

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

УДК 330.45

А.Ф. Шориков¹

*Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия*

Е.В. Буценко²

*Уральский государственный экономический университет,
г. Екатеринбург, Россия,*

СЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИ НАЛИЧИИ НЕСКОЛЬКИХ ТЕХНОЛОГИЙ³

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные вопросы управления процессом инвестиционного проектирования для хозяйствующего субъекта. Для решения задач оптимизации процесса инвестиционного проектирования предлагается использовать сетевое экономико-математическое моделирование, которое позволяет увидеть оптимальное время для реализации инвестиционного проекта и служит инструментом повышения экономического потенциала и конкурентоспособности предприятия. Описывается новая оптимизационная сетевая экономико-математическая модель, учитывающая наличие в процессе инвестиционного проектирования нескольких вариантов технологий и предлагается метод решения рассматриваемой задачи. Именно это и является новизной и научной гипотезой данной статьи – формирование новой модели оптимизации управления процессами инвестиционного проектирования и метод ее решения. В статье на содержательном практическом примере показаны процессы формирования сетевых моделей, включающие определение последовательности действий конкретного процесса инвестиционного проектирования, построены соответствующие моделям сетевые графики работ. Проведен расчет параметров сетевых моделей. Сформированы оптимальные пути и вычислено оптимальное время для выбранных технологий инвестиционного проекта. В завершении данной работы проведен анализ полученных расчетов, показывающий возможные варианты реализации проекта с учетом времени и стоимости выполнения работ. Полученные в статье результаты решения поставленной задачи оптимизации управления процессами инвестиционного проектирования при наличии нескольких технологий подтверждают эффективность предлагаемой методики, а сделанные выводы позволяют утверждать результативность экономико-математического моделирования сетевыми методами для решения основных задач инвестиционного проектирования – прогнозирования результатов и управления рассматриваемыми процессами. Таким образом, цель исследования достигнута – предлагаемое сетевое моделирование процесса инвестиционного проектирования позволяет оптимизировать управление данным процессом для выбранных показателей его качества. Оптимизация процесса инвестиционного проектирования на основе сетевого моделирования является одним из способов обоснования привлекательности конкретных инвестиционных проектов, что способствует принятию инвесторами взвешенных решений.

Ключевые слова: сетевое моделирование; экономико-математическое моделирование; инвестиционное проектирование; методы сетевого планирования и управления; оптимизация инвестиционного проектирования; задача оптимизации управления; выбор оптимальной технологии; оптимальная сетевая модель; оптимальное время проекта.

Актуальность исследования

Одним из характерных и достаточно распространенных видов креативной деятельности в менеджменте, маркетинге, коммерции, создании новых видов и совершенствовании продукции, услуг и процессов является разработка и реализация различных по назначению и содержанию проектов.

Известно, что успешная предпринимательская деятельность в конкурентной среде требует использования самых современных инструментов управления бизнесом. Проектное управление в настоящий момент является одним из наиболее эффективных способов разработки и внедрения изменений и инноваций.

В современных условиях развития национальной экономики, которые характеризуются многообразными и сложными экономическими процессами и взаимоотношениями между предприятиями и финансовыми институтами, актуальна проблема наиболее эффективного вложения капитала в различные инвестиционные проекты с целью его преумножения.

Экономическая природа инвестиций обусловлена закономерностями процесса расширенного воспроизводства и заключается в использовании части накопленных свободных денежных средств, направляемых на увеличение количества и качества всех элементов системы производительных сил общества.

Инвестиционная деятельность в большей или меньшей мере присуща практически любому отечественному предприятию. При этом причины, обуславливающие необходимость привлечения инвестиций, могут быть различными. Это может быть и необходимость обновления имеющейся материально-технической базы, и наращивание объемов производственной и сбытовой деятельности, и освоение новых видов продукции, и завоевание сравнительно большей доли целевого рынка, и пр.

В условиях функционирования рыночной экономики возможностей для инвестирования денежных средств, направляемых на реализацию различных проектов, достаточно много. Вместе с тем многие отечественные предприятия располагают обычно ограниченными свободными финансовыми ресурсами, которые они могли бы направить на инвестирование эффективных инвестиционных проектов. Поэтому возникает задача, результатом решения которой должна стать оптимизация инвестиционного портфеля.

Принятие решений инвестиционного характера, как и любой другой вид управленческой деятельности, основывается на различных формализованных методах и неформализованных процедурах. Масштабы их сочетания зависят от разных обстоятельств, в том числе от того, насколько менеджер знаком с имеющимся математическим аппаратом и инструментальными средствами, пригодными к применению в том или ином конкретном случае.

В отечественной и зарубежной практике известен ряд формализованных методов, выполненные расчеты в соответствии с которыми могут служить необходимой основой для принятия обоснованных управленческих решений в области провозглашенной инвестиционной стратегии, а в ее составе – политики инвестирования. Какого-то универсального и вместе с

¹ *Шорилов Андрей Федорович* – доктор физико-математических наук, профессор кафедры прикладной математики Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19); e-mail: afshorikov@mail.ru.

² *Буценко Елена Владимировна* – кандидат экономических наук, доцент кафедры бизнес-информатики, Уральского государственного экономического университета, г. Екатеринбург, Россия (620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 62); e-mail: evl@usue.ru.

³ Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 15-18-10014).

тем идеального метода, целесообразного к применению во всех случаях практики обоснования эффективности использования инвестируемых денежных средств, не существует. Вместе с тем, имея по результатам расчетов некоторые числовые оценки, полученные с помощью формализованных методов, значительно легче принимать окончательные решения по выбору наиболее целесообразных направлений использования инвестиций.

Таким образом, управление инвестиционным проектированием в современной экономике является актуальным вопросом, т. к. вкладывая денежные средства в проекты, инвесторы должны иметь эффективное обоснование их применения. Соответственно, для привлечения инвесторов необходимо разрабатывать новые модели, методы и технологии управления инвестированием. Одним из таких подходов может стать разработка и создание моделей и методов, позволяющих осуществлять оптимизацию управления процессами инвестиционного проектирования.

Степень изученности проблемы

В настоящее время продолжается развитие подходов к оптимизации процессов инвестиционной деятельности для различных предприятий. Например, в работе О.Б. Брагинского рассмотрена методология разработки и оптимизации инвестиционных программ развития крупного многоотраслевого комплекса, составными элементами которой являются экономический анализ и обоснование инвестиционной программы, математическая модель, компьютерная программа и методика подготовки экспертной информации для решения задачи оптимизации инвестиционного плана [1]. На примере химического комплекса выполнены экспериментальные расчеты и даны рекомендации о возможности оптимизации для реализации инвестиционной

программы развития комплекса при ограниченных финансовых ресурсах.

В работе И. Геращенко рассмотрены отдельные вопросы оптимизации инвестиционного проектирования в предпринимательской деятельности [2].

В работе М.А. Горбунова предлагается комбинированный подход к моделированию реальных инвестиций, содержащий в себе элементы существующих имитационных и оптимизационных подходов. Приводится описание структуры предлагаемой модели и ее сравнение с имитационными и оптимизационными моделями [3].

В работе О.М. Козлитинной предложена методика оптимизации объемов инвестиций, учитывающая, с одной стороны, несвоевременность инвестиций, с другой – возможность переоснащения производства при минимальных потерях [4].

В работе И.В. Чичковой предложены математические модели и приведены уравнения регрессии, позволяющие использовать их для формирования инвестиционной программы ОАО «Татнефть» из наиболее приоритетных инвестиционных проектов, оптимизировать стратегию инвестиционной политики компании в направлении расширения сети розничного бизнеса, что позволит получать дополнительные прибыли, обеспечит стабильный сбыт нефтепродуктов, обеспечит полную цепочку и брэндинг компании [11].

В работе А.Ф. Шорилова и Д.Р. Султанхметова рассматривается задача оптимизации управления процессами строительства на основе сетевого экономико-математического моделирования [14]. Реализация процессов строительства описывается соответствующей конечной сетью, в которой сосредоточены все данные, необходимые для расчета календарного графика и нахождения критического пути.

Данная статья продолжает цикл статей авторов по оптимизации управления процессами инвестиционного проектирования.

Оптимизация управления этими процессами может быть выполнена, например, с помощью сетевого экономико-математического моделирования, применение которого систематически изучается в работах авторов [12–14]. Формирование конкретной сетевой модели инвестиционного проектирования рассмотрено авторами в [12, 13], где также приведены практические примеры реализации процессов инвестиционного проектирования и их оптимизации.

Сетевые методы планирования и управления относятся к одному из разделов современной теории управления сложными системами. Теоретические основы методов сетевого планирования и управления заложены в теории графов, которая сама в свою очередь является важной частью теории множеств. Поэтому развитие данных методов позволит решить различные проблемы управления комплексами работ-операций, а также разработки и внедрения систем сетевого планирования и управления в различных областях народного хозяйства.

Несомненно, что хозяйствующие субъекты, инвесторы, предприниматели, менеджеры, аналитики и вообще все лица и группы лиц, несущие ответственность за разработку и контроль проектов, смогут оценить возможности, открывающиеся благодаря применению сетевых методов планирования. Эти методы не универсальны, и многие задачи не могут быть решены при их помощи. По мере того как открываются и внедряются новые методы организации и планирования, обнаруживается, что вновь возникающие задачи требуют или более совершенных или совсем других алгоритмов.

Задачи современного мира, в том числе и задачи инвестиционного проектирования, усложняющиеся изо дня в день, вызывают необходимость научного подхода, который дал бы возможность ориентироваться в сложном комплексе возникающих трудностей, причем это в равной мере относится

как к малым, так и к средним и крупным работам [15, 20, 21].

Отметим, что сетевые методы планирования и управления, в отличие от других методов исследования операций, воспринимается достаточно интуитивно, что способствует их успешному применению. В то же время эти методы отвечают потребностям, реально и повседневно ощущаемыми всеми, кто имеет дело с выполнением проектов или крупных комплексов работ. И это действительно так, потому что недостаточность классических методов (например, разработка и построение диаграммы Ганта⁴) совершенно очевидна.

Современное состояние экономики, характеризующееся усложнением процессов и объектов управления, требует решения проблемы упорядочения, связанной с понятиями предшествования и следования операций, их длительностей, сроков наступления событий, резервов операций (полных, свободных, независимых). Различные варианты численных примеров сетевого моделирования способствуют разработке и описанию алгоритмов соответствующих моделей, а на их основе разработке и созданию инструментальных средств поддержки принятия решений по управлению проектами.

⁴ Генри Гант (Gantt; 1861–1919) – американский экономист, изучавший промышленный менеджмент на примере постройки кораблей во время Первой мировой войны. Он первым ввел в употребление графики работ, на которых горизонтальная ось являлась осью времени, а вертикальная служила для представления совокупности работ проекта. Выполняемые работы изображались в определенной последовательности в виде отрезков соответствующей длины или точек (для завершающих задач). Эти графики, которые первоначально использовались в строительстве, широко распространились в первой половине XX в. и в других областях. В современных компьютерных программах для планирования и управления проектами используются модифицированные диаграммы Ганта, на которых наряду с периодами выполнения задач представлены связи между ними.

Практика применения сетевых моделей за всю историю их существования и развития показала, что они являются одним из лучших инструментов управления проектами. Но для их использования необходимо, чтобы при расчете календарных графиков использовалась достоверная информация, учитывающая не только временные и технико-экономические показатели проекта, но и условия работы, особенности конкретных исполнителей работ. При составлении графиков работ важно учитывать ограничения по ресурсам и стремиться их максимально эффективно использовать.

Поиск модели, наиболее полно отражающей связи и взаимоотношения в исследуемом объекте, приводит к сетевому графу. Сетевая модель лучше приспособлена для отражения постоянно возникающих изменений как в составе работ, так и во временных характеристиках работ.

Самым большим преимуществом сетевой модели является то, что с ее помощью сравнительно легко может быть определена та критическая цепочка работ, которая устанавливает конечные сроки выполнения работ по проекту. В связи с этим появляется возможность сконцентрировать внимание именно на этих работах, правильно перераспределить ресурсы.

Следовательно, сеть является, с одной стороны, удобной схемой изображения взаимосвязи и последовательности выполнения работ проекта, а с другой – это математический объект, точный и глубокий анализ которого позволяет получить ценную информацию.

Сеть выступает информационной основой для создания реальной системы управления проектом/проектами. Механизм ее функционирования сводится к тому, что поступающая на вход системы информация о реальных событиях сопоставляется с заданием (рассчитанным по сетевому графику).

Далее возможно принятие решения в двух вариантах: либо состояние объекта приводится в соответствие с заданием, либо изменяется задание с учетом новых условий внешней среды.

Таким образом, сетевая модель обладает свойством адаптивности, а также может быть использована для прогнозирования, поскольку на ней можно осуществить поиск оптимальных (или близких к ним) решений или же спрогнозировать возможность (или невозможность) достижения целей проекта к определенным срокам при изменении конкретных условий.

Новизной данной работы является разработка и создание новой экономико-математической модели для задачи оптимизации управления процессами инвестиционного проектирования для хозяйствующего субъекта при наличии нескольких технологий на основе методов сетевого моделирования и результатов работ авторов [12–14], и предложен метод решения рассматриваемой задачи.

Наличие нескольких технологий для реализации инвестиционного проектирования может быть обусловлено существованием разных наборов работ/операций проектов, которые зависят от области применения (общепит, строительство, транспорт, торговля, связь, медицина и т. д.) и условий выполнения этих работ. В зависимости от этого и реализация соответствующих процессов инвестиционного проектирования должна учитывать наличие такой возможности.

При наличии нескольких технологий для реализации процессов инвестиционного проектирования в качестве экономико-математической модели в данной работе предлагается использовать соответствующую сетевую модель, позволяющую оптимизировать как выбор из имеющихся технологий, так и рассматриваемые процессы инвестиционного проектирования.

Методика исследования

Целью исследования является разработка новой экономико-математической модели для задачи оптимизации управления процессами инвестиционного проектирования и метода ее решения.

Для достижения поставленной цели выделим основные этапы исследования:

- формирование исходных данных, формализация критериев качества и условий оптимальности;
- разработка сетевой экономико-математической модели для задачи оптимизации управления процессами инвестиционного проектирования при наличии нескольких технологий;
- формализация задачи оптимизации управления процессами инвестиционного проектирования в рамках разработанной сетевой экономико-математической модели;
- разработка методики решения сформулированной оптимизационной задачи методами сетевого экономико-математического моделирования;
- определение выходных данных как результата решения задачи оптимизации управления процессами инвестиционного проектирования;
- формирование оптимальной сетевой модели для реализации процессов инвестиционного проектирования при учете нескольких технологий их реализации;
- практическое применение предложенного метода оптимизации управления процессами инвестиционного проектирования.

Приведем экономико-математическую модель для формализации задачи оптимизации управления процессами инвестиционного проектирования при наличии нескольких технологий и соответствующий метод ее реализации.

1. Вводится кортеж $U = \{U_1, U_2, \dots, U_m\}$, описывающий условия-ограничения для реализации конкретного инвестиционного проекта на исходные данные; технологические решения; выходные данные ($m \in N$; N – множество всех натуральных чисел).

2. Вводится массив технологий $P(U) = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$, реализующих инвестиционный проект и удовлетворяющий заданным условиям U ($n \in N$).

3. Для каждой i -й технологии $P_i \in P(U)$ ($i \in \overline{1, n} = \{1, 2, \dots, n\}$) вводится массив работ-операций $R(P_i) = \{R_1(P_i), R_2(P_i), \dots, R_{n_i}(P_i)\}$, исполнение которых позволяет реализовать данную технологию ($n_i \in N$).

4. Для каждого массива работ-операций $R(P_i) = \{R_1(P_i), R_2(P_i), \dots, R_{n_i}(P_i)\}$ ($i \in \overline{1, n}$)

вводится соответствующий ему набор критериев качества $F_i = \{F_1^{(i)}, F_2^{(i)}, \dots, F_r^{(i)}\}$, оценивающих результаты реализации процессов для рассматриваемого инвестиционного проекта $r \in N$, где $F_i: R^{3 \times n_i} \rightarrow R^1$ ($i \in \overline{1, n}$).

5. Каждой j -й работе-операции $R_j(P_i) \in R(P_i)$ ($j \in \overline{1, n_i}$) соответствует массив данных – матрица $A_j = \|a_{kl}^{(ij)}\|_{\substack{k \in \overline{1, p_j} \\ l \in \overline{1, 3}}}$, $p_j \in N$, у которой значения трех элементов каждой k -й строки соответственно равны – продолжительности, стоимости и качеству возможного k -го варианта реализации данной j -й работы-операции, т. е. число строк этой матрицы равно числу p_j различных вариантов реализации рассматриваемой работы-операции.

6. На основании имеющихся данных и методов сетевого экономико-математического моделирования [5, 6, 11–13], формулируется условие выбора оптимальной технологии $P^{(e)} = P_{j^{(e)}} \in P(U)$, $i^{(e)} \in I^{(e)} \subseteq \overline{1, n}$ для рассматриваемого векторного критерия

качества $F_i = \{F_1^{(i)}, F_2^{(i)}, \dots, F_r^{(i)}\}$, оценивающего результаты реализации процессов инвестиционного проектирования (например, в виде минимизации скалярного критерия, являющегося сверткой рассматриваемого векторного критерия качества с помощью метода скаляризации [6, 7, 8, 9, 10]).

7. На основании методов сетевого экономико-математического моделирования [12–14], имеющихся данных, сформированных критерия качества и условия оптимальности, формулируется соответствующая задача оптимизации управления рассматриваемыми процессами инвестиционного проектирования. А именно, среди всех допустимых технологий $P(U) = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$, позволяющих реализовать рассматриваемые процессы инвестиционного проектирования, требуется найти хотя бы одну технологию $P^{(e)} = P_{i^{(e)}} \in P(U)$, $i^{(e)} \in I^{(e)} \subseteq \overline{1, n}$, которая удовлетворяет выбранному условию оптимальности.

8. Методами сетевого экономико-математического моделирования [12–14] для процессов инвестиционного проектирования решается сформулированная оптимизационная задача.

9. Из решения оптимизационной задачи следует, что матрица $B_{i^{(e)}}^{(e)} = \left\| b_{kl}^{(e, i^{(e)})} \right\|_{\substack{k \in \overline{1, n} \\ l \in \overline{1, 3}}}$ содержит все данные,

которые необходимы для описания всех работ-операций, необходимых для реализации конкретной оптимальной технологии $P^{(e)} = P_{i^{(e)}} \in P(U)$ ($i^{(e)} \in I^{(e)}$).

10. Тогда для набора работ-операций $R(P^{(e)}) = R(P_{i^{(e)}}) = \{R_1(P_{i^{(e)}}), R_2(P_{i^{(e)}}), \dots, R_{n_{i^{(e)}}}(P_{i^{(e)}})\}$, отвечающего сформированной оптимальной технологии $P^{(e)} = P_{i^{(e)}} \in P(U)$ ($i^{(e)} \in I^{(e)}$), в соответствии с правилами построения сетевой модели, решается задача **сетевого моделирования** – формирования соответствующей ему **оптимальной сетевой модели** $WM^{(e)} = WM_{i^{(e)}}^{(e)} \in WM$

из массива допустимых сетевых моделей $WM = \{WM_{i^{(e)}}^{(e)}\}_{i^{(e)} \in \overline{1, n}}$.

11. Для сформированной сетевой модели $WM^{(e)} = WM_{i^{(e)}}^{(e)}$ и данных из матрицы $B_{i^{(e)}}^{(e)} = \left\| b_{kl}^{(e, i^{(e)})} \right\|_{\substack{k \in \overline{1, n} \\ l \in \overline{1, 3}}}$, которая содержит все данные, необходи-

мые для описания всех работ-операций $R(P^{(e)}) = R(P_{i^{(e)}}) = \{R_1(P_{i^{(e)}}), R_2(P_{i^{(e)}}), \dots, R_{n_{i^{(e)}}}(P_{i^{(e)}})\}$, реализующих оптимальную технологию $P^{(e)} = P_{i^{(e)}} \in P(U)$ ($i^{(e)} \in I^{(e)}$), решается задача **построения критического пути** – формирования **критического или оптимального времени** $T^{(e)} = T_{i^{(e)}}^{(e)}$ для реализации рассматриваемого инвестиционного проекта.

12. Выходными результатами оптимизации управления рассматриваемым процессом инвестиционного проектирования является набор данных $(P^{(e)}, R(P^{(e)}), F^{(e)}, WM^{(e)}, T^{(e)})$, где $P^{(e)} = P_{i^{(e)}} \in P(U)$ – оптимальная технология; $R(P^{(e)}) = R(P_{i^{(e)}}) = \{R_1(P_{i^{(e)}}), R_2(P_{i^{(e)}}), \dots, R_{n_{i^{(e)}}}(P_{i^{(e)}})\}$, – оптимальный набор работ-операций, реализующий оптимальную технологию $P^{(e)}$; $WM^{(e)} = WM_{i^{(e)}}^{(e)}$ – оптимальная сетевая модель; $T^{(e)} = T_{i^{(e)}}^{(e)}$ – оптимальное время для реализации инвестиционного проекта, ($i^{(e)} \in I^{(e)}$).

13. В итоге получаем оптимальную сетевую модель для реализации процессов инвестиционного проектирования при учете наличия нескольких технологий его реализации.

Рассмотрим применение предложенного метода для оптимизации управления процессами инвестиционного проектирования на содержательном практическом примере. Учитывая, что большое количество инвестиций связано с открытием различных кафе, ресторанов, баров и т. д., выберем для реализации предложенного метода сферу общественного питания.

Предлагаемая экономико-математическая модель оптимизации управления процессами инвестиционного проектирования методами сетевого моделирования [12–14] предполагает выделение основных работ сетевой модели и построение таблиц с описанием соответствующих работ-ребер, их кодировкой и продолжительностью. Каждой работе (процессу) соответствует таблица с выбранными вариантами значений параметров, необходимых для ее выполнения.

Для примера рассмотрим проект, часть которого является введение в меню нового блюда на трех предприятиях общепита – в столовой, кафе быстрого питания и ресторане, – и возьмем три допустимые технологии его приготовления на каждом из этих предприятий. Далее, построим соответствующие этим технологиям три сетевые модели, содержащие все работы для реализации процессов по приготовлению и определению цены нового блюда. Отметим, что реализация этих процессов также важна и обязательна при подсчете всех затрат для рассматриваемого проекта. Расчет стоимости конкретного блюда представляет собой достаточно трудоемкий и кропотливый процесс. При этом занимаются им, как правило, вручную и производят все расчеты товароведы, бухгалтера или другие специалисты в зависимости от штата сотрудников

предприятия. Приведем определение цены реализации блюда в ресторане (табл. 1).

Продолжительность и стоимость работ для приготовления рассматриваемого блюда являются разными для каждой технологии питания, т. к. качество исходных продуктов и соответственно их цена будут очень отличаться, например, для столовой и ресторана, расчет трудозатрат зависит от разряда повара, стоимости его времени работы, затраченного на приготовление блюда, и других факторов. Отметим, что в стоимость работ включено разное качество их исполнения. Работы, их кодировка, длительность выполнения и стоимость по каждой технологии представлены в табл. 2–4.

Сетевая модель рассматриваемого процесса для первой технологии представлена на рис. 1, а. На рис. 1, б приведена сетевая модель с рассчитанными временными параметрами [12, 13].

Сетевая модель данного процесса для второй технологии представлена на рис. 2.

Сетевая модель данного процесса для третьей технологии представлена на рис. 3.

После формирования сетевых моделей и расчетов их временных параметров для всех технологий, проанализируем полученные данные. Для первой технологии критический путь составляет 4 дня, для второй техноло-

Таблица 1

Определение предварительной цены реализации единицы продукции

№ п/п	Продукт	Стоимость 1 кг продукта, руб.	Кол-во продукта на ед. пр., г	Затраты на энергию на ед. пр., руб.	Трансп. расходы на ед. пр., руб.	Зарплата повара на ед. пр., руб.	Себестоимость ед. пр., руб.	Торговая наценка, руб.	Цена ед. пр., руб.
1	Продукт 1	120	300						
2	Продукт 2	90	350	5	5	62,5	140	25,2	165,2

Таблица 2

Описание работ для первой технологии

№ п/п	Код работы	Содержание работы	Продолжительность, дней	Стоимость, руб.
1	A ₁	Расчет себестоимости продуктов, входящих в состав блюда	2	20
2	A ₂	Расчет трудозатрат и иных расходов, в т. ч. на энергию и транспортных расходов, на единицу продукции	2	20
3	A ₃	Расчет НДС или торговой наценки	1	10
4	A ₄	Определение полной стоимости блюда	1	10
5	A ₅	Цену блюда сравнить с ценой у конкурентов и определить, является ли она привлекательной для покупателей	1	1

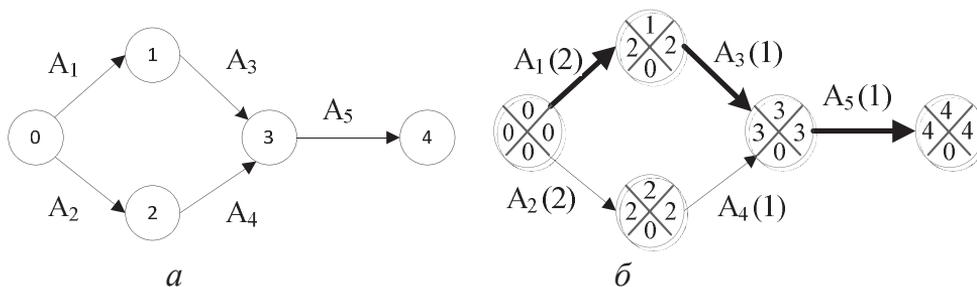


Рис. 1. Сетевая модель для первой технологии: а – сформированная сетевая модель; б – сетевая модель с рассчитанными временными параметрами

Таблица 3

Описание работ для второй технологии

№ п/п	Код работы	Содержание работы	Продолжительность, дней	Стоимость, руб.
1	B ₁	Расчет себестоимости продуктов, входящих в состав блюда	2	20
2	B ₂	Расчет трудозатрат и иных расходов, в т. ч. на энергию и транспортных расходов, на единицу продукции	2	25
3	B ₃	Расчет НДС или торговой наценки	1	15
4	B ₄	Цену блюда сравнить с ценой у конкурентов и определить, является ли она привлекательной для покупателей	1	10
5	B ₅	Определение полной стоимости блюда	1	10

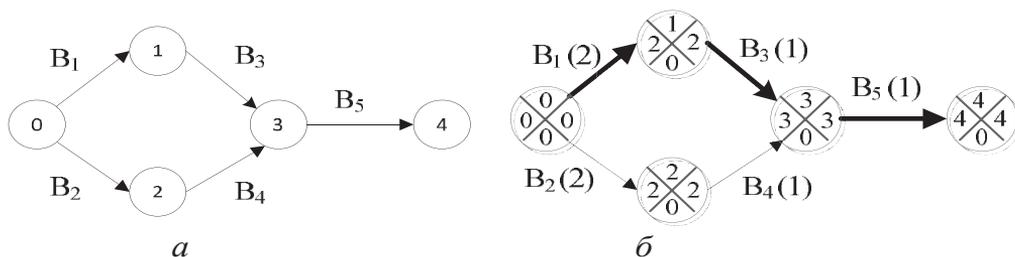


Рис. 2. Сетевая модель для второй технологии: а – сформированная сетевая модель; б – сетевая модель с рассчитанными временными параметрами

Таблица 4

Описание работ для третьей технологии

№ п/п	Код работы	Содержание работы	Продолжительность, дней	Стоимость, руб.
1	C ₁	Расчет себестоимости продуктов, входящих в состав блюда	2	30
2	C ₂	Расчет трудозатрат и иных расходов, в т. ч. на энергию и транспортных расходов, на единицу продукции	2	30
3	C ₃	Расчет НДС или торговой наценки	1	20
4	C ₄	Цену блюда сравнить с ценой у конкурентов и определить, является ли она привлекательной для покупателей	2	20
5	C ₅	Определение полной стоимости блюда	1	20

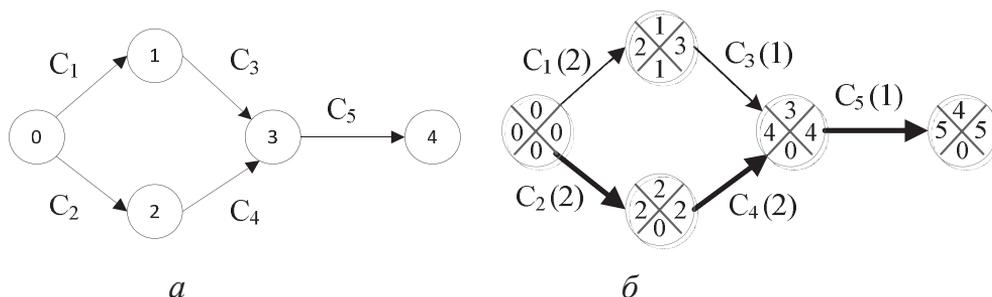


Рис. 3. Сетевая модель для третьей технологии: а – сформированная сетевая модель; б – сетевая модель с рассчитанными временными параметрами

Шориков А.Ф., Буценко Е.В.

гии – 4 дня, для третьей технологии – 5 дней. Таким образом, оптимальный путь рассчитан для всех трех технологий, и можно заметить, что даже на таком небольшом этапе проекта, который рассмотрен в примере, существуют отличия, зависящие от технологии, принятой на конкретном предприятии.

Проведем оптимизацию сформированных сетевых моделей инвестиционного проектирования по параметру стоимости.

При использовании данного метода предполагаем, что уменьшение длительности периода времени для выполнения работы (i, j) , т. е. ее продолжительности, пропорционально возрастанию ее стоимости. Граничные значения длительностей работ a_{ij} и b_{ij} , их стоимости c_{ij} , коэффициенты затрат на ускорение работ h_{ij} , а также результаты оптимизации сетевых моделей по параметру стоимости приведены в табл. 5. Форму-

Таблица 5

Оптимизация сетевых моделей по параметру стоимости

Код работы	Работа (i, j)	Продолжительность работы, дней			Стоимость работы, тыс. руб.			h_{ij}	ΔC
		a_{ij}	t_{ij}	b_{ij}	c_{\min}	c_{ij}	c_{\max}		
Для первой технологии									
A_1	(0, 1)	1	2	3	20	20	25	-	-
A_2	(0, 2)	1	2	3	20	20	30	5	5
A_3	(1, 3)	1	1	2	10	10	15	-	-
A_4	(2, 3)	1	1	2	10	10	15	5	5
A_5	(3, 4)	1	1	1	0	1	10	-	-
	Итого					61			10
Для второй технологии									
B_1	(0, 1)	1	2	4	20	20	30	-	-
B_2	(0, 2)	1	2	4	20	25	30	3,33	6,66
B_3	(1, 3)	1	1	3	10	15	20	-	-
B_4	(2, 3)	1	1	3	10	10	20	5	10
B_5	(3, 4)	1	1	2	10	10	20	-	-
	Итого					80			16,66
Для третьей технологии									
C_1	(0, 1)	2	2	3	30	30	35	5	5
C_2	(0, 2)	2	2	3	30	30	35	-	-
C_3	(1, 3)	1	1	2	20	20	25	5	5
C_4	(2, 3)	2	2	5	20	20	30	-	-
C_5	(3, 4)	1	1	2	20	20	25	-	-
	Итого					120	-	-	10

лы расчетов можно посмотреть, например [13, 16–19, 22–23].

Проанализируем полученные в таблице данные. Стоимость первоначального варианта реализации работ выбранного этапа проекта для первой технологии на основе сформированной сетевой модели равна сумме стоимостей всех определяющих его работ:

$C = \sum_{ij} c_{ij} = 61$ руб. Стоимость реализации проекта после оптимизации по показателю стоимости: $C' = C - \Delta C = 61 - 10 = 51$ руб., т. е. стоимость уменьшилась на 17 %. Если необходимо ускорение выполнения данного этапа, это, естественно, отразится на его стоимости, т. е. она увеличится.

Стоимость работ выбранного этапа проекта для второй технологии составила 80 руб., после оптимизации: $80 - 16,66 = 63,34$ руб., т. е. уменьшилась на 21 %. Стоимость работ аналогичного этапа проекта для третьей технологии составила 120 руб., после оптимизации: $120 - 10 = 110$ руб., т. е. уменьшилась на 8,4 %.

Таким образом, в результате оптимизации управления на основе сетевых моделей для рассматриваемых технологий инвестиционного проектирования сформированы планы работ, позволяющие выполнить весь комплекс необходимых работ выбранного этапа проекта: для первой технологии – за 4 дня и минимальной стоимости 51 руб.; для второй технологии – за 4 дня и минимальной стоимости 63,34 руб.; для третьей технологии – за 5 дней и минимальной стоимости 110 руб.

Далее в соответствии с предложенным выше формализованным описанием процесса оптимизации управления инвестиционным проектированием на основе сетевого моделирования при наличии нескольких технологий, необходимо выбрать вариант оптимального исполнения работ по приготовлению блюда с учетом их продолжительности и стоимости. На основании проведенных расчетов, нетрудно показать, что

оптимальным вариантом является выбор проекта с первой технологией – реализацией всех работ за 4 дня и стоимостью приготовления блюда 51 руб., т. к. при использовании, например, третьей технологии длительность работ для реализации рассматриваемого процесса увеличивается на 1 день, а их стоимость возрастает в два раза и равна 110 руб. Для второй технологии, при такой же длительности ее реализации в 4 дня, стоимость реализации проекта больше и составляет 63,34 руб.

Анализ полученных результатов

Основными результатами предложенного нового метода сетевого экономико-математического моделирования решения задачи оптимизации процессов инвестиционного проектирования при наличии нескольких технологий являются следующие:

- проведен анализ научных подходов к оптимизации управления рассматриваемыми процессами инвестиционного проектирования, который показал актуальность темы исследования и необходимость новых разработок на основе экономико-математического моделирования;
- в работе определены задачи, необходимые для достижения поставленной цели, а также разработаны новая сетевая экономико-математическая модель для решения рассматриваемой оптимизационной задачи и предложена методика ее решения;
- разработанная сетевая экономико-математическая модель, соответствующая процессам инвестиционного проектирования, дает более наглядное представление о содержании процессов в целом и каждой работы в отдельности;
- показывается, что методы сетевого управления посредством графического представления не только дают

наглядное представление о процессах инвестиционного проектирования, но и позволяют осуществить их разностороннее исследование: во-первых, более четко выявить взаимосвязи этапов реализации проекта, во-вторых, определить оптимальный порядок выполнения этих этапов в целях, например, сокращения сроков и стоимости выполнения всего комплекса процессов и работ;

- осуществлена оптимизация разработанной сетевой экономико-математической модели, в основе которой лежит возможность преобразования модели из одной формы в другую, а основными показателями оптимизации являются время и затраты средств на реализацию всех процессов и работ проекта;
- продемонстрирована прикладная значимость разработанных экономико-математической модели и метода решения задачи оптимизации процессов инвестиционного проектирования на конкретной практической задаче: составлен перечень оптимальных операций (работ) проекта, заданы их характеристики, назначены временные и стоимостные ресурсы для всех операций проекта и выполнены другие этапы в соответствии с предложенной методикой исследования. Результаты компьютерного экономико-математического моделирования показывают эффективность применяемой методики.

Выводы

В данной статье предложена новая сетевая экономико-математическая модель и общая схема метода для решения задачи оптимизации управления процессами инве-

стиционного проектирования при наличии нескольких технологий.

Использование сетевых экономико-математических моделей и методов для оптимизации управления процессом инвестиционного проектирования позволяет реализовать достижение главной цели управления – выполнения всех работ проекта в кратчайший срок при сокращении издержек. Если присутствует несколько технологий, т. е. работ или блоков работ для конкретного проекта в разных взаимосвязях, то оптимальным временем для реализации проекта в целом будет являться наименьшее из их длительностей.

Предложенная сетевая экономико-математическая модель и метод решения рассматриваемой в статье задачи оптимизации процессов инвестиционного проектирования могут служить основой для разработки, создания и применения соответствующих компьютерных информационных систем поддержки принятия управленческих решений хозяйствующими субъектами.

Использование предлагаемого подхода к решению задачи оптимизации управления процессом инвестиционного проектирования на основе сетевого экономико-математического моделирования является надежным обоснованием качества инвестиционных проектов, что способствует принятию инвесторами взвешенных решений.

В заключение отметим также, что практическое применение новых экономико-математических моделей и методов для оптимизации процессов инвестиционного проектирования в меняющихся условиях деловой среды способствует эффективному развитию бизнеса. При оптимизации работ инвестиционного проектирования для конкретной компании повышается эффективность ее функционирования и позиционирования на рынке. Следовательно, проведенное в настоящей статье исследование является важным и актуальным для данной области экономики.

Список использованных источников

1. Брагинский О.Б., Татевосян Г.М., Седова С.В. Методология обоснования инвестиционных программ и их оптимизация при ограниченных финансовых ресурсах (на примере химического комплекса) // Журнал Новой экономической ассоциации. 2014. № 3 (23). С. 130–152.
2. Геращенко И. Оптимизация инвестиционного проектирования в предпринимательской деятельности // Проблемы теории и практики управления. 2007. № 12. С. 93–102.
3. Горбунов М.А., Медведев А.В. Комбинирование оптимизационного и имитационного подходов при оценке и анализе проектов реальных инвестиций // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. ак. М.Ф. Решетнева. 2009. № 1-2. С. 134–138.
4. Козлитина О.М. Оптимизация инвестиционных проектов на примере ОАО «Парфинский фанкомбинат» // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2010. № 1. С. 167–168.
5. Кофман А., Дебазей Г. Сетевые методы планирования и их применение / пер. с фр. М.: Прогресс, 1968. 181 с.
6. Таха Хемди А. Введение в исследование операций. 7-е изд. / пер. с англ. М.: Вильямс, 2005. 912 с.
7. Тен В.В., Герасимов Б.И. Экономические основы стабильности банковской системы России. Тамбов: ТГТУ, 2001. 308 с.
8. Филипс Д., Гарсиа-Диас А. Методы анализа сетей / пер. с англ. М.: Мир, 1984. 496 с.
9. Хадзарагова Е.А. О методах скаляризации векторных оценок в многокритериальных оптимизационных задачах // Фундаментальные и прикладные исследования. 2015. № 18. С. 123–127.
10. Царев В.В. Внутрифирменное планирование. СПб.: Питер, 2002. 496 с.
11. Чичкова И.В., Авилова В.В. Оптимизация инвестиционной деятельности ОАО «Татнефть» // Вестник Казанского технологического университета. 2007. № 5. С. 152–160.
12. Шориков А.Ф., Буценко Е.В. Построение сетевой экономико-математической модели для реализации процесса оптимизации инвестиционного проектирования // Прикладная информатика. 2015. Т. 10, № 2(56). С. 80–91.
13. Шориков А.Ф., Буценко Е.В. Методика оптимизации инвестиционного проектирования на основе сетевого моделирования и ее приложения // Вестник Пермского университета. Сер. «Экономика». 2015. № 4(27). С. 62–70.
14. Шориков А.Ф., Султанахметов Д.Р. Оптимизация процессов строительства на основе сетевого экономико-математического моделирования // Экономика знаний в глобальном информационном обществе : сб. материалов III Рос. науч.-практ. конф. с международ. участием. Пермь: Перм. гос. гуманитар.-пед. ун-т, 2015. С. 90–93.
15. Brealey R.A., Myers S.C., Allen F. Principles of Corporate Finance. 10th Edition. McGraw-Hill/Irwin, 2010. 968 p.

16. Chen S.-P., Tsai M.-J. Time-cost trade-off analysis of project networks in fuzzy environments // *European Journal Operational Research*. 2011. Vol. 212. P. 386–397.
17. Day M.V. Boundary-influenced robust controls: two network examples // *ESAIM: Control, Optimization and Calculus of Variations*. 2006. Vol. 12, No 3. P. 662–698.
18. Kelley J.E.Jr., Walker M.R. Critical Path Planning and Scheduling // *Proceeding of the Eastern Joint computer conference*. Boston: Mass 1959. P. 160–173.
19. Newman M.E.J. The Structure and Function of Networks // *Computer Physics Communications*. 2002. Vol. 147. P. 40–45.
20. Paleru K.G., Healy P.M., Bernard V.L. *Business Analysis and Valuation*. 3rd Edition. South-Western Educational Publishing, 2005. 928 p.
21. Pratt Sh. *The Market Approach to Valuing Business*. 2nd Edition. NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2005. 432 p.
22. Robinson E.W, Gao L., Muggenborg S. Designing an Integrated Distribution System at DowBrands, Inc. // *Interfaces*. 1993. Vol. 23, No 3. P. 107–117.
23. Watts D.J. Collective Dynamics of «Small-world» Networks // *Nature*. 1998. Vol. 393. P. 440–442.

Shorikov A.F.*Ural Federal University
named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
Ekaterinburg, Russia***Butsenko E.V.***Ural State University of Economics,
Ekaterinburg, Russia*

NETWORK MODELING OF OPTIMIZATION PROCESSES OF INVESTMENT PROJECTING IN THE PRESENCE OF MULTIPLE TECHNOLOGIES

Abstract. This article deals with current issues of management of investment design for a business entity. To solve the problems of optimization of the process of investment design the authors suggest using network economic and mathematical modeling, which allows you to see the best time for the implementation of an investment project and serves as a tool for improving the economic potential and competitiveness of the enterprise. The article describes a new economic and mathematical model of network optimization that takes into account the presence in the process of investment design of several technology options and proposes a method for solving this problem. That is what is the novelty and scientific hypothesis of this article: the formation of a new model to optimize the management processes of investment and the method of its solution. This article contains a substantive application example that shows the processes of formation of the network models, including the definition of workflow process-specific investment design, appropriate network schedules are built. Parameters of the network model are calculated. Optimum paths are formed and optimal time is calculated for selected investment project technologies. At the end of this work analysis of the calculations showing options for the project is carried out, taking into account the time and cost of the work. The results of solving the problem of optimizing the design of the investment management process in the presence of several technologies confirm the effectiveness of the proposed methodology and findings, suggest the impact of economic and mathematical modeling of network methods for solving the main tasks of investment design – those of forecasting results and managing the process. Thus, the purpose of the study has been achieved - the proposed network process modeling makes it possible to optimize the design of the investment data management process for the selected indicators of its quality. Optimization of the process of investment design based on network modeling is one way to justify the attractiveness of specific investment projects that enables investors to make informed decisions.

Key words: network modeling; economic and mathematical modeling; investment projecting; methods of network planning and management; the optimization of the investment projecting; the challenge to optimize the management; selection of optimal technology; the optimal network model; the optimal duration of the project.

References

1. Braginskii, O.B., Tatevosian, G.M., Sedova, S.V. (2014). Metodologiya obosnovaniia investitsionnykh programm i ikh optimizatsiia pri ogranichennykh finansovykh resursakh (na primere khimicheskogo kompleksa) (Methodology of Investment Programs' Studying and Its Optimization in Bounded Financial Resources (the Example of Chemical Industry)). *Zhurnal Novoi ekonomicheskoi assotsiatsii (Journal of the New Economic Association)*, No 3 (23), 130–152.
2. Gerashchenko, I. (2007). Optimizatsiia investitsionnogo proektirovaniia v predprinimatel'skoi deiatel'nosti (Optimization of Investment Projecting in Business). *Problemy teorii i praktiki upravleniia (Theoretical and Practical Aspects of Management)*, No 12, 93–102.
3. Gorbunov, M.A., Medvedev, A.V. (2009). Kombinirovanie optimizatsionnogo i imitatsionnogo podkhodov pri otsenke i analize proektov real'nykh investitsii (The combination of optimization and simulation approaches by valuation and analysis of real investments). *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. ak. M.F. Reshetneva (SibGAU Vestnik)*, No 1-2, 134–138.
4. Kozlitina, O.M. (2010). Optimizatsiia investitsionnykh proektov na primere OAO «Parfinskii fankombinat» (Optimization of investment projects on example of Parfinsky Fankombinat). *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoi vestnik (Moscow state forest university bulletin — Lesnoi vestnik)*, No 1, 167–168.
5. Kaufmann, A. Desbazeille, G. (1974). *Application aut Programms de Production et d'Etudes de la Methode P.E. R. T. et de ses Variantes*. Paris, Dunod.
6. Taha, H. (2010). *Operations Research. An Introduction*. Pearson
7. Ten, V.V., Gerasimov, B.I. (2001). *Ekonomicheskie osnovy stabil'nosti bankovskoi sistemy Rossii [Economic foundations for the stability of Russia's banking system]*. Tambov, Tambov State Technical University
8. Phillips, D., Garcia-Diaz, A. (1981). *Fundamentals of network analysis*. Prentice-Hall.
9. Khadzaragova, E.A. (2015). O metodakh skaliarizatsii vektornykh otsenok v mnogokriterial'nykh optimizatsionnykh zadachakh [Methods of scalarization of vector evaluations in multi-criteria optimization problems]. *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniia [Fundamental and applied research]*, No 18, 123–127.
10. Tsarev, V.V. (2002). *Vnutrifirmennoe planirovanie [Firm planning]*. St Petersburg, Piter.
11. Chichkova, I.V., Avilova, V.V. (2007). Optimizatsiia investitsionnoi deiatel'nosti OAO «Tatneft'» [Optimization of investment activity of Tatneft]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta (Herald of Kazan Technological University)*, No 5, 152–160.
12. Shorikov, A.F., Butsenko, E.V. (2015). Postroenie setevoi ekonomiko-matematicheskoi modeli dlia realizatsii protsessa optimizatsii investitsionnogo proektirovaniia (Building a network of economic-mathematical model for the implementation of the optimization

- process of investment projecting). *Prikladnaia informatika (Applied Informatics)*, Vol. 10, No 2(56), 80–91.
13. Shorikov, A.F., Butsenko, E.V. (2015). Metodika optimizatsii investitsionnogo proektirovaniia na osnove setevogo modelirovaniia i ee prilozheniia (Investment planning optimization methods based on network modeling and their applications). *Vestnik Permskogo universiteta. Ser. «Ekonomika» (Perm University Herald. Economy)*, No 4(27), 62–70.
 14. Shorikov, A.F., Sultanakhmetov, D.R. (2015). Optimizatsiia protsessov stroitel'stva na osnove setevogo ekonomiko-matematicheskogo modelirovaniia [Optimization of construction processes on the basis of economic and mathematical modeling]. *Proceedings of 3rd international conference "Knowledge economy in global information society"*, Perm, Perm State Humanitarian Pedagogical University, 90–93.
 15. Brealey, R.A., Myers, S.C., Allen, F. (2010). *Principles of Corporate Finance*. 10th Edition. McGraw-Hill/Irwin, 968.
 16. Chen, S.-P., Tsai, M.-J. (2011). Time-cost trade-off analysis of project networks in fuzzy environments. *European Journal Operational Research*, Vol. 212, 386–397.
 17. Day, M.V. (2006). Boundary-influenced robust controls: two network examples. *ESAIM: Control, Optimization and Calculus of Variations*, Vol. 12, No 3, 662–698.
 18. Kelley, J.E.Jr., Walker, M.R. (1959). Critical Path Planning and Scheduling. *Proceeding of the Eastern Joint computer conference*. Boston, Mass, 160–173.
 19. Newman, M.E.J. (2002). The Structure and Function of Networks. *Computer Physics Communications*, Vol. 147, 40–45.
 20. Paleru, K.G., Healy, P.M., Bernard, V.L. (2005). *Business Analysis and Valuation*. 3rd Edition. South-Western Educational Publishing, 928.
 21. Pratt, Sh. (2005). *The Market Approach to Valuing Business*. 2nd Edition. NJ, John Wiley & Sons, Inc., 432.
 22. Robinson, E.W, Gao, L., Muggenborg S. (1993). Designing an Integrated Distribution System at Dow Brands, Inc. *Interfaces*, Vol. 23, No 3, 107–117.
 23. Watts, D.J. (1998). Collective Dynamics of «Small-world» Networks. *Nature*, Vol. 393, 440–442.

Information about the authors

Shorikov Andrey Fedorovich – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Department of Applied Mathematics, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia (620002, Ekaterinburg, Mira street, 19); e-mail: afshorikov@mail.ru.

Butsenko Elena Vladimirovna – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, the Department of Business Informatics, Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia (620144, Ekaterinburg, 8 March street, 62); e-mail: evl@usue.ru.