

## Использование оптимизационных моделей в учебном процессе: многокритериальный анализ стратегий развития организации

*Use of optimization models in educational process: multi-criteria analysis of organization development strategies*

Гваева Ирена Викторовна<sup>1</sup>

*Gvaeva Irena*

1. Магистр управления и экономики, аспирант Академии управления при Президенте Республики Беларусь

*Master of Economics and Management, PhD student of The Academy of Public Administration under the aegis of the President of the Republic of Belarus*

**e-mail:** irena@pac.by

---

### Аннотация

Представлен алгоритм поиска эффективных стратегий развития организации на основе многокритериальной оптимизационной модели. Реализующая расчет программа позволяет определять последовательности этапов развития организации («траектории»), обладающие наиболее высокими значениями как частных критериев, так и интегрального, выражаемого в виде их линейной комбинации. Обсуждается возможность использования модели и программы расчета при проведении деловых игр в учебных центрах ситуационного моделирования.

**Ключевые слова:** проблемная ситуация, оптимизация, оптимизационная модель, локальный критерий, интегральный критерий, деловые игры, учебный центр ситуационного моделирования.

---

### Abstract

An algorithm aimed to find effective strategies for the development of an organization based on multi-criteria optimization model is presented. Calculation program allows to determine the sequence of stages of development of an organization («trajectories» or «paths») having the highest values of local, as well as integral criteria, expressed as their linear combination. The possibility of use of the model and calculation program in the framework of business games at the training centers of situational modeling is discussed.

**Keywords:** problem situation, optimization, optimization model, local criterion, integral criterion, business games, training center of situational modeling.

---

**Поступила в редакцию / Received:** 25.09.15

**Web:** <http://elibrary.miu.by/journals/item.iot/issue.44/article.7.html>

Обучение руководителей и специалистов планово-аналитических отделов организаций и предприятий, работников органов государственного управления, топ-менеджеров коммерческих фирм современным технологиям анализа управленческих решений и компьютерного моделирования, безусловно, является актуальной и практически значимой задачей, успешное решение которой существенно повысит степень обоснованности принимаемых решений. Использование оптимизационных и имитационных моделей в системах поддержки принятия решений (СППР) и экспертных системах (ЭС) делает ознакомление с ними специалистов-практиков еще более важным.

Представленная в настоящей работе оптимизационная модель и реализующая ее программа могут применяться как при решении реальных задач управления – при использовании опыта, знаний и интуиции высококвалифицированных экспертов предметной области, так и в учебном процессе – при проведении деловых игр и анализе конкретных ситуаций в учебных центрах ситуационного моделирования (УЦСМ). Опыт проведения таких занятий в УЦСМ Академии управления при Президенте Республики Беларусь (соответствующие модели и краткие сценарии деловых игр опубликованы, в частности, в работах [1, 2, 3, 4, 5]) свидетельствует об их высокой результативности, проявлении заинтересованности и желания слушателей использовать современные технологии анализа проблемных ситуаций в своей профессиональной деятельности.

В данной статье мы приводим описание деловой игры на базе оптимизационной многокритериальной модели, нацеленной на обучение будущих и реально действующих управленцев технологиям анализа и выработки

многоэтапных стратегий развития экономических систем масштаба организации (предприятия). Отметим, что в данной работе мы (может быть, несколько вольно) на равных основаниях используем термины «деловая игра» и «анализ конкретной ситуации».

В ходе деловой игры будет изучаться проблема выбора многоэтапных стратегий развития организации в условиях полной определенности. Следует отметить, что, в отличие от классической трактовки метода динамического программирования (например [6]), модель позволяет учесть многокритериальный характер задачи; кроме того, число этапов развития организации для анализируемых траекторий может быть произвольным.

Участникам анализа проблемной ситуации представляется сетевой граф, отображающий в виде вершин настоящее и ряд будущих состояний организации (предприятия). Дуги, соединяющие некоторые пары вершин, соответствуют возможным переходам между состояниями (переходы характеризуют процесс управления и могут включать в себя реализацию инновационных, инвестиционных, технико-технологических, организационных и иных проектов и программ). Целью анализа проблемной ситуации является определение наиболее эффективной многоэтапной стратегии (траектории) по некоторой совокупности локальных критериев  $\{f_i\}$ , а также по глобальному (интегральному или комплексному) критерию (в описываемой модели он представляет их линейную свертку). Из-за различной размерности  $\{f_i\}$  при определении оптимальной по интегральному критерию траектории проводится нормирование локальных критериев относительно некоторых приемлемых значений (например, если ЛППР – лицо, принимающее решение, – считает, что суммарная прибыль в размере 100 тыс. д.е., получаемая в процессе многоэтапного управления, является достаточной, то приращения прибыли на каждом этапе делятся на эту величину).

Используемые локальные критерии могут иметь различную экономическую природу, и их список может формироваться – при желании – самими участниками игры. В одном из простейших вариантов процесс развития организации может характеризоваться ростом прибыли от реализации традиционно выпускаемой продукции, величиной прибыли от реализации новой продукции, изменениями контролируемых долей рынков, соответствующих, например, различным регионам (или различным сегментам одного целевого рынка). В используемом ниже иллюстративном примере учитываются 5 локальных критериев (прибыль от реализации старой и новой продукции – критерии 1 и 2 соответственно, и контролируемые доли трех рынков – критерии 3–5).

Формулировка оптимизационной многокритериальной модели:

целевая функция

$$F = \sum_i \sum_j r_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где

$$r_{ij} = \sum_{k=1}^n \alpha_k \cdot \frac{f_{ij}^k}{f_{\max}^k}. \quad (2)$$

Ограничения:

$$\sum_i x_{ik} - \sum_j x_{jk} = 0 \quad \text{для промежуточных вершин,} \quad (3)$$

$$x_{ij} = 0 \quad \text{или} \quad 1.$$

В целевой функции суммирование проводится по всем возможным переходам (этапам управления); двоичные переменные  $x_{ij}$  определяют, принадлежит ли этап  $(i, j)$  программе наиболее эффективного развития организации;  $f_{ij}^k$  – ненормированные значения (абсолютные приращения) локального критерия типа  $k$  на этапе  $(i, j)$ ;  $r_{ij}$  – нормированные значения комплексного критерия на этапе  $(i, j)$  с учетом коэффициентов значимости критериев  $\alpha_k$ ;  $n$  – число учитываемых критериев;  $f_{\max}^k$  – определяемые руководством директивные (или желательные) значения критериев, относящиеся к программе в целом. Ограничение (3) относится ко всем промежуточным вершинам графа и определяет непрерывность реализации этапов программы развития (в частности, программа не может завершиться до достижения конечного состояния).

В качестве инструмента решения задачи был выбран MS Excel; в процессе расчетов использовался встроенный оптимизатор «Поиск решения»; при визуализации различных вариантов развития организации (альтернативных многоэтапных стратегий или последовательностей переходов) использовались макросы, реализованные на языке Visual Basic for Applications. К несомненным преимуществам использования MS Excel относятся его широкое распространение, простота написания макросов и проведения расчетов, возможность создания достаточно удобного интерфейса.

Интерфейс программы расчетов случая иллюстрирует рисунок 1.

В левой части рисунка 1 отображен граф состояний – возможные состояния управляемой системы и переходы в виде стрелок. С помощью кнопок «Отобразить все этапы» и «Скрыть все этапы» обучаемые могут визуализировать все возможные варианты (этапы) управления организацией. Кнопки типа « $i - j$ » позволяют выстраивать траектории поэтапно (это будет использоваться в начальной фазе игры в процессе ручного поиска эффективных по различным критериям стратегий).

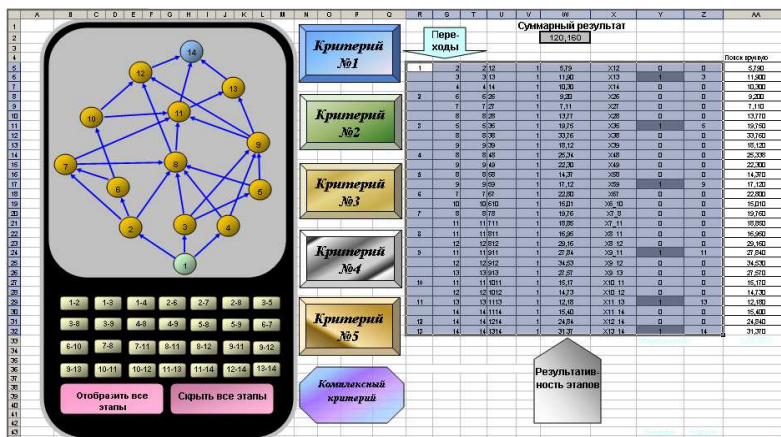


Рисунок 1 – Фрагмент рабочего листа, на котором проводятся оптимизационные расчеты

На данном рабочем листе обучаемые заполняют таблицу, содержащую оценки важности 5 критериев, представленные группой из пяти экспертов. Эти данные в виде нормированных усредненных значений используются в дальнейшем при расчете оптимальной по глобальному критерию траектории. В качестве примера в таблице 1 приведены возможные численные оценки важности критериев.

Участники деловой игры оценивают также желательные суммарные значения критериев, полученных в процессе многоэтапного управления организацией. Для одного из вариантов иллюстративного примера они составляют 125 тыс. д.е. (прибыль от реализации традиционной для организации продукции), 90 тыс. д.е. (прибыль от реализации новой продукции), 0,25, 0,25 и 0,2 (контролируемые доли рынков №№ 1–3).

На начальном этапе участникам деловой игры предоставляется возможность убедиться в эффективности и целесообразности применения методов оптимизации при решении управленческих задач. Для этого им предлагают попытаться самостоятельно (в ручном режиме) отыскать оптимальную по одному или – при желании – по нескольким критериям траекторию. Перебирая различные варианты многоэтапных стратегий, они определяют соответствующие значения суммарной прибыли и контролируемых долей всех рынков. Учитывая достаточно большое число возможных траекторий и нескольких критериев (в используемом случае – 28 и 5 соответственно, что, в принципе, требует проведения 140 отдельных вариантов расчетов), обучаемые быстро осознают сложность задачи и необходимость использования оптимизации и режима автоматических вычислений.

Преподаватель, проводящий деловую игру, знакомит обучаемых с технологией решения задачи с помощью оптимизационных методов (на данном этапе, очевид-

но, используется метод целочисленного линейного программирования). С помощью встроенного оптимизатора «Поиск решения» обучаемые определяют наиболее приемлемые по каждому локальному и общему комплексному критерию траектории. Один из возможных результатов иллюстрирует рисунок 2. В ходе деловой игры преподаватель может устанавливать (и изменять) для каждого варианта максимально допустимое значение общих затрат на многоэтапное управление. Это, как правило, будет приводить к изменению результатов – в частности, наиболее эффективная траектория, определенная в ходе оптимизационных расчетов, может оказаться неприемлемой.

Как правило, траектории, соответствующие оптимальным значениям отдельных критериев, не совпадают.

На втором этапе игры рассматривается целесообразность использования дополнительного финансирования с целью оптимизации суммарной прибыли для некоторых (наиболее перспективных) многоэтапных стратегий. В связи с тем, что оценить экспертным путем влияние дополнительного финансирования на ряд критериев (например контролируемая доля рынка) достаточно сложно, анализ затрагивает лишь наиболее важный критерий – прибыль. Для предположения, что дополнительное финансирование способно привести к заметному увеличению чистой прибыли от реализации некоторых этапов, проводится ряд оптимизационных расчетов для различных значений дополнительно инвестируемых средств. Определяются наиболее эффективные способы инвестирования (т.е. рассчитываются значения дополнительного финансирования для наиболее чувствительных этапов). Рассматривается ряд траекторий (в рамках деловой игры – три) и по результатам расчетов строятся графики зависимости прибыли от величины дополнительного финансирования. Необходи-

Таблица 1 – Коэффициенты важности рассматриваемых критериев: в верхней части таблицы – оценки по десятибалльной шкале, в нижней – нормированные значения

	Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	Эксперт 4	Эксперт 5
1	10	9	8	9	10
2	9	10	10	10	10
3	7	8	9	7	8
4	9	9	9	10	10
5	10	10	10	10	10
СУММА	45	46	46	46	48

	Нормированные коэффициенты важности					Усредненное значение
1	0,22	0,20	0,17	0,20	0,21	0,20
2	0,20	0,22	0,22	0,22	0,21	0,21
3	0,16	0,17	0,20	0,15	0,17	0,17
4	0,20	0,20	0,20	0,22	0,21	0,20
5	0,22	0,22	0,22	0,22	0,21	0,22

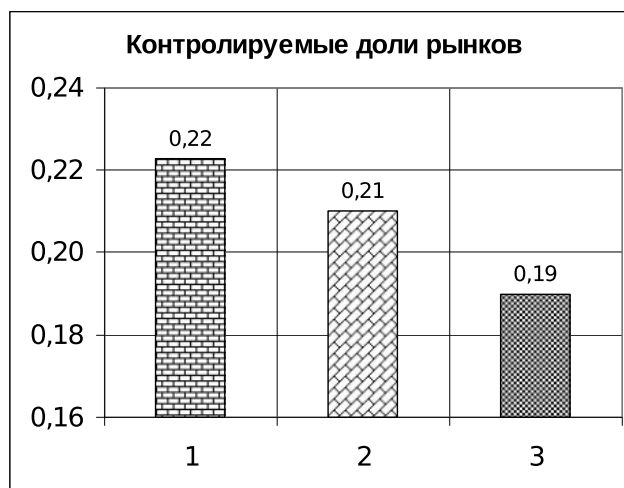
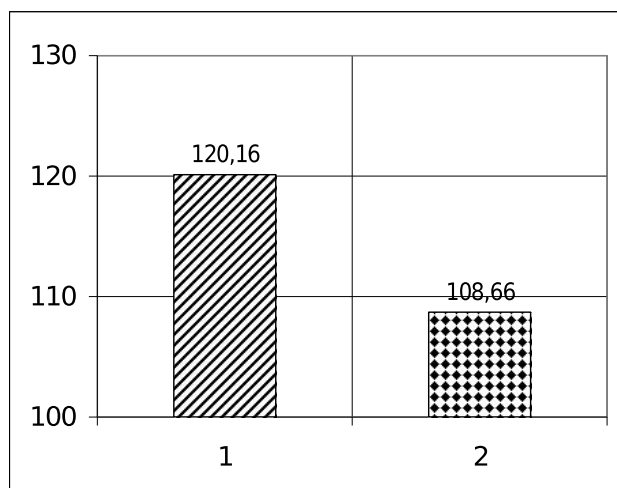


Рисунок 2 – Один из результатов, полученных участниками игры. График в левой части рисунка иллюстрирует прибыль, полученную в результате продаж традиционно выпускаемой продукции (120,16 тыс. д.е.), а в правой – прибыль от реализации новой продукции (108,66 тыс. д.е.)

димость анализа нескольких многоэтапных стратегий развития вызывается тем, что дополнительное финансирование может привести к «изменению лидера» – т.е. стратегия, наиболее эффективная по прибыли при начальных условиях, может перестать быть таковой при дополнительном финансировании.

Математическая формулировка задачи:  
целевая функция

$$W = \sum_i \sum_j w_{ij} \rightarrow \max, \quad (4)$$

где

$$w_{ij} = w_{ij}^0 + \Delta w_{ij}(s_{ij}). \quad (5)$$

Ограничения:

$$\sum_i \sum_j s_{ij} \leq S. \quad (6)$$

В вышеприведенных соотношениях:

$W$  – общая прибыль, полученная за время реализации программы развития;  $w_{ij}$  – прибыль (или убыток) на этапе  $(i, j)$ ; функции  $\Delta w_{ij}$  описывают зависимость прибыли на отдельных этапах от величины дополнительного финансирования  $s_{ij}$ ;  $S$  – общая планируемая сумма дополнительного финансирования.

Определение функциональных зависимостей  $\Delta w_{ij}$  представляет чрезвычайно сложную задачу, требующую, вообще говоря, обработки реальных статистических данных. В рамках деловой игры для простоты предполагается, что данная зависимость известна, имеет квадратичный характер и определяется соотношениями

$$w_{ij}(s_{ij}) = w_{ij}^0 + b_{ij}^0 \cdot s_{ij} + b_{ij}^1 \cdot s_{ij}^2, \quad (7)$$

где  $w_{ij}^0$  – прибыль на этапе  $(i, j)$  без дополнительного финансирования,  $b_{ij}^0, b_{ij}^1$  – постоянные коэффициенты.

В качестве примера рассмотрим результаты для одного из вариантов. В ходе расчетов выяснено, что по суммарной чистой прибыли наиболее предпочтительны стратегии 1–3–5–9–11–13–14 (чистая прибыль – 24,71 тыс. д.е.), 1–2–6–7–8–11–13–14 (22,6 тыс. д.е.) и 1–2–6–7–8–12–14 (22,12 тыс. д.е.). Экспертным путем определены зависимости прибыли на каждом этапе от величины дополнительного финансирования. Необходимо оценить влияние дополнительного финансирования на суммарную прибыль. Предполагается, что дополнительные средства не превосходят определенной суммы и будут расходоваться наиболее эффективным способом (оптимально).

Результаты для рассматриваемого примера приведены на рисунке 3.

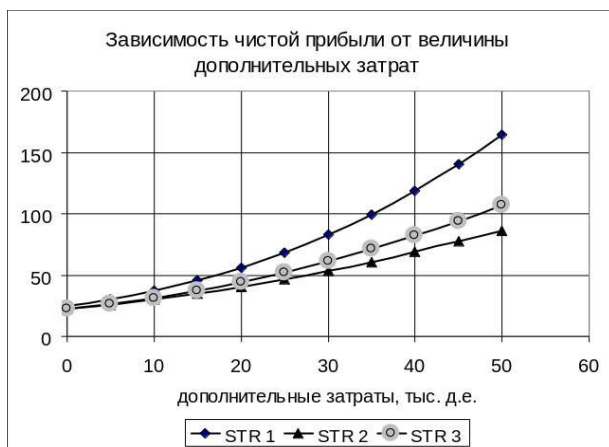


Рисунок 3 – Зависимость суммарной чистой прибыли от величины дополнительных затрат для трех рассматриваемых стратегий

Серия аналогичных расчетов может проводиться и для чистой прибыли, получаемой в результате реализации лишь новой для данной организации продукции.

## Заключение

Следует отметить следующие обстоятельства. В процессе проведения деловой игры обучаемые могут получить достаточно полное представление об оптимизационных методах и технологии решения многокритериальных задач в условиях полной и достоверной информации о параметрах управляемой системы.

При этом они:

1. Знакомятся с методологией решения оптимизационных задач в сфере экономики;
2. Получают представление об анализе многоэтапных стратегий в условиях многокритериальности

и учатся выбирать управленческие альтернативы на основе комплексного анализа альтернатив;

3. Знакомятся с программными средствами анализа и выбора управленческих стратегий (оптимизатор «Поиск решения» и макросы, реализованные на языке программирования Visual Basic for Applications).

Автор предполагает, что представленные в работе модель и алгоритм проведения анализа проблемной ситуации могут достаточно эффективно использоваться в учебном процессе. Проведение соответствующей деловой игры планируется в ближайшее время в УЦСМ Академии управления при Президенте Республики Беларусь. Можно предположить, что при условии достижения положительного результата она может проводиться и в иных УВО, осуществляющих обучение и переподготовку руководящих кадров.

## Литература / References

1. Новыш, Б.В. Образовательные технологии аналитического ситуационного моделирования проблемных ситуаций / Б.В. Новыш, В.А. Богущ, А.С. Гринберг, В.К. Шешолко // Научные труды Академии управления при Президенте Республики Беларусь. – 2009. – Вып. 11, ч. I. – С. 106–116.  
Novysh, B.V. Obrazovatel'nyye tekhnologii analiticheskogo situatsionnogo modelirovaniya problemnykh situatsiy / B.V. Novysh, V.A. Bogush, A.S. Grinberg, V.K. Shesholko // Nauchnyye trudy Akademii upravleniya pri Prezidente Respubliki Belarus'. – 2009. – Vyp. 11, ch. I. – P. 106–116.
2. Новыш, Б.В. Образовательные технологии анализа проблемных ситуаций на базе имитационных моделей / Б.В. Новыш, А.С. Гринберг, И.В. Гваева, Д.В. Шаститко // Науч. труды Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь. – 2009. – Вып. 11, ч. II. – С. 52–66.  
Novysh, B.V. Obrazovatel'nyye tekhnologii analiza problemnykh situatsiy na baze imitatsionnykh modeley / B.V. Novysh, A.S. Grinberg, I.V. Gvayeva, D.V. Shastitko // Nauch. trudy Akad. upr. pri Prezidente Resp. Belarus'. – 2009. – Vyp. 11, ch. II. – P. 52–66.
3. Новыш, Б.В. Деловые игры как эффективное средство развития профессиональных качеств управленческих кадров / Б.В. Новыш, И.В. Гваева, Л.Ф. Медведева // Кадровое обеспечение органов местного самоуправления в условиях муниципальной реформы: сборник трудов Междунар. науч.-практ. конф., 20 февраля 2015 г., в 2 т. / Под ред. П.А. Меркулова. – Орёл: Изд-во ОФ РАНХиГС, 2015. – Т. 2. – С. 85–90.  
Novysh, B.V. Delovyye igry kak effektivnoye sredstvo razvitiya professional'nykh kachestv upravlencheskikh kadrov / B.V. Novysh, I.V. Gvayeva, L.F. Medvedeva // Kadrovoye obespecheniye organov mestnogo samoupravleniya v usloviyakh munitsipal'noy reformy: sbornik trudov Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 20 fevralya 2015 g., v 2 t. / Pod red. P.A. Merkulova. – Oryol: Izd-vo OF RANKHiGS, 2015. – T. 2. – P. 85–90.

4. Новыш, Б.В. Многокритериальная имитационная модель управления развитием организации / Б.В. Новыш, И.В. Гваева // Экономика и управление. – 2014. – № 2(38). – С. 34–40.  
Novysh, B.V. Mnogokriterial'naya imitatsionnaya model' upravleniya razvitiyem organizatsii / B.V. Novysh, I.V. Gvayeva // Ekonomika i upravleniye. – 2014. – No. 2(38). – P. 34–40.
5. 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. Gvayeva // Ekonomika i upravleniye. – 2013. – No. 2(34). – P. 24–29.
6. Таха, Х.А. Введение в исследование операций / Х.А. Таха. – Изд. 6-е. – М.: Издат. дом Вильямс, 2001. – 912 с.  
Takha, Kh.A. Vvedeniye v issledovaniye operatsiy / Kh.A. Takha. – Izd. 6-e. – M.: Izdat. dom Vil'yams, 2001. – 912 p.