Математический анализ и моделирование в экономике

УДК 336.42

ВАРИАНТНЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОСВОЕНИЯ РАЗВЕДАННОЙ РЕСУРСНОЙ БАЗЫ*

Г.М. ЗУЕВ,
кандидат физико-математических наук,
профессор кафедры прикладной математики
E-mail: gmzuev@mail.ru

В.В. ШУШУНОВ,
аспирант кафедры прикладной математики
E-mail: vshushunov@yandex.ru
Московский государственный университет
экономики, статистики и информатики (МЭСИ)

В результате использования ранее разработанного модельного аппарата формирования наиболее эффективной программы освоения располагаемых запасов природных ресурсов, распределенных по уровню удельных затрат на добычу, представлены вариантные расчеты их рационального освоения на основе авторского вычислительного комплекса.

Представлен вариантный экономический анализ рационального освоения располагаемой системы запасов природных ресурсов с различающимся уровнем удельных затрат на добычу.

Главная цель статьи заключается в демонстрации потенциала разработанного формализованного описания и программного комплекса, возможности их прикладного применения для осмысления вариантов экономического анализа корпоративного ресурсоосвоения.

В основу анализа положено разработанное авторами динамическое формализованное описание предметной области, включающее авторскую оптимизационную постановку. Оно базируется на специально выделенной системе базовых характеристик анализируемого объекта (ресурсодобывающего комплекса) в натуральном выражении. В качестве экзогенной информации выступают динамика цен на природный ресурс, распределение запасов по затратам, динамика цен и потребности в добываемом сырье.

Представлены варианты модельных расчетов экономически оптимального освоения располагаемой ресурсной базы при различающейся динамике цен на добываемое сырье и уровне его востребованности. Это позволяет осмыслить аналитический и прикладной потенциал располагаемого формализованного описания и программного комплекса, реализуемого на этой основе.

Работа представляет собой обобщение классических подходов экономико-математического анализа применительно к освоению запасов природных ресурсов. При этом она существенно преобразует результаты, связанные с обоснованием целесообразности параллельного освоения запасов природных ресурсов с различающимся уровнем удельных затрат на добычу. Это выявляет системообразующие структурные особенности соответствующих взаимосвязей, реализованные на данном этапе расчетов авторского программного комплекса.

***Ключевые слова**: программный комплекс, экономико-математическое моделирование, экономический рост, природные ресурсы, оптимизация*

* Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда. Грант №14-02-00496/14 от 19 марта 2014 г.

Природные ресурсы являются одним из системообразующих факторов социально-экономического процесса. Авторами разработано разветвленное формализованное описание вариантов освоения располагаемой ресурсной базы и его влияния на динамику экономического роста [10–11]. В данной статье отражено только системообразующее ядро, уже обеспеченное соответствующей программной реализацией.

В качестве базовой экзогенной информации выбраны распределения запасов по удельным затратам на добычу, обозначенные как $Q(c, t_0)$, динамика потребности в ресурсе $v(t)$ и прогноз рыночных (договорных) цен $p(t)$ на заданном временном интервале $t \in [t_0, T]$, где t_0 – начальный момент, в том числе и для оценки располагаемых запасов, изображенных на рис. 1.

На основе располагаемого программного комплекса может быть представлено оптимизационное решение освоения системы запасов для различных вариантов задания $v(t)$ и $p(t)$.

В качестве управляющих воздействий выбрано распределение добычи по удельным затратам, обозначенное как $\rho(c, t)$, $c \in [c_0, c^*(T)], t \in [t_0, T]$, где $c^*(T)$ определяется из условия

$$\int_{c_0}^{c^*(T)} Q(c,t)dc = \int_{t_0}^{T} v(t)dt.$$

При этом выполняются следующие функциональные ограничения:

$$\int_{c_0}^{c^*(T)} \rho(c,t)dc = v(t), t \in [t_0, T],$$

$$\int_{t_0}^{T} \rho(c,t)dt \le Q(c,t_0), \forall c \in [c_0, \infty].$$

В качестве целевой установки выбрано обеспечение максимально возможного стабильного темпа роста валового регионального продукта на заданном временном интервале $[t_0, T]$:

$$J = \max_{\rho(t,c)} \min_{t \in [t_0, T]} \dot{Y}/Y.$$

В иллюстративном представлении $Y(t) = [p(t) - c(t)]v(t)$, где $c(t)$ – средние текущие удельные затраты на добычу природного ресурса в виде

$$c(t) = \frac{\int_{c_0}^{c^*(T)} c\rho(c,t)dc}{v(t)}.$$

Частным результатом проведенного оптимизационного исследования является расчет максимально возможного μ^* для любых допустимых вариантов потребностей в ресурсе $v(t)$ и динамики цен $p(t)$, $t \in [t_0, T]$;

$$Y^{\text{опт}}(t) = Y(t_0)e^{\mu^*(t-t_0)}, \ t \in [t_0, T].$$

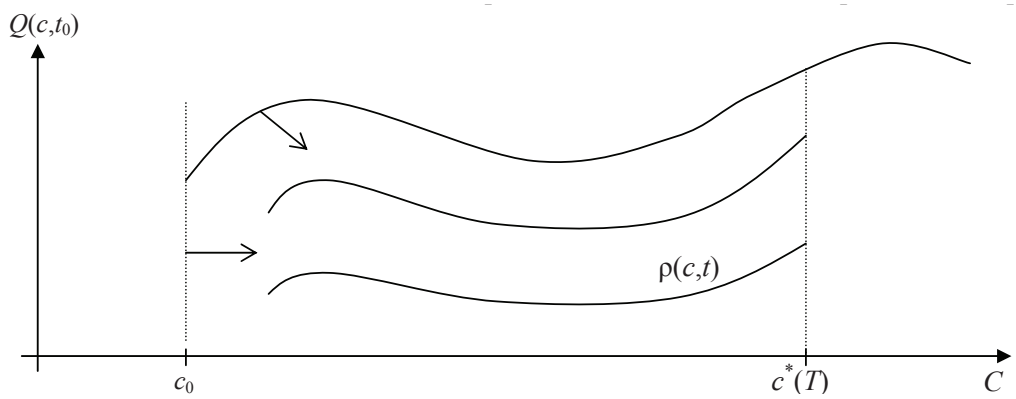

Рис. 1. Схема распределения запасов по удельным затратам

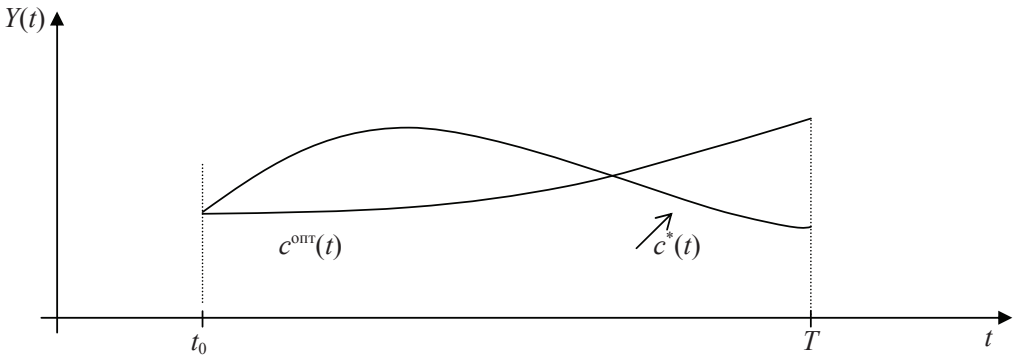

Рис. 2. Варианты оптимизационных расчетов

Варианты соответствующих оптимизационных расчетов представлены на рис. 2.

Одна из кривых, изображенных на рис. 2, соответствует последовательному переходу к освоению менее эффективной части запасов по мере выработки более эффективной $c^*(t)$, другая – представленной оптимизационной постановке на основе расчета наилучшей стратегии их освоения $c^{\text{опт}}(t)$. Оптимальная стратегия освоения располагаемой ресурсной базы может

быть рассчитана и на основе других целевых установок [9, 16, 19, 20].

Представленные результаты, по мнению авторов, являются органичной составной частью комплексного социально-экономического анализа регионального (странового) развития при профессиональном подходе к изучению данной предметной области.

На основе приведенного модельного аппарата с помощью разработанного программного комплекса была проведена детализированная серия расчетов, характеризующая различные варианты динамики цен на поставляемое сырье и потребности в нем для конкретных распределений запаса по уровню удельных затрат на добычу для ресурсодобывающей компании (рассмотрено предприятие, добывающее сырье одного вида).

Главная цель проделанной работы заключается в демонстрации потенциала разработанного формализованного описания. По сути дела, на представленных далее графиках, получившихся в результате проведенных с помощью программного комплекса расчетов, изображена следующая альтернатива добычи природного сырья: либо максимальная доходность с самого начала с последующим неконтролируемым спадом извлекаемой прибыли (прерывистые линии на рис. 4, 6, 8), либо выбор периода с гарантированным ростом доходности за счет оптимальной эксплуатации располагаемой системы запасов (сплошные линии, там же). На рис. 3, 5, 7 представлены временные зависимости удельных затрат на добычу – соответственно нарастающие (прерывистые линии) и оптимальные (сплошные линии).

На практике ресурсодобывающие компании, разумеется, реализуют собственную программу освоения, а проведенные расчеты и методология, положенная в их основу, позволяют комплексно проанализировать соответствующий потенциал. Таким образом, разработан аналитический инструментарий собственно экономической оценки располагаемой системы запасов с учетом складывающейся внешней конъюнктуры и конкретизации интересов заинтересованного ресурсодобывающего субъекта.

Повторим, что приведенные расчеты носят модельный характер и предназначены для выработки рациональной стратегии освоения располагаемой ресурсной базы.

В качестве исходных данных для первого расчета были выбраны данные по разрабатываемым месторождениям, представленные в табл. 1, и динамика потребности в ресурсе с уровнем прогнозируемых цен (контрактных), представленная в табл. 2. Распределение располагаемых запасов сырья по уровню удельных затрат на добычу во всех расчетах является неизменным и представлено месторождениями с равномерно возрастающими удельными затратами на добычу и случайным образом определенным объемом запаса по каждому месторождению. Динамика потребностей и цен, представленная в расчете, характеризуется стабильными ценами на ресурс при наличии скачкообразных колебаний потребности в нем на заданном временном интервале.

Временная зависимость удельных затрат на добычу в случае последовательного освоения месторождений с наиболее эффективной частью запасов и обеспечивающих стабильный экономический рост представлена на рис. 3.

Локальный рост (максимум) на второй кривой обусловлен тем, что в эти периоды (№ 3, 8) резко возрастает спрос на ресурс (90 и 60 ед. соответственно). Значит, в эти периоды можно добывать ресурс при больших удельных затратах и одновременно увеличивать совокупную прибыль.

В свою очередь локальные максимумы на рис. 4 также обусловлены именно этим обстоятельством. Сплошной же линией обозначается максимально возможный экспоненциальный рост

Таблица 1

Данные по месторождениям

Показатель	Номер месторождения														
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
Удельные затраты на добычу, ед.	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Объем запаса, ед.	50	60	80	30	20	30	40	50	40	30	40	80	70	90	200

Таблица 2

Потребности в ресурсе и цены

Показатель	Номер интервала времени									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Поток добываемого сырья, ед.	36	36	90	36	36	36	36	60	36	36
Цена на ресурс, ед.	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

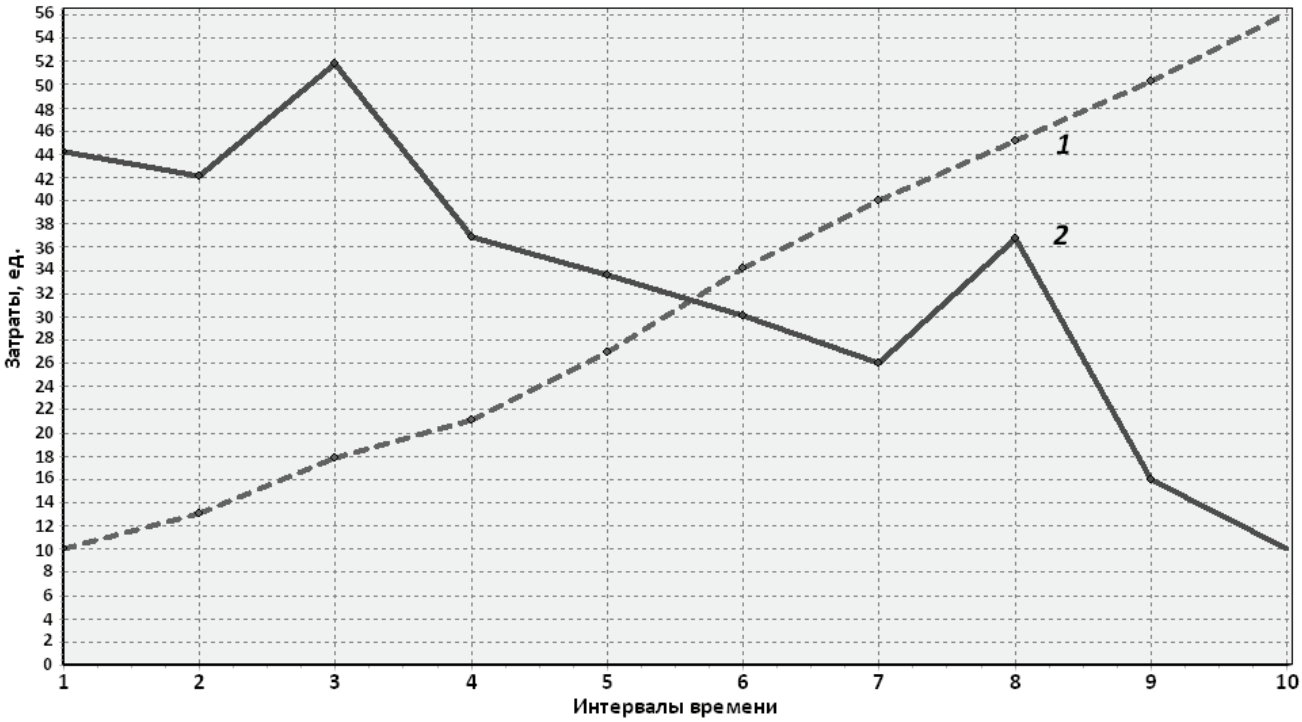

Рис. 3. Динамика изменения затрат на добычу:
1 – нарастающих; *2* – оптимальных

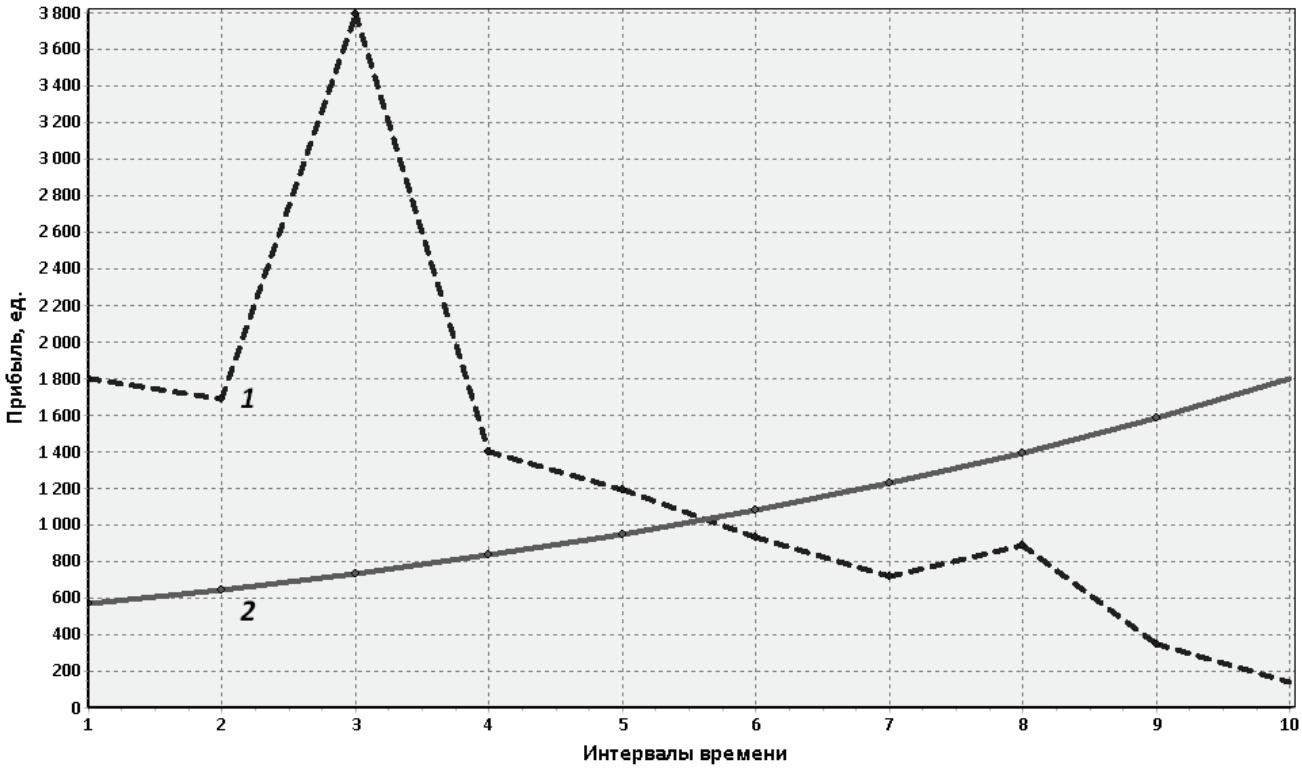

Рис. 4. Динамика изменения текущей прибыли:
1 – нарастающей; *2* – оптимальной

прибыли на заданном временном интервале при фиксированных экзогенных характеристиках (распределение запасов по затратам, потребности в ресурсах по годам и заданных ценах – в данном случае постоянных).

Исходные данные, использованные в следующем расчете, характеризуются наличием стабильного спроса на ресурс при наличии ценовых колебаний в течение всего заданного интервала времени (табл. 3).

На следующем графике (рис. 5) изображены аналогичные (как и на рис. 3) зависимости для случая заданного стабильного спроса на ресурс (объема добычи) при наличии ценовых колебаний. Этим и обусловлены локальные максимумы и минимумы удельных затрат на добычу, обеспечивающие максимально возможный рост прибыли компании, представленный на рис. 6.

Исходные данные, использованные в заключительном расчете, характеризуются как ростом добычи, так и перманентным увеличением расчетных цен, и представлены в табл. 4.

В этом случае (рис. 7) снижение прибыли неуправляемой добычи носит менее ярко выраженный характер – рост удельных затрат компенсируется увеличением цены и объема продаж добываемого сырья. В то же время эти причины обусловливают более явно выраженный рост прибыли в случае управляемого освоения месторождений с различающимся уровнем удельных затрат на добычу.

Динамика оптимальных удельных затрат на добычу изображена на рис. 8. Их монотонное сни-

Таблица 3

Потребности в ресурсе и цены

Показатель	Интервал времени									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Поток добываемого сырья, ед.	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Цена на ресурс, ед.	60	55	45	50	60	60	60	80	60	60

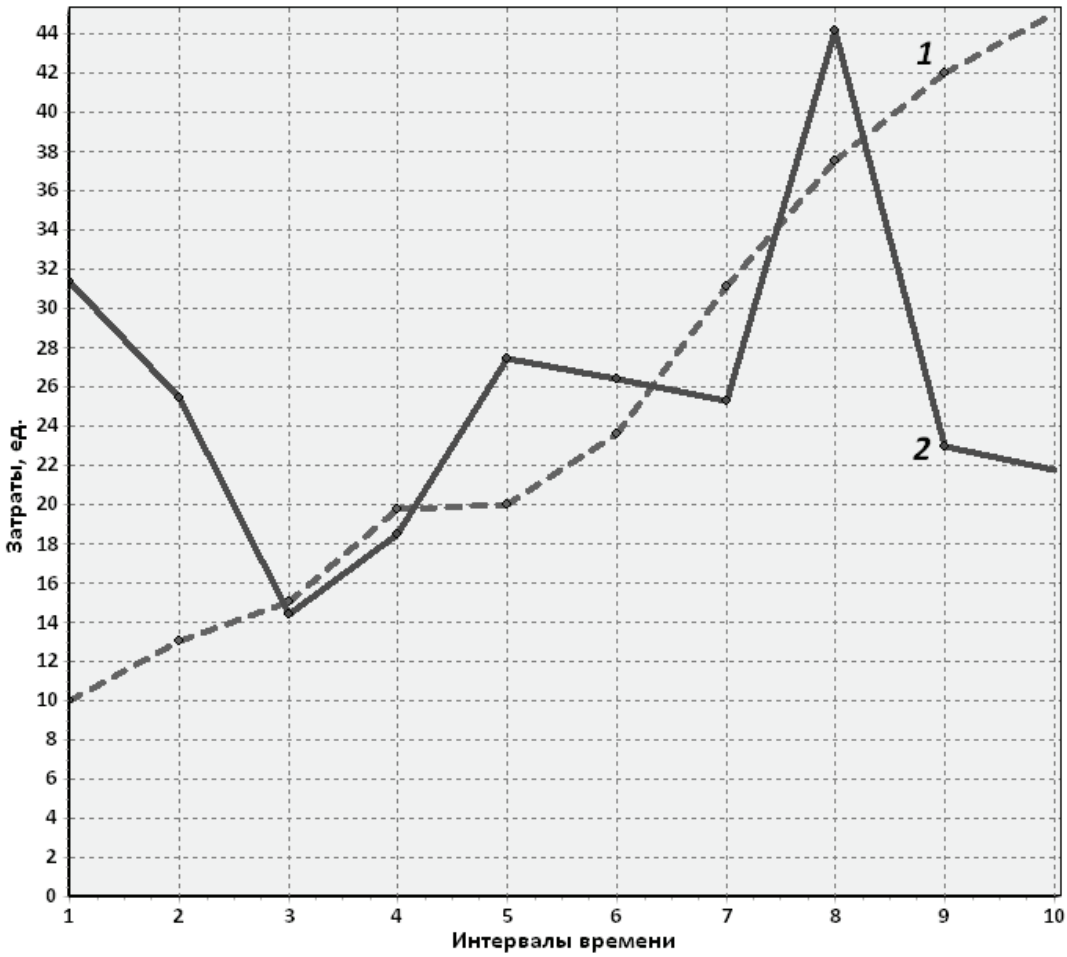

Рис. 5. Динамика изменения затрат на добычу:
1 – нарастающих;
2 – оптимальных

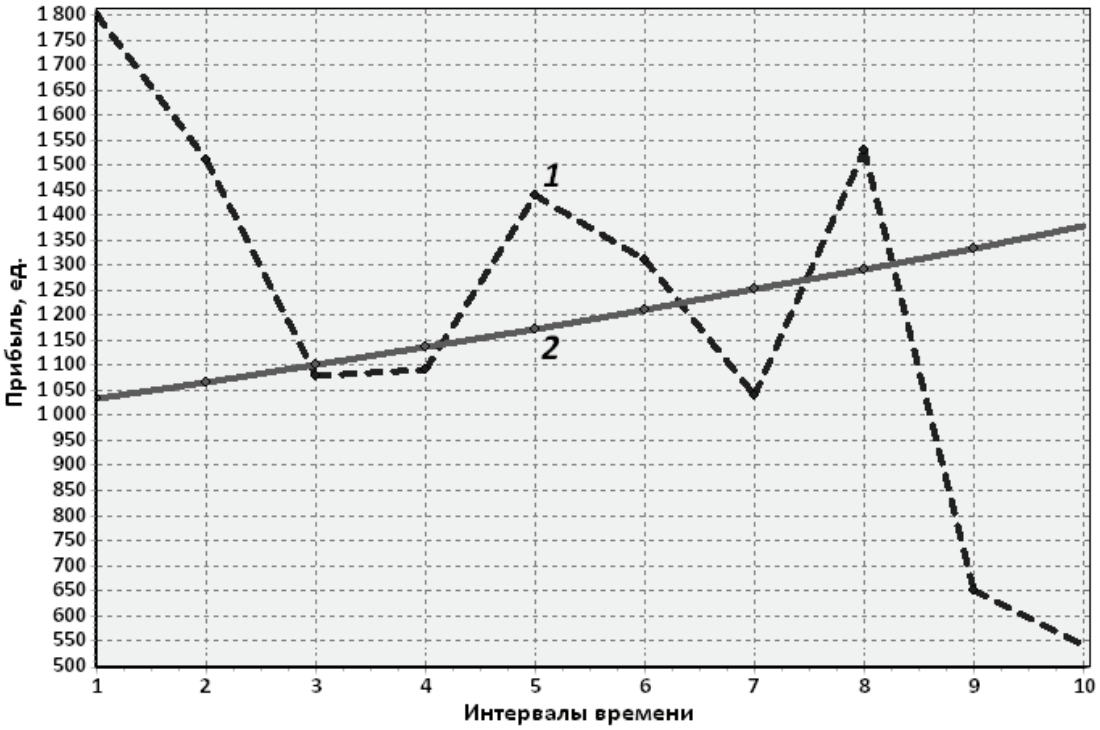

Рис. 6. Динамика изменения текущей прибыли:
1 – нарастающей;
2 – оптимальной

Таблица 4

Потребности в ресурсе и цены

Показатель	Номер интервала времени									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Поток добываемого сырья, ед.	36	37,8	39,6	41,4	43,2	45	46,8	48,6	50,4	52,2
Цена на ресурс, ед.	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69

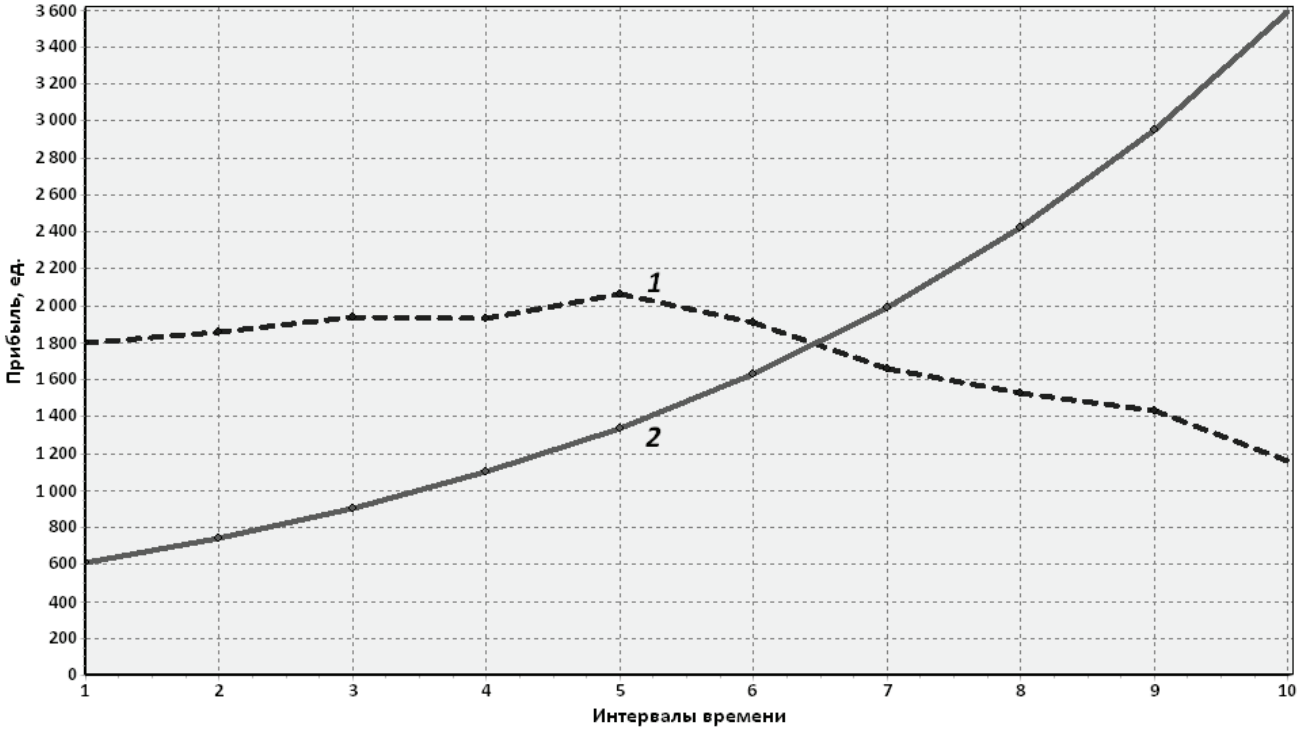

Рис. 7. Динамика изменения текущей прибыли:
1 – нарастающей; *2* – оптимальной

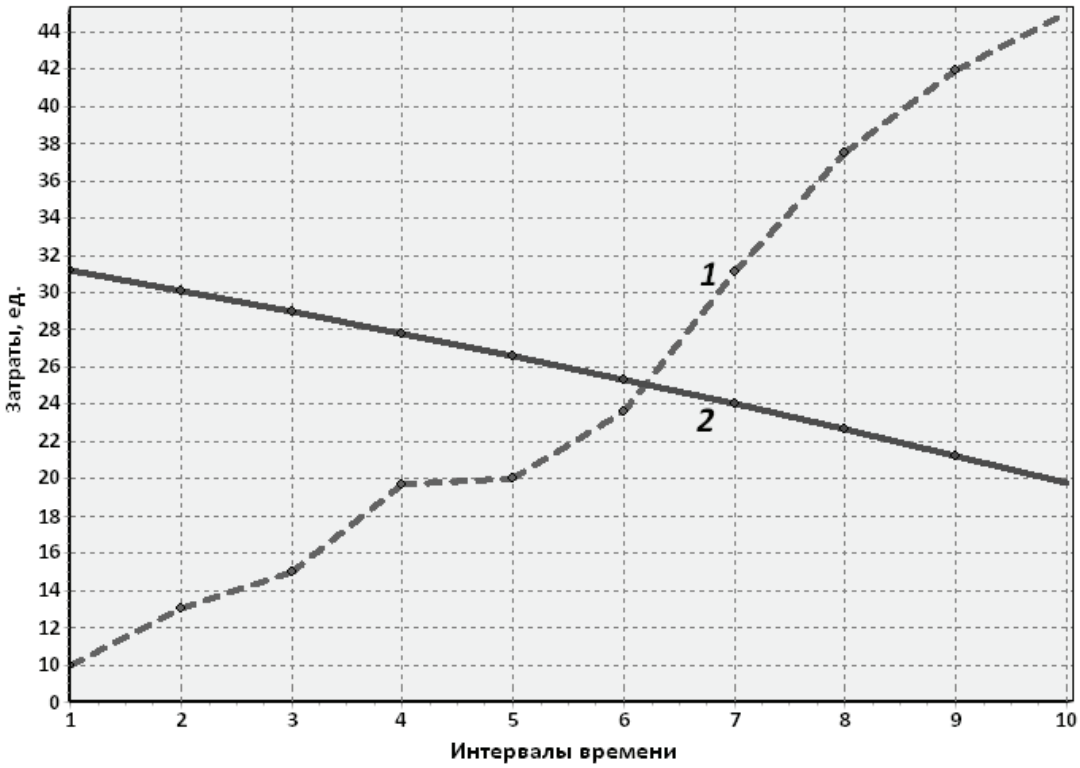

Рис. 8. Динамика изменения затрат на добычу:
1 – нарастающих;
2 – оптимальных

жение обусловлено поставленной оптимизационной задачей.

В соответствии с поставленной целью компания стремится к обязательному неуклонному росту прибыли, поэтому оптимизационный алгоритм оставляет часть наиболее эффективных месторождений на более поздние этапы освоения, чтобы обеспечить этот феномен.

В противном случае рост прибыльности компании носил бы менее выраженный характер, но обеспечил более раннее поступление потенциального извлекаемого дохода. Соответствующая корректировка оптимальной программы освоения может быть реализована согласно требованиям заказчика.

Дальнейшее развитие данного программного комплекса позволяет на основе располагаемой алгоритмической базы продолжить расчеты определения вариантов освоения, доведя их до отыскания $\rho^{\text{опт}}(c, t)$, $c \in [c_0, c^*(T)]$, $t \in [t_0, T]$. При этом все макроэкономические характеристики, представленные на графиках, будут соответствовать установленным значениям.

Фактически исследования авторов соответствуют решению задачи синтеза, когда для любой структуры запасов может быть рассчитана наилучшая программа освоения, обеспечивающая стабильный доход на заданном временном горизонте с учетом произвольной конъюнктуры относительно данного вида ресурса.

Существенно отметить, что в рамках развиваемого подхода можно органично учитывать два системообразующих сегмента собственно экономического анализа формирования наиболее эффективной программы ресурсоосвоения.

Первый связан с учетом изменения структуры располагаемых запасов, обусловленной научно-техническими преобразованиями. В частности, они (преобразования) влияют на введенное в рассмотрение распределение запаса по уровню удельных затрат на добычу, обозначенное как $Q(c, t_0)$ на рис. 1.

Новые технологические решения* приводят к смещению соответствующих распределений влево (снижение удельных затрат на добычу) и вверх (увеличение объемов извлекаемого сырья при фиксированном уровне удельных затрат). Независимый расчет любого нового варианта позволяет оценить привнесенный эффект и обосновать целесообразность данного технологического решения по сравнению с его альтернативными аналогами.

Второй сегмент связан с учетом различающихся схем налогообложения. Для ресурсодобывающей

* Если они эффективны.

компании задание «правил игры» позволяет переоценивать распределение запасов с учетом увеличения (сокращения) налоговой составляющей. Отсюда вытекает высказанное ранее утверждение, что для любого варианта налогообложения существует и оптимальная программа освоения располагаемой системы запасов, позволяющая в наибольшей степени удовлетворить частные интересы ресурсодобывающей компании.

Важно подчеркнуть, что налоговое стимулирование дальнейшей переработки добываемого сырья также может быть органично учтено на основе дополнительного модельного отражения указанного производственного процесса. В свою очередь, фискальные органы могут более комплексно учитывать обозначенные здесь особенности экономического анализа в области ресурсоосвоения для стратегической оценки потенциально достижимого общественного результата.

Подводя предварительные итоги проделанной работы по анализу и программированию, следует указать на безусловную практическую значимость дальнейшей детализации ряда выделенных элементов развиваемого формализованного описания, что позволит существенно продвинуться в обосновании направлений рационального освоения располагаемой ресурсной базы.

Более тесная увязка данного рассмотрения с классическими направлениями инвестиционного оценивания и экономико-математического анализа может быть проведена на основе трудов [1–8, 12–18].

Список литературы

1. *Бланк И.А.* Инвестиционный менеджмент. Киев: ИТЕМ ЛТД, 1995. 448 с.

2. *Бурков В.Н. и др.* Задачи управления в социальных и экономических системах. М.: Синтег, 2005. 246 с.

3. *Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк И.А.* Оценка эффективности инвестиционных проектов. М.: Дело. 2011. 888 с.

4. *Гермейер Ю.Б.* Игры с непротивоположными интересами. М.: Наука, 1976. 326 с.

5. *Горелик В.А., Кононенко А.Ф.* Теоретико-игровые модели принятия решений в эколого-экономических системах. М.: Радио и связь, 1982. 144 с.

6. *Губко М.В., Новиков Д.А.* Теория игр в управлении организационными системами. М.: Синтег, 2002. 148 с.

7. *Дюбин Г.Н., Суздаль В.Г.* Введение в прикладную теорию игр. М.: Наука, 1981. 230 с.

8. *Еремеев А.П.* Теоретико-игровые методы принятия решений. М.: МЭИ, 2007. 40 с.

9. *Ермилов О.М., Миловидов К.Н., Чугунов Л.С. и др.* Стратегия развития нефтегазовых компаний. М.: Наука, 1998. 624 с.

10. *Зуев Г.М.* Управление эффективностью освоения запасов природных ресурсов // Экономика и математические методы. 2008. Т. 44. № 3. С.128–36.

11. *Зуев Г.М., Луняков Б.С.* Прикладной системный анализ (исследование влияния истощаемости запасов полезных ископаемых на динамику экономического роста). М.: МЭСИ, 1995. 48 с.

12. *Иванов Ю.Н., Токарев В.В., Уздемир А.П.* Математическое описание элементов экономики. М.: Наука. 1994. 416 с.

13. *Каппелс Томас*. Финансово-ориентированное управление проектами. М.: Олимп-Бизнес, 2008. 377 с.

14. *Ковалев В.В.* Методы оценки инвестиционных проектов. М.: Финансы и статистика. 2005. 480 с.

15. *Мелентьев Л.А.* Системные исследования в энергетике. М.: Наука, 1983. 289 с.

16. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиций. 2-е изд. М.: Экономика, 2000. 421 с.

17. *Саати Т.Л.* Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети. М.: ЛКИ, 2008. 197 с.

18. *Хомяков П.М.* Системный анализ: экспресс-курс лекций. М.: ЛКИ, 2010. 608 с.

19. *Hotelling Harold.* The Economics of Exhaustible Resources // Journal of Political Economy. 1931. Vol. 39. № 2. P. 137–175.

20. *Sollow Robert M.* The Economics of Resources or the Resources of Economics Richard T. Ely Lecture // American Economic Reviw. Papers and Proceedings of the Eighty-Sixth Annual Heeting of the American Economic Association. 1974. Vol. 64. № 2. P. 1–14.

Financial Analytics: Science and Experience
ISSN 2311-8768 (Online)
ISSN 2073-4484 (Print)
Mathematical Analysis and Modeling in Economics

ALTERNATIVE ECONOMIC ANALYSIS FOR THE EXPLORED RESOURCE BASE DEVELOPMENT

Grigorii M. ZUEV,
Vyacheslav V. SHUSHUNOV

Abstract

Importance As a result of application of the earlier developed model apparatus to devise the most effective program for the development of natural resources, which are distributed on the level of specific expenditures for production, the paper offers variants calculations of their rational development on the basis of computing system, which was developed by us. We present an alternative economic analysis for carrying out rational development of the available natural resources stocks with differential level of specific costs for production.

Objectives The main goal of the research consists in showing the capacity of the developed formalized description and software package, the possibilities of their direct application for reasoning of economic analysis options of corporate resources development.

Methods Dynamic, formalized description of subject domain, which we have developed, includes our optimization model, which serves as a framework of analysis. It is based on a specially allocated system of basic characteristics of the analyzed object (a resource-extraction complex) in physical terms. Dynamics of the natural resource prices and distribution of stocks expenses, dynamics of prices and the need for extracted raw materials act as an exogenous information.

Results The paper offers model's calculation options of economically optimum development of resource base with differentiating dynamics of prices for extracted raw materials and the levels of its demand. It allows comprehending analytical and applied potential of the available formalized description and software package, which is implemented on this basis.

Conclusions and Relevance The paper represents generalization of classical approaches of economic and mathematical analyses in relation to the natural resources stocks development. At the same time, it considerably transforms the results connected with the substantiation of an expediency of parallel development of natural resources stocks with differentiating level of specific production costs. We reveal the backbone structural specific features of corresponding interrelations, which are implemented at this stage of carried-out calculations of our software package.

Keywords: software package, economic-mathematical modeling, economic growth, natural resources, optimization

References

1. Blank I.A. *Investitsionnyi menedzhment* [Investment management]. Kiev, ITEM LTD Publ., 1995, 448 p.

2. Burkov V.N. et al. *Zadachi upravleniya v sotsial'nykh i ekonomicheskikh sistemakh* [Management problem in social and economic systems]. Moscow, Sinteg Publ., 2005, 246 p.

3. Vilenckii P.L., Livshits V.N., Smolyak I.A. *Otsenka effektivnosti investitsionnykh proektov* [Evaluating the investment projects efficiency]. Moscow, Delo Publ., 2011, 888 p.

4. Germeier Yu.B. *Igry s neprotivopolozhnymi interesami* [Games with not two-person zero-sum interests]. Moscow, Nauka Publ., 1976, 326 p.

5. Gorelik V.A., Kononenko A.F. *Teoretiko-igrovye modeli prinyatiya reshenii v ekologo-ekonomicheskikh sistemakh* [Game-theory models of decision-making in environmental and economic systems]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1982, 144 p.

6. Gubko M.V., Novikov D.A. *Teoriya igr v upravlenii organizatsionnymi sistemami* [Game theory in organizational system management]. Moscow, Sinteg Publ., 2002, 148 p.

7. Dyubin G.N., Suzdal' V.G. *Vvedenie v prikladnuyu teoriyu igr* [Introduction to the applicable theory of games]. Moscow, Nauka Publ., 1981, 230 p.

8. Eremeev A.P. *Teoretiko-igrovye metody prinyatiya reshenii* [Game-theory methods of decision-making]. Moscow, MEI Publ., 2007, 40 p.

9. Ermilov O.M., Milovidov K.N., Chugunov L.S. et al. *Strategiya razvitiya neftegazovykh kompanii*

[Strategy of the oil and gas companies' development]. Moscow, Nauka Publ., 1998, 624 p.

10. Zuev G.M. Upravlenie effektivnost'yu osvoeniya zapasov prirodnykh resursov [Performance management of the development of natural resources stocks]. *Ekonomika i matematicheskie metody = Economics and Mathematical Methods*, 2008, vol. 44, no. 3, pp. 128–136.

11. Zuev G.M., Lunyakov B.S. *Prikladnoi sistemnyi analiz (issledovanie vliyaniya istoshchaemosti zapasov poleznykh iskopaemykh na dinamiku ekonomicheskogo rosta)* [An applied systems analysis (a research of the impact of mineral resources stock depleting on economic growth dynamics)]. Moscow, MSUESI Publ., 1995, 48 p.

12. Ivanov Yu.N., Tokarev V.V., Uzdemir A.P. *Matematicheskoe opisanie elementov ekonomiki* [A mathematical description of some economic elements]. Moscow, Nauka Publ., 1994, 416 p.

13. Cappels Th. *Finansovo-orientirovannoe upravlenie proektami* [Financially Focused Project Management]. Moscow, Olimp-Biznes Publ., 2008, 377 p.

14. Kovalev V.V. *Metody otsenki investitsionnykh proektov* [Evaluation methods of investment projects]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2005, 480 p.

15. Melent'ev L.A. *Sistemnye issledovaniya v energetike* [Systems studies in power industry]. Moscow, Nauka Publ., 1983, 289 p.

16. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke effektivnosti investitsii* [Methodical recommendations on investment efficiency evaluation]. Moscow, Ekonomika Publ., 2000, 421 p.

17. Saaty T.L. *Prinyatie reshenii pri zavisimostyakh i obratnykh svyazyakh. Analiticheskie seti* [Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process]. Moscow, LKI Publ., 2008, 197 p.

18. Khomyakov P.M. *Sistemnyi analiz: ekspress-kurs lektsii* [Systems analysis: express lectures]. Moscow, LKI Publ., 2010, 608 p.

19. Hotelling H. The Economics of Exhaustible Resources. *Journal of Political Economy*, 1931, vol. 39, no. 2, pp. 137–175.

20. Sollow Robert M. The Economics of Resources or the Resources of Economics. Richard T. Ely Lecture. Papers and Proceedings of the Eighty-Sixth Annual Meeting of the American Economic Association. *American Economic Review*, 1974, vol. 64, no. 2, pp. 1–14.

Grigorii M. ZUEV
Moscow State University of Economics, Statistics and Informatics, Moscow, Russian Federation
gmzuev@mail.ru

Vyacheslav V. SHUSHUNOV
Moscow State University of Economics, Statistics and Informatics, Moscow, Russian Federation
vshushunov@yandex.ru

Acknowledgments

The article was supported by the Russian Foundation for Humanities, grant No. 14-02-00496/14 of March 19, 2014.