



ISSN 2072-8441

## ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

<http://elibrary.miu.by/journals!/item.eiup.html>

Новыш, Б.В. Многокритериальная имитационная модель управления развитием организации / Б.В. Новыш, И.В. Гваева // Экономика и управление. – 2014. – № 2 (38). – С. 34–40.

# МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ ОРГАНИЗАЦИИ

Б.В. Новыш<sup>а</sup>, И.В. Гваева<sup>б</sup>

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

проблемная ситуация, имитационная модель, оптимизация, имитационное моделирование, интервальные оценки, локальный критерий, глобальный критерий, линейная свертка локальных критериев, вероятность, интегральная функция распределения

### АННОТАЦИЯ

Разработана многокритериальная имитационная модель управления развитием организации на основе метода линейной свертки локальных критериев. Обработка данных коллективной экспертизы позволяет анализировать возможные варианты управленческих воздействий. Реализующий модель программный комплекс позволяет оценить распределение глобального критерия, а также вероятности совместной локализации локальных критериев в любых представляющих интерес интервалах. Модель позволяет определить наиболее эффективные варианты финансирования и, соответственно, долгосрочные стратегии развития организации в условиях риска.

### СТАТЬЯ ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ

11 февраля 2014

### ВЕБ

<http://elibrary.miu.by/journals!/item.eiup/issue.38/article.7.html>

# MULTICRITERIAL SIMULATION MODEL TO MANAGE THE ORGANIZATION DEVELOPMENT

B.V. Novysh<sup>a</sup>, I.V. Gvaeva<sup>b</sup>

### KEYWORDS

problem situation, simulation model, optimization, simulation modelling, interval estimates, local criterion, global criterion, linear convolution of local criteria, probability, integral distribution function

### ABSTRACT

The authors developed a multicriterial simulation model to manage the organization's development based on the method of linear convolution of local criteria. Processing the data of the experts' joint examination allows to analyze the possible variants of managerial influence. The program that realizes the model helps assess the distribution of the global criterion, as well as the probabilities of simultaneous localization of local criteria in any interval of interest. The model makes it possible to determine the most effective variants of financing and long-term strategies of organization's development in risky conditions.

### RECEIVED

February 11, 2014

### WEB

<http://elibrary.miu.by/journals!/item.eiup/issue.38/article.7.html>

<sup>а</sup> *Новыш Б.В.*, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой экономико-математических методов управления Академии управления при Президенте Республики Беларусь

*Novysh B.V.*, PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, head of the Department of Information Technologies and Higher Mathematics of the Academy of Public Administration under the aegis of the President of the Republic of Belarus  
[novysh@pac.by](mailto:novysh@pac.by)

<sup>б</sup> *Гваева И.В.*, магистр управления и экономики, аспирант Академии управления при Президенте Республики Беларусь

*Gvaeva I.V.*, Master of Economics and Management, Ph.D. student of the Academy of Public Administration under the aegis of the President of the Republic of Belarus

[irena@pac.by](mailto:irena@pac.by)

Каждая стадия или этап процесса развития организации может рассматриваться как реализация некоторой совокупности проектов различной природы и назначения (инвестиционных, организационных, технологических, научно-исследовательских и т.д.). Присущая любому экономическому процессу неопределенность кардинально усложняет анализ возможных последствий принимаемых стратегических и тактических решений. Высокая динамика и непредсказуемость внешней по отношению к предприятию, или организации глобальной системы вызывают необходимость предварительного моделирования различных альтернатив развития, например, в рамках сценарного подхода. Как правило, моделирование основывается на обработке данных экспертного анализа, к которому привлекается группа вы-

сококвалифицированных специалистов-практиков, имеющих опыт в рассматриваемой предметной области и способных спрогнозировать представляющие интерес технико-экономические, финансовые и иные показатели отдельных этапов развития организации. Анализ каждого этапа может включать комплексное исследование всех образующих его проектов с учетом их специфики и набора локальных критериев (прибыль, время и вероятность успешной реализации, объем производства, контролируемая доля рынка, затраты на продвижение продукции и т.д.). В связи с различиями в экспертных оценках, например, в численных значениях локальных критериев, требуется надлежащая процедура их обработки (усреднение с учетом коэффициентов компетентности экспертов и т.п.). Так как получение точных прогнозных значений параметров часто практически невозможно, используются интервальные экспертные оценки, характеризующие возможные диапазоны локализации критериев.

С чисто экономической точки зрения представляется естественным предположение, что реализуемый на каждом этапе развития организации портфель проектов должен обладать наибольшей эффективностью. С другой стороны, нельзя не учитывать сложную возможную взаимозависимость реализуемых на различных этапах проектов (например, вследствие ресурсных, технологических и иных ограничений), что может усложнить ситуацию и требует рассмотрения всех этапов развития в комплексе. Подобная возможность традиционно учитывается в рамках метода динамического программирования Беллмана.

В работе [1] была представлена однокритериальная имитационная модель выбора стратегий развития организации в условиях риска. В качестве критерия эффективности рассматривалась ожидаемая суммарная прибыль от реализации портфелей проектов на всех этапах развития организации.

Модель, представленная в настоящей работе, обобщает модель [1], и позволяет учесть многокритериальный характер проблемы развития организации на основе обработки результатов коллективной экспертизы, а так же — в рамках оптимизационного подхода — определить пути наиболее эффективного управления с точки зрения как глобального, так и любого из локальных критериев. В то же время, реализующий модель программный комплекс дает возможность определить вероятность совместной локализации всех или наиболее важных критериев в любых заданных интервалах («желательных» или «допустимых» с точки зрения руководства организации или экспертов), а также вероятность попадания любого критерия в произвольный диапазон. На наш взгляд, это дает возможность повысить качество планирования развития организации, как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе, и, как следствие, снизить риск негативных последствий принятия недостаточно обоснованных решений.

Модель основана на интервальных экспертных оценках всех релевантных с точки зрения развития организации параметров (критериев). При наличии группы квалифицированных экспертов, способных прогнозировать (оценить) возможные последствия принимаемых решений, как на качественном, так и на количественном уровне, возможно определить «наиболее эффективную траекторию» развития организации.

В условиях неопределенности и риска получение точечных оценок любых экономических параметров весь-

ма проблематично, и намного более корректным является использование их вероятностных распределений. В случае наибольшей неопределенности получило распространение использование равномерного распределения критериев, т.е. их равновероятная локализация в пределах некоторых интервалах. Так как различные эксперты указывают, как правило, различные диапазоны, возникает проблема соответствующей обработки экспертных оценок [2, 3]. Учет многокритериальной природы любой реальной экономико-управленческой проблемы проводится в рамках одного из традиционных методов — линейной свертки локальных критериев, последовательных уступок, целевого программирования и т.д. В настоящей работе мы используем формализм метода линейной свертки с учетом факторов неопределенности и риска, что требует отказа от оптимизационного подхода и разработки соответствующей имитационной модели.

Как хорошо известно, метод линейной свертки подразумевает оптимизацию глобального критерия:

$$W = \sum_{k=1}^n \alpha_k \cdot f_k \rightarrow \max (\min), \quad (1)$$

при выполнении всех необходимых ресурсных ограничений для каждого из локальных критериев  $f_k$ , с учетом определенных заранее нормированных коэффициентов значимости  $\alpha_k$ . При поиске оптимальной многоэтапной стратегии развития организации данная формула применяется для каждого из этапов. С учетом различной размерности критериев под  $f_k$  понимаются их нормированные значения относительно некоторых максимальных или — в зависимости от экономического содержания — минимальных значений.

Проблема нахождения эффективных стратегий может формулироваться как задача определения долгосрочной стратегии развития, которой соответствует суммарное оптимальное значение глобального критерия (1). При этом каждый этап развития естественно рассматривать как результат реализации ряда портфелей проектов (мультипроектов).

На практике чрезвычайно сложно определить аналитическую зависимость ряда параметров проблемной ситуации (числа сегментов и контролируемой доли рынка, числа заключаемых контрактов и т.п.) в зависимости, например, от величины финансирования. Поэтому в данной модели предполагается, что большинство диапазонов изменения критериев формируется экспертами на интуитивном уровне. Исключение может составлять ожидаемая прибыль от реализации портфеля проектов на каждом этапе развития организации, которая определяется соотношением:

$$E = \sum_{i=1}^n F_i \cdot P(S_i), \quad (2)$$

где  $F_i$  — ожидаемая прибыль от реализации в срок  $i$ -го проекта портфеля, а  $P(S_i)$  — вероятность его реализации в директивный срок при финансировании  $S_i$  денежных единиц.

Проведем иллюстрацию модели на следующем модельном примере. Группой экспертов совместно с аналитическим отделом организации рассматривается 4 долгосрочные стратегии развития («траектории»), включающие ряд отдельных этапов (рисунок 1).

Допустимые, с точки зрения экспертов, диапазоны изменения локальных критериев приведены в табли-

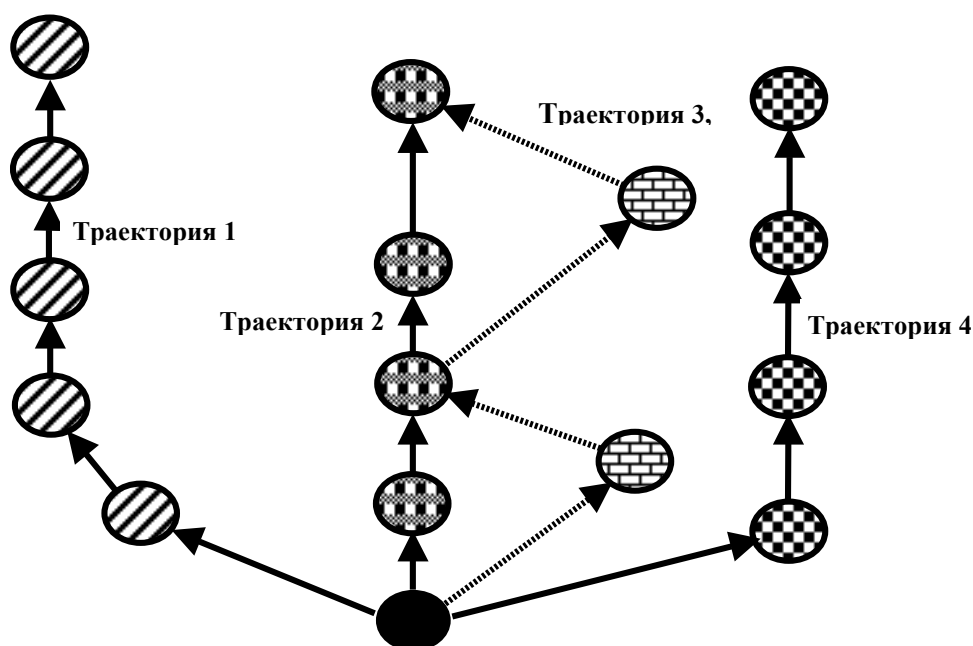


Рисунок 1 — Схематическое изображение анализируемых вариантов развития организации. Рассматривается 4 траектории развития, каждая из которых представляется в виде ряда этапов, каждый этап включает в себя реализацию ряда проектов различной природы (портфели проектов обозначены стрелками)

це 1. Для простоты предполагается, что эти диапазоны одинаковы для всех этапов развития, принадлежащих различным траекториям. В данном модельном примере предполагается, что целевые значения (т.е. значения, достигаемые по завершению последнего этапа развития) аддитивны, хотя в общем случае это условие не является необходимым. В таблице 2 приведены минимальные и максимальные оценки важности различных критериев согласно экспертным оценкам по 100-балльной шкале, которые в дальнейшем нормируются. При проведении расчетов предполагается, что коэффициенты важности также меняются случайным образом в пределах некоторых интервалов, границы которых определяются как минимальное и максимальное значения по всем экспертам.

Кроме этого эксперты указывают диапазоны возможных значений локальных критериев для каждого

этапа развития организации; в качестве примера, в таблице 3 приведены прогнозные значения для первого этапа траектории 1, соответствующие планируемому значению финансирования каждого из проектов. В качестве первого — самого значимого — критерия рассматривается чистая прибыль от реализации каждого этапа долгосрочной стратегии.

На следующем этапе экспертов просят привести аналогичные данные для ряда сумм дополнительного финансирования; при этом оценки чистой прибыли проводятся с помощью формулы (2). В рассматриваемом модельном примере предполагается, что критерий № 3 желательно минимизировать, а остальные — максимизировать.

Обработка результатов имитационных расчетов позволяет получить детальную информацию, необходимую для обоснованного анализа различных многоэтап-

Таблица 1 — Допустимые интервалы изменения локальных критериев

№ этапа	Допустимые интервалы изменений показателей										
		$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$	$f_9$	$f_{10}$
1	min	100	35	50	30	40	15	25	30	30	45
	max	300	80	90	80	70	60	80	80	90	120
2	min	150	35	40	30	30	15	25	30	30	45
	max	400	80	80	80	70	50	80	50	70	80
3	min	180	35	35	30	30	15	25	30	30	45
	max	500	80	90	80	70	50	80	50	70	80
4	min	220	35	25	30	30	15	25	30	30	45
	max	1000	80	110	80	70	50	80	50	70	80
5	min	250	35	20	30	30	15	25	30	30	45
	max	1200	80	130	80	70	50	80	50	70	80

Таблица 2 — Допустимые интервалы изменения коэффициентов значимости локальных критериев для модельного примера

	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$	$\alpha_6$	$\alpha_7$	$\alpha_8$	$\alpha_9$	$\alpha_{10}$
min	70	50	40	35	25	20	15	10	5	5
max	80	60	50	40	35	30	25	15	10	10

Таблица 3 – Допустимые интервалы изменения локальных критериев для модельного примера. Предполагается, что группа экспертов состоит из 8 человек

		$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$	$f_9$	$f_{10}$
Expert 1	min	70	20	35	15	15	5	20	20	20	30
	max	85	35	40	20	20	10	25	30	35	40
Expert 2	min	60	30	30	15	10	5	15	10	15	25
	max	65	45	35	30	20	10	30	20	20	45
Expert 3	min	70	20	30	10	15	10	20	20	20	30
	max	100	35	35	20	20	15	25	30	35	45
Expert 4	min	70	25	35	25	15	5	20	20	25	30
	max	85	35	40	30	20	20	25	30	35	40
Expert 5	min	70	20	30	15	15	15	20	20	25	30
	max	85	35	35	20	20	20	25	30	35	45
Expert 6	min	70	25	30	15	15	5	20	20	25	30
	max	105	35	35	20	20	10	25	30	30	40
Expert 7	min	80	25	30	20	15	5	20	20	20	30
	max	95	30	35	25	20	10	25	30	35	40
Expert 8	min	85	25	45	20	20	5	20	20	20	40
	max	100	45	50	25	25	15	30	35	45	45

ных стратегий развития организации. На рисунке 2 приводятся результаты для некоторых вариантов дополнительного финансирования всех многоэтапных стратегий. Интегральная функция  $1 - F(x)$  определяет вероятность получения значения  $x$  не менее любой заданной величины (в данном случае в качестве  $x$  рассматривается значение глобального критерия (1)). Кривые, обозначенные как V1–V5, соответствуют суммам допол-

нительного финансирования в 0,1; 0,2; ...; 0,5 млн. д.е.. Номер варианта соответствует дополнительному финансированию соответствующего этапа (например, рисунок, озаглавленный как «Траектория 4, вариант 3» означает, что на третьем этапе развития, соответствующем многоэтапной стратегии (траектории) 4 рассматривается дополнительное финансирование 3 этапа соответственно в 0,1; 0,2; ...; 0,5 млн. д.е.

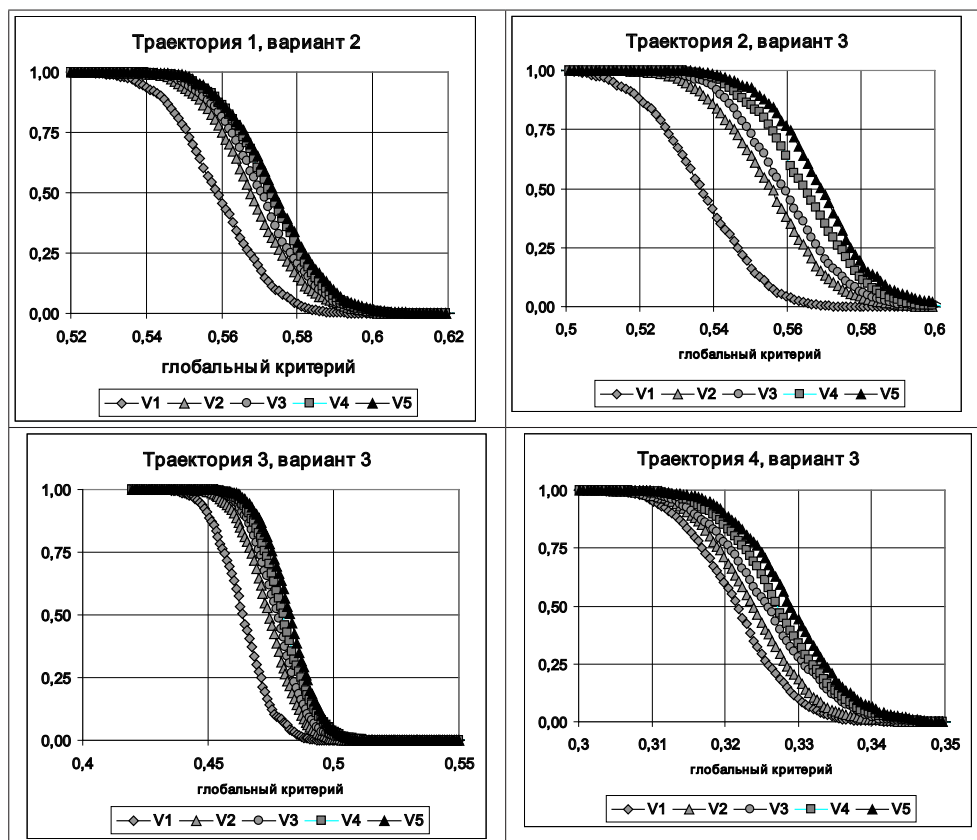


Рисунок 2 – Вероятностное распределение (интегральная функция  $1 - F(x)$ ) глобального критерия некоторых вариантов финансирования для рассматриваемых траекторий развития организации. Увеличение финансирования во всех случаях позитивно сказывается на величине глобального критерия

В ходе расчетов определяется также вероятность совместной локализации всех или наиболее важных критериев в допустимых или желательных интервалах. На рисунке 3 представлены результаты расчетов для группы критериев № 1–4. Как видно, данная вероятность достаточно велика для траектории 1, еще более высока для траектории 2, монотонно (и достаточно быстро) возрастает при росте финансирования для траектории 3, и имеет нулевые значения при любых объемах финансирования в траектории 4. Подобная информация может оказаться весьма ценной при сравнительном анализе многоэтапных стратегий. Она, в частности, более наглядно демонстрирует их качество с точки зрения достижения нужных результатов. В рассматриваемом модельном примере, очевидно, что траектория 4 может сразу забраковываться как заведомо неприемлемая.

В ходе имитационных расчетов определяется также чувствительность ожидаемых значений глобального критерия к величине дополнительного финансирования на каждом этапе. Это позволяет оценить более перспективные этапы по отношению значений «эффект-затраты». В рассматриваемом модельном примере почти во всех случаях таким этапом оказался этап № 3 (рисунок 4).

Обработка данных типа представленных на рисунке 4 позволяет производить поиск оптимальных вариантов дополнительного финансирования на протяжении всей многоэтапной стратегии. Кривые на рисунке 4 достаточно хорошо аппроксимируются степенными функциями и задача определения оптимальной стратегии финансирования сводится к стан-

дартной задаче нелинейной оптимизации. Ее решение позволяет определить величину дополнительного финансирования на каждом этапе, оптимизирующую суммарную целевую функцию (глобальный критерий). С учетом аддитивности, определение стратегии оптимального управления не представляет труда. Подобные расчеты легко могут быть проведены для любого из локальных критериев. В качестве примера на рисунке 5 приведена зависимость ожидаемых значений чистой прибыли от величины дополнительного финансирования для многоэтапной стратегии 2. Данные кривые могут рассматриваться как регрессионные зависимости; их полиномиальная аппроксимация позволяет провести решение задачи нелинейной оптимизации и определить наиболее эффективные с точки зрения чистой прибыли варианты управления развитием организации (рисунок 6).

Реализующий модель программный комплекс позволяет также рассчитывать вероятность локализации как глобального, так и любого локального критерия (например, прибыли) в представляющем интерес интервале, что позволяет получить более точную информацию об ожидаемых перспективах программы развития. На рисунке 7 представлены зависимости вероятности получения значений глобального критерия не ниже 0,52 для второй траектории от величины дополнительно вкладываемых средств.

Очевидно, представляет интерес разработка алгоритма, позволяющего определять оптимальные варианты дополнительного финансирования, при которых максимизируется вероятность локализации глобального

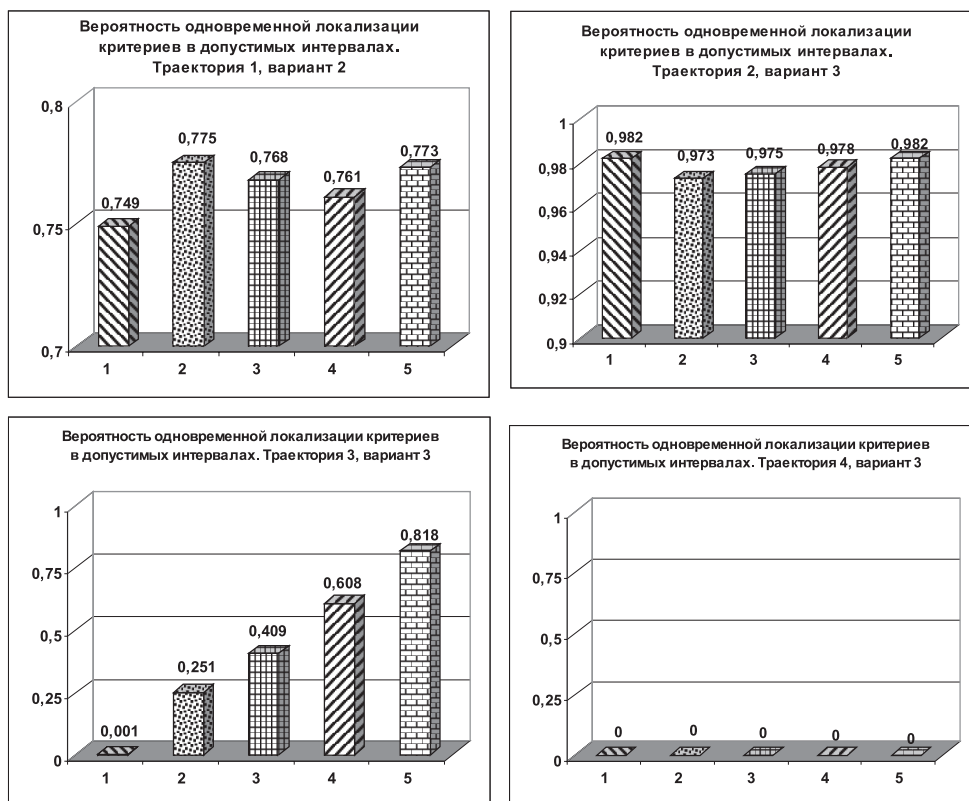


Рисунок 3 — Вероятности одновременной (совместной) локализации 4-х наиболее важных локальных критериев для рассматриваемого модельного примера

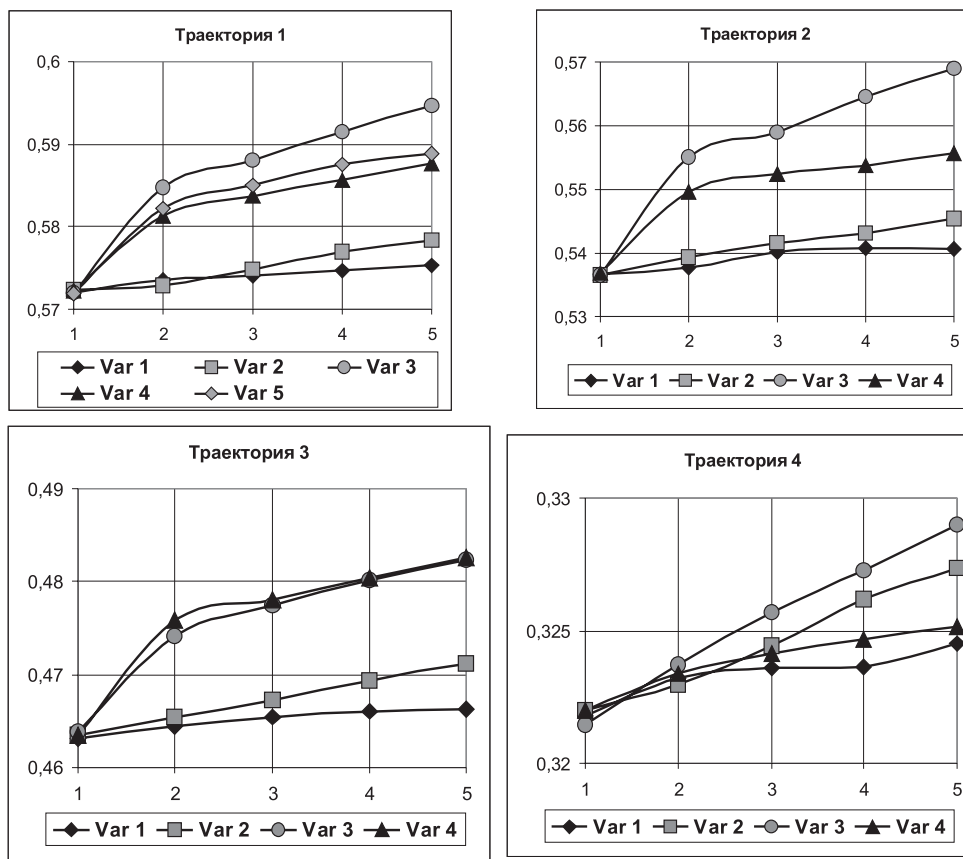


Рисунок 4 — Распределение ожидаемых значений глобального критерия для всех траекторий развития организации. Указанные на рисунке варианты соответствуют дополнительному финансированию на соответствующих этапах развития (например, Var 2 — дополнительному финансированию на этапе 2, и т.д.)

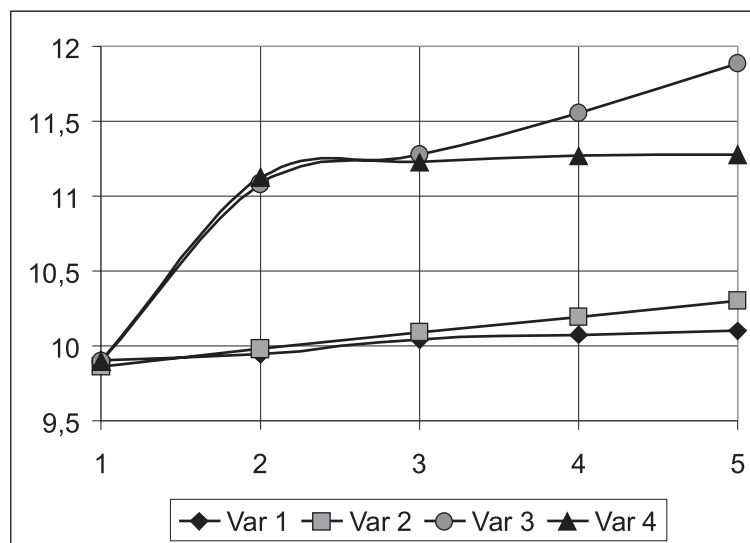


Рисунок 5 — Ожидаемое значение прибыли для каждого из вариантов дополнительного финансирования, соответствующее траектории развития 2. Указанные на осях данные должны быть умножены на 100000

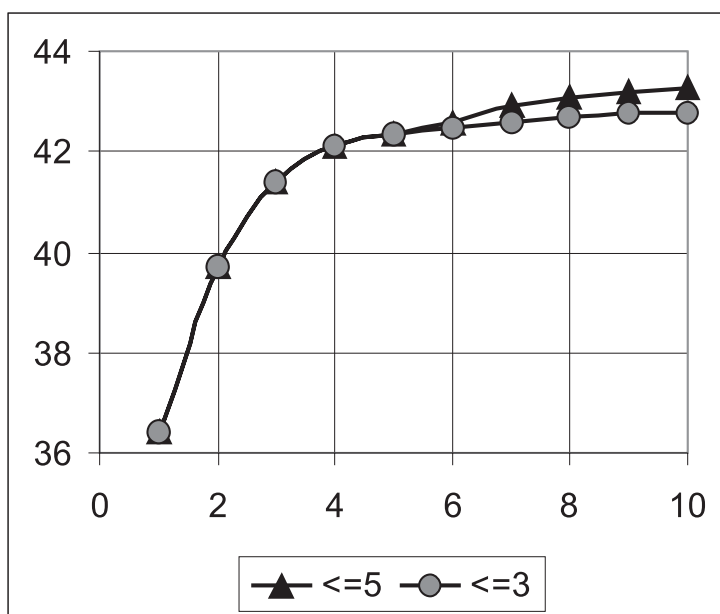


Рисунок 6 — Зависимость суммарной чистой прибыли от величины дополнительного финансирования. Приведенные данные соответствуют наиболее эффективному вложению средств на отдельных этапах развития организации. Кривая, обозначенная треугольниками, соответствует случаю, когда в связи с финансовыми ограничениями на каждом этапе организация может вкладывать не более 5 д.с., а кружками — не более 3 д.с. (одна д.с. соответствует 100000 руб.)

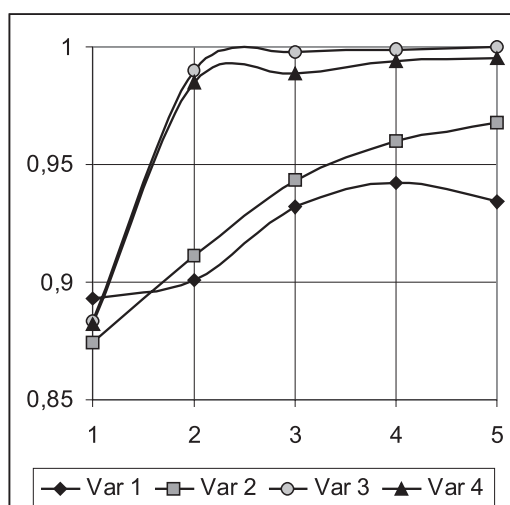


Рисунок 7 — Зависимость вероятности получения значений глобального критерия не ниже 0,52 для различных вариантов финансирования (траектория развития 2)

критерия в требуемых диапазонах на различных участках траектории развития.

Таким образом, представленная в настоящей работе модель может использоваться как на этапе предварительного сравнительного анализа многоэтапных альтернатив, так и при поиске эффективных стратегий управления развитием организации (включая, в частности, перераспределение финансирования на отдельных этапах долгосрочных программ).

## Литература / References

1. Новыш, Б.В. Имитационная модель выбора стратегий развития организации в условиях риска / Б.В. Новыш, И.В. Гваева // Экономика и управление. — 2013. — № 2 (34) — С. 24–29.  
Novysh, B.V. Imitatsionnaya model vybora strategiy razvitiya organizatsii v usloviyakh riska / B.V. Novysh, I.V. Gvaeva // Ekonomika i upravleniye. — 2013. — № 2 (34). — S. 24–29.
2. Новыш, Б.В. Имитационная модель целевого программирования / Б.В. Новыш, Д.В. Шаститко, И.В. Гваева // Науч. тр. Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь. — 2012. — № 3. — С. 153–163.  
Novysh, B.V. Imitatsionnaya model tselevogo programmirovaniya / B.V. Novysh, D.V. Shastitko, I.V. Gvaeva // Nauch. tr. akad. upr. pri Prezidente Resp. Belarus. — 2012. — № 3. — S. 153–163.
3. Новыш, Б.В. Имитационная модель оценки времени реализации сложных программ с использованием дерева целей / Б.В. Новыш, Д.В. Шаститко // Экономика и управление. — 2012. — № 1 (29) — С. 37–44.  
Novysh, B.V. Imitatsionnaya model otsenki vremeni realizatsii slozhnykh programm s ispolzovaniyem dereva tseley / B.V. Novysh, D.V. Shastitko // Ekonomika i upravleniye. — 2012. — № 1 (29). — S. 37–44.