

13. Hasany, R. M. A comprehensive formulation for railroad blocking problem [Text] / R. M. Hasany, Y. Shafahi, S. F. Kazemi // In ECMS. Proceedings 27th European Conference on Modelling and Simulation, 2013. – P. 758–763. doi: 10.7148/2013-0758
14. Харари, Ф. Теория графов [Текст] / Ф. Харари. – М.: Наука, 1973. – 300 с.
15. Прохорченко, А. В. Концептуальні підходи до управління пропускнуою спроможністю залізничної інфраструктури в умовах конкуренції на ринку перевезень [Текст] / А. В. Прохорченко // Залізничний транспорт України. – 2013. – Вип. 3/4. – С. 63–65.
16. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский; пер. с польск. И. Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с.
17. Dijkstra, E. W. A note on two problems in connexion with graphs [Text] / E. W. Dijkstra // In Numerische Mathematik. – 1959. – Vol. 1, Issue 1. – P. 269–271. doi: 10.1007/bf01386390

*Розглядається задача вибору методології для управління проектом. Для її вирішення запропоновано використовувати математичну модель оптимізації змісту проекту за п'ятьма критеріями і метод вирішення цього завдання, що розвиває ідею методу поступок. У наведеній статті дана задача вирішена для проекту в області ІТ із застосуванням двох методологій Scrum і Crystal Clear. Розрахунки виконано за допомогою програмного засобу «ScopePro». Наводиться опис результатів і аналіз їх стійкості до зміни вихідних даних*

*Ключові слова: управління проектами, методологія, вибір, оптимізація змісту, Scrum, Crystal Clear, стійкість*

*Рассматривается задача выбора методологии для управления проектом. Для ее решения предложено использовать математическую модель оптимизации содержания проекта по пяти критериям и метод решения этой задачи, развивающий идею метода уступок. В приведенной статье данная задача решена для проекта в области ИТ с применением двух методологий Scrum и Crystal Clear. Расчеты произведены с помощью программного средства «ScopePro». Приводится описание результатов и анализ их устойчивости к изменению исходных данных*

*Ключевые слова: управление проектами, методология, выбор, оптимизация содержания, Scrum, Crystal Clear, устойчивость*

УДК 519.857.6

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.47406

# РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ВЫБОРА МЕТОДОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТОМ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ СОДЕРЖАНИЯ ПРОЕКТА

И. В. Кононенко

Доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой\*

А. В. Харазий

Аспирант\*

\*Кафедра стратегического управления  
Национального технического университета  
"Харьковский политехнический институт"  
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

## 1. Введение

Методология управления проектом оказывает большое влияние на время его осуществления, на стоимость, на качество продуктов этапов и всего проекта в целом, на риски ему сопутствующие. Путем решения задачи оптимизации содержания проекта для альтернативных методологий можно сделать обоснованный выбор наиболее эффективной методологии.

Известны работы, посвященные выбору методологии для управления конкретным проектом, которые содержат общие рекомендации по применению «тяжелых» и «гибких» методологий, однако не предлагается сделать выбор наиболее адекватной методологии путем решения оптимизационной задачи.

Предлагаемая работа представляет собой изложение результатов выбора методологии управления проектом на основе многокритериальной оптимизации содержания проекта, а также проверку на устойчивость полученного решения.

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Выбору методологий для управления конкретным проектом посвящена работа [1]. В ней даны общие рекомендации по выбору среди водопадных, спиралеподобных и адаптивных методологий, приведены их характеристики. Предложенные рекомендации не

позволяют сделать строгий выбор одной, лучшей методологии. В статье [2] также приведен подход к выбору методологий, рекомендательного содержания, состоящий из шести этапов. В основу данного подхода положено экспертное оценивание факторов проекта и окружения и рекомендации по применению predictive или adaptive методологий. Работа [2] также не позволяет сделать обоснованный выбор лучшей методологии с достаточной точностью.

В работе [3] утверждается, что для проекта надо создавать специальную методологию. Это позволит повысить эффективность управления. Однако подбор методологии для проекта из числа уже существующих имеет свои преимущества – такая методология доступна и хорошо описана, тогда как синтез специальной методологии является сложным, дорогим и длительным процессом.

В работе [4] описаны этапы работ по внедрению методологии управления проектами, однако сам процесс выбора методологии из возможных формально не представлен.

Данная работа посвящена применению моделей, методов и средств оптимизации содержания проектов для выбора методологии управления ими. В этой связи большое значение имеют достижения в области многокритериальной оптимизации содержания проектов.

Авторами работы [5] была создана математическая модель задачи оптимизации содержания проекта по пяти критериям: прибыль, время, стоимость, качество. В работе [6] предложен метод решения поставленной задачи, развивающий идею метода последовательных уступок.

Данная модель и метод предлагается применить для решения задачи выбора методологии управления проектом [7].

Решение подобной задачи достаточно трудоемко и требует больших вычислительных затрат, поэтому было разработано программное средство «ScopePro», описанное в работе [8].

Среди работ последних пяти лет в этой области наряду с указанными выше работами [5, 6] следует отметить статью [9], в которой рассматривается дискретная задача поиска компромисса между временем, стоимостью проекта и его влиянием на окружающую среду. Задача решается для крупномасштабных строительных систем с множеством способов действий и с учетом нечеткости данных. Общая длительность проекта рассматривается как нечеткая переменная. Целевыми функциями задачи являются общая стоимость проекта, его продолжительность, crashing стоимость и влияние на окружающую среду. Для поиска эффективных решений задачи предложен адаптивный гибридный генетический алгоритм. Представлены результаты анализа чувствительности полученных решений.

Решения, получаемые с помощью того или иного метода оптимизации содержания проекта, подвержены существенному влиянию входных данных. Исходная информация для данной задачи всегда содержит значительную степень неопределенности, поэтому получаемые решения должны анализироваться с точки зрения их устойчивости к изменению исходных данных.

В работах [10–13] предлагается найти количественные оценки, характеризующие меру устойчиво-

сти оптимальных решений. Основой рассматриваемого подхода является понятие радиуса устойчивости, под которым авторы понимают предельный уровень возмущений параметров задачи, сохраняющих некоторые свойства оптимальных решений. Авторы работ [14–18] фокусируются на поиске и описании области устойчивости оптимального решения для векторных задач дискретной оптимизации. В работе [19] рассматривается модель функционирования организации и ее устойчивость относительно поставленной цели. При этом выделяются два вида устойчивости: к первому виду относится устойчивость плана развития организации; ко второму – устойчивость относительно цели при изменении плана развития организации. Далее предлагаются методики вычисления показателя устойчивости в отношении целей, определенных для организации, для первого и второго вида устойчивости. В работе [20] представлен наиболее полный обзор существующих исследований в теории устойчивости.

Для математической модели (1)–(10) [5], содержащей алгоритмические и аналитические целевые функции и ограничения, выполнить анализ устойчивости аналитически, как это предлагается в работах [10–18] достаточно проблематично. Альтернативой аналитического анализа устойчивости является применение метода Монте-Карло [19].

---

### 3. Цель и задачи исследования

---

Целью работы является решение задачи выбора методологии управления для конкретного проекта в области IT путем оптимизации его содержания.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- рассмотреть проект создания компьютерной программы планирования и прогнозирования развития предприятия;
- в качестве альтернативных методологий управления проектом рассмотреть применение Scrum и Crystal Clear;
- оптимизировать содержание проекта с помощью программного средства «ScopePro» при применении методологий Scrum и Crystal Clear;
- проверить решения на устойчивость с помощью метода Монте-Карло;
- проанализировать результаты решения.

---

### 4. Подготовка входных данных для решения задачи оптимизации содержания проекта

---

Для выбора методологии управления проектом предлагается применить оптимизацию содержания проекта с учетом использования для управления им конкретной методологии. В свою очередь, для оптимизации содержания проекта рекомендуется применить модель пятикритериальной оптимизации, предложенную в работе [5] и вариант метода уступок [6].

На начальном этапе процедура решения задачи заключается в расположении всех критериев в порядке их относительной важности. Далее применяется метод последовательных уступок.

В работе рассматривается проект, посвященный созданию компьютерной программы «ForPlan», который планирует осуществить одна из ИТ-компаний. Данная компьютерная программа предназначена для решения задач, возникающих в процессе маркетингового анализа и стратегического управления на уровне отдельного предприятия, корпорации, отрасли.

На основе данных о проекте были сформированы исходные данные для решения задачи.

Проект имеет 5 этапов, на каждом из которых предложено 3 альтернативных варианта осуществления операций. В табл. 1, 2 представлена информация о средствах, выделяемых на каждый этап ( $K_h$ ), о количестве альтернативных вариантов выполнения работ на каждом этапе ( $M_h$ ), о времени ( $t_{hj}$ ), которое необходимо для реализации каждого варианта на каждом этапе. Информация представлена для случаев применения методологий: Scrum – табл. 1 и Crystal Clear – табл. 2.

Таблица 1

Исходные данные для расчета при использовании методологии Scrum

Этап 1	Этап 2	Этап 3	Этап 4	Этап 5
$h=1$	$h=2$	$h=3$	$h=4$	$h=5$
$K_1=60$ тыс. грн.	$K_2=46$ тыс. грн.	$K_3=50$ тыс. грн.	$K_4=50$ тыс. грн.	$K_5=45$ тыс. грн.
$M_1=3$	$M_2=3$	$M_3=3$	$M_4=3$	$M_5=3$
$t_{10}=35,5$ дней	$t_{20}=23,5$ дней	$t_{30}=23,3$ дней	$t_{40}=23,3$ дней	$t_{50}=17$ дней
$t_{11}=41$ дней	$t_{21}=24$ дней	$t_{31}=23,1$ дней	$t_{41}=23,1$ дней	$t_{51}=23,8$ дней
$t_{12}=29,3$ дней	$t_{22}=23,5$ дней	$t_{32}=24,8$ дней	$t_{42}=24,8$ дней	$t_{52}=13,3$ дней

Таблица 2

Исходные данные для расчета при использовании методологии Crystal Clear

Этап 1	Этап 2	Этап 3	Этап 4	Этап 5
$h=1$	$h=2$	$h=3$	$h=4$	$h=5$
$K_1=60$ тыс. грн.	$K_2=46$ тыс. грн.	$K_3=50$ тыс. грн.	$K_4=50$ тыс. грн.	$K_5=45$ тыс. грн.
$M_1=3$	$M_2=3$	$M_3=3$	$M_4=3$	$M_5=3$
$t_{10}=33$ дней	$t_{20}=20,5$ дней	$t_{30}=21,7$ дней	$t_{40}=21,6$ дней	$t_{50}=15,5$ дней
$t_{11}=40,5$ дней	$t_{21}=20,5$ дней	$t_{31}=21,2$ дней	$t_{41}=21,2$ дней	$t_{51}=22,75$ дней
$t_{12}=29,6$ дней	$t_{22}=20,8$ дней	$t_{32}=23,5$ дней	$t_{42}=23,5$ дней	$t_{52}=11$ дней

Для расчета времени, необходимого для реализации некоторого варианта на определенном этапе, была предварительно использована система управления проектами MSProject 2007. При описании операций, выполняемых на определенном этапе в соответствии с выбранным вариантом, наряду с операциями непосредственно по созданию компьютерной программы, учтены работы по управлению данным проектом с помощью выбранной методологии.

Остаточная стоимость выбывающих основных фондов при осуществлении на определенном этапе выбранного варианта ( $E_{hj}$ ) в рассматриваемом проекте равна нулю.

В табл. 3, 4 содержится информация об общей стоимости выполнения операций  $j$ -го варианта на  $h$ -м этапе данного проекта. Для расчета стоимости варианта ( $w_{hj}$ ) в среде MSProject были введены и назначены трудовые и материальные ресурсы, необходимые для реализации определенной работы.

Таблица 3

Исходные данные о стоимости выполнения операций на  $h$ -м этапе для  $j$ -го варианта выполнения при использовании методологии Scrum, тыс. грн

Этап 1	Этап 2	Этап 3	Этап 4	Этап 5
$w_{11}=59,3$	$w_{21}=45,3$	$w_{31}=49,01$	$w_{41}=49,01$	$w_{51}=49,1$
$w_{12}=57,1$	$w_{22}=45,7$	$w_{32}=48,9$	$w_{42}=48,9$	$w_{52}=43,3$
$w_{13}=59,4$	$w_{23}=45,3$	$w_{33}=49,1$	$w_{43}=49,1$	$w_{53}=40,6$

Таблица 4

Исходные данные о стоимости выполнения операций на  $h$ -м этапе для  $j$ -го варианта выполнения при использовании методологии Crystal Clear, тыс. грн

Этап 1	Этап 2	Этап 3	Этап 4	Этап 5
$w_{11}=50,3$	$w_{21}=37,1$	$w_{31}=42,3$	$w_{41}=42,3$	$w_{51}=37,2$
$w_{12}=48,1$	$w_{22}=37,1$	$w_{32}=42,2$	$w_{42}=42,2$	$w_{52}=36,05$
$w_{13}=48,7$	$w_{23}=37,1$	$w_{33}=42,2$	$w_{43}=42,2$	$w_{53}=37,7$

Данные о показателях качества продукта представлены в табл. 5, 6, а о показателях рисков – в табл. 7, 8 для методологии Scrum и Crystal Clear, соответственно.

Таблица 5

Значения показателей качества продукта при использовании методологии Scrum

Этап 1	Этап 2	Этап 3	Этап 4	Этап 5
$\Psi_{111}=0,58$	$\Psi_{211}=0,75$	$\Psi_{311}=0,48$	$\Psi_{411}=0,48$	$\Psi_{511}=0,38$
$\Psi_{121}=0,62$	$\Psi_{221}=0,28$	$\Psi_{321}=0,48$	$\Psi_{421}=0,48$	$\Psi_{521}=0,58$
$\Psi_{131}=0,54$	$\Psi_{231}=0,7$	$\Psi_{331}=0,53$	$\Psi_{431}=0,53$	$\Psi_{531}=0,6$

Таблица 6

Значения показателей качества продукта при использовании методологии Crystal Clear

Этап 1	Этап 2	Этап 3	Этап 4	Этап 5
$\Psi_{111}=0,49$	$\Psi_{211}=0,88$	$\Psi_{311}=0,36$	$\Psi_{411}=0,36$	$\Psi_{511}=0,16$
$\Psi_{121}=0,58$	$\Psi_{221}=0,51$	$\Psi_{321}=0,36$	$\Psi_{421}=0,36$	$\Psi_{521}=0,64$
$\Psi_{131}=0,54$	$\Psi_{231}=0,91$	$\Psi_{331}=0,36$	$\Psi_{431}=0,36$	$\Psi_{531}=0,58$

Таблица 7

Значения показателей рисков при использовании методологии Scrum

Этап 1	Этап 2	Этап 3	Этап 4	Этап 5
$\Theta_{111}=0,12$	$\Theta_{211}=0,25$	$\Theta_{311}=0,08$	$\Theta_{411}=0,08$	$\Theta_{511}=0,04$
$\Theta_{121}=0,15$	$\Theta_{221}=0,02$	$\Theta_{321}=0,08$	$\Theta_{421}=0,08$	$\Theta_{521}=0,12$
$\Theta_{131}=0,11$	$\Theta_{231}=0,1$	$\Theta_{331}=0,1$	$\Theta_{431}=0,1$	$\Theta_{531}=0,14$

Таблица 8

Значения показателей рисков при использовании методологии Crystal Clear

Этап 1	Этап 2	Этап 3	Этап 4	Этап 5
$\Theta_{111}=0,08$	$\Theta_{211}=0,42$	$\Theta_{311}=0,04$	$\Theta_{411}=0,04$	$\Theta_{511}=0,04$
$\Theta_{121}=0,12$	$\Theta_{221}=0,09$	$\Theta_{321}=0,04$	$\Theta_{421}=0,04$	$\Theta_{521}=0,16$
$\Theta_{131}=0,1$	$\Theta_{231}=0,49$	$\Theta_{331}=0,04$	$\Theta_{431}=0,04$	$\Theta_{531}=0,12$

Показатель рисков  $\Theta_{hji}$  оценивает риск  $i$ -го рисковог о события на  $h$ -м этапе проекта при реализации  $j$ -го альтернативного варианта,  $i=1, I$ . Он равен произведению вероятности появления этого рисковог о события  $P_{hji}$  на оценку негативных последствий от его наступления  $V_{hji}$ .

Значения показателей качества и рисков могут быть получены различными путями, например, как медианы оценок группы экспертов. Но такой подход достаточно неточный и неудобный. В этом случае нельзя избежать некоторой субъективности, а при большом количестве этапов и альтернатив еще и серьезных трудозатрат при анализе каждой альтернативы.

Для предложенной задачи критерием качества продукта предлагается считать типы связей между операциями, которые содержатся в каждой альтернативе. Полагаем, что идеальное качество продукта получаем лишь в том случае, если операции этапа идут последовательно одна за другой. В этом случае все внимание команды проекта и все ресурсы концентрируются на одной операции. При этом может быть организовано высокоэффективное управление качеством, специализированное на конкретной операции. Предполагается, что задачи только с последовательной связью обеспечат идеальное качество, равное единице. Полагаем, что любое разветвление в сетевой модели ведет к потере качества продукта.

Показатель качества будем оценивать следующим образом:

$$\Psi = \frac{N_s + (M_\Psi * N_p)}{N_s + N_p}, \tag{1}$$

где  $N_s$  – количество последовательных задач в этапе;  $M_\Psi$  – штрафы по качеству;  $N_p$  – количество параллельных задач в этапе.

В качестве штрафа принимаем штраф, который назначается каждой операции этапа, выполняемой параллельно с другой операцией.

Размер штрафа рассчитывается следующим образом:

$$M_\Psi = \frac{N_s}{N_s + N_p}. \tag{2}$$

Рассматривается один тип рисков, а именно, срыв сроков по выполнению конкретного этапа. В качестве критерия риска, в данном случае, выступает тип связей между операциями. Предполагается, что для данного типа проекта вероятность смещения сроков велика, и чем больше задач расположено последовательно, тем выше вероятность того, что увеличение продолжительности одной задачи приведет к увеличению продолжительности всего этапа. Наоборот – при

параллельном выполнении операций такая вероятность снижается.

Формулы для расчета рисков:

$$\Theta = 1 - \frac{N_p + (M_p * N_s)}{N_s + N_p}, \tag{3}$$

где  $M_p$  – штрафы по рискам.

$$MP = \frac{N_p}{N_s + N_p}. \tag{4}$$

В табл. 9, 10 представлена общая исходная информация для проекта, не зависящая от используемой методологии.

В табл. 9 представлены данные о спросе В и о цене на компьютерную программу С.

Таблица 9

Исходные данные о спросе и цене

Показатели	Годы		
	1 год	2 год	3 год
В, шт	4	5	6
С, тыс. грн	170	170	170

За первый год фазы производства, реализации и поддержки продукции планируется продать 4 компьютерных программы. На второй и на третий – 5 и 6, соответственно.

Исходные данные о производственной мощности представлены в табл. 10.

Таблица 10

Исходные данные о производственной мощности,  $A_t^{(i)}$ , шт

Варианты	Годы		
	1 год	2 год	3 год
1	4	5	6
2	4	5	6
3	4	5	6

Текущие расходы в течение фазы производства, реализации и поддержки продукции рассчитывались исходя из заработной платы команды проекта и коммунальных платежей. В рассматриваемом проекте текущие расходы не зависят от варианта выполнения операций на любом из пяти этапов проекта, от номера этапа и от года. Они составляют 573,3 тысячи гривен.

Собранная информация была применена для оптимизации содержания проекта, при условии, что для управления ним используются методология Scrum или Crystal Clear.

**5. Результаты решения задачи оптимизации содержания проекта, для управления которым применяется методология Scrum**

При решении задачи критерии были проранжированы в следующем порядке: прибыль, стоимость, риски, качество и время. Была проведена серия вы-

числений для двух наборов значений уступок с ограничением по времени выполнения проекта 120 дней. Уступки задавались с помощью вектора  $C^*=(c_1^*, c_2^*, c_3^*, c_4^*)$ , где  $c_1^*$  значение уступки, выраженное в процентах,  $c_1^*$  – уступка по прибыли,  $c_2^*$  – уступка по стоимости,  $c_3^*$  – уступка по рискам,  $c_4^*$  – уступка по качеству.

Первый набор уступок включает только нули. Это означает, что при оптимизации содержания проекта по стоимости вводится ограничение, требующее, чтобы прибыль была не хуже, чем в результате оптимизации по прибыли. При оптимизации по рискам сохраняется тоже ограничение по прибыли и вводится ограничение, требующее, чтобы стоимость проекта была не больше, чем при оптимизации по стоимости. При оптимизации по качеству сохраняются те же ограничения по прибыли и стоимости и вводится ограничение, предполагающее, что риски будут не хуже, чем при оптимизации по рискам. Наконец, при оптимизации времени аналогично сохраняются ограничения по прибыли, стоимости, рискам и добавляется ограничение, требующее, чтобы качество было не хуже, чем при оптимизации по качеству. Тем самым поиск решения привязывается к нахождению вектора альтернатив, дающего максимальную прибыль. На рис. 1 представлена экранная форма результата решения задачи оптимизации содержания проекта, для управления которым применяется методология Scrum.



Рис. 1. Решение задачи с вектором уступок  $C^*=(0, 0, 0, 0)$

Результирующие значения целевых функций рисков и качества равны сумме значений соответствующих показателей для выбранных альтернатив по всем этапам. Для качества – это нормированные значения. Значения показателей качества и рисков, соответствующие выбранной комбинации альтернатив, представлены в табл. 11.

Таблица 11

Значения оптимальных показателей качества и рисков на каждом из этапов при использовании методологии Scrum,  $C^*=(0, 0, 0, 0)$

Значения критериев оптимизации	Этап 1, альтернатива 1	Этап 2, альтернатива 1	Этап 3, альтернатива 2	Этап 4, альтернатива 2	Этап 5, альтернатива 3
Качество	0,58	0,75	0,48	0,48	0,60
Риски	0,12	0,25	0,08	0,08	0,14

Второй расчет сделан для вектора уступок  $C^*=(1, 1, 1, 1)$  (рис. 2). Последовательность решения задач оптимизации оставлена прежней.



Рис. 2. Решение задачи с вектором уступок  $C^*=(1, 1, 1, 1)$

В табл. 12 приведены значения рисков и качества для выбранных альтернатив.

Таблица 12

Значения оптимальных показателей качества и рисков на каждом из этапов при использовании методологии Scrum,  $C^*=(1, 1, 1, 1)$

Значения критериев оптимизации	Этап 1, альтернатива 3	Этап 2, альтернатива 1	Этап 3, альтернатива 3	Этап 4, альтернатива 3	Этап 5, альтернатива 3
Качество	0,54	0,75	0,53	0,53	0,60
Риски	0,11	0,25	0,10	0,10	0,14

В сводной таблице (табл. 13) приведены результаты двух оптимизаций с различными векторами уступок. Как видно из таблицы, решение с большими уступками отличается лучшим качеством (меньше значения показателя) и меньшей длительностью, однако незначительно проигрывает по остальным показателям.

Таблица 13

Результаты решения при разных векторах уступок при использовании методологии Scrum

Целевые функции	Вектор уступок	
	$C^*=(0, 0, 0, 0)$	$C^*=(1, 1, 1, 1)$
Прибыль, тыс. грн.	438.0	437.5
Затраты, тыс. грн.	243.0	243.5
Качество	1.83	1.702
Риски	0.67	0,6800
Длительность всего проекта, дни	119	116

Табл. 14 отражает соотношение результатов решений. Значения, полученные для вектора уступок  $C^*=(1, 1, 1, 1)$ , выражены в процентном отношении от результатов, полученных для вектора  $C^*=(0, 0, 0, 0)$ . Как видно из табл. 14, интегральное значение нормированного показателя качества уменьшилось на 7 % (т. е. улучшилось).

Таблица 14

Таблица соотношения результатов решений при использовании методологии Scrum

Целевые функции	Вектор уступок	
	$C^*=(0, 0, 0, 0)$	$C^*=(1, 1, 1, 1)$
Прибыль, тыс. грн.	100	99,8858
Затраты, тыс. грн.	100	100,2058
Качество	100	93,0055
Риски	100	101,4925
Длительность всего проекта, дни	100	97,4790

Результаты, приведенные в табл. 15, можно более наглядно отразить на лепестковой диаграмме (рис. 3).

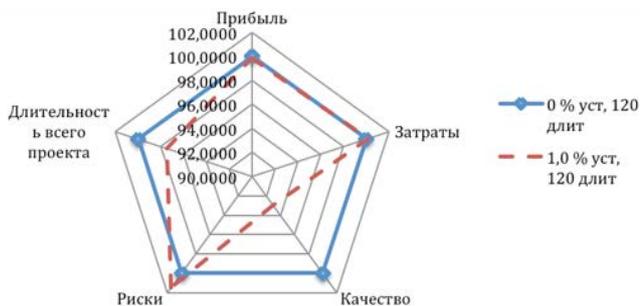


Рис. 3. Соотношение значений критериев оптимизации с использованием методологии Scrum

Диаграмма (рис. 3) отражает соотношения результатов решений.

**6. Результаты решения задачи оптимизации содержания проекта, для управления которым применяется методология Crystal Clear**

Как и для представленной выше методологии Scrum, для методологии Crystal Clear был проведен ряд аналогичных экспериментов при тех же исходных данных, с векторами уступок  $C^*=(0, 0, 0, 0)$  и  $C^*=(1, 1, 1, 1)$  при ограничении по длительности проекта, равном 120 дням. В табл. 15–17 и на рис. 4–6 представлены результаты вычислений и их анализа.

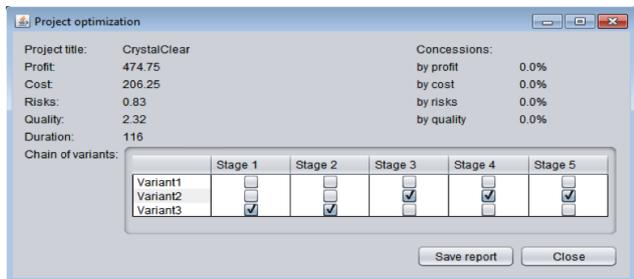


Рис. 4. Решение задачи с вектором уступок  $C^*=(0, 0, 0, 0)$

Как следует из рис. 4, 5, решения для двух векторов уступок не отличаются.

В результате исследования можно сделать следующие выводы. При значении вектора уступок  $C^*=(0, 0, 0, 0)$  применение методологии Crystal Clear по сравнению с применением методологии Scrum позво-

ляет увеличить прибыль, сократить затраты на проект, незначительно уменьшить время, однако при этом будет получено худшее качество продукта и проект будет сопряжен с большими рисками. При значении вектора уступок  $C^*=(1, 1, 1, 1)$  выводы будут аналогичными, за исключением того, что время выполнения проекта в данном случае не зависит от применяемой методологии.

Таблица 15

Значения оптимальных показателей качества и рисков на каждом из этапов при использовании методологии Crystal Clear,  $C^*=(0, 0, 0, 0)$

Значения критериев оптимизации	Этап 1, альтернатива 3	Этап 2, альтернатива 3	Этап 3, альтернатива 2	Этап 4, альтернатива 2	Этап 5, альтернатива 2
Качество	0,54	0,91	0,36	0,36	0,64
Риски	0,10	0,49	0,04	0,04	0,16

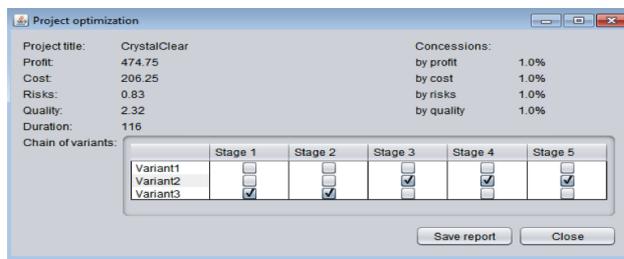


Рис. 5. Решение задачи с вектором уступок  $C^*=(1, 1, 1, 1)$ .

Таблица 16

Значения оптимальных показателей качества и рисков на каждом из этапов при использовании методологии Crystal Clear,  $C^*=(1, 1, 1, 1)$

Значения критериев оптимизации	Этап 1, альтернатива 3	Этап 2, альтернатива 3	Этап 3, альтернатива 2	Этап 4, альтернатива 2	Этап 5, альтернатива 2
Качество	0,54	0,91	0,36	0,36	0,64
Риски	0,10	0,49	0,04	0,04	0,16

**7. Анализ устойчивости решений задачи оптимизации содержания проекта**

При анализе устойчивости решения задачи оптимизации необходимо определить, каким образом изменение исходных данных задачи влияет на значения целевых функций и на выбранный вектор решений в результате оптимизации. Для этого проследим, как отклонение значений исходных данных задачи влияет на значения прибыли, стоимости, времени, рисков и качества продукта, полученные в результате оптимизации содержания проекта. Решение, полученное для исходных данных, представленных в табл. 1–11, в дальнейшем будем называть детерминированным.

В результате исследования сможем оценить:

1) с какой вероятностью значение каждого из показателей (прибыль, стоимость, время, риски и качество продукта) может находиться в заданном диапазоне;

2) какова вероятность того, что тот или иной вектор альтернатив будет оптимальным при изменении исходных данных.

Ввиду сложности реализации аналитического анализа устойчивости оптимальных решений для задачи (1–10) [3], было принято решение провести анализ устойчивости по методу Монте-Карло. Каждый эксперимент представляет собой решение задачи оптимизации содержания проекта для случайных входных данных. В качестве случайных переменных будем рассматривать следующие исходные данные:

$K_h$  – финансовые средства, которые выделяются для осуществления операций на этапе  $h$ ;

$\tau_{hij}$  – время выполнения на этапе  $h$  операции  $i$  в соответствии с  $j$ -м альтернативным вариантом;

$w_{hi}$  – стоимость выполнения на этапе  $h$  операции  $i$  в соответствии с  $j$ -м альтернативным вариантом;

$\Psi_{hjr}$  – значение  $r$ -го показателя качества продукта  $h$ -го этапа проекта в результате выполнения  $j$ -го альтернативного варианта;

$P_{hji}$  – вероятность появления на  $h$ -м этапе проекта при реализации  $j$ -го альтернативного варианта  $i$ -го рисковог о события,  $i = \overline{1, I}$ ;

$B_t^{(i)}$  – спрос на продукцию в году  $t$ ;

$C_t^{(i)}$  – стоимость продукции  $i$ -го вида в  $t$ -ом году.

Выбранные значения принимаем в качестве математического ожидания случайного числа, распределенного по нормальному закону. Среднеквадратическое отклонение  $\sigma$  принимаем равным 0,15 от значения математического ожидания. Выбор такого значения среднеквадратического отклонения объясняется представлениями экспертов о возможной неточности исходных данных. Обращаемся к генератору случайных чисел, распределенных по нормальному закону для всех исходных данных, которые могут меняться. Результаты экспериментов накапливаем для дальнейшего анализа.

Далее накопление и анализ данных для задачи оптимизации содержания проекта при применении методологий Scrum и Crystal Clear проводим для уступки 1 % по всем критериям, с ограничением по времени проекта, равным 120 дням.

Для проведения экспериментов была реализована дополнительная функциональность в программе «ScorePro», которая автоматически выполняет заданное количество экспериментов, сохраняя результаты в отдельный CSV-файл. Для каждой из двух методологий было проведено 100 экспериментов. Полученные результаты были импортированы в Excel и дополнительно обработаны для дальнейшего анализа. Из 100 проведенных экспериментов 63 % имели решение для методологии Scrum и 79 % для методологии Crystal Clear. Для каждого критерия был определен диапазон изменения, который в дальнейшем был разбит на 6 поддиапазонов, и для каждого поддиапазона было подсчитано количество ре-

шений, попавших в него. Для наглядности полученные результаты представлены в виде гистограмм для Scrum (рис. 6–10) и Crystal Clear (рис. 11–15), где горизонтальная ось представляет собой интервалы значений соответствующего критерия, а вертикальная ось – количество попаданий в них. Также, при заданном количестве экспериментов, вертикальная ось позволяет оценить вероятности попадания значения в заданный поддиапазон. Здесь считаем, что для экспериментов, которые не имеют решения, значения не попадают ни в один из представленных интервалов.

Основываясь на информации, представленной на рис. 7–11, можем составить таблицу средних значений критериев оптимизации (табл. 17).

Для наглядности добавим в таблицу значения детерминированных решений, полученных для исходных данных, и посчитаем, насколько они отклоняются от средних значений.

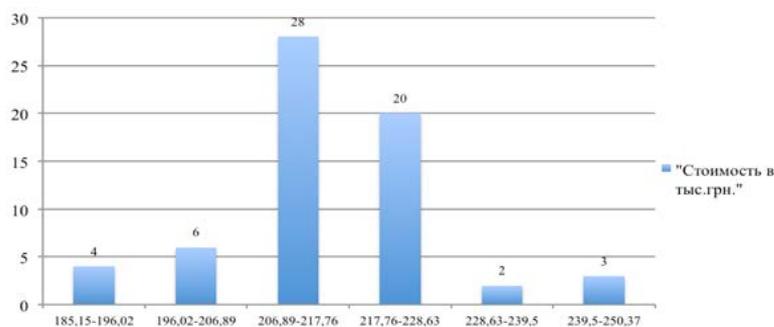


Рис. 6. Гистограмма распределения стоимости проекта при использовании методологии Scrum

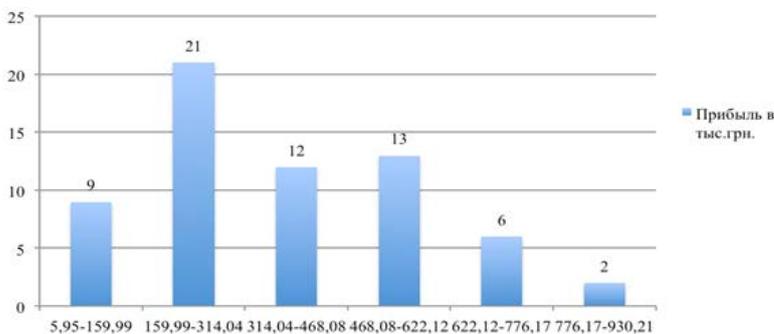


Рис. 7. Гистограмма распределения прибыли проекта при использовании методологии Scrum

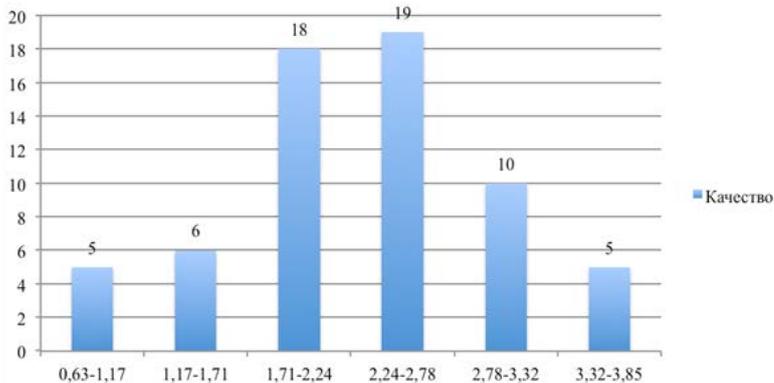


Рис. 8. Гистограмма распределения качества проекта при использовании методологии Scrum

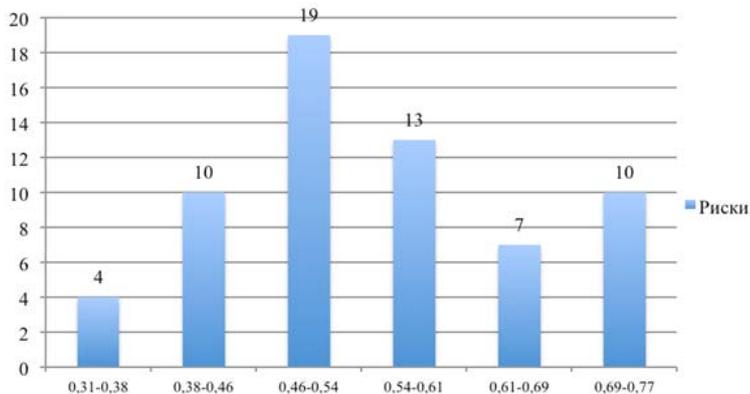


Рис. 9. Гистограмма распределения рисков проекта при использовании методологии Scrum

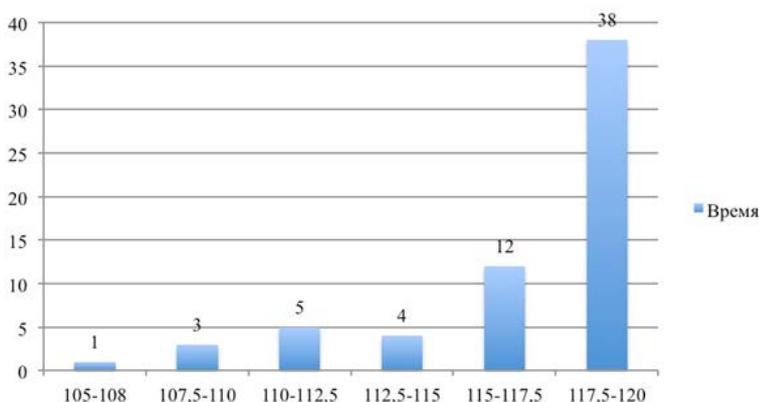


Рис. 10. Гистограмма распределения времени выполнения проекта при использовании методологии Scrum

Как видно из табл. 17, изменения исходных данных дают решения, которые в среднем требуют меньших затрат, сопровождаются меньшими рисками, но в то же время приносят меньше прибыли и обеспечивают худшее качество. Время проекта практически не подвержено изменению.

Так же как и для случаев использования методологии Scrum, составим таблицу средних значений критериев оптимизации при использовании методологии Crystal Clear (табл. 18).

Таблица 17

Сравнение результатов оптимизации содержания проекта, полученных для детерминированных и стохастических исходных данных (Scrum)

Название показателя	Критерии оптимизации				
	Прибыль	Стоимость	Качество	Риски	Время
Средние значения	360,4	215,4	2,3	0,55	116,8
Детерминированное решение	437,5	243,5	1,702	0,7	116
Отклонение от среднего значения	21 %	13 %	-26 %	28 %	-1 %

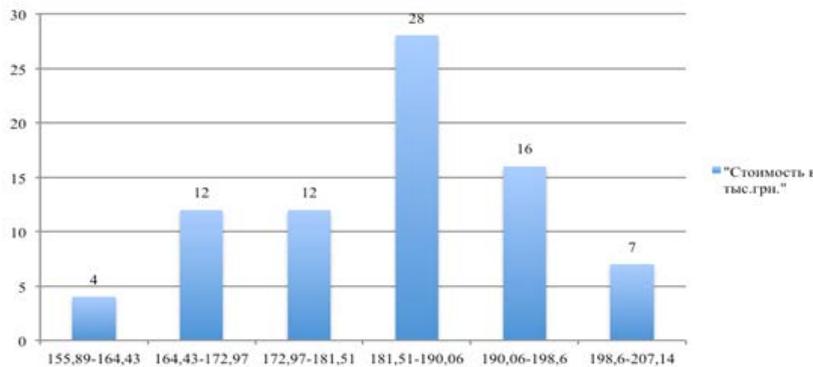


Рис. 11. Гистограмма распределения стоимости проекта при использовании методологии Crystal Clear

Таблица 18

Сравнение результатов оптимизации содержания проекта, полученных для детерминированных и стохастических исходных данных (Crystal Clear)

Название показателя	Критерии оптимизации				
	Прибыль	Стоимость	Качество	Риски	Время
Средние значения	392,2	183,7	2,75	0,68	113,6
Детерминированное решение	474,75	206,25	2,32	0,83	116
Отклонение от среднего значения	21 %	12 %	-15 %	22 %	2 %

Как видно из таблицы 18, изменения исходных данных дают решения, которые в среднем требуют меньших затрат, сопровождаются меньшими рисками, требуют меньше времени, но в то же время приносят меньше прибыли и обеспечивают худшее качество.

Результаты численных экспериментов показывают, что решения, полученные после генерации исходных данных по нормальному закону с математическим ожиданием, равным соответствующему исходному параметру при  $\sigma$ , равном 0,15 от значения этого параметра, существенно отличаются от решения, полученного для детерминированных исходных данных. Анализ устойчивости решения по методу

Монте-Карло позволяет находить более точные решения исходной задачи.

Проведенные эксперименты свидетельствуют, что при использовании методологии Scrum решение, соответствующее детерминированному, было получено один раз, 10 решений были получены по два раза, 43 решения по одному разу и в 37 случаях решение не было получено. При использовании методологии Crystal Clear решение, соответствующее детерминированному, было получено один раз, 2 решения были получены по три раза, 13 решений были получены по два раза, 47 решений по одному разу и в 21 случае решение не было получено.

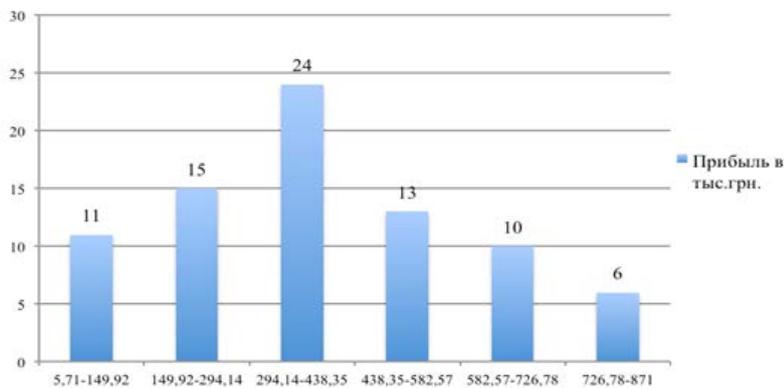


Рис. 12. Гистограмма распределения прибыли проекта при использовании методологии Crystal Clear

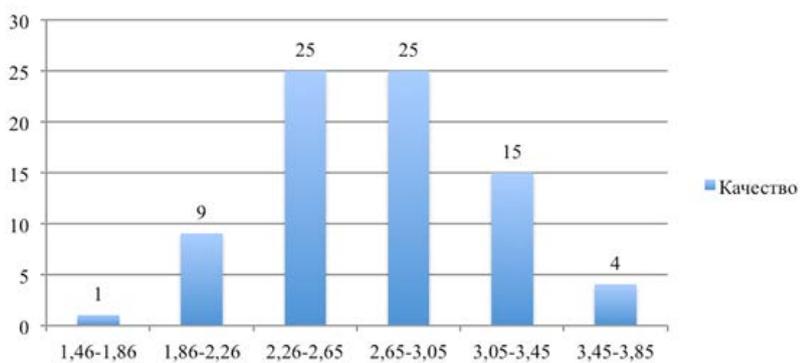


Рис. 13. Гистограмма распределения качества проекта при использовании методологии Crystal Clear

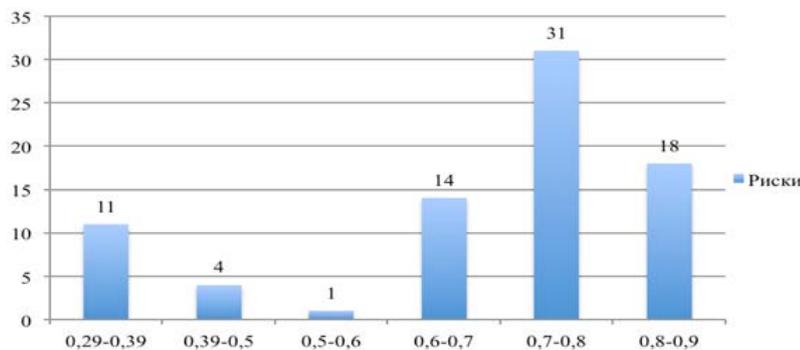


Рис. 14. Гистограмма распределения рисков проекта при использовании методологии Crystal Clear

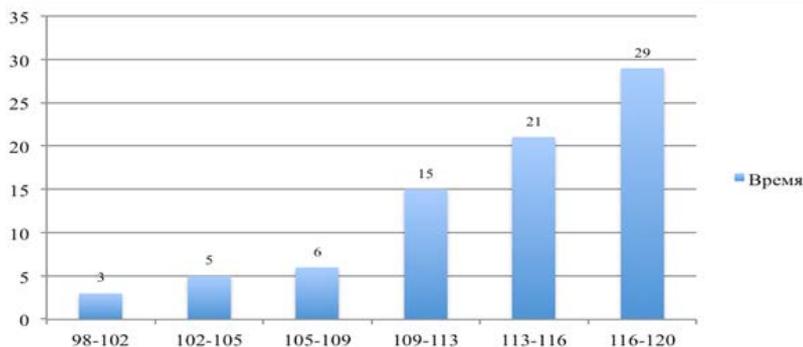


Рис. 15. Гистограмма распределения времени выполнения проекта при использовании методологии Crystal Clear

В результате анализа устойчивости решения задачи к изменению исходных данных при применении методологии Crystal Clear была получена большая прибыль от реализации проекта, меньшая его стоимость, меньшее время. Однако было хуже качество продукта и больше риски, сопутствующие данному проекту. Окончательный выбор методологии для управления проектом должно делать лицо, принимающее решение. Применительно к рассматриваемому проекту предпочтение было отдано методологии Crystal Clear.

## 8. Выводы

Для выбора методологии управления IT-проектом предложено оптимизировать содержание проекта, управляемого с помощью рассматриваемых альтернативных методологий.

Для решения этой задачи:

- рассмотрен проект создания компьютерной программы “ForPlan”;

- для выбора методологии управления проектом применен метод, основанный на оптимизации содержания проекта, для управления которым используются рассматриваемые методологии;

- подготовлены исходные данные о количестве этапов и альтернативных вариантов выполнения каждого этапа проекта, о времени, необходимом для осуществления указанных этапов, о средствах, выделяемых для осуществления проекта и общей стоимости выполнения операций, об остаточной стоимости выбывающих основных фондов, а также о качестве продукта и о рисках, связанных с выполнением каждого этапа. На основе указанных данных решается задача выбора методологии управления проектом из двух альтернативных методологий – Scrum и Crystal Clear;

- используя программное средство «ScorePro» было оптимизировано содержание рассматриваемого проекта для случаев управления им с помощью методологий Scrum и Crystal Clear;

- были получены решения для детерминированных исходных данных при двух значениях вектора уступок, которые свидетельствуют, что применение методологии Crystal Clear по сравнению с применением методологии Scrum имеет преимущества с точки зрения прибыли и затрат на проект, но уступает по качеству продукта и рискам;

- проведен анализ устойчивости полученных результатов к изменению исходных данных методом Монте-Карло,

который показал преимущество применения методологии Crystal Clear для управления рассматриваемым проектом по показателям прибыли, стоимости, време-

ни. Однако показатели качества и рисков методологии Crystal Clear уступают аналогичным показателям при применении методологии Scrum.

#### Литература

1. Okwumabua, G. Selecting the Right Project Management Methodology [Electronic resource] / G. Okwumabua // Mythics Blog. – 17 April 2013. – Available at: \www/URL: <http://www.mythics.com/about/blog/selecting-the-right-project-management-methodology>
2. Hanif, T. Selecting the right project management approach using 6P [Text] / T. Hanif, M. Limbachiya // 24th World Conference IPMA (International Project Management Association). – Istanbul, Turkey, 2010. – P. 183–189.
3. Whitaker, S. How to Build Your Own Project Management Methodology [Electronic resource] / S. Whitaker // Copyright Sean Whitaker. – 27 February 2014. – Available at: \www/URL: <http://seanwhitaker.com/how-to-build-your-own-project-management-methodology/>
4. PM GUIDE 01 Selecting a project management methodology [Electronic resource] / Enterprise Solutions. – Victorian Government Cio Council, 2014. – Available at: \www/URL: <http://www.enterprisesolutions.vic.gov.au/wp-content/uploads/2014/07/PM-GUIDE-01-Project-management-methodology-selection-guideline.pdf>
5. Kononenko, I. V. Project scope optimization model and method on criteria profit, time, cost, quality, risk [Text] / I. V. Kononenko, V. A. Fadeyev, M. E. Kolisnyk // 26th IPMA World Congress Proceedings. – Conference Centre Creta Maris, Hersonissos, Crete, Greece, 2012. – P. 286–292.
6. Кононенко, И. В. Многокритериальная оптимизация содержания проекта при заданных приоритетах для критериев [Текст]: сб. науч. трудов / И. В. Кононенко, Е. В. Лобач, А. В. Харазий // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАУ «ХАИ», 2013. – Вып. 59. – С. 6–13.
7. Kononenko, I. The methods of selection of the project management methodology [Text] / I. Kononenko, A. Kharazii // International Journal of Computing. – 2014. – Vol. 13, № 4. – P. 240–247.
8. Кононенко, И. В. Разработка программного обеспечения для многокритериальной оптимизации содержания проекта с помощью метода уступок [Текст]: сб. науч. пр. / И. В. Кононенко, А. В. Харазий // Вісник Національного технічного університету “ХПИ”. Серія: Стратегічного управління, управління портфелем, програми та проектами. – Х.: НТУ “ХПИ”, 2015. – № 1 (1110). – С. 11–24.
9. Xu, J. Discrete time–cost–environment trade-off problem for large-scale construction systems with multiple modes under fuzzy uncertainty and its application to Jinping-II Hydroelectric Project [Text] / J. Xu, H. Zheng, Z. Zeng, S. Wu, M. Shen // International Journal of Project Management. – 2012. – Vol. 30, № 8. – P. 950–966. doi:10.1016/j.ijproman.2012.01.019
10. Емеличев, В. А. О радиусе устойчивости эффективного решения векторной задачи булева программирования с частными критериями, являющимися проекциями линейных функций на  $R^+$  [Текст]: мат. конф. / В. А. Емеличев, К. Г. Кузьмин // Российская конференция «Дискретный анализ и исследования операций». – Новосибирск: Институт математики СО РАН, 2004. – С. 140.
11. Емеличев, В. А. О радиусе устойчивости эффективного решения одной векторной задачи булева программирования в метрике  $l_1$  [Текст] / В. А. Емеличев, К. Г. Кузьмин // Доклады РАН. – 2005. – Т. 401, № 6. – С. 733–735.
12. Леонтьев, В. К. Устойчивость задачи коммивояжера [Текст] / В. К. Леонтьев // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1975. – Т. 15, № 5. – С. 1298–1309.
13. Sotskov, Yu. N. Some concepts of stability analysis in combinatorial optimization [Text] / Yu. N. Sotskov, V. K. Leontev, E. N. Gordeev // Discrete Applied Mathematics. – 1995. – Vol. 58, № 2. – P. 169–190. doi:10.1016/0166-218x(93)e0126-j
14. Бухтояров, С. Е. Параметризация принципа оптимальности («от Парето до Слейтера») и устойчивость многокритериальных траекторных задач [Текст] / С. Е. Бухтояров, В. А. Емеличев // Дискретный анализ и исследований операций. Сер. 2. – 2003. – Т. 10, № 2. – С. 3–18.
15. Бухтояров, С. Е. О квазиустойчивости векторной траекторной задачи с параметрическим принципом оптимальности [Текст] / С. Е. Бухтояров, В. А. Емеличев // Известия вузов. Математика. – 2004. – № 1. – С. 25–30.
16. Емеличев, В. А. Об устойчивости паретовского оптимума векторной задачи булева программирования [Текст] / В. А. Емеличев, В. Н. Кричко // Дискретная математика. – 1999. – Т. 11, Вып. 4. – С. 27–32.
17. Емеличев, В. А. О квазиустойчивости векторной траекторной задачи мажоритарной оптимизации [Текст] / В. А. Емеличев, Ю. В. Степанишина // Математические заметки. – 2002. – Т. 72, Вып. 1. – С. 34–42.
18. Emelichev, V. A. Stability and regularization of vector problems of integer linear programming [Text] / V. A. Emelichev, E. Girlich, Yu. V. Nikulin, D. P. Podkopaev // Optimization. – 2002. – Vol. 51, № 4. – P. 645–676. doi:10.1080/0233193021000030760
19. Зубанов, Н. В. Анализ устойчивости относительно поставленной цели как один из подходов к описанию функционирования организации в условиях неопределенности [Электронный ресурс]: монография / Н. В. Зубанов. – Изд-во Самарского государственного технического университета, 2001. – Режим доступа: \www/URL: [www.aup.ru/books/m66/4.htm](http://www.aup.ru/books/m66/4.htm)
20. Greenberg, H. J. An Annotated Bibliography for Post-Solution Analysis in Mixed Integer Programming and Combinatorial Optimization [Text] / N. J. Greenberg // Advances in Computational and Stochastic Optimization, Logic Programming, and Heuristic Search Operations Research/Computer Science Interfaces Series. – Boston, MA: Kluwer Academic Publishers, 1998. – Vol. 9. – P. 97–147. doi:10.1007/978-1-4757-2807-1\_4