http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2021-19-2-83-90

Оригинальная статья
Original paper

УДК 681.142.2

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА НЕЧЕТКИХ АНТИКРИЗИСНЫХ УПРАВЛЕНИЙ

О.В. ГЕРМАН, М.В. КУЗНЕЦОВ

Белорусский государственный университет информатики и электроники
(г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 28 января 2021

Аннотация. В статье содержится описание модели и подхода для численной оценки нечетких управлений при реализации антикризисной стратегии в так называемой «серой области», под которой понимается множество переходных состояний системы между условно нормальными и угрожающими банкротством. Поведение экономической (финансовой) системы описывается многомерным вектором, например, пятифакторной моделью Альтмана. Оценки, даваемые этой моделью, распределены по трем диапазонам, соответствующим устойчивому состоянию системы, негативному состоянию и «серой области», в которой намечается траектория движения к зоне банкротства, а состояния в серой области могут быть оценены с помощью нечетких переменных, характеризующих степень близости к зоне банкротства. Соответственно значениям этих переменных должны быть реализованы управления для вывода системы в устойчивую благоприятную зону. Достаточно развит общий аппарат определения антикризисных стратегий управления, в то же время определение числовых характеристик этих управлений как самостоятельная задача требует дальнейшей формализации и разработки численных методов. Данная статья содержит один возможный вариант формализации и его реализацию с помощью аналитической библиотеки языка Python. Приведенная модель и алгоритм являются достаточно универсальными и могут быть сравнительно просто адаптированы с учетом конкретной специфики задачи. Отличительной чертой предложенного в статье подхода, например в сравнении с нейросетевыми моделями, является снижение степени субъективности в выборе правил управления. Эта степень здесь определяется не функцией соответствующей нечеткой меры, а весовыми коэффициентами значимости антикризисных управлений и реальными ресурсами для их реализации.

Ключевые слова: антикризисное управление, модель управления с нечеткими переменными, оптимальное управление в многокритериальной системе.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Герман О.В., Кузнецов М.В. Количественная оценка нечетких антикризисных управлений. Доклады БГУИР. 2021; 19(2): 83-90.

QUANTITATIVE ESTIMATION OF FUZZY CRISIS MANAGEMENT

OLEG V. GERMAN, MIKHAIL V. KUZNETSOV

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
(Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 28 January 2021

Abstract. The model and the description of the numerical assessment of uncertain (fuzzy) controls in the implementation of the crisis management in the so-called "gray area", combining transient states of the system, is presented in the article. The behavior of the economic (financial) system is described by a multidimensional vector, for example, the Altman five-factor model. The estimates given by this model are distributed over three ranges, corresponding to the stable state of the system, the negative state, and the "gray area" in which the trajectory of movement towards the bankruptcy zone is outlined and consisting of the states which can be evaluated by means of fuzzy variables, characterizing proximity to the bankruptcy zone. According to the values of these state variables, controls must be implemented to bring the system into a stable favorable zone. The general apparatus for determining crisis management strategies is sufficiently developed, at the same time, the determination of the numerical characteristics of these controls, as an independent task, requires further formalization and development of numerical methods. This article contains one possible formalization and its implementation using the analytical library of the Python language. The presented model and algorithm are quite universal and can be relatively simply adapted taking into account the specific features of the problem. A distinctive feature of the approach proposed in the article, for example in comparison with neural network models, is a decrease in the degree of subjectivity in the choice of the control rules. This degree is determined here not by the function of the corresponding fuzzy measure, but by the weight coefficients of the significance of crisis management options and the real resources for their implementation.

Keywords: crisis management, control model with fuzzy variables, optimal control in a multicriteria system.

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interests.

For citation: German O.V., Kuznetsov M.V. Quantitative estimation of fuzzy crisis management. Doklady BGUIR. 2021; 19(2): 83-90.

Введение

Управление предприятием в условиях кризиса и проблемы, связанные с оценкой риска банкротства и его предупреждением, привлекают серьезное внимание [1–4]. Банкротство является следствием неэффективной финансово-экономической политики, отсутствием инноваций и технологических модернизаций, слабостью маркетинговых исследований, невыгодных договоров, неблагоприятных внешне конъюнктурных условий и др.

Сложность задач антикризисного (антирискового) менеджмента связана с неполнотой, неопределенностью, возможно, отсутствием четких проявлений кризисных данных и др. В теоретико-прикладном плане эти задачи сводятся к следующим: выявлению и оценке критериев банкротства или риска банкротства; построению модели для получения интегральной оценки риска банкротства на основе используемых критериев; вычислению вероятностей или иных величин, характеризующих риск банкротства и доводке модели с учетом специфики местных финансово-экономических условий; определению превентивных управленческих решений для противодействия риску банкротства.

В статье нас интересует последняя задача из указанного списка. Некоторые общие принципы моделирования антикризисных управлений представлены в работе [5]. В [6] приведены правила нечеткого регулирования антикризисных процессов. Однако усматривается два недостатка. Во-первых, нет критерия оптимальности используемой системы правил; во-вторых, функции нечетких мер для нечетких управлений построены без объективного обоснования, причем этот недостаток универсальный – экспертные способы построения функций нечетких мер характеризуются высокой степенью субъективности. Данная работа опирается на следующую методологическую концепцию: имеется некоторый реестр антикризисных стратегий. Для оцифровки этих стратегий (т.е. получения количественных оценок на основании некоторой шкалы) строится оптимизационная задача с нечеткими переменными, решение которой дает ответ на вопрос, какие управления реализовывать в зависимости от степени выраженности кризисных явлений и в какой мере их реализовывать.

Обоснование и описание модели

Стратегии антикризисного управления варьируют на разных предприятиях, но в целом их можно свести к следующим [7]:

- увеличение финансирования основного производства (финансовые вливания) (0,2) – U_1;
- сокращение численности работающих (0,51) – U_2;
- изменение условий труда и организации производственного процесса (0,38) – U_3;
- создание интегрированной информационной системы предприятия или модернизация имеющейся (0,3) – U_4;
- сокращение заработной платы (0,28) – U_5;
- изменения в структуре руководства (0,28) – U_6;
- изменение структуры выпуска продукции (диверсификация) (0,13) – U_7;
- изменение в ценообразовании выпускаемой продукции (0,22) – U_8;
- снижение затрат (себестоимости) (0,88) – U_9;
- сокращение размеров бизнеса (0,16) – U_{10};
- покупка новых технологий (0,16) – U_{11};
- заключение новых кредитных договоров (0,11) – U_{12};
- слияние со стратегическим партнером (0,05) – U_{13};
- создание и совершенствование системы управления качеством (0.28) – U_{14}.

Здесь в скобках указаны численные оценки w_i важности соответствующих управлений U_i).

Очевидно, что приведенные виды управляющих воздействий трудно поддаются оцифровыванию (получению численных значений). Поэтому для целей настоящего исследования используем диапазон [0…1], где 0 означает отсутствие управления, 1 – максимальный уровень управляющего воздействия. Второй важный момент заключается в выборе антикризисного управления или группы управляющих воздействий. Например, покупку новых технологий невозможно осуществить без наличия финансовых средств, площадей, специалистов, обоснованности технологических инноваций, состояния парка оборудования в текущий момент и пр. Слияние со стратегическим партнером затруднительно в условиях конкуренции, при этом существенно состояние дел партнера, его заинтересованность в объединении. Из сказанного следует, что необходимо учитывать предпосылки (условия) для реализации антикризисного управления. С математической точки зрения, наличие условий для управления можно передать импликацией

$$U_i \to r_{i1} \,\&\, r_{i2} \,\&\, \ldots \,\&\, r_{in}, \qquad (1)$$

где r_{ik} обозначают предусловия (ресурсы) для осуществления управления.

Рассмотрим упрощение (1) вида $U_i \to r_{i1}$. Эта импликация эквивалентна выражению $U_i = 0 \vee r_{i1} \geq c_{i1}$, где условие $r_{i1} \geq c_{i1}$ означает, что для реализации управления U_i нужен запас ресурса r_{i1} в размере не менее c_{i1} единиц. Далее условие $r_{i1} \geq c_{i1}$ заменим на нечеткую переменную μ_{i1}. Тогда выражение $U_i \to r_{i1}[\mu_{i1}]$ заменяем на

$$U_i = 0 \vee (r_{i1} \geq \mu_{i1} \geq U_i). \qquad (2)$$

Это выражение передает следующий смысл: либо управление U_i не реализуется вовсе, либо реализуется с мерой истинности, не большей величины μ_{i1}, при этом логический эквивалент потребления ресурса r_{i1} не ниже значения μ_{i1}. Управление реализуется в той мере, в какой оно обеспечено ресурсом r_{i1}, но не выше. С другой стороны, реализуемая модель должна обеспечивать по возможности более высокий уровень μ_{i1}. Выражение (2) упростим до

$$r_{i1} \geq \mu_{i1} \geq U_i, \tag{3}$$

которое не исключает $U_i = 0$.

На основании (2, 3) получаем системy:

$$\begin{aligned} &r_{i1} \geq \mu_{i1} \geq U_i, \\ &r_{i2} \geq \mu_{i2} \geq U_i, \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ &r_{in} \geq \mu_{in} \geq U_i. \end{aligned} \tag{4}$$

Исходя из условий (4), следует определить степень истинности (строгости) управлений U_i. Проблема выбора группы управляющих воздействий требует далее ввести целевой функционал, например, в форме линейной аддитивной функции

$$\sum_k w_k \cdot U_k \to \max, \tag{5}$$

где w_k – вес (оценка важности) управляющего воздействия U_k.

Наконец, следует иметь в виду, что некоторые ресурсы являются разделяемыми (т. е. требуются для реализации нескольких управляющих воздействий. Для таких ресурсов и использующих их управлений вводим неотрицательные a priori известные квоты α_{ik}, определяющие, сколько ресурса r_k требуется управлению U_i относительно других управлений, использующих этот же ресурс. При этом

$$\sum_k \alpha_{ik} = 1, \quad k = \overline{1,K}. \tag{6}$$

В связи с этим следует дополнительно рассматривать ограничения для затратных управлений вида

$$\sum_k \alpha_{ik} \cdot \mu_{ik} \leq \mu_i \leq 1, \quad i = \overline{1,n_1}, \tag{7}$$

$$\sum_k \alpha_{ik} \cdot r_{ik} = 1, \quad r_{ik} \geq \mu_{ik}, \tag{8}$$

и для управлений, связанных с прибылью

$$\sum_k \alpha_{ik} \cdot \mu_{ik} \geq \mu_i, \quad i=\overline{1,n_2}, \tag{9}$$

причем величины μ_i заданы. В (9) должен быть обеспечен уровень дохода не ниже μ_i.

Итак, задача свелась к распределению ограниченных ресурсов для реализации управляющих воздействий с учетом целевого функционала (5). Потребуем, наконец, чтобы степень строгости (истинности) принимаемого управления была не ниже некоторой величины η, оцениваемой как $\eta = \max(0{,}5, \tau)$ (τ устанавливается, как показано ниже), в противном случае управление не реализуется вовсе. Это дает дополнительные ограничения вида

$$U_k = 0 \vee U_k \geq \eta. \tag{10}$$

Ограничения (10) называются дизъюнктными.

Наконец, следует сделать последнее замечание. Если текущее состояние производственной системы попадает в «серый» кластер, то это также накладывает ограничение на управление, принимаемое для этого состояния. Если состояние классифицировано как «серое негативное» с оценкой τ, то каждое управляющее воздействие должно иметь уровень не ниже τ, т. е. удовлетворять (10). Если состояние системы определяется как «серое позитивное», то требуем лишь выполнения условия $U_k \le \tau$.

Итак, мы обозначили некоторую предварительную формализацию задачи принятия управленческого решения для «серой» области. Очевидно, что решению задачи выбора управления должна предшествовать задача распознавания ситуации в серой области. Эту задачу можно формализовать в терминах кластерного анализах [8].

Реализация модели на примере

Сформулируем общий подход к решению рассматриваемого типа задач. Для ясности изложения будем ориентироваться на следующий пример.

$$\begin{aligned}G = {} & 0,2\cdot U_1 + 0,5\cdot U_2 + 0,38\cdot U_3 + 0,3\cdot U_4 + 0,28\cdot U_5 + 0.28\cdot U_6 + 0,13\cdot U_7 + 0,22\cdot U_8 + \\ & + 0,88\cdot U_9 + 0,16\cdot U_{10} + 0,16\cdot U_{11} + 0,11\cdot U_{12} + 0,05\cdot U_{13} + 0,28\cdot U_{14} \to \max.\end{aligned} \tag{11}$$

Будем рассматривать только два типа ресурсов (условий), связанных с реализацией управлений: $\mu_{\text{ф}}$ – затраты на финансирование; $\mu_{\text{пр}}$ – объем прибыли (доход).

Очевидно, затраты на управление связаны с потреблением ресурса (-ов), что отражено в (7)–(9). Что касается прибыли, то здесь управление должно обеспечить определенную долю получения прибыли. Обозначим через $\mu_{\text{ф}i}$ ($\mu_{\text{пр}i}$) долю финансовых затрат (объема прибыли) на реализацию управления U_i (ожидаемую от реализации управления U_i). Имеем следующие ограничения:

$$\begin{array}{ll} r_{\text{ф}1} \ge \mu_{\text{ф}1} \ge U_1, & \mu_{\text{пр}8} \ge U_8, \\ \mu_{\text{пр}2} \ge U_2, & r_{\text{ф}9} \ge \mu_{\text{ф}9} \ge U_9, \\ r_{\text{ф}3} \ge \mu_{\text{ф}3} \ge U_3, & \mu_{\text{пр}9} \ge U_9, \\ \mu_{\text{пр}3} \ge U_3, & \mu_{\text{пр}10} \ge U_{10}, \\ r_{\text{ф}4} \ge \mu_{\text{ф}4} \ge U_4, & r_{\text{ф}11} \ge \mu_{\text{ф}11} \ge U_{11}, \\ \mu_{\text{пр}5} \ge U_5, & r_{\text{ф}12} \ge \mu_{\text{ф}12} \ge U_{12}, \\ r_{\text{ф}6} \ge \mu_{\text{ф}6} \ge U_6, & r_{\text{ф}13} \ge \mu_{\text{ф}13} \ge U_{13}, \\ r_{\text{ф}7} \ge \mu_{\text{ф}7} \ge U_7, & r_{\text{ф}14} \ge \mu_{\text{ф}14} \ge U_{14}. \end{array} \tag{12}$$

Далее, примем заданными величины наличия ресурсов: $\mu_{\text{ф}} = 0,7$, $\mu_{\text{пр}} = 0,6$, а также квоты на использования ресурсов:

$\alpha_{\text{ф}1} = 0,06$, $\alpha_{\text{ф}3} = 0,12$, $\alpha_{\text{ф}4} = 0,07$, $\alpha_{\text{ф}6} = 0,07$, $\alpha_{\text{ф}7} = 0,04$, $\alpha_{\text{ф}9} = 0,3$, $\alpha_{\text{ф}11} = 0,08$, $\alpha_{\text{ф}12} = 0,08$, $\alpha_{\text{ф}13} = 0,09$, $\alpha_{\text{ф}14} = 0,09$; $\alpha_{\text{пр}2} = 0,08$, $\alpha_{\text{пр}3} = 0,12$, $\alpha_{\text{пр}5} = 0,1$, $\alpha_{\text{пр}8} = 0,1$, $\alpha_{\text{пр}9} = 0,5$, $\alpha_{\text{пр}10} = 0,1$.

Это дает нам следующие ограничения:

$$\begin{aligned}& 0,06\cdot\mu_{\text{ф}1} + 0,12\cdot\mu_{\text{ф}3} + 0,07\cdot\mu_{\text{ф}4} + 0,07\cdot\mu_{\text{ф}6} + \\ & + 0,04\cdot\mu_{\text{ф}7} + 0,3\cdot\mu_{\text{ф}9} + 0,08\cdot\mu_{\text{ф}11} + 0,08\cdot\mu_{\text{ф}12} + 0,09\cdot\mu_{\text{ф}13} + 0,09\cdot\mu_{\text{ф}14} \le 0.7,\end{aligned} \tag{13}$$

$$0,08\cdot\mu_{\text{пр}2} + 0,12\cdot\mu_{\text{пр}3} + 0,1\cdot\mu_{\text{пр}5} + 0,1\cdot\mu_{\text{пр}8} + 0,5\cdot\mu_{\text{пр}9} + 0,1\cdot\mu_{\text{пр}10} \ge 0,6. \tag{14}$$

$$\begin{aligned}& 0,06\cdot r_{\text{ф}1} + 0,12\cdot r_{\text{ф}3} + 0,07\cdot r_{\text{ф}4} + 0,07\cdot r_{\text{ф}6} + \\ & + 0,04\cdot r_{\text{ф}7} + 0,3\cdot r_{\text{ф}9} + 0,08\cdot r_{\text{ф}11} + 0,08\cdot r_{\text{ф}12} + 0,09\cdot r_{\text{ф}13} + 0,09\cdot r_{\text{ф}14} = 1.\end{aligned} \tag{15}$$

Допустим, оценка текущего состояния в серой области для принятия решения по управлению $\tau = 0,6$ (кластер негативный серый). Тогда получаем еще дополнительно следующую систему дизъюнктных неравенств:

$$U_i = 0 \vee U_i \ge 0,6, \qquad i = 1,14. \tag{16}$$

Итак, имеем задачу линейного программирования с дизъюнктными неравенствами (16). Общая формализованная постановка имеет следующий вид.

Заданы: $\mu_i, w_i, \tau_{j,}\alpha_{ik}$ $\left(i=1,N;\ j=1,J;\ k=1,K\right)$.

$$\begin{aligned}
&\sum\nolimits_i w_i \cdot U_i \to \max,\\
&r_{ik} \ge \mu_{ik} \ge U_i,\ \ k=1,K,\\
&\mu_{jt} \ge U_j,\ t=1,T,\\
&U_i \ge \eta_i \vee U_i = 0,\\
&\sum\nolimits_i \alpha_{ik} = 1,
\end{aligned} \qquad (17)$$

для затратных управлений:

$$\sum\nolimits_k \alpha_{ik} \cdot \mu_{ik} \le \mu_i,\ i=1,n_1,$$

$$\sum\nolimits_k \alpha_{ik} \cdot r_{ik} = 1, \quad r_{ik} \ge \mu_{ik},\ i=1,n,\ 0 \le r_{ik}, \mu_{ik} \le 1,$$

для прибыльных управлений:

$$\sum\nolimits_k a_{ik} \cdot \mu_{ik} \ge \mu_i,\ i=1,n_2,$$

$$\eta_j = \max(0{,}5, \tau_j).$$

Определить: U_i.

Для решения системы (17) заменяем дизъюнктные неравенства по следующим правилам: $U_i \ge \eta_i \vee U_i = 0$,

заменяем на систему $\begin{array}{l}(U_i - \eta_i) \cdot U_i \ge 0,\\ U_i \ge 0.\end{array}$.

Таким образом, задача (17) может быть сформулирована как нелинейная оптимизационная задача. Воспользуемся языком Python для решения этой задачи. Код программы представлен ниже. Управления закодированы переменными $x[0]-U_1, x[1]-U_2, ..., x[13]-U_{14}$. Для оптимизации используется метод opt.minimize пакета scipy. Функция оптимизации записана с помощью lambda-конструкции. Ограничения заданы параметром cons. Все ограничения по умолчанию имеют смысл ≥. Диапазоны изменения переменных задаются параметром bnds. Нечеткие переменные $\mu_{\text{ф}i}$ определены в ячейках $x[14]$ $(\mu_{\text{ф}1}), ..., x[23](\mu_{\text{ф}14})$. Нечеткие переменные $\mu_{\text{пр}i}$ определены в ячейках $x[25]$ $(\mu_{\text{пр}2}), ..., x[30](\mu_{\text{пр}10})$. Нечеткие переменные $r_{\text{ф}i}$ определены в ячейках $x[33]$ $(r_{\text{ф}1}), ..., x[40](r_{\text{ф}14})$. Для констант $\mu_{\text{ф}}, \mu_{\text{пр}}$ используются ячейки $x[24]$ и $x[31]$ соответственно. Скрипт имеет следующий вид:

```
import numpy as np
import scipy.optimize as opt
import matplotlib.pyplot as plt

import numpy as np
import scipy.optimize as opt
import matplotlib.pyplot as plt

fun = lambda x: (-0.2*x[0] - 0.5*x[1] - 0.38*x[2]-0.3*x[3]-0.28*x[4]-0.28*x[5]-0.13*x[6]-
0.22*x[7]-0.88*x[8]-0.16*x[9]-0.16*x[10]--0.11*x[11]-0.05*x[12]-28*x[13])
cons = ({'type': 'ineq', 'fun': lambda x:  (x[0] - 0.6) * x[0]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x:  (x[1] - 0.6) * x[1]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x:  (x[2] - 0.6) * x[2]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x:  (x[3] - 0.6) * x[3]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x:  (x[4] - 0.6) * x[4]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x:  (x[5] - 0.6) * x[5]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x:  (x[6] - 0.6) * x[6]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x:  (x[7] - 0.6) * x[7]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x:  (x[8] - 0.6) * x[8]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x:  (x[9] - 0.6) * x[9]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x:  (x[10] - 0.6) * x[10]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x:  (x[11] - 0.6) * x[11]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x:  (x[12] - 0.6) * x[12]},
```

```
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x:  (x[13] - 0.6) * x[13]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x:  -0.06*x[14] - 0.12* x[15] - 0.07* x[16]
        - 0.07* x[17] -0.04* x[18] - 0.3* x[19] - 0.08* x[20] - 0.08* x[21]- 0.09*
        x[22] - 0.09* x[23] + 0.7* x[24]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[14]-x[0]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[15]-x[2]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[16]-x[13]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[17]-x[5]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[18]-x[6]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[19]-x[8]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[20]-x[10]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[21]-x[11]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[22]-x[12]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[23]-x[13]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x:  0.08*x[25] + 0.12* x[26]+ 0.1* x[27]+
        0.01* x[28] + 0.5* x[29]+ 0.1* x[30]- 0.6* x[31]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[25]-x[1]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[26]-x[2]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[27]-x[4]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[28]-x[7]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[29]-x[8]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[30]-x[9]},
        {'type': 'eq', 'fun': lambda x:  -0.06*x[32] - 0.12* x[33]- 0.07* x[34]-
        0.07* x[35] - 0.04* x[36]- 0.3* x[37]- 0.08* x[38]- 0.08* x[39]- 0.09*
        x[40]- 0.09* x[41]+1.0* x[42]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[32]-x[0]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[33]-x[1]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[34]-x[3]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[35]-x[5]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[36]-x[6]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[37]-x[8]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[38]-x[10]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[39]-x[11]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[40]-x[12]},
        {'type': 'ineq', 'fun': lambda x: x[41]-x[13]},)
bnds = ((0, 1), (0, 1), (0, 1), (0, 1), (0, 1), (0, 1), (0, 1),
        (0, 1), (0, 1), (0, 1), (0, 1), (0, 1), (0, 1),(0, 1),(0, 1),(0, 1),(0,
        1),(0, 1),(0, 1),(0, 1),(0, 1), (0, 1),(0, 1),(0, 1),(1,
         1),(0,1),(0,1),(0,1),(0,1),(0,1),(0,1),(1,1),(0,1),(0,1),(0,1),(0,1),(0,1),(0,1),(0,1
         ),(0,1),(0,1),(0,1),(1,1))
res=opt.minimize(fun,
(1,0,1,0,0,0,0,1,0,0,0,1,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,1,0,1,0,0,0,1,0,1,0,0,1,0,1),
method='SLSQP', bounds=bnds, constraints=cons)
print res.x[:14]
```

В решении, выданном Python, переменные $x[0], ..., x[13]$ – это искомые управления:

$$x[0]=1, x[1]=0, x[2]= 1, x[3]=0, x[4]=0, x[5]=0, x[6]=0, x[7]=1,$$
$$x[8]=0, x[9]=x[10]=0, x[11]=0.6, x[12]=1, x[13]=1.$$

Итак, нужно реализовать следующие управления:

– увеличение финансирования в основное производство (финансовые вливания) – U_1;

– изменение структуры выпуска продукции (диверсификация) – U_7;

– изменение в ценообразовании выпускаемой продукции – U_8;

– заключение новых кредитных договоров – U_{12};

– слияние со стратегическим партнером – U_{13};

– создание и совершенствование системы управления качеством – U_{14}.

Выводы

Приведенный подход и программа являются универсальными. Программу можно легко изменить с учетом специфики решаемой задачи, например, при изменении «динамики серой области». Из найденных управлений заключение новых кредитных договоров получило оценку 0,6 – следовательно, данное управление реализуется частично, примерно на уровне 60 % от прошлых периодов. Можно заметить, что общая (стратегическая) антикризисная линия в данном примере основана не на сокращении затрат, сжатии производства и уменьшении численности работников, а на расширении и активизации потенциала предприятия.

Список литературы

1. Афанасьев Г.Л. *Crisis Management*. Москва; *CMG*; 1998.
2. Nescordieva I., Megits N. The methodical approach of bankruptsy probability estimation in an anti-crisis management system of enterprise. *Journal of Eastern European and Central Asian Research*. 2019;6(2):24-34.
3. Tarasova H., Zaharov S., Vereskun M., Kolosok V. Preventive anticrisis strategy for development of industrial enterprise. *Independent journal of management and production*. 2018;10(5):1405-1420.
4. Помазанов М.В., Колоколова О.В. Оценка вероятности банкротства предприятия по финансовым показателям. *Оперативное управление и стратегический менеджмент в коммерческом банке*. 2004;6(22):65-84.
5. Sylkin O., Kryshtanovich M., Zachepa A., Bilous S., Krasko A. Modeling the process of applying anti-crisis management in the system of ensuring financial security of the enterprise. *Business: Theory and practice*. 2019;20:446-455.
6. Balanovska T., Drahnieva N., Trojan A. Using of fuzzy modelling in anti-crisis management of agricultural enterprises. *Proceedings of the 2019 International Scientifi c Conference* "*Economic Sciences for Agribusiness and Rural Economy*", Warsaw, 5-7 June 2019. 2019;3:22-30.
7. Starosta A. Anti-crisis Management Strategies. The case of companies in the Greater Poland Voivodeship. *Management*. 2014;18(1):256-265.
8. Герман О.В., Герман Ю.О., Кузнецов М.В. Подход к выбору управления в системе кластеров. *Труды БГТУ. Сер. 3. Физико-математические науки и информатика*. 2020;1(230):63-68.

References

1. Afanasjev G.L. [*Crisis Management*]. Moscow: *CMG*; 1998. (In Russ.)
2. Nescordieva I., Megits N. The methodical approach of bankruptsy probability estimation in an anti-crisis management system of enterprise. *Journal of Eastern European and Central Asian Research*. 2019;6(2):24-34.
3. Tarasova H., Zaharov S., Vereskun M., Kolosok V. Preventive anticrisis strategy for development of industrial enterprise. *Independent journal of management and production*. 2018;10(5):1405-1420.
4. Pomazanov M.V., Kolokolova O.V. [Bankruptsy probavility estimation by finansial criteria]. *Operative control and strategic management*. 2004;6(22):65-84. (In Russ.)
5. Sylkin O., Kryshtanovich M., Zachepa A., Bilous S., Krasko A. Modeling the process of applying anti-crisis management in the system of ensuring financial security of the enterprise. *Business: Theory and practice.* 2019;20:446-455.
6. Balanovska T., Drahnieva N., Trojan A. Using of fuzzy modelling in anti-crisis management of agricultural enterprises. *Proceedings of the 2019 International Scientifi c Conference* "*Economic Sciences for Agribusiness and Rural Economy*", Warsaw, 5-7 June 2019. 2019;3:22-30.
7. Starosta A. Anti-crisis Management Strategies. The case of companies in the Greater Poland Voivodeship. *Management*. 2014;18(1):256-265.
8. German O.V., German J.O., Kuznetsov M.V. [An approach to control choice in the system of clusters]. *Proceedings of Belarussian technological university*. 2020;1(230):63-68. (In Russ.)

Вклад авторов / Author's contribution

Авторы внесли одинаковый совместный вклад в данную публикацию.
The authors made equal joint contribution to the paper.

Сведения об авторах

Герман О. В., к.т н., доцент кафедры информационных технологий автоматизированных систем Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Кузнецов М. В., аспирант кафедры информационных технологий автоматизированных систем Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Information about the authors

German O.V., PhD, Associate Professor at the Information Technologies in Automatized Systems Department of the Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics.

Kuznetsov M.V., Postgraduate student at the Information Technologies in Automatized Systems Department of the Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics.