеризующихся:

- многоаспектностью происходящих в них процессов и их взаимосвязанностью, вследствие чего невозможно вычленение и детальное исследование отдельных явлений – все происходящие в них явления должны рассматриваться в совокупности;
- отсутствием достаточной количественной информации о динамике процессов, что вынуждает переходить к качественному анализу таких процессов;
- изменчивостью процессов во времени и т.д.

Когнитивные карты представляют моделируемую систему в виде множества концептов, отображающих ее объекты или атрибуты и связанных между собой отношениями влияния или причинно-следственными связями.

Процесс формирования и использования когнитивных карт для подготовки и поддержки принятия решений по управлению и оценке риска ГП можно представить в виде последовательности следующих процедур:

- определение списка концептов (согласованного списка концептов в случае опроса группы экспертов);
- определение отношений причинности между каждой парой концептов (согласованных отношений причинности);
- построение когнитивной карты;
- формирование альтернатив решений и оценка их последствий;
- интерпретация когнитивной карты и принятие варианта решения.

При проектировании информационно-программной поддержки оценки риска был разработан алгоритм решения согласно определенной выше последовательности процедур, представленный на рис. 1.

В данной статье рассматривается оценка риска Государственной программы жилищного строительства (ГПЖС), основной целью которой является комплексное решение проблем развития жилищного строительства, обеспечивающее доступность жилья широким слоям населения.

При формировании списка концептов когнитивной карты, в помощь экспертам, участвующим в формировании списка концептов и отношений между ними, необходимо предоставить дополнительную информацию о возможных причинах срыва ГПЖС. Для этого необходимо проанализировать информацию из хранилища данных областного администратора, используя процедуру извлечения знаний из таблиц баз данных.

Извлечение знаний из таблиц баз данных представляет собой совокупность моделей, методов и алгоритмов анализа данных для получения необходимых знаний.

В данном случае процесс извлечения знаний осуществляется с помощью набора продукционных правил, благодаря которым происходит выбор данных и запись их в требуемом виде, для последующей обработки. В работе было использовано общее правило извлечения: «ЕСЛИ хотя бы /равно/ по меньшей мере  $M$  из  $N$  условий  $C_1, C_2, \dots, C_N$  выполне-

ны, ТО  $A$ , ИНАЧЕ  $B$ », где  $M = (1, N)$ , где часть правила после ЕСЛИ - посылка, а часть после ТО – вывод или действие; условия  $C_1, C_2, \dots, C_N$  – факты, с помощью которых описывается текущее состояние предметной области.

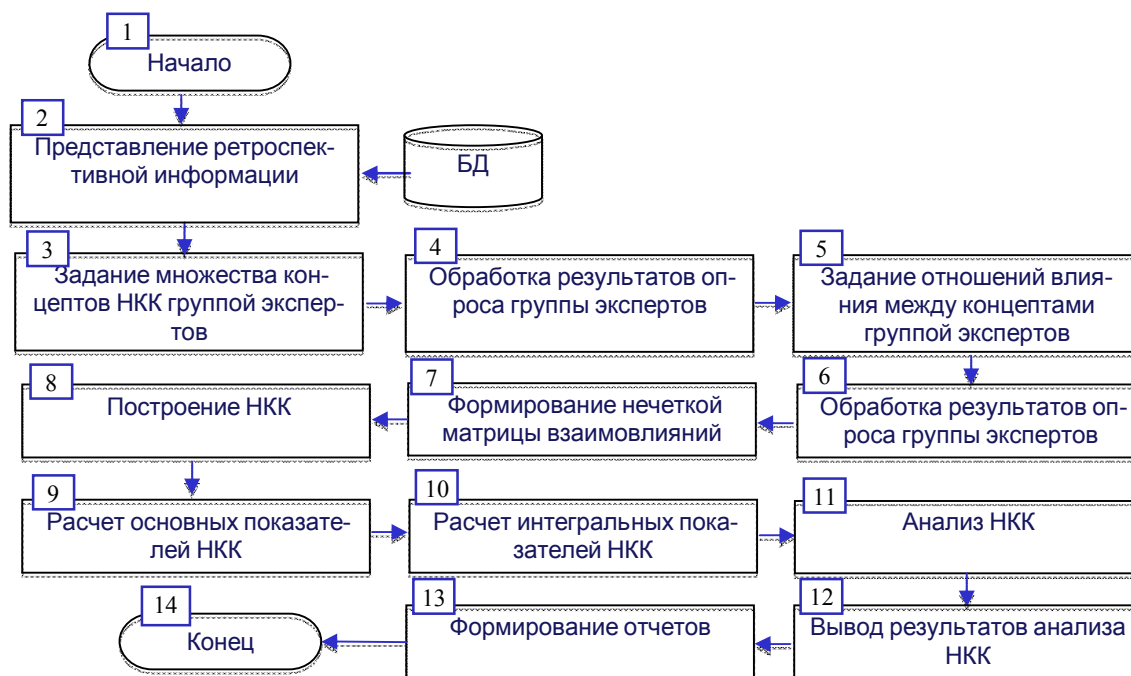


Рисунок 1 – Последовательность процедур по оценке риска ГП

Для получения необходимой информации о возможных причинах срыва ГПЖС были сформированы следующие правила:

- ЕСЛИ дата проведения конкурса > установленного пользователем срока, ТО  $k=k+1$  (Несвоевременное проведение конкурсных процедур);
- ЕСЛИ на один объект приходится более одного генерального подрядчика, ТО  $k=k+1$  (Недобросовестный подрядчик);
- ЕСЛИ на один объект приходится более одного договора, ТО  $k=k+1$  (Разрыв договорных отношений);
- ЕСЛИ статус объекта равен «в работе: просрочен», ТО  $k=k+1$  (Ввод объекта);
- ЕСЛИ объем финансирования < объема затраченных средств, ТО  $k=k+1$  (Объем финансирования);
- ЕСЛИ объем финансирования < объема затраченных средств, ТО  $k=k+1$  (Недоработки в проекте).

Полученная в результате извлечения из таблиц БД информация используется в качестве механизма выбора списка концептов, а также оптимизации их перечня, и предоставляется группе экспертов при их опросе.

При этом на следующем этапе возникает проблема значимости сравниваемых объектов. С этой целью проводится опрос группы экспертов, а после согласования экспертных

данных с помощью одного из качественных методов анализа риска – метода экспертных оценок, формируется список концептов. Таким же образом, в результате обработки данных и последующего их согласования получаем значения отношений причинности (влияния) между парами концептов.

На основе этих данных формируется нечеткая матрица взаимовлияний, которая является основой для построения нечеткой когнитивной карты (НKK) в виде ориентированного графа и ее последующего анализа.

Следующим этапом решения поставленной задачи является вывод результатов анализа НKK. Заключительный этап - формирование отчетов, содержащих информацию о результатах анализа НKK.

На рис. 2 изображена схема НKK, состоящая из множества концептов, принадлежащих одной из следующих областей: область концептов – источников возникновения рисков, область базисных концептов, область целевых концептов; и множества связей между концептами.

НKK рассматриваемого типа представляет собой причинно-следственную сеть  $G=(E,W)$ , где  $E$  – множество концептов  $e_i \in E$ ;  $W$  – множество связей между концептами  $w(e_i, e_j) \in W$ ,  $w: E \times E \rightarrow [-1;1]$ .

Для моделирования нечетко-целевых динамических систем на основе НKK в данной работе введена нечеткая матричная регулярная алгебра, задаваемая четверкой  $M_n(R) = \langle FM, \vee, \circ, * \rangle$ , где  $FM$  – множество нечетких матриц,  $\vee$  – операция тах,  $\circ$  – макситриангулярная композиция,  $*$  – унарный оператор замыкания.

Аппарат нечеткой матричной регулярной алгебры используется для описания и оценки каузальных (причинных) влияний концептов друг на друга. Задача нахождения взаимовлияния концептов заключается в определении совокупного причинного эффекта (или максимального «веса» пути) от концепта  $e_i$  до концепта  $e_j$  ( $e_i \rightarrow e_{k1} \rightarrow \dots \rightarrow e_{kn} \rightarrow e_j$ ) на нечетком графе соответствующей когнитивной карты, задаваемой нечеткой матрицей.

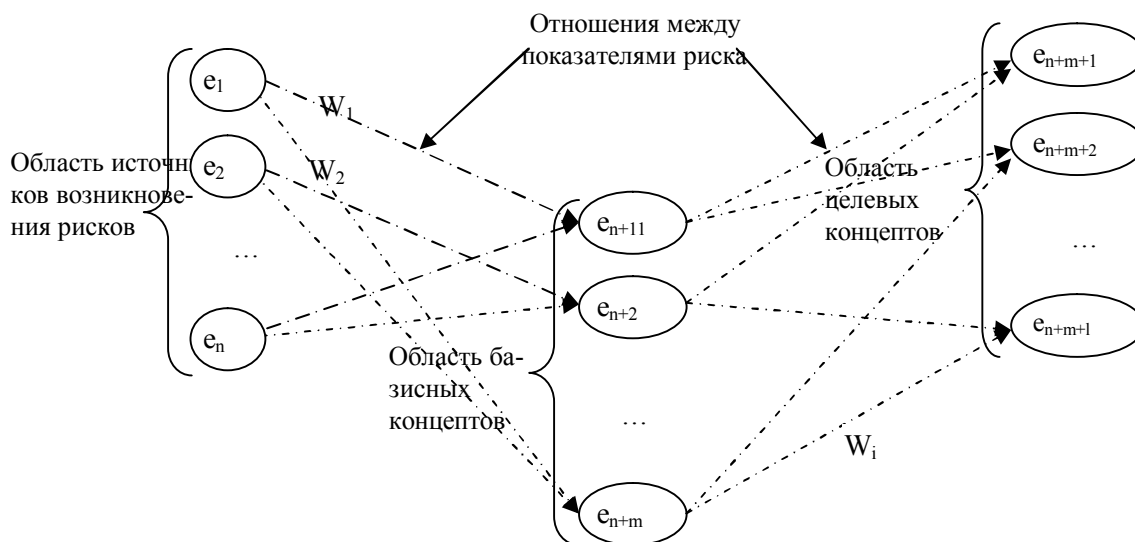


Рисунок 2 - Схема НKK

Причинно-следственный путь определяется следующим образом:

$$e_i \rightarrow e_j : (i, k_1, \dots, k_l, j) = P_l, \quad l = 1 \dots m. \quad (1)$$

Тогда взаимовлияние концептов  $w(e_i, e_j)$  определяется следующим образом:

$$w(e_i, e_j) = \bigcup_{l=1, p \in P}^m T w(e_p, e_{p+1}), \quad (2)$$

где  $T$  - Т-норма, в качестве которой рассматривают операцию взятия минимума или произведения.

Для определения взаимовлияния концептов формируется нечеткая матрица  $R$  размером  $2n \times 2n$ , элементы которой определяются из исходной матрицы  $W = [w(e_i, e_j)]_{n \times n}$  путем следующей замены:

$$\text{если } w(e_i, e_j) > 0, \text{ то } r_{2i-1, 2j-1} = w(e_i, e_j), r_{2i, 2j} = w(e_i, e_j), \quad (3)$$

$$\text{если } w(e_i, e_j) < 0, \text{ то } r_{2i-1, 2j-1} = -w(e_i, e_j), r_{2i, 2j} = -w(e_i, e_j). \quad (4)$$

Остальные элементы принимают нулевые значения.

Процедура транзитивного замыкания  $R$  позволяет согласовать отношения взаимовлияния концептов:

$$\hat{R} = R \cup R^2 \cup R^3 \cup \dots \quad (5)$$

Полученный результат состоит из положительно-отрицательных пар элементов  $(v_{ij}, \bar{v}_{ij})$ , образованных по правилу:

$$v_{ij} = \max(r_{2i-1, 2j-1}, r_{2i, 2j}), \quad (6)$$

$$\bar{v}_{ij} = -\max(r_{2i-1, 2j}, r_{2i, 2j-1}). \quad (7)$$

Элементы матрицы  $V = [v_{ij}, \bar{v}_{ij}]$  могут использоваться в качестве показателей, характеризующих динамику достижения одной или нескольких целей.

Для анализа НКК необходимо рассчитать основные системные показатели нечеткой когнитивной карты:

- консонанс влияния концепта  $e_i$  на концепт  $e_j$ :

$$c_{ij} = \frac{|v_{ij} + \bar{v}_{ij}|}{|v_{ij}| + |\bar{v}_{ij}|}; \quad (8)$$

- диссонанс влияния концепта  $e_i$  на концепт  $e_j$ :

$$d_{ij} = 1 - c_{ij}; \quad (9)$$

- взаимный консонанс влияния концептов  $e_i$  и  $e_j$ :

$$c = \frac{|(v_{ij} + v_{ji}) + (\bar{v}_{ij} + \bar{v}_{ji})|}{|v_{ij} + v_{ji}| + |\bar{v}_{ij} + \bar{v}_{ji}|}; \quad (10)$$

- взаимный диссонанс влияния концептов  $e_i$  и  $e_j$ :

$$\bar{d} = 1 - c; \quad (11)$$

- воздействие (влияние) концепта  $e_i$  на концепт  $e_j$ :

$$p_{ij} = \text{sign}(v_{ij} + \bar{v}_{ij}) \max(|v_{ij}|, |\bar{v}_{ij}|) \text{ для } v_{ij} \neq -\bar{v}_{ij}; \quad (12)$$

- взаимное положительное влияние концептов  $e_i$  и  $e_j$ :

$$\overset{\leftrightarrow}{p}_{ij} = \overset{\leftrightarrow}{p}_{ji} = (v_{ij} S v_{ji}), \quad (13)$$

где  $S$  - соответствующая S-норма.

Для более полного анализа НКК необходимо определить следующие интегральные показатели влияния концептов на систему и системы на концепты:

- консонанс влияния  $i$ -го концепта на систему:

$$\vec{C}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n c_{ij}; \quad (14)$$

- диссонанс влияния  $i$ -го концепта на систему:

$$\vec{D}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{ij}; \quad (15)$$

- консонанс влияния системы на  $j$ -й концепт:

$$\overset{\leftarrow}{C}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_{ij}; \quad (16)$$

- диссонанс влияния системы на  $j$ -й концепт:

$$\overset{\leftarrow}{D}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{ij} \quad (17)$$

- воздействие (влияние)  $i$ -го концепта на систему:

$$\vec{P}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n p_{ij}; \quad (18)$$

- воздействие (влияние) системы на  $j$ -й концепт:

$$\overset{\leftarrow}{P}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_{ij}; \quad (19)$$

- взаимный консонанс  $i$ -го концепта и системы:

$$I_i^{SC} = \vec{C}_i S \overset{\leftarrow}{C}_i; \quad (20)$$

- взаимный диссонанс  $i$ -го концепта и системы:

$$J_i^{SC} = \vec{D}_i S \overset{\leftarrow}{D}_i. \quad (21)$$

Показатели  $\vec{C}_i, \vec{D}_i, \overset{\leftarrow}{C}_j, \overset{\leftarrow}{D}_j, \vec{P}_i, \overset{\leftarrow}{P}_j$  характеризуют каждый концепт относительно системы [1].

Выбирая соответствующий тип отношений и задавая уровень значений, можно получить бинарную матрицу и, следовательно, выделить классы связанных концептов, характеризующихся этим уровнем относительно соответствующего свойства (взаимного консонанса, диссонанса, положительного и отрицательного влияния).

Разработанная система поддержки оценки риска функционально состоит из подсистем: выбора и экспертного анализа концептов; построения когнитивной карты; анализа когнитивной карты; генерации отчетов.

Подсистема выбора и экспертного анализа включает в себя:

- задание списка концептов НКК группой экспертов, а также оптимизацию их перечня;

- извлечение знаний из хранилища данных;
- обработку данных экспертного опроса и согласования экспертной информации;
- определение согласованных значений отношений причинности (влияния) между концептами нечеткой когнитивной карты;
- сохранение списка концептов, сформированного группой экспертов и отношений причинности между ними.

Подсистема построения когнитивной карты включает в себя:

- загрузку списка концептов и отношений причинности между ними;
- отображение концептов и отношений причинности между концептами в виде ориентированного графа.

Подсистема анализа когнитивной карты осуществляется на основе рассчитанных значений основных системных показателей нечетких когнитивных карт и включает в себя вычисление:

- консонанса влияния концептов;
- диссонанса влияния концептов;
- взаимного консонанса влияния концептов;
- взаимного диссонанса влияния концептов;
- влияния (воздействия) концептов друг на друга;
- интегральных показателей влияния концептов на систему и системы на концепты.

Подсистема генерации отчетов включает в себя: вывод результатов анализа НКК; генерацию отчетов, которые содержат всю необходимую для пользователя информацию по оперативному и эффективному управлению ГП и оценке риска.

Информационное обеспечение системы поддержки оценки риска реализовано на платформе MS Access, доступ к данным которой осуществляется с помощью технологии ADO. Для извлечения знаний из хранилища данных областного администратора ГПЖС используется технология ZeosDBO. Программная реализация выполнена в инструментальной среде Delphi 7.0.

Оценка риска ГПЖС с помощью информационно-программной поддержки осуществлялась на данных о реализации ГПЖС за 2005-2007 гг., представленных департаментом строительства ВКО, результат приведен на рис. 3.

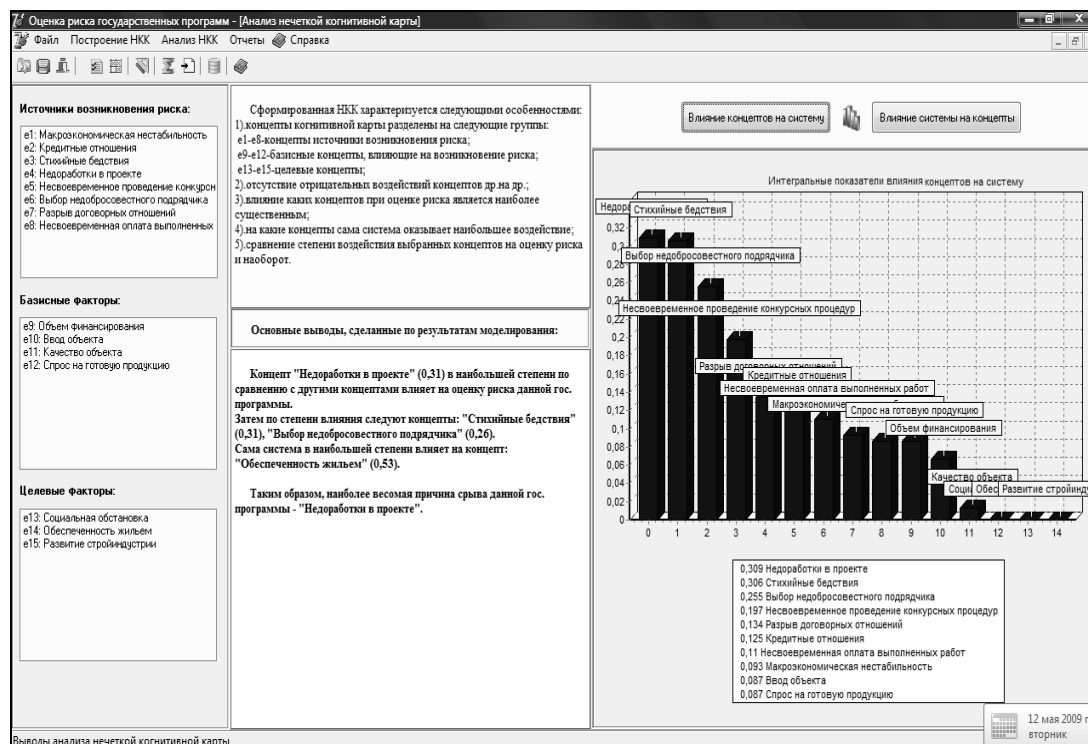


Рисунок 3 – Диалоговое окно анализа НКК

Таким образом, подход, основанный на когнитивном моделировании с методами нечеткой логики, позволяет интегрировать различные методы и технологии решения разнотипных эвристических и аналитических задач, возникающих при исследовании такой слабо структурированной проблемы, как оценка риска в ГП.

#### Список литературы

1. Борисов В.В. Компьютерная поддержка сложных организационно-технических систем / В.В. Борисов, И.А. Вычков. – М.: Горячая Линия Телеком, 2002.

Получено 11.09.09



**БОРЦОВА****ВЛАДИМИРА ДМИТРИЕВИЧА,***кандидата геолого-минералогических наук,  
профессора кафедры геологии и горного дела*

УДК 004.45

**Г.К. Шадрин, А.Е. Еруланова, А.Р. Касантаев**  
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск**КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ**

В процессе подготовки специалистов по автоматизации требуется выполнять большие объемы расчетов. Эти расчеты связаны с аппроксимацией экспериментальных данных, определением различных частотных характеристик, а также с исследованием систем регулирования и управления. При большом объеме затеваются основные идеи и методы. Это является серьезным затруднением в учебном процессе. Для устранения этого был разработан комплекс программ, которые позволяют избавить студентов от рутинной механической работы и позволяют в лучшей степени освоить особенности тех или иных методов разработки систем управления. Комплекс имеет название ПРОЕКТ\_L и охватывает основные этапы создания систем управления. Программы комплекса написаны в среде Delphi 7 и предназначены для выполнения курсовых и дипломных работ по расчету системы автоматического регулирования (САР) на кафедре «Приборостроение и автоматизация технологических процессов» ВКГТУ г. Усть-Каменогорска.

Состав программ ПРОЕКТ\_L:

GCHX – расчет вещественной частотной характеристики замкнутой системы по



управляющему воздействию  $G(T) = 1(T)$ ;

LINZ – расчет линии равной степени затухания переходного процесса в плоскости параметров настройки ПИ-регулятора;

МЧНО – расчет амплитудно-частотной характеристики и фаза частотной характеристики объекта по коэффициентам  $F1, F2$  передаточной функции;

PERFUN – расчет коэффициентов  $F1, F2$  передаточной функции объекта по ординатам кривой разгона;

RAZGON – расчет кривой разгона объекта по его передаточной функции (объект второго порядка);

RCHO – расчет расширенных частотных характеристик объекта по коэффициентам  $F1, F2$  передаточной функции;

USTI, USTP, USTPI – расчет амплитудно-фазовой характеристики разомкнутой САР с И-регулятором, П-регулятором, ПИ-регулятором.

При написании программ были использованы алгоритмы представленные в [1;2;3]. Комплекс ПРОЕКТ\_L опробован в учебном процессе. Выявлена работоспособность программ при разных исходных данных и соответствие комплекса по предъявляемым к нему требованиям.

В качестве примера рассмотрим систему автоматической стабилизации температуры в нагревательном устройстве. Структурная схема системы представлена на рисунке 1. Объект управления (рис. 1) представляет собой нагревательное устройство 1, в котором температура поддерживается неизменной регулятором 2.

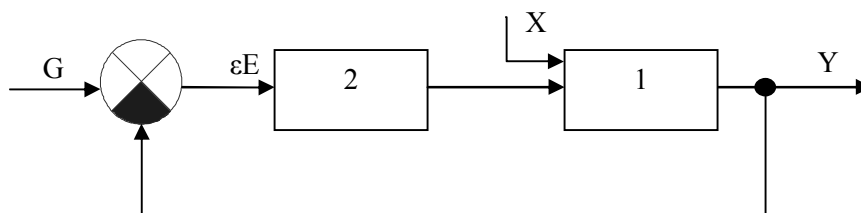


Рисунок 1

В качестве примера представлена экспериментальная кривая разгона температуры в объекте в безразмерной форме (исключая участок транспортного запаздывания) (см. табл. )

Экспериментальная кривая разгона в безразмерной форме

S	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Θ	0	0,07	0,25	0,43	0,58	0,7	0,78	0,84	0,89	0,92	0,94	0,96	0,97	0,98	0,985	0,99	0,995	1,00

Действительные значения ординат кривой разгона определяются по уравнениям:

- время  $t = a \cdot S, c$ ;

- температура  $T = b \cdot \theta, ^\circ C$ .

Величина транспортного запаздывания  $\tau$ , значения  $a$  и  $b$ , тип регулятора определяют-ся вариантом задания.

Расчет модели объекта производится по экспериментальной кривой разгона, исключая из рассмотрения участок транспортного запаздывания. Применяется метод площадей, разработанный М.П. Симою.

Суть метода состоит в том, что модель передаточной функции объекта представляется в виде:

$$W(p) = \frac{1}{F_n p^n + F_{n-1} p^{n-1} + \dots + F_1 p + 1},$$

где коэффициенты  $F_n$  и  $F_1$  имеют смысл и размерность времени.

Для типового объекта ограничиваются уравнением второго порядка

$$W(p) = \frac{1}{F_2 p^2 + F_1 p + 1}.$$

Значения коэффициентов  $F_1$  и  $F_2$  связаны с кривой разгона объекта соотношениями:

$$F_1 = Z \left\{ \sum_{i=0}^n (1 - Y_i / Y_\infty) - 0,5 \right\};$$

$$F_2 = F_1 \cdot Z \left\{ \sum_{i=0}^n (1 - Y_i / Y_\infty) (1 - iZ / F_1 - 0,5) \right\},$$

где  $Z$  – интервал разбиения кривой разгона объекта;  $Y_i$  – значения температуры на  $i$ -м интервале разбиения кривой разгона;  $Y_\infty$  – установившееся значение температуры;  $n$  – число разбиений кривой разгона.

Расчет коэффициентов передаточной функции объекта производится в программе perfun. Для этого в программу вводятся число разбиений кривой разгона объекта  $N$ , значения температуры  $T, ^\circ C$  (данные кривой разгона в натуральной форме без времени запаздывания) и интервал разбиения  $a$ . Для заданных в таблице 17-ти значений и интервала разбиения  $a=4$  коэффициенты передаточной функции объекта будут равны:  $F_1=16,88$ ,  $F_2=69,57$  (рис. 2).

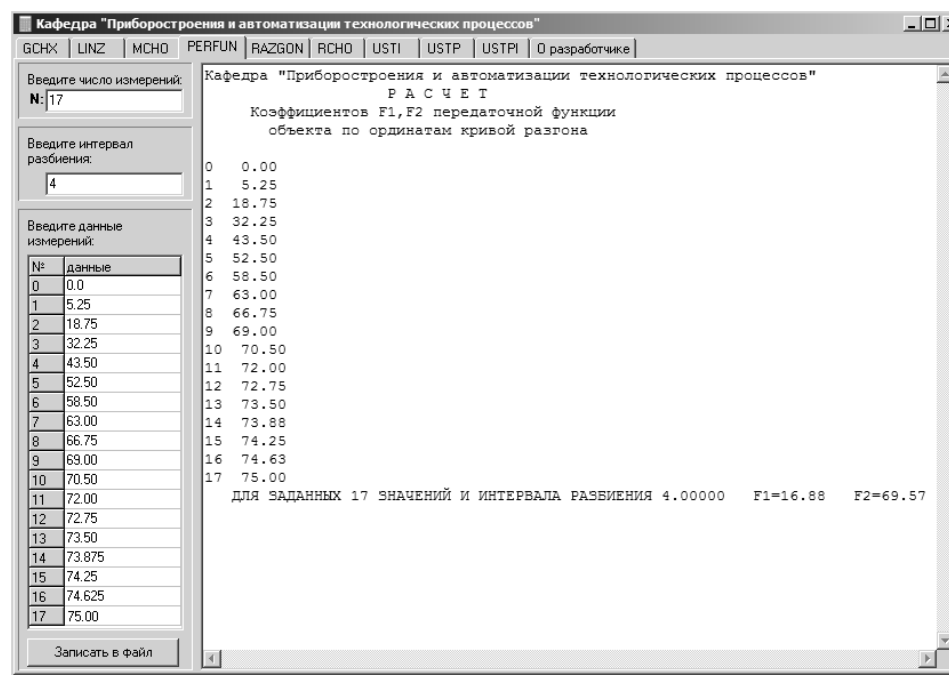


Рисунок 2 – Внешний вид окна программы perfun

Расчет ординат аппроксимирующей кривой разгона производится в программе *gazgon*, куда вводятся найденные значения коэффициентов  $F_1$  и  $F_2$ , рассчитанное значение коэффициента передачи объекта, заданное значение воздействия  $X$ , заданное значение времени запаздывания  $\tau$ , интервал разбиения  $a$ , длительность процесса  $17a+\tau$  (рис. 3).

Полученные расчетные ординаты аппроксимирующей кривой наносятся на график кривой разгона в натуральной форме (рис. 4). Сравнивая значения температуры экспериментальной кривой в натуральной форме с учетом запаздывания с результатами расчета по программе *gazgon*, можно сделать вывод, с какой точностью заданный объект может быть описан выбранной моделью. Точность аппроксимации находится по формуле:

$$G_{\max} = \frac{y(t) - y'(t)}{y_{\infty}} \cdot 100\% = \frac{6,3019 - 5,25}{75} \cdot 100\% = 1,4\% \leq 5\%,$$

где  $y(t)$  – ордината заданной кривой разгона в натуральной форме в точке максимального отклонения;  $y'(t)$  – ордината аппроксимирующей кривой в этой же точке;  $y_{\infty}$  – установившееся значение температуры в объекте.

Точность аппроксимации не превышает допустимое максимальное отклонение ( $G_{\max} \leq 5\%$ ), следовательно, заданный объект, с точностью  $G_{\max} = 1,4\%$  может быть описан выбранной моделью.

Передаточная функция и дифференциальное уравнение объекта записываются в виде:

$$W_{\text{об}}(p) = \frac{1,88}{69,57p^2 + 16,88p + 1};$$

$$\frac{69,57 \cdot d^2y}{dt^2} + \frac{16,88 \cdot dy}{dt} + y(t) = 1,88x(t - 4).$$

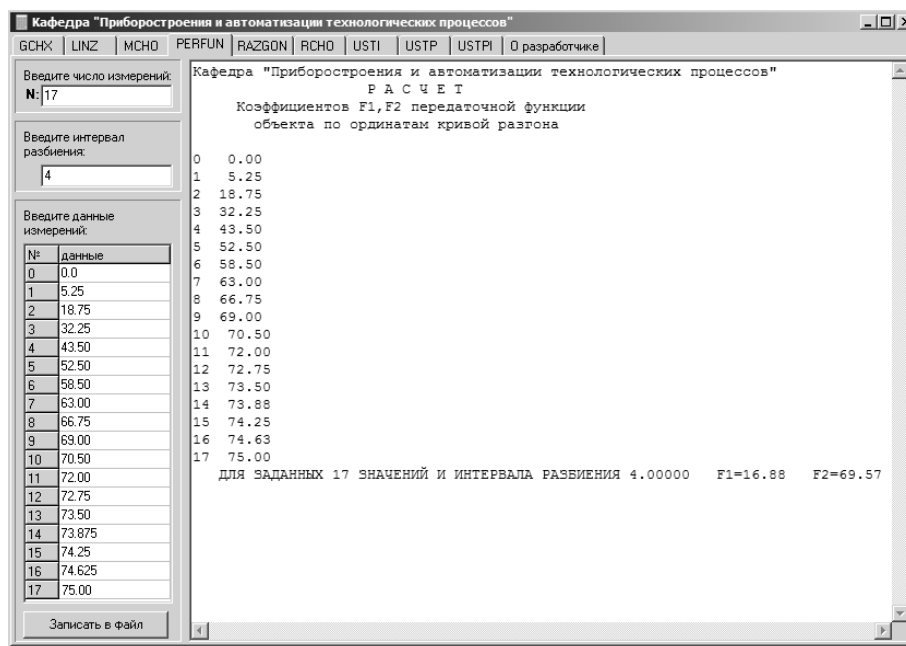


Рисунок 3 – Внешний вид окна программы gazgon

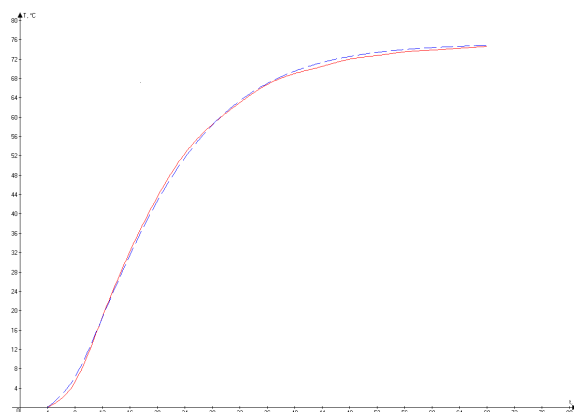


Рисунок 4 – Графики кривой разгона с запаздыванием: — - экспериментальная кривая разгона в натуральной форме - - - аппроксимирующая кривая разгона

В этой работе показан пример типового расчета САР с применением программ *perfun* и *gazgon*. Исследован объект регулирования в режиме реального времени. По аналогии производится расчет настроечных параметров регулятора и переходный процесс в САР. Следует отметить, что системный подход, предложенный комплексом программ *ПРОЕКТ\_L*, позволяет автоматизировать расчет САР, что важно как для экономии времени, так и визуального восприятия, а также точности произведенных расчетов.

#### Список литературы

1. Полевая Ж.А. Теория автоматического управления: Метод. указания. - Усть-

- Каменогорск: ВКГТУ, 2002.
2. Макаревич С.П. Лекции по теории автоматического регулирования. Линейные одномерные непрерывные САР: Учеб. пособие. – Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2001. – 116 с.
  3. Наладка автоматических систем и устройств управления технологическими процессами: Справочное пособие /Под ред. А.С. Ключева. – М.: Энергия, 1977. – 325 с.
  4. Стефани Е.П. Основы построения АСУ ТП. – М.: Энергоиздат, 1982.
  5. Солодовников В.В. Основы теории и элементы автоматического регулирования /В.В. Солодовников, В.Н. Плотников, А.В. Яковлев. – М.: Машиностроение, 1985.
  6. Теория автоматического управления /Под ред. А.А. Воронова. – М.: ВШ, 1986. – Ч.1(2). – 367 с. (504 с).
  7. Ротац В.Я. Расчет настройки промышленных систем регулирования. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 261 с.

Получено 26.10.09.

