УДК 519.866

М. А. Горбунов, А. В. Медведев, Е. С. Семенкин

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ

Проанализирована возможность применения генетических алгоритмов для решения сложных задач оптимизации на примере задачи оценки эффективности региональной промышленной политики. Приведено сравнение расчета по линейной модели региона двумя методами – генетическим и симплекс-методом. Показана возможность применения генетических методов к модели, спрос в которой задается в виде логистической кривой.

Ключевые слова: основная задача социально-экономического развития региона, математическая модель региона, генетические алгоритмы.

Общий уровень износа основных фондов в промышленности составляет почти 50 %, а в некоторых отраслях достигает 80 %. Поэтому на производственных предприятиях инвестиционная деятельность сводится преимущественно к операциям реального инвестирования: приобретения целостных имущественных комплексов, ведения реконструкции и технического перевооружения, нового строительства, модернизации действующего оборудования. В связи с этим остро стоит задача разработки и совершенствования методов и инструментов оценки и анализа эффективности развития социально-экономических систем на уровне предприятия, отрасли, региона и государства в целом. Используемые для этих целей пакеты экономического и финансового анализа, такие как «БЭСТ-Офис», «ИНЭК-Аналитик», «Альт-Инвест», «Галактика», Project Expert и др., позволяют получать показатели производственной, инвестиционной и финансовой деятельности предприятий в широком диапазоне параметров, в том числе рассматривать динамику их развития при заданных в каждый момент характеристиках движения. Это вполне устраивает финансовых аналитиков, о чем говорит широкое использование данных программных продуктов в практической деятельности планово-аналитических служб различных предприятий. Вместе с тем в этих пакетах практически отсутствуют возможности непосредственного получения *оптимальных значений показателей экономического развития во временной динамике*, что не позволяет относительно быстро выйти на оптимальные или субоптимальные траектории развития экономических агентов. Кроме того, существующие программные продукты если и позволяют менять алгоритмы расчетов, то для этого нужны специальные знания в области программирования или наличие навыков и опыта работы со слишком специфическими инструментами. Поэтому, наряду с построением математических моделей региона, актуальным является сравнение различных методов их анализа, а также применение этих методов к расчету практически значимых задач регионального социально-экономического развития.

Сформулируем основную задачу социально-экономического развития региона [1]. Положим, что планирование экономической деятельности в виде совокупности инвестиционных проектов (ИП) в регионе осуществляется экономическими агентами, заинтересованными в эффективном функционировании региональной экономики. К таким экономическим агентам следует отнести обобщенного производителя (производственный сектор), обобщенного потребителя (население региона) и управляющий их взаимодействием региональный (налоговый) центр. Пусть, кроме того, в развитии регионального рынка заинтересован обобщенный инвестор – физическое или юридическое лицо любой формы собственности, готовое вложить в развитие региона свои свободные денежные средства (капитал). Региональный центр призван установить согласованное взаимодействие региональных социально-экономических комплексов: производственного и социального – путем увязки их интересов, которое может происходить через распределение и перераспределение региональных экономических ресурсов: реальных (земли, зданий, сооружений, оборудования), финансовых (инвестиций, дотаций) и др.

Предположим, что распределение финансового ресурса производится из сумм налоговых поступлений производственного сектора и имеет целью развитие производства, повышение платежеспособного спроса на производимую продукцию, рост налоговых поступлений в бюджет региона. Производитель и потребитель рассматривают региональный центр как регулирующий орган, способный обеспечивать их взаимодействие путем поддержки инвестиционных проектов с высоким уровнем общественной эффективности. В свою очередь региональный центр рассматривает производителя и потребителя как неотъемлемые, жизненно важные составляющие процесса регионального развития, существенные интересы которых он поддерживает.

В работах [1; 2] предложены соответствующие динамическая и статическая модели развития региона, представляющие собой многокритериальную многошаговую задачу линейного программирования (ММЗЛП) и соответствующую ей агрегированную методами операционного исчисления версию. На базе указанных моделей в работе [3] построена следующая статическая модель регионального экономического развития:

$$J_{\text{inv}} = \frac{\sum_{k=1}^{n} \sigma_k x_k + \gamma \sum_{k=1}^{n} x_{n+k}}{1+r} -$$

$$- \; x_{2n+1} - x_{2n+2} - \varepsilon_2 x_{2n+4} \to \max,$$

$$J_{\text{cons}} = \frac{\beta \sum_{k=1}^{n} x_{n+k}}{1+r} - \varepsilon_1 x_{2n+3} \to \max ,$$

$$J_{\text{тах}} = \frac{-\sum_{k=1}^{n} \sigma_k x_k + \left(\alpha_3 - \beta\left(\alpha_3 - \alpha_4\right)\right) \sum_{k=1}^{n} x_{n+k}}{1+r} -$$

$$- \; (1-\varepsilon_1) x_{2n+3} - (1-\varepsilon_2) x_{2n+4} \to \max,$$

$$\sum_{k=1}^{n} \gamma_k x_k + \gamma \sum_{k=1}^{n} x_{n+k} + x_{2n+1} + x_{2n+2} + x_{2n+4} \geq 0 , \qquad (1)$$

$$-\sum_{k=1}^{n} \theta_k x_k + \rho \sum_{k=1}^{n} x_{n+k} \geq 0 ,$$

$$\beta \sum_{k=1}^{n} x_{n+k} + x_{2n+3} + M_0 - \sum_{k=1}^{n} q_k \geq 0 ,$$

$$-\sum_{k=1}^{n} \sigma_k x_k + \left(\alpha_3 - \beta\left(\alpha_3 - \alpha_4\right)\right) \times$$

$$\times \sum_{k=1}^{n} x_{n+k} + (1-\varepsilon_1) x_{2n+3} + (1-\varepsilon_2) x_{2n+4} + N_0 \geq 0,$$

$$x_{n+k} \leq q_k \,, \; x_{n+k} \leq \delta_k x_k \quad (k = 1, ..., n) \,, \; x_{2n+1} \leq I_0 \,,$$

$$x_{2n+2} \leq K_0 \,, \; x_{2n+3} + x_{2n+4} \leq L_0 \,, \; x_k \geq 0 \; (k = 1, ..., 2n+4) \,,$$

$$W = (1-\alpha_3)(1-\beta) R - (1-\alpha_3)(\text{Am} + N_2) =$$

$$= (1-\alpha_3) \left[-\sum_{k=1}^{n} \theta_k x_k + (1-\beta) \sum_{k=1}^{n} x_{n+k} \right] \geq 0 ,$$

В этой модели приняты следующие обозначения:

– c_k – стоимость ОПФ k-го типа;

– m_k – количество приобретаемых ОПФ k-го типа;

– V_k – проектная производительность ОПФ k-го типа;

– P_k – стоимость единицы продукции k-го типа;

– $\delta_k = P_k V_k / c_k$ – фондоотдача ОПФ k-го направления деятельности;

– y_k – объем выпуска по k-му виду продукции;

– q_k – прогнозный спрос на продукцию k-го типа;

– T_k – срок службы ОПФ k-го типа;

– T – горизонт планирования (срок действия) ИП;

– I – внешние инвестиции;

– $\bar{I}$ – внутренние инвестиции;

– I_0 – максимальная сумма внешних инвестиций;

– Am – амортизационные отчисления;

– $\text{Am}(t) = T \sum_{k=1}^{n} \frac{c_k m_k}{T_k} = \sum_{k=1}^{n} \frac{T}{T_k} x_k$ – сумма амортизационных отчислений по всем видам ОПФ;

– W – прибыль;

– K_0 – начальный собственный капитал предприятия;

– M_0 – начальные собственные средства потребителей;

– N_0 – начальные собственные средства налогового центра;

– $N_2 = \alpha_2 S^0$ – налог на имущество;

– L_0 – максимальная сумма дотаций за весь период действия ИП;

– $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ – соответственно ставки налогов на добавленную стоимость (НДС), на имущество (НИ), на прибыль (НП), на доходы физических лиц (НДФЛ);

– $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – проценты возврата дотаций потребителем и производителем;

– β – часть выручки, поступающая в фонд оплаты труда;

– r – ставка дисконтирования, учитывающая инфляцию, требования инвестора по доходности и различные риски проекта;

– J_{inv}, J_{cons}, J_{max} – критерии инвестора, потребителя и управляющего центра;

– $x_k = c_k m_k \; (k = 1,...,n)$ – общая стоимость ОПФ, приобретаемых в ИП;

– $x_{n+k} = P_k m_k y_k \; (k = 1,...,n)$ – выручка от реализации продукции k-го типа;

– $x_{2n+1} = I$ – внешние (возвратные) инвестиции (инвестора);

– $x_{2n+2} = \bar{I}$ – внутренние инвестиции производителя;

– $x_{2n+3} = \text{Dot}_1$ – дотации потребителям;

– $x_{2n+4} = \text{Dot}_2$ – дотации производителям;

– $R = \sum_{k=1}^{n} P_k m_k y_k = x_{n+k}$ – выручка от реализации по всем видам продукции;

– $S^0 = \sum_{k=1}^{n} \left(1 - \frac{T}{T_k}\right) c_k m_k = \sum_{k=1}^{n} \left(1 - \frac{T}{T_k}\right) x_k$ – остаточная стоимость ОПФ;

– $\gamma_k = \left(2\alpha_2 + \alpha_3 - \alpha_2\alpha_3\right) \frac{T}{T_k} + \alpha_2\alpha_3 - 2\alpha_2 - 1 ;$

– $\sigma_k = \left(\alpha_2 + \alpha_3 - \alpha_2\alpha_3\right) \frac{T}{T_k} - \alpha_2 (1-\alpha_3) ;$

– $\theta_k = (1-\alpha_2) T / T_k - \alpha_2 \quad (k = 1,...,n) ;$

– $\rho = 1 - \alpha_1 - \beta \,, \; \gamma = (1-\alpha_3)\rho ;$

– $\tau = \rho\alpha_3 + \beta\alpha_4 .$

Представленная модель является ММЗЛП и может быть решена симплекс-методом.

Авторами разработана система поддержки принятия решений при управлении региональным экономическим развитием, состоящая из совокупности линейных математических моделей, алгоритмов их анализа и комплекса программ «Карма» (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2008614387 от 11 сентября 2008 г.), который можно использовать для решения различных задач управления реальными инвестициями на предприятиях:

– определения оптимального количества основных производственных фондов и режима их закупки;

– расчета оптимального объема инвестиционных вложений и определения режима их расходования;

– определения оптимального соотношения общих и оборотных затрат, затрат на оплату труда, методов амортизации, соотношения производительности, стоимости основных фондов и продукции и др.

Решение задачи, соответствующей предложенной выше математической модели, изначально было получено с помощью пакета «Карма» и генетического алгоритма с целью их последующего сравнения.

Вместе с тем большое количество задач в экономике имеет нелинейный характер. Например, из экономической практики известно, что спрос q_i ($i = 1,\ldots,n$) на продукцию i-го вида может быть описан логистическим законом, отражающим его зависимость от доходов D потребительского сектора в соответствии с функцией

$$q_i(D) = \frac{k_i}{1 + b_i e^{a_i/D}}.$$

Если, например, в ограничении $x_{n+k} \le q_k$ модели (1) заменить $D = \beta x_{n+k}$, то, в соответствии с логистическим законом, будет получено нелинейное ограничение

$$x_{n+k} \le \frac{k_i}{1 + b_i e^{a_i/(\beta x_{n+k})}}. \qquad (2)$$

Это превращает предложенную выше задачу в нелинейную, которая уже не может быть решена симплекс-методом. Для решения таких задач необходимо применять другие методы, одним из которых может явиться хорошо зарекомендовавший себя генетический метод.

Для решения задачи управления промышленной политикой региона среди генетических алгоритмов был выбран алгоритм, основанный на методе SPEA [4], как один из наиболее эффективных алгоритмов решения условных многокритериальных задач.

С использованием региональной экономической статистики [5] были рассмотрены четыре отрасли (вида) экономической деятельности:

1) добыча полезных ископаемых;

2) обрабатывающие производства;

3) производство и распределение электроэнергии, газа и воды;

4) строительство.

По указанным видам деятельности в [5] представлены следующие статистические данные:

1. Сальдированный финансовый результат за январь–ноябрь 2006 г. (млн руб.): 1) 12 137,7; 2) 141 120,2; 3) 331; 4) 285,3.

2. Структура финансовых вложений (инвестиции) организаций (крупных и средних) (млн руб.): 1) 31 495,4; 2) 27 259,8; 3) 1 606,7; 4) 662,1.

Отношение статистических данных пп. 1 и 2 можно трактовать как эффективность работы производственных предприятий по указанным видам экономической деятельности.

Кроме того, в [5] приведены сводные статистические данные по объему отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг по видам экономической деятельности (в млн руб. в действующих ценах, без НДС, акцизов и других аналогичных платежей), которые можно трактовать как задающие нижнюю границу спроса на продукцию соответствующих видов экономической деятельности: 1) 28 046,6; 2) 438 878,5; 3) 45 833,4; 4) 24 616,6.

Исходя из такой трактовки статистических данных рассмотрим следующую задачу управления промышленной политикой: найти такие общий объем инвестиций, объем инвестиций в приобретение ОПФ указанных видов (отраслей) экономической деятельности, а также планируемую выручку от реализации продукции, чтобы чистый приведенный доход (NPV) инвестиционного проекта по развитию указанных видов экономической деятельности в регионе был максимальным.

Расчеты производились по модели со следующими входными параметрами: $N = 3$ – количество критериев; $n = 4$; $I_0 = 500$; $r = 0{,}1$; $\delta_1 = 0{,}39$; $\delta_2 = 5{,}18$; $\delta_3 = 0{,}21$; $\delta_4 = 0{,}43$; $M_0 = 1\,000\,000$; $L_0 = K_0 = N_0 = 0$; $\alpha_1 = 0{,}0$; $\alpha_2 = 0{,}02$; $\alpha_3 = 0{,}24$; $\alpha_4 = 0{,}26$; $\beta = 0{,}05$; $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 1$.

Результаты расчетов, полученные симплекс-методом и модифицированным алгоритмом SPEA для линейных ограничений, показывают, что как по распределению оптимальных значений переменных, так и по значению целевого критерия, наблюдается хорошее согласование сравниваемых методов (различие в значениях критериев, например, составляет 0,15 %) (табл. 1).

Для тестирования генетических алгоритмов была рассмотрена модель (1) с единственным изменением – заменой в ограничении $x_{n+k} \le q_k$ $(k = 1,\ldots,n)$ на логистическую зависимость (2). Числовые параметры таких зависимостей, соответствующих заданным спросам по видам экономической деятельности, приведены в табл. 2.

В результате решения сформулированной выше задачи в [3] было получено множество недоминируемых точек, состоящее из десяти индивидов (табл. 3).

Для оценки качества полученных точек рассчитывались численные показатели эффективности для трех алгоритмических схем: стандартной, гибридной и модифицированной (их значения, усредненные по десяти запускам алгоритма, представлены в табл. 4).

Следует отметить, что точки, полученные с использованием модифицированной схемы, распределены более равномерно, чем точки, полученные двумя другими схемами. В связи с этим можно утверждать, что модифицированная схема является более эффективной при решении задачи управления промышленной политикой региона.

Для подтверждения сделанных выводов были рассмотрены лучшие решения по каждому критерию отдельно и их усредненные значения по десяти запускам алгоритма (табл. 5–7).

Таблица 1

Результаты расчетов симплекс-методом и модифицированным алгоритмом SPEA для линейных ограничений

x	Симплекс-метод	ГА
x_1	72 848,31	73007,44
x_2	84 774,68	85331,24
x_3	129 242,2	135 649,19
x_4	57 115,08	58 170,4
x_5	28 046,6	28 016,63
x_6	438 878,5	438 763,51
x_7	26 623,9	27 934,7099
x_8	24 616,6	24 575,99
x_9	0	0
x_{10}	0	0
x_{11}	0	0
x_{12}	0	0
Значение критерия	326 669,590 6	326 208,370 8

Таблица 2

Числовые параметры нелинейных ограничений

q_i	k_i	b_i	a_i
Спрос q_1 на 1-й вид продукции	56	1	5
Спрос q_2 на 2-й вид продукции	90	1	5
Спрос q_3 на 3-й вид продукции	105	1	5
Спрос q_4 на 4-й вид продукции	52	1	5

Таблица 3

Множество недоминируемых точек, полученное при использовании модифицированной схемы

Индивид	Критерий 1	Критерий 2	Критерий 3
1	17 651,1	2 865,82	13 319,7
2	–220 710	6 731,14	28 831,6
3	–173 634	5 907,73	25 493,3
4	28 645,4	2 422,68	11 387
5	–235 182	6 883,09	29 430,4
6	–35 069	4 241,27	19 135,8
7	–213 140	6 684,59	28 683,7
8	–231 083	6 883,41	29 432
9	–227 021	6 882,91	29 458,3
10	–173 653	5 907,73	25 512,6

Таблица 4

Численная оценка эффективности алгоритмических схем

Показатель	Алгоритм		
	стандартный	гибридный	модифицированный
Рассеяние в пространстве переменных	0,358 66	0,345 72	0,367 05
Рассеяние в критериальном пространстве	0,465 80	0,452 56	0,482 81
Процент допустимых решений	53	50	49

Таблица 5

Лучшее решение по критерию 1

Показатель	Алгоритм		
	стандартный	гибридный	модифицированный
ЦФ	25 457,832 8	28 324,161 2	28 110,299 4
Среднее значение	15 295,634 6	17 172,468 3	23 540,264 3

Таблица 6

Лучшее решение по критерию 2

Показатель	Алгоритм		
	стандартный	гибридный	модифицированный
ЦФ	6 553,598 1	6 862,194 5	6 879,881 8
Среднее значение	6 050,898 8	6 626,671 6	6 651,650 5

Таблица 7

Лучшее решение по критерию 3

Показатель	Алгоритм		
	стандартный	гибридный	модифицированный
ЦФ	28 052,134 7	29 344,557 1	29 430,755 8
Среднее значение	25 997,153 7	28 388,298 3	28 567,095 6

Таким образом, приведенные данные позволяют рассчитывать на успешное применение генетических алгоритмов при анализе статических многопараметрических моделей как в линейной, так и в нелинейной постановке для решения задач поддержки принятия решений при управлении организационными системами.

Библиографические ссылки

1. Медведев А. В. Применение *z*-преобразования к исследованию многокритериальных линейных моделей регионального экономического развития : монография / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2008.

2. Медведев А. В., Победаш П. Н. Оптимизационная модель региона среднесрочного характера и ее численный анализ // Инновационные недра Кузбасса. IT-технологии : сб. науч. тр. Кемерово : ИНТ, 2008. С. 404–409.

3. Терновская М. А. Гибридный генетический алгоритм с двумя типами хромосом для решения сложных задач оптимизации : магистер. дис. / Сиб. федер. ун-т. Красноярск, 2010.

4. Zitzler E., Thiele L. Muptiobjective Evolutionary Algorithms: A Comparative Case Study and the Strength Pareto Approach // IEEE Trans. on Evolutionary Computation. San Diego, 1999.

5. Социально-экономическое положение Красноярского края в 2006 году : докл. № 1-1 / Террит. орган федер. службы гос. статистики по Краснояр. краю (Красноярскстат). Красноярск, 2007.

M. A. Gorbunov, A. V. Medvedev, E. S. Semenkin

APPLICATION OF GENETIC ALGORITHMS TO COPE WITH A TASK OF ESTIMATION OF REGIONAL INDUSTRIAL POLITICS EFFECTIVE STRENGTH

In this article the the authors analyze the possibility of application of genetic algorithms to cope with tasks of optimization on an example of a problem of estimation of the regional industrial efficiency. A calculation comparison on the linear model of the region, made by means of genetic and simplex methods, is presented, and a possibility of application of the genetic methods to the model, in which the demand is prescribed to be a logistic curve, is described.

Keywords: main task of social-economic development of the region, mathematic model of the region, genetic algorithms.