

DOI: 10.18721/JE.11617

УДК 681

## МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ ОПТИМИЗАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**В.И. Малюк, А.Е. Радаев, Г.Ю. Силкина**

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

В современных условиях развития промышленных предприятий одним из ключевых факторов конкурентоспособности является устойчивое развитие предприятий в долгосрочной перспективе, обеспечиваемое в том числе посредством рационального распределения ресурсов предприятия при инвестировании соответствующих проектов. При этом традиционные подходы к решению задач обоснования оптимального объема инвестиций (предполагающие проведение маркетинговых исследований и последующего анализа безубыточности) для проектов в области развития промышленных предприятий обеспечивают относительно невысокую адекватность получаемых результатов ввиду трудности обеспечения объективности исходных данных при невозможности моделирования экономических процессов в условиях непрерывно изменяющейся внешней среды. Данная статья посвящена вопросам применения математических методов и моделей в качестве альтернативных инструментов для решения задач обоснования оптимального объема инвестиций (как основных параметров инвестиционных проектов в области развития промышленного предприятия) на основе модели Ферхюльста. На основе разработанной аналитической модели определены основные характеристики процесса реализации инвестиционных проектов в рамках развития промышленных предприятий, в том числе минимальный и максимальный объемы рационального инвестирования, а также экстремальные величины дохода и потерь от инвестирования проектов в области развития промышленного предприятия. Разработана методика обоснования характеристик процесса развития промышленных предприятий, предполагающая использование средств аналитического и оптимизационного моделирования в составе современных специализированных программных сред. Произведена реализация разработанной методики на практическом примере – оценке характеристик процесса инвестирования проектов в области гражданского строительства в части исходного объема инвестируемых средств и соответствующей отдачи – с использованием вычислительных возможностей программы «Microsoft Excel», в частности надстройки «Поиск решения» для реализации различных оптимизационных моделей. На основе полученных результатов реализации предложенной методики сделан вывод о высокой адекватности результатов и, как следствие, высокой практической значимости разработанной методики.

**Ключевые слова:** промышленное предприятие, организационное развитие, математическая модель, оптимизация

**Ссылка при цитировании:** Малюк В.И., Радаев А.Е., Силкина Г.Ю. Методика обоснования характеристик процесса развития промышленных предприятий с использованием средств оптимизационного моделирования // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2018. Т. 11, № 6. С. 195–211. DOI: 10.18721/JE.11617

## PROCEDURE FOR DETERMINING THE CHARACTERISTICS FOR DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL ENTERPRISES USING OPTIMIZATION MODELING TOOLS

**V.I. Malyuk, A.E. Radaev, G.Yu. Silkina**

Peter the Great St. Petersburg polytechnic university, St. Petersburg, Russian Federation

One of the key factors of competitiveness of developing industrial enterprises in modern conditions is sustainable development of enterprises in the long term, particularly, through rational allocation of enterprise resources during investment of relevant projects. At the same time, traditional approaches to finding the optimal amount of investments (involving marketing research and subsequent break-even analysis) for projects for developing industrial enterprises only yield results with relatively low adequacy, as it is difficult to provide objective source data when economic processes cannot be modeled in a continuously changing environment. This article focuses on mathematical methods and models as alternative tools for solving problems connected to determining the optimal amount of investment. We have developed an analytical model of return on investment as a function of its initial volume (as the main parameters of investment projects in the field of industrial enterprise development) based on the Verhulst model. This analytical model was used to find the main characteristics of implementation of investment projects in the field of developing industrial enterprises, including the minimum and maximum amounts of rational investment, as well as extreme amounts of income and losses from investing in industrial enterprise development projects. We have developed a procedure for substantiating the characteristics of industrial enterprise development. The procedure is based on applying analytical and optimization modeling tools as part of modern specialized software environments. The developed procedure has been implemented on a practical example: assessment of characteristics for investment in civil engineering projects in terms of the initial amount of invested funds and the corresponding return, using the computing capacities of Microsoft Excel software, particularly, the Solver add-in for implementing various optimization models. Implementation of the proposed procedure lead us to conclude that the obtained results were highly adequate and, as a sequence, the developed procedure had a high practical importance.

**Keywords:** industrial enterprise, organizational development, mathematical model, optimization

**Citation:** V.I. Malyuk, A.E. Radaev, G.Yu. Silkina, Procedure for determining the characteristics for development of industrial enterprises using optimization modeling tools, St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 11 (6) (2018) 195–211. DOI: 10.18721/JE.11617

*Введение.* В современных условиях деятельности промышленных предприятий особую важность приобретают вопросы обеспечения устойчивости развития предприятий, напрямую определяющие конкурентоспособность и самостоятельность последних в рыночной деятельности [1, 3, 6, 7, 10–12, 14–16, 20]. При этом из множества категорий, связанных с развитием отдельного

промышленного предприятия, особую значимость имеет именно организационное развитие предприятия, непосредственно определяющее эффективность реализации соответствующих бизнес-процессов [2, 4, 8, 9, 13]. Организационное развитие предприятия в наиболее общем случае можно представить как результат реализации последовательности определенных инвестицион-

ных проектов, направленных на достижение конкретных целей и предполагающих привлечение различных видов ресурсов – материальных, трудовых, финансовых (последние при этом являются интегральной формой всех остальных). В этой связи большое внимание уделяется вопросам рационального распределения ресурсов предприятия (в условиях ограниченности их объема) для реализации тех или иных инвестиционных проектов [5]. Решение соответствующих задач предполагает обоснование оптимального объема ресурсов, выделяемых для реализации каждого отдельного рассматриваемого проекта, при которых обеспечивается максимальная эффективность их использования. В частности, при решении задачи обоснования оптимального объема финансовых ресурсов – инвестиций критерием оптимальности будет являться величина возврата капитала (отдачи от инвестиций). Традиционный подход к решению указанной задачи предполагает последовательное выполнение следующих основных этапов: проведение маркетинговых исследований рынка для рассматриваемого вида продукции/услуг; формирование зависимости спроса от цены реализации рассматриваемого вида продукции/услуг; обоснование наиболее предпочтительного объема инвестиций посредством определения максимально возможного объема реализации рассматриваемого вида продукции/услуг при различных уровнях цены с последующим выполнением анализа безубыточности [8].

Однако представленный выше подход при оценке конкретного проекта имеет ряд недостатков, основным из которых является сложность обеспечения достоверности исходных данных о характеристиках рынков для рассматриваемого вида продукции/услуг, а также о величине объема реализации при том или ином уровне цены. Указанное обстоятельство обусловлено, главным образом, невозможностью проведения реальных экспериментов с различными объемами инвестирования ввиду высоких рисков, а также изменчивостью внешней среды [18]. Вышеупомянутые недостатки существующих методов решения задач обоснования оптимального объема инвестирования для проектов

в области организационного развития промышленных предприятий могут быть устранены посредством моделирования процесса реализации проекта на основе экономико-математических методов, предполагающих использование в том числе аналитических моделей регрессионного анализа, оптимизационных моделей, графоаналитических моделей на основе S-зависимостей и т. д. [2, 5, 9, 17, 19]. При этом результаты реализации указанных методов и моделей позволят существенно понизить степень неопределенности информации, используемой в качестве основы для принятия решений, связанных с развитием предприятия, реализацией проекта и т. п. Кроме того, использование в качестве основы для реализации математических моделей информации о фактических результатах деятельности предприятия за предшествующий временной период исключает опасность возникновения существенных финансовых потерь.

*Методы и результаты исследования.* Вышеуказанное обстоятельство определило целесообразность проведения исследования, целью которого является разработка инструментальных средств обоснования характеристик инвестиционных проектов в рамках развития промышленных предприятий с использованием методов оптимизационного моделирования. Для достижения указанной цели были сформулированы следующие задачи:

- формирование аналитической модели взаимосвязи параметров инвестиционных проектов в рамках развития промышленных предприятий;
- идентификация основных характеристик процесса реализации инвестиционных проектов в рамках развития промышленных предприятий на основе разработанной аналитической модели;
- разработка методики обоснования характеристик процесса развития промышленных предприятий с использованием средств аналитического и оптимизационного моделирования;
- реализация разработанной методики на практическом примере.

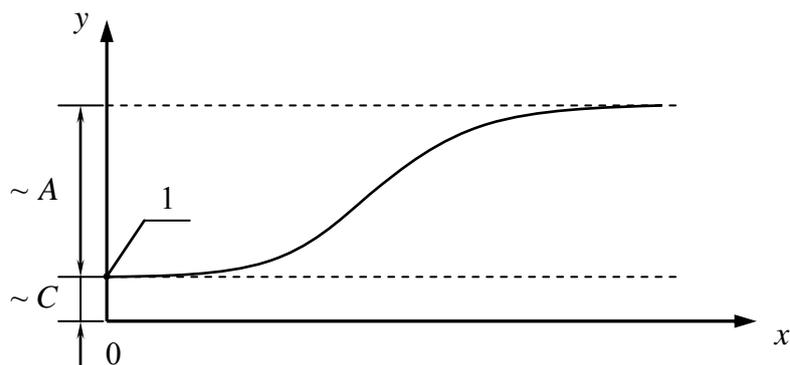


Рис. 1. Графическое описание модели Ферхюльста  
 Fig. 1. Graphical description of Verhulst model

На начальных этапах исследования были рассмотрены S-образные, в том числе логистические графо-аналитические модели, используемые для описания зависимости величины возврата капитала от объема инвестиций [8] при решении задач обеспечения эффективной реализации инвестиционных проектов. Исходя из предположения о том, что указанные модели могут быть использованы при описании процесса развития промышленного предприятия, в качестве основы для разработки соответствующей аналитической модели была выбрана модель Ферхюльста [8]:

$$y(x) = \frac{A}{1 + 10^{a-bx}} + C, \quad (1)$$

где  $y$  – значение зависимой переменной (в данном случае – отдача на инвестиции, руб.);  $x$  – значение независимой переменной (в нашем случае – объем инвестиций в реализацию проекта, руб.);  $A$  – параметр масштаба, определяет ширину диапазона значений зависимой переменной;  $C$  – параметр смещения, определяет нижнюю границу диапазона значений зависимой переменной;  $a, b$  – параметры формы кривой – графического описания рассматриваемой зависимости, определяющие соответственно наклон и изгиб кривой, а следовательно, и ее точки перегиба.

Графическая интерпретация модели Ферхюльста описывается графиком (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что при нулевом значении независимой переменной соответствующее зна-

чение зависимой переменной определяется значениями параметров масштаба  $A$ , смещения  $C$  и формы  $a$  (точка 1 на графике):

$$y(x=0) \sim A, a, C. \quad (2)$$

Для учета основного принципа взаимосвязи отдачи от инвестиций и их исходной величины, определяемого в терминах рассматриваемой модели выражением

$$y(x=0) = 0, \quad (3)$$

была произведена модификация модели Ферхюльста посредством реализации следующих основных этапов.

1. Определение параметра смещения  $C$  из условия (3) через параметры масштаба  $A$  и формы  $a$ :

$$y(x=0) = \frac{A}{1 + 10^a} + C = 0 \Rightarrow C = -\frac{A}{1 + 10^a}. \quad (4)$$

2. Подстановка выражения (4) для параметра смещения  $C$  в базовое выражение для модели Ферхюльста и приведение подобных:

$$y(x) = \frac{A}{1 + 10^{a-bx}} - \frac{A}{1 + 10^a} = \frac{A \cdot 10^a}{1 + 10^a} \cdot \frac{1 - 10^{-bx}}{1 + 10^{a-bx}}. \quad (5)$$

Таким образом, выражение (5) определяет модифицированную аналитическую модель из семейства S-образных моделей, описывающую взаимосвязь между величиной возврата капитала и объемом инвестиций в рамках соответствующих проектов в области развития промышленных предприятий.

Таблица 1

**Основные характеристики процесса реализации инвестиционных проектов в рамках развития промышленных предприятий**  
**The main characteristics of the implementation of investment projects in the area of the development of industrial enterprises**

Наименование характеристики	Обозначение	Описание процесса
Масштабный фактор	$A$	Определяет максимальное значение отдачи от инвестиций
Условно-постоянный фактор	$a$	Определяет фиксированную (базовую) величину повышения/понижения отдачи от инвестиций относительно их исходного объема
Условно-переменный фактор	$b$	Определяет добавочную переменную величину повышения/понижения отдачи от инвестиций относительно их исходного объема, зависящую от последнего
Минимальный объем рациональных инвестиций, руб.	$x_{ef}^{min}$	Минимальный ненулевой объем инвестиций, при котором обеспечивается неотрицательное значение разности отдачи от инвестиций и их исходного объема
Максимальный объем рациональных инвестиций, руб.	$x_{ef}^{max}$	Максимальный объем инвестиций, при котором обеспечивается неотрицательное значение разности отдачи от инвестиций и их исходного объема
Объем инвестиций при наиболее эффективном вложении, руб.	$x^{max+}$	Объем инвестиций, при котором обеспечивается наибольшее значение разности отдачи от инвестиций и их исходного объема
Объем инвестиций при наименее эффективном вложении, руб.	$x^{max-}$	Объем инвестиций, при котором обеспечивается наименьшее значение разности отдачи от инвестиций и их исходного объема
Максимальный доход от инвестиционных вложений, руб.	$\Delta^{max+}$	Наибольшее значение разности отдачи от инвестиций и их исходного объема величиной $x^{max+}$
Наибольшие потери от инвестиционных вложений	$\Delta^{max-}$	Разность отдачи от инвестиций и их исходного объема величиной $x^{max-}$

В рамках следующего этапа исследования были определены наиболее важные характеристики процессов реализации инвестиционных проектов в рамках развития промышленных предприятий, описываемых разработанной аналитической моделью (см. табл. 1). Как видим из табл. 1, к упомянутым характеристикам относятся не только параметры модели Ферхюльста, но также дополнительные экономические показатели, назначение которых иллюстрируется графиком на рис. 2 и 3.

При графическом сопоставлении разработанной аналитической модели с линией равенства отдачи от инвестиций и их исходного объема (рис. 2)

$$y(x) = x \quad (6)$$

на оси абсцисс были выделены характерные участки потерь (нерационального инвестирования) и дохода (рационального инвестирования) от инвестиционных вложений, при этом границы участков соответствуют пересечениям S-кривой и линией равенства отдачи от инвестиций и их исходного объема. На основе полученных данных можно заключить следующее.

– инвестиции в развитие предприятия будут возвращены инвестору только при объеме вложений, принадлежащем интервалу  $[x_{ef}^{min}; x_{ef}^{max}]$  (точки 1 и 2 – соответственно минимальная и максимальная точки безубыточности на графике, рис. 2); в противном случае, возврат инвестиций не гарантирован;

– при инвестировании в развитие предприятия средств в объеме, меньшем  $x_{ef}^{min}$  (например,  $x_1^-$ ), в соответствии с S-кривой будет обеспечена отдача, объем которой меньше объема инвестирования ( $y_1^- < x_1^-$  соответственно); при полном возврате в производство средств, полученных от первоначального инвестирования, объем последующей отдачи окажется еще меньше ( $y_2^- < y_1^-$ ), т. е. предприятие не сможет вернуть вложенные в его развитие средства; аналогичная ситуация будет иметь место в случае, когда объем первоначальных инвестиций превышает величину  $x_{ef}^{max}$ ;

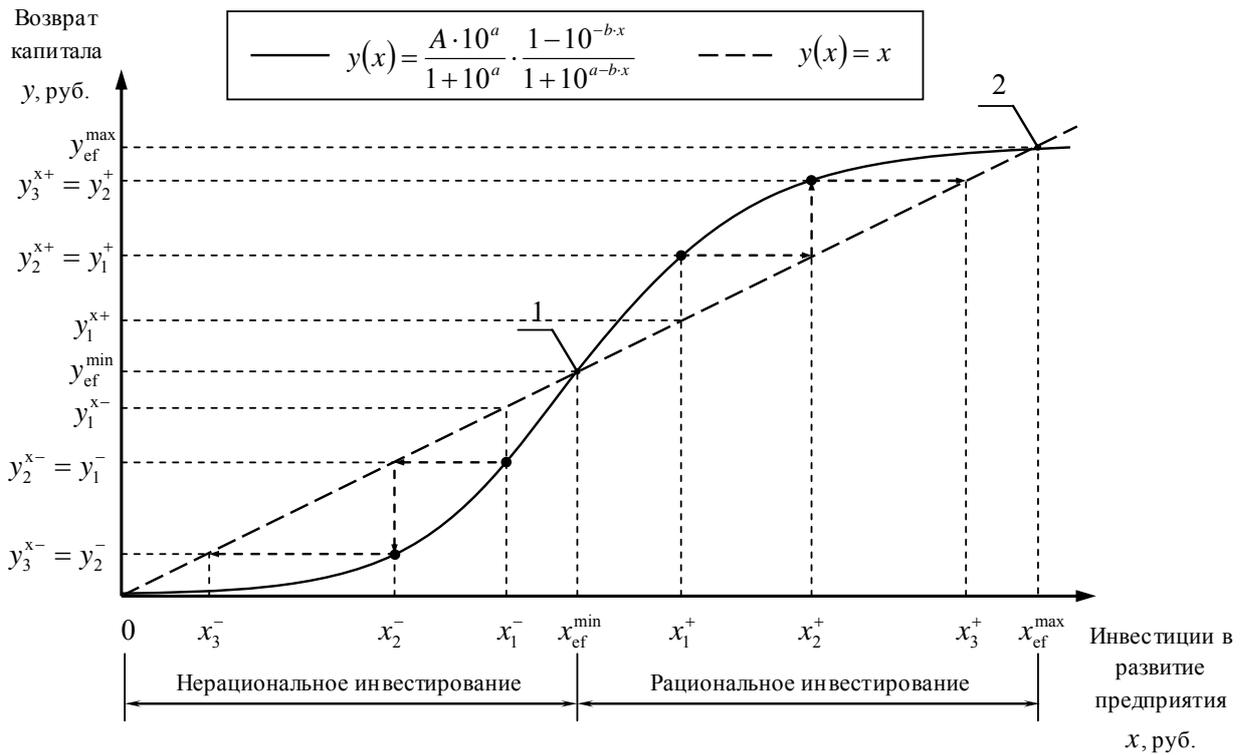


Рис. 2. Параметры различных вариантов инвестиционных проектов в области развития предприятия  
 Fig. 2. Parameters of different variants for investment projects in the area of enterprise development

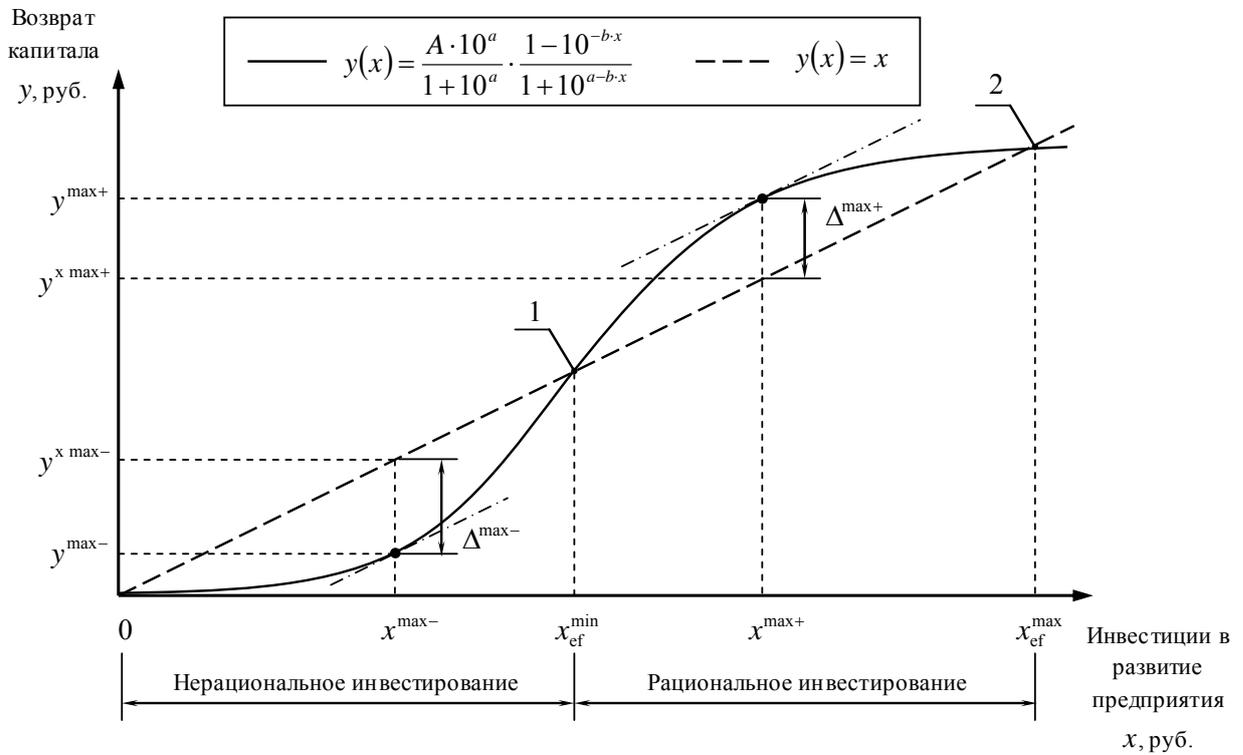


Рис. 3. Экстремальные параметры инвестиционного проекта в области развития предприятия  
 Fig. 3. Extremum parameters of an investment project in the area of enterprise development

– при инвестировании в развитие предприятия средств в объеме, соответствующем интервалу  $[x_{ef}^{\min}; x_{ef}^{\max}]$  (например,  $x_1^+$ ), в соответствии с предложенной моделью будет обеспечена отдача, объем которой больше исходного объема инвестирования ( $y_1^+ > y_1^{x+}$ ); данное обстоятельство позволяет инвестировать больший объем средств на следующем этапе инвестирования (производственном цикле) и обеспечить еще более значимую отдачу ( $y_2^+ > y_1^+$ ).

При проведении касательных, параллельных линии равенства отдачи от инвестиций и их исходного объема  $y(x) = x$ , по отношению к S-кривой, описывающей разработанную аналитическую модель (рис. 3), были определены отрезки, определяющие параметры  $\Delta^{\max+}$  и  $\Delta^{\max-}$  как абсолютные разности ординат линии равенства отдачи от инвестиций и их исходного объема  $y^{x \max+(-)}$  и S-кривой  $y^{\max+(-)}$  для соответствующих абсцисс  $x^{\max+(-)}$ :

$$\Delta^{\max+(-)} = \left| y^{x \max+(-)} - y^{\max+(-)} \right|. \quad (7)$$

На следующем этапе исследования была разработана методика обоснования характеристик процессов реализации инвестиционных проектов в области развития промышленных предприятий с использованием средств аналитического и оптимизационного моделирования. Структура методики представлена на рис. 4.

На начальном – **первом этапе реализации методики** производится подготовка соответствующих исходных данных, базирующихся на статистических или прогнозных значениях (определенные для предшествующих или будущих периодов соответственно) характеристик инвестиционных проектов и включающих в себя следующие параметры:

$m$  – количество вариантов инвестиционных проектов в области развития предприятия, реализованных за предшествующие периоды или запланированных на будущие периоды, ед.;

$x_i$  – объем инвестиций в рамках  $i$ -го варианта инвестиционного проекта в области развития предприятия, руб.;  $i = 1, \dots, m$ ;

$y_i$  – объем отдачи инвестиций в рамках  $i$ -го варианта инвестиционного проекта в области развития предприятия, руб.;  $i = 1, \dots, m$ .

В рамках следующего – **второго этапа реализации методики** производится вычисление параметров масштаба  $A$  и формы  $a$  и  $b$  аналитической модели посредством реализации нелинейной оптимизационной модели вида

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m \left( \frac{A \cdot 10^a}{1 + 10^a} \cdot \frac{1 - 10^{-b \cdot x_i}}{1 + 10^{a-b \cdot x_i}} - y_i \right)^2 \rightarrow \min; \\ A, a, b \geq 0. \end{cases} \quad (8)$$

Данная модель может быть реализована с использованием градиентных методов, доступных в программных средах «Microsoft Excel», «Mathcad» и «Matlab». Тем не менее, для успешной реализации указанной модели необходимо рациональное обоснование начальных значений параметров  $A^0, a^0, b^0$ . С этой целью была предложена соответствующая процедура, включающая следующие основные подэтапы.

1) Присвоение значения параметра  $b^0$  из интервала  $(1/\Omega; 1)$ , где  $\Omega$  – порядок значений исходных данных.

2) Вычисление параметров  $A^0$  и  $a^0$  посредством решения системы уравнений, получаемых с учетом граничных условий, которые, в свою очередь, базируются на монотонности возрастания исследуемой S-кривой, определяющей соответствие минимального  $x_{\min}$  и максимального  $x_{\max}$  значений объема инвестиций соответственно минимальному  $y_{\min}$  и максимальному  $y_{\max}$  объемам отдачи. Тем не менее, с учетом объективной погрешности измерений значений  $\{x_i\}, \{y_i\}$  в составе исходных данных взаимосвязь последних с характеристиками  $x_{\min}, x_{\max}, y_{\min}, y_{\max}$  целесообразно представить в следующем виде:

$$x_{\min} = x_{i_{\min}}, y_{\min} = y_{i_{\min}}; i^{\min} : x_{i_{\min}} = \min \{x_i\}; \quad (9)$$

$$x_{\max} = x_{i_{\max}}, y_{\max} = y_{i_{\max}}; i^{\max} : x_{i_{\max}} = \max \{x_i\}. \quad (10)$$

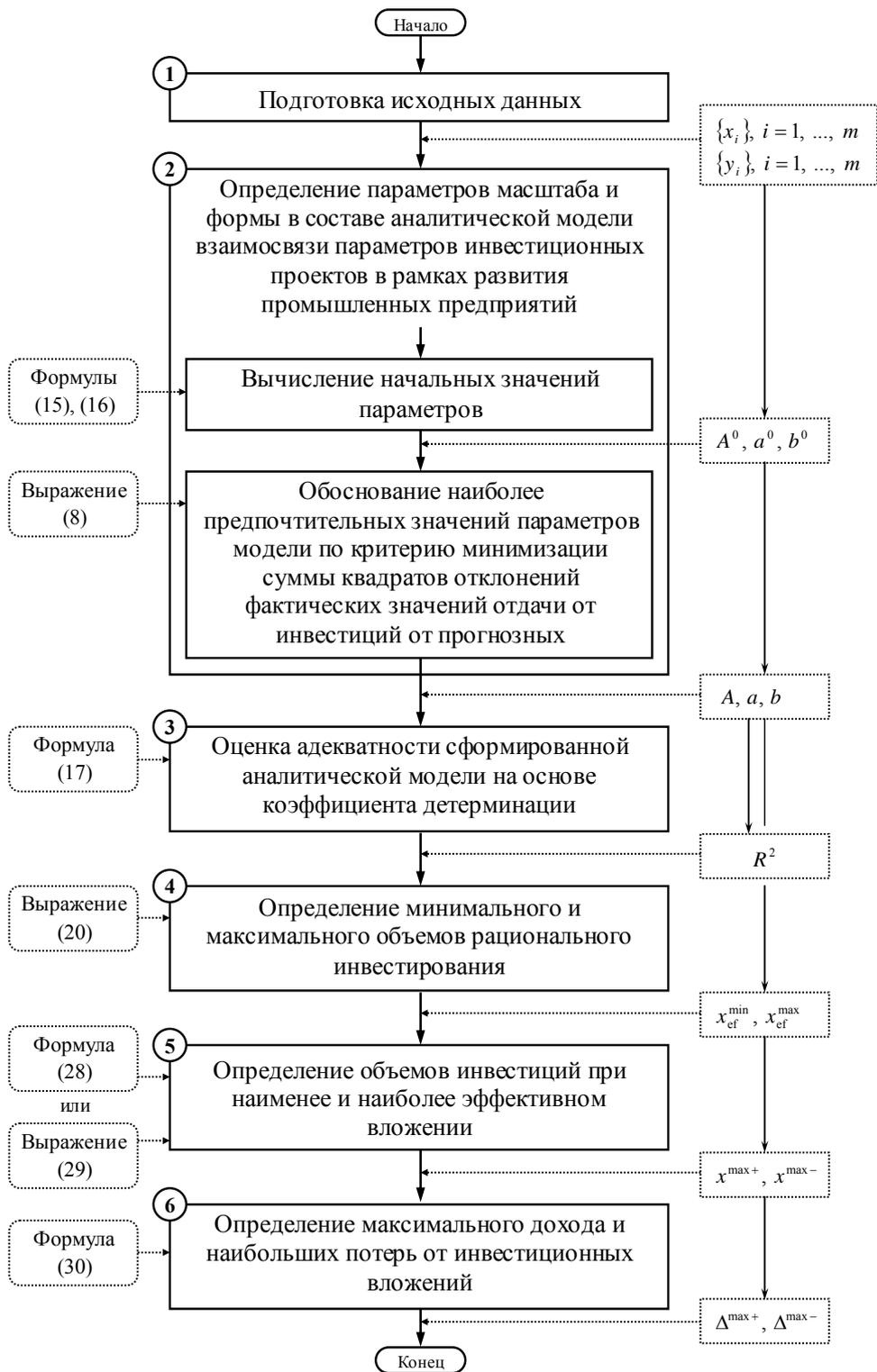


Рис. 4. Блок-схема методики обоснования характеристик процессов реализации инвестиционных проектов в области развития промышленных предприятий

Fig. 4. Block scheme of the procedure for determination of the characteristics of the implementation processes for investment projects in the field of industrial enterprises' development

Система уравнений для вычисления параметров  $A^0$  и  $a^0$  была получена посредством введения в выражение (5) для предложенной аналитической модели обозначений

$$10^{a^0} = u, \quad 10^{-b^0} = v \quad (11)$$

и подстановки в полученное выражение координат точек для граничных условий  $(x_{\min}, y_{\min})$  и  $(x_{\max}, y_{\max})$ . Указанная система уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} y_{\min} = \frac{A \cdot u}{1+u} \cdot \frac{1-v^{x_{\min}}}{1+u \cdot v^{x_{\min}}}; \\ y_{\max} = \frac{A \cdot u}{1+u} \cdot \frac{1-v^{x_{\max}}}{1+u \cdot v^{x_{\max}}}. \end{cases} \quad (12)$$

2.1. Вычисление параметра  $a$  посредством деления нижней строки на верхнюю в системе уравнений (12):

$$\frac{y_{\max}}{y_{\min}} = \frac{1-v^{x_{\max}}}{1-v^{x_{\min}}} \cdot \frac{1+u \cdot v^{x_{\min}}}{1+u \cdot v^{x_{\max}}} \quad (13)$$

выражения параметра  $u$  из полученного выражения (13):

$$u = \frac{\frac{y_{\max}}{y_{\min}} \cdot \frac{v^{x_{\min}} - 1}{v^{x_{\max}} - 1} - 1}{v^{x_{\min}} - v^{x_{\max}} \cdot \frac{y_{\max}}{y_{\min}} \cdot \frac{v^{x_{\min}} - 1}{v^{x_{\max}} - 1}} \quad (14)$$

и обратной замены параметра  $u$  с учетом ранее произведенных обозначений (11):

$$a^0 = \lg \left( \frac{\frac{y_{\max}}{y_{\min}} \cdot \frac{10^{-b^0 \cdot x_{\min}} - 1}{10^{-b^0 \cdot x_{\max}} - 1} - 1}{10^{-b^0 \cdot x_{\min}} - 10^{-b^0 \cdot x_{\max}} \cdot \frac{y_{\max}}{y_{\min}} \cdot \frac{10^{-b^0 \cdot x_{\min}} - 1}{10^{-b^0 \cdot x_{\max}} - 1}} \right) \quad (15)$$

2.2. Вычисление параметра  $A^0$  посредством подстановки назначенного начального значения параметра  $b^0$  и вычисленного начального значения параметра  $a^0$  в верхнюю или нижнюю часть системы уравнений (12). В частности, при подстановке в нижнюю часть

$$A^0 = y_{\max} \cdot \frac{1+10^{a^0}}{10^{a^0}} \cdot \frac{1+10^{a^0-b^0 \cdot x_{\max}}}{1-10^{-b^0 \cdot x_{\max}}} \quad (16)$$

На следующем – **третьем этапе реализации** методики осуществляется оценка адекватности сформированной аналитической модели по расчетному значению коэффициента детерминации, вычисляемого по формуле

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^m \left( y_i - \frac{\sum_{i=1}^m y_i}{m} \right)^2}, \quad (17)$$

где  $\hat{y}_i$  – прогнозные значения отдачи от инвестиций, вычисленные для  $i$ -го инвестиционного проекта в соответствии со сформированной аналитической моделью,

$$\hat{y}_i = \frac{A \cdot 10^a}{1+10^a} \cdot \frac{1-10^{-b \cdot x_i}}{1+10^{a-b \cdot x_i}} \quad (18)$$

Указанный коэффициент варьируется в диапазоне  $[0; 1]$ ; чем он ближе к единице, тем точнее сформированная модель описывает исходные данные.

На заключительной стадии второго этапа реализации методики производится построение графика зависимости возврата капитала от исходного объема инвестирования в соответствии со сформированной аналитической моделью.

В рамках следующего – **четвертого этапа реализации методики** – определение минимального  $x_{\text{ef}}^{\min}$  и максимального  $x_{\text{ef}}^{\max}$  объемов рационального инвестирования с использованием средств оптимизационного моделирования. Данное обстоятельство обусловлено тем, что применение традиционного аналитического подхода для вычисления указанных параметров предполагает решение уравнения

$$x = \frac{A \cdot 10^a}{1+10^a} \cdot \frac{1-10^{-b \cdot x}}{1+10^{a-b \cdot x}}, \quad (19)$$

что представляется затруднительным ввиду трансцендентности модели Ферхюльста. Указанные параметры  $x_{\text{ef}}^{\min}$  и  $x_{\text{ef}}^{\max}$  предлагается определять посредством реализации нелинейных оп-

тимизационных моделей, определяемых обобщенным выражением вида

$$\begin{cases} \left( \frac{A \cdot 10^a}{1+10^a} \cdot \frac{1-10^{-b \cdot x_{ef}^{\min(\max)}}}{1+10^{a-b \cdot x_{ef}^{\min(\max)}}} - x_{ef}^{\min(\max)} \right)^2 \rightarrow \min; \\ x_{ef}^{\min(\max)} \geq 0. \end{cases} \quad (20)$$

Важно отметить, что для успешной реализации оптимизационных моделей необходимо рациональное обоснование начальных значений вычисляемых характеристик  $x_{ef}^{\min 0}$ ,  $x_{ef}^{\max 0}$  в соответствии со следующим обобщенным условием:

$$\left| x_{ef}^{\min(\max) 0} - x_{ef}^{\min(\max)} \right| \leq \varepsilon, \quad (21)$$

где  $x_{ef}^{\min(\max)}$  – объективное (оптимальное в соответствии с математическими моделями (20)) значение вычисляемой характеристики;  $\varepsilon$  – абсолютная величина наибольшего допустимого отклонения между начальным и оптимальным значениями вычисляемого параметра.

Для формирования значений  $x_{ef}^{\min 0}$ ,  $x_{ef}^{\max 0}$  целесообразно использовать графическое описание исследуемой аналитической модели, выполненное на предшествующем этапе методики.

**Пятый этап реализации методики** – вычисление характеристик  $x^{\max+}$  и  $x^{\max-}$  – объемов инвестиций при наименее и наиболее эффективном вложении соответственно – по формулам, получаемым посредством реализации следующих подэтапов.

1) Формирование выражения для зависимости потерь/дохода от инвестиционных вложений от  $\Delta$  исходного объема  $x$  последних с использованием модели, описываемой выражением (5). Зависимая величина определяется выражением

$$\Delta(x) = \frac{A}{1+10^{a-bx}} + \frac{A}{1+10^a} - x. \quad (22)$$

2) Взятие первой производной и приравнение ее к нулю для определения значений независимой переменной в экстремальных точках. Соответствующее выражение имеет вид:

$$\frac{d}{dx} \Delta(x) = \frac{10^{a-bx} \cdot Ab \cdot \ln(10)}{(10^{a-bx} + 1)^2} - 1 = 0. \quad (23)$$

3) Введение обозначений:

$$10^{a-bx} = t, \quad Ab \cdot \ln(10) = z. \quad (24)$$

4) Подстановка обозначений (24) в выражение (23), приведение подобных; формирование уравнения вида

$$t^2 + (2-z)t + 1 = 0. \quad (25)$$

5) Обратная подстановка величины  $z$  (выражение (24) в уравнение (25), решение уравнения относительно параметра  $t$ . Уравнение (25) является квадратным относительно параметра  $t$  и имеет два решения, определяемые выражением:

$$t_{1,2} = \pm \frac{\sqrt{Ab \cdot \ln(10) \cdot (Ab \cdot \ln(10) - 4)}}{2} - \frac{Ab \cdot \ln(10)}{2} - 1. \quad (26)$$

6) Обратная подстановка величины  $t$ , выражение (24), в формулу (26) по принципу

$$t_1 = 10^{a-bx^{\max+}}, \quad t_2 = 10^{a-bx^{\max-}}; \quad (27)$$

выражение характеристик  $x^{\max+}$  и  $x^{\max-}$  через остальные параметры. Формирование формулы для указанных характеристик:

$$x^{\max+(-)} = \frac{\lg \left( \pm \frac{\sqrt{Ab \cdot \ln(10) \cdot (Ab \cdot \ln(10) \pm 4)}}{2} - \frac{Ab \cdot \ln(10)}{2} - 1 \right) - a}{b}. \quad (28)$$

Важно отметить, что помимо аналитической формулы (28) для определения значений характеристик  $x^{\max+}$  и  $x^{\max-}$  могут быть использованы нелинейные оптимизационные модели, описываемые обобщенным выражением вида

$$\begin{cases} \frac{A \cdot 10^a}{1+10^a} \cdot \frac{1-10^{-b \cdot x^{\max+(-)}}}{1+10^{a-b \cdot x_{ef}^{\min(\max)}}} - x^{\max+(-)} \rightarrow \max(\min); \\ x^{\max+(-)} \geq 0. \end{cases} \quad (29)$$

Для успешной реализации оптимизационных моделей необходимо назначать начальные зна-

чения вычисляемых характеристик  $x^{\max+0}$  и  $x^{\max-0}$  на основе графического описания исследуемой аналитической модели в соответствии с условием (21).

В рамках последнего – **шестого этапа реализации методики** производится вычисление характеристик  $\Delta^{\max+}$  и  $\Delta^{\max-}$  – максимального дохода и наибольших потерь от инвестиционных вложений соответственно – на основе предварительно рассчитанных характеристик  $x^{\max+}$  и  $x^{\max-}$  по обобщенной формуле

$$\Delta^{\max+(-)} = \frac{A \cdot 10^a}{1 + 10^a} \cdot \frac{1 - 10^{-b \cdot x^{\max+(-)}}}{1 + 10^{a - b \cdot x_{ef}^{\min(\max)}}} - x^{\max+(-)}. \quad (30)$$

Важно отметить, что использование формулы для расчета характеристик  $\Delta^{\max+}$  и  $\Delta^{\max-}$  целесообразно только в том случае, если характеристики  $x^{\max+}$  и  $x^{\max-}$  были вычислены с использованием формул (28): в противном случае характеристики  $\Delta^{\max+}$  и  $\Delta^{\max-}$  будут определены уже на предшествующем этапе по результатам реализации оптимизационных моделей, описываемой выражением (29), поскольку являются целевыми функциями в составе последних.

На заключительном этапе исследования была произведена реализация разработанной методики на практическом примере – задаче оценки характеристик строительного проекта, осуществленного реальным предприятием. Проект предполагает строительство коттеджного поселка в Ленинградской области с последующей сдачей домов в долгосрочную аренду и потому относится к категории так называемых Timesharing-проектов. Срок аренды ограничен 30 годами. Финансовые цели проекта ориентированы на получение через один год уровня занятости домом до 90 %, при этом выручка должна составить не менее 300 млн р., при этом единица продукта характеризуется неделей сдачи дома в аренду. На основе информации, содержащейся в бизнес-плане проекта, были сформированы исходные данные для реализации методики. Важно отме-

тить, что ввиду больших исходных значений параметров  $\{x_i\}$ ,  $\{y_i\}$  для удобства применения разработанных инструментальных средств было произведено масштабирование указанных значений в соответствии с формулами

$$x'_i = \frac{x_i}{M}; \quad y'_i = \frac{y_i}{M}, \quad (31)$$

где  $x'_i$ ,  $x_i$  – соответственно преобразованное и исходное значение объема инвестирования в рамках  $i$ -го варианта проекта;  $y'_i$ ,  $y_i$  – соответственно преобразованное и исходное значение отдачи от инвестиций в рамках  $i$ -го варианта проекта;  $M$  – масштабный коэффициент.

Также важно отметить, что вычисление начальных значений параметров масштаба  $A$  и формы  $a$ ,  $b$  предложенной аналитической модели невозможно при нулевых значениях объемов инвестиций и соответствующей отдачи  $x_{\min} = 0$ ,  $y_{\min} = 0$ ; в этом случае необходимо дополнительное преобразование исходных данных для варианта проекта, соответствующего указанным минимальным значениям (имеющего номер  $i^{\min}$ ) в соответствии с формулой

$$x'_{i^{\min}} \rightarrow x'_{i^{\min}} + \lambda; \quad y'_{i^{\min}} \rightarrow y'_{i^{\min}} + \lambda, \quad (32)$$

где  $\lambda$  – погрешность вычисления параметров проекта с порядковым номером  $i^{\min}$ .

На основе указанных исходных данных с использованием программы «Microsoft Excel» было произведено вычисление основных характеристик проекта в соответствии с основными этапами предложенной методики, реализация соответствующих оптимизационных моделей – выражения (8), (20) и (29), производилась с использованием метода обобщенного понижающего градиента (ОПГ), доступного в рамках надстройки «Поиск решения» программы «Microsoft Excel». Исходные данные и результаты реализации методики представлены на рис. 5 и 6. Описание основных формул, используемых в процессе реализации методики с использованием программы «Microsoft Excel», представлено в табл. 2. Основные параметры надстройки «Поиск решения», используемые при реализации оптимизационных моделей в соответствии с выражениями (8), (20) и (29), представлены в табл. 3.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	<b>Таблица 1 – Базовые исходные данные</b>							
2	Наименование элемента исходных данных					Значение		
3	Масштабный коэффициент преобразования $M$					1000		
4								
5	<b>Таблица 2 – Статистические исходные данные</b>							
6	Порядковый номер варианта проекта $i$	Исходные значения (руб.)		Преобразованные значения (тыс.руб.)		Прогнозные значения (тыс.руб.)		
7		объем инвестиций $x_i$	отдача от инвестиций $y_i$	объем инвестиций $x'_i = x_i/M$	отдача от инвестиций $y'_i = y_i/M$	$y^*_i = \frac{A \cdot 10^a \cdot (1-10^{-b \cdot x})}{(1+10^b) \cdot (1+10^{a-b \cdot x})}$		
8								
9	1	10079891	4222474	10079,891	4222,474	34,97523342		
10	2	18822514,9	3731511,8	18822,5149	3731,5118	80,86807578		
11	3	29258029,4	7619928,8	29258,0294	7619,9288	164,7765447		
12	4	68795423,3	8684098,7	68795,4233	8684,0987	1238,78827		
13	5	69969107,9	2719592,3	69969,1079	2719,5923	1307,848303		
14	6	72248131,9	11706449,3	72248,1319	11706,4493	1452,545418		
15	7	110198158,1	15303472,2	110198,1581	15303,4722	7906,263159		
16	8	126878984,6	12173617,1	126878,9846	12173,6171	16205,30771		
17	9	130685173,6	26060868,7	130685,1736	26060,8687	19028,03431		
18	10	136183256,8	38431409,9	136183,2568	38431,4099	23929,4269		
19	11	137900485,8	31264836,8	137900,4858	31264,8368	25685,73435		
20	12	144806061,2	35022425,6	144806,0612	35022,4256	34003,12974		
21	13	167440878,8	66925362	167440,8788	66925,362	79529,44892		
22	14	205053762,6	237309945,5	205053,7626	237309,9455	214624,1111		
23	15	209052766,4	195889206,7	209052,7664	195889,2067	229380,3363		
24	16	212892280,1	242948250,9	212892,2801	242948,2509	242858,4288		
25	17	232203704,5	313097212,3	232203,7045	313097,2123	297007,8771		
26	18	255680303,1	337704994,6	255680,3031	337704,9946	332494,452		
27	19	282587665,3	357944413,8	282587,6653	357944,4138	348366,2132		
28	20	311188267,4	346038759,2	311188,2674	346038,7592	353663,2891		
29	21	314128179	332531614,6	314128,179	332531,6146	353921,3067		
30	22	321099481,3	368493899,1	321099,4813	368493,8991	354415,3554		
31	23	334718463	350547879	334718,463	350547,879	355036,2659		
32	24	345491686,1	338430335,7	345491,6861	338430,3357	355321,7702		
33	25	349285410,4	372680847	349285,4104	372680,847	355394,0915		
34	миним.			10079,891	2719,5923			
35	максим.			349285,4104	372680,847			
36								
37	<b>Таблица 3 – Расчетные характеристики</b>							
38	Наименование расчетной характеристики					Значение		
39	Сумма квадратов разностей прогнозных и фактических значений отдачи от инвестиций $\sum_i (y'_i - y^*_i)^2$					4103004881		
40	Коэффициент детерминации $R^2$					0,993014180		
41								
42	<b>Таблица 4 – Оптимизируемые характеристики</b>							
43	Наименование оптимизируемой характеристики		Начальное значение $v^0$	Оптимальное значение $v$	Прогнозное значение отдачи от инвестиций $y^*$	Разность отдачи инвестиций и их объема $y^* - v$	Квадрат разности отдачи инвестиций и их объема $(y^* - v)^2$	
44	Коэффициенты аппроксимации	коэффициент масштаба $A$	387775,4095	355852,7261	-	-	-	
45		коэффициент формы $a$	1,543475615	3,756908768	-	-	-	
46		коэффициент формы $b$	0,00001	1,92095E-05	-	-	-	
47	Объем рациональных инвестиций (тыс.руб.)	максим. $x^{max}_{ef}$	350000	355489,1271	355489,1271	-	4,49294E-10	
48		миним. $x^{min}_{ef}$	200000	201658,9164	201658,9164	-	8,47033E-22	
49	Наиболее выгодный объем инвестиционных вложений $x^{max}$ (тыс.руб.)		275000	254695,4061	331527,8904	76832,48426	-	
50	Наименее выгодный объем инвестиционных вложений $x^{min}$ (тыс.руб.)		125000	136455,5355	24200,29366	-112255,2418	-	

Рис. 5. Исходные данные и результаты реализации методики на практическом примере

Fig. 5. Initial data and results of the procedure's implementation on a practical example

Таблица 2

## Основные формулы, используемые в процессе реализации методики с использованием программы «Microsoft Excel»

## The main formulas used during the procedure's implementation with application of «Microsoft Excel» software

Адреса ячеек	Формула/комментарий	Элемент методики
Этап 1 реализуемой методики		
E3:E4	Параметры исходных данных, назначаемые лицом, реализующим методику	
A9:C33	Исходные данные, заимствованные из бизнес-плана проекта развития	
D9(:E33)	=B9/\$E\$3	Формула (31)
D34(:E34)	=МИН(D9:D33)	Формулы (9)
D35(:E35)	=МАКС(D9:D33)	Формулы (10)
Этап 2 реализуемой методики		
D46	Заполняется числовым значением, назначаемым лицом, реализующим методику, произвольно в диапазоне (0,001; 1)	
D45	=LOG10((\$E\$35/\$E\$34*(10^(-D\$46*\$D\$34)-1)/(10^(-D\$46*\$D\$35)-1)-1)/(10^(-D\$46*\$D\$34)-10^(-D\$46*\$D\$35))*\$E\$35/\$E\$34*(10^(-D\$46*\$D\$34)-1)/(10^(-D\$46*\$D\$35)-1)))	Формула (15)
D44	=E35*(1+10^D\$45)/10^D\$45*(1+10^(D\$45-D\$46*\$D\$35))/(1-10^(-D\$46*\$D\$35))	Формула (16)
E44:E46	Ячейки переменных, в которые копируются расчетные значения из ячеек D44:D46 перед процедурой оптимизации	
F9(:F33)	=\$E\$44*10^\$E\$45/(1+10^\$E\$45)*(1-10^(-\$E\$46*D9))/(1+10^(\$E\$45-\$E\$46*D9))	Формула (5)
E38	=СУММКВРАЗН(F9:F33;E9:E33)	Верхняя строка выражения (8)
Этап 3 реализуемой методики		
E39	=1-E39/(ДИСП(E9:E33)*(ЧСТРОК(E9:E33)-1))	Формула (17)
Этап 4 реализуемой методики		
D47:D48	Заполняются числовыми значениями, назначаемыми лицом, реализующим методику, по результатам анализа графического описания исследуемой аналитической модели	
E47:E48	Ячейки переменных, в которые копируются расчетные значения из ячеек D47:D48 перед процедурами оптимизации	
F47(:F48)	=\$E\$44*10^\$E\$45/(1+10^\$E\$45)*(1-10^(-\$E\$46*E47))/(1+10^(\$E\$45-\$E\$46*E47))	Формула (5)
H47(:H48)	=(F47-E47)^2	Верхняя строка выражения (20)
Этапы 5 и 6 реализуемой методики		
D49:D50	Заполняются числовыми значениями, назначаемыми лицом, реализующим методику, по результатам анализа графического описания исследуемой аналитической модели	
E49:E50	Ячейки переменных, в которые копируются расчетные значения из ячеек D49:D50 перед процедурами оптимизации	
E49	=(E45-LOG10(-1/2*КОРЕНЬ(E44*E46*LN(10)*(E44*E46*LN(10)-4))+1/2*E44*E46*LN(10)-1))/E46	Формула (28)
E50	=(E45-LOG10(1/2*КОРЕНЬ(E44*E46*LN(10)*(E44*E46*LN(10)-4))+1/2*E44*E46*LN(10)-1))/E46	
F49(:F50)	=\$E\$44*10^\$E\$45/(1+10^\$E\$45)*(1-10^(-\$E\$46*E49))/(1+10^(\$E\$45-\$E\$46*E49))	Формула (5)
G49(:G50)	=F49-E49	Верхняя строка выражения (29), формула (30)

## Примечания.

Обозначение X1(:Y10) означает, что в ячейку X1 необходимо ввести формулу, указанную в соответствующем столбце таблицы, после чего полученный результат «растянуть» до ячейки Y10.

Ячейки E49:E50 вычисляются либо с использованием надстройки «Поиск решения», либо заполняются формулами в соответствии с выражением (28).

Таблица 3

Основные параметры надстройки «Поиск решения» программы «Microsoft Excel», используемые при реализации оптимизационных моделей в рамках разработанной методики

The main parameters of the «Solver» add-in of «Microsoft Excel» software used for the implementation of optimization models in accordance with created procedure

Вычисляемые характеристики	Описание оптимизационной модели	Целевая ячейка	Тип задачи оптимизации	Ячейки переменных	Неотрицательность ячеек переменных без ограничений	Метод поиска решения*
$A, a, b$	Выражение (8)	E39	Минимум	E44:E46	Да	Решение нелинейных задач методом ОПГ
$x_{ef}^{max}$	Выражение (20)	H47	Минимум	E47		
$x_{ef}^{min}$	Выражение (20)	H48	Минимум	E48		
$x^{max+}$	Выражение (29)	G49	Максимум	E49		
$x^{max-}$	Выражение (29)	G50	Минимум	E50		

Примечание. Параметр доступен только в программе «Microsoft Excel» версии 2010 и более поздних.

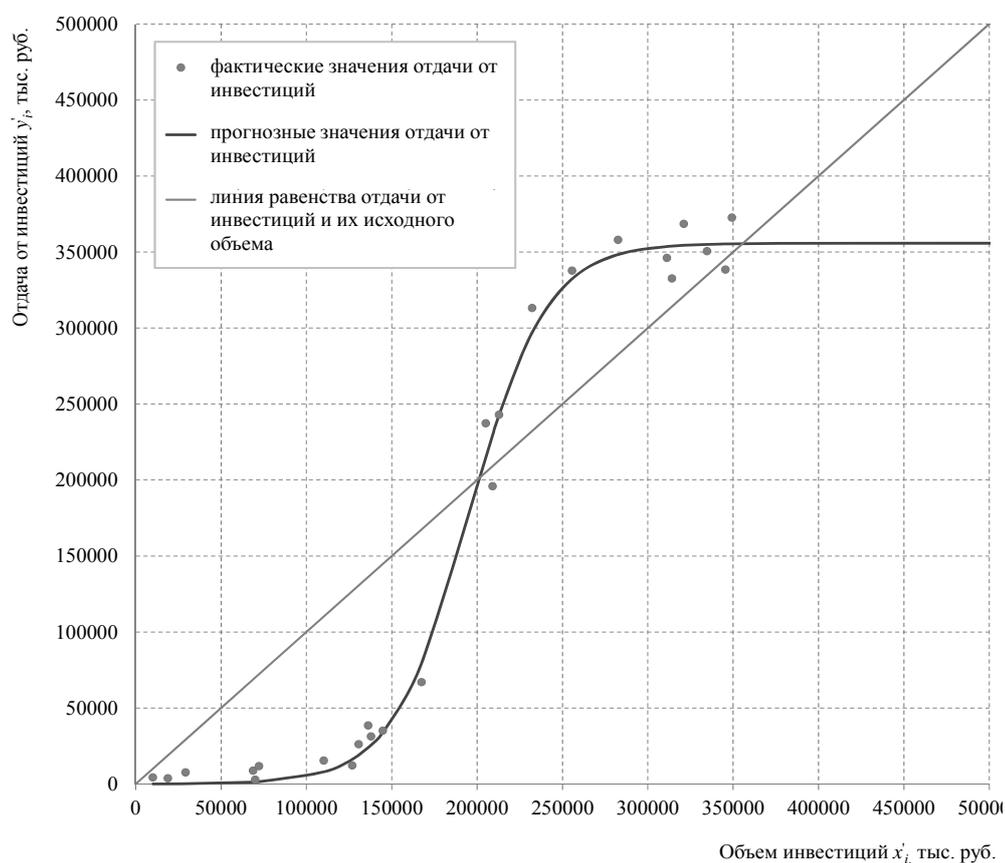


Рис. 6. Графическое описание модели взаимосвязи параметров инвестиционных проектов в рамках развития промышленных предприятий, сформированной в рамках реализации разработанной методики в программе «Microsoft Excel»

Fig. 6. Graphic description of the model of the relationship of the parameters of investment projects in the framework of the development of industrial enterprises, formed in the framework of the implementation of the developed methodology in the program «Microsoft Excel»

Штатная работа надстройки «Поиск решения» программы «Microsoft Excel» при определении параметров предложенной аналитической модели (п. 1–3 табл. 1), а также дополнительных характеристик процесса реализации инвестиционных проектов (п. 4–9 табл. 1), а также полное соответствие результатов произведенных вычислений с графическим описанием аналитической модели (рис. 6) позволили сделать вывод о высокой адекватности полученных данных и, как следствие, высокой практической значимости разработанных в рамках исследования инструментальных средств. Также важно отметить, что для определения объемов инвестиций при наиболее и наименее эффективном вложении средств ( $x^{\max+}$  и  $x^{\max-}$ ), помимо разработки и реализации оптимизационной модели, описываемой выражением (29), был также произведен аналитический расчет в соответствии с формулой (28) – в обоих случаях результат оказался одинаков, что также свидетельствует о корректности предложенных формул и процедур оптимизации.

*Выводы.* По результатам исследования сделаны следующие выводы:

– предложена аналитическая модель взаимосвязи параметров инвестиционных проектов в

рамках развития промышленных предприятий на основе математической модели Ферхюльста, преобразованной в соответствии с граничным условием соответствия нулевым инвестициям нулевой величине возврата капитала;

– идентифицированы основные характеристики процесса реализации инвестиционных проектов в рамках развития промышленных предприятий на основе особенностей предложенной аналитической модели и характерных точек соответствующей кривой – графического описания модели;

– разработана и реализована на практическом примере методика обоснования характеристик процесса развития промышленных предприятий, предполагающая использование средств аналитического и оптимизационного моделирования, доступных в современных специализированных программных средах.

На дальнейших этапах исследования предполагается уточнение состава основных характеристик процессов реализации инвестиционных проектов в рамках развития промышленных предприятий, а также разработка аналитических и оптимизационных моделей для обоснования вводимых характеристик.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Бабкин А.В. Методы оценки экономического потенциала промышленного предприятия // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2013. № 1–2 (163). С. 138–148.

[2] Гаранин Д.А., Лукашевич Н.С. Моделирование параметров инвестиционного проекта на основе информационно-статистического подхода // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 33 (384). С. 37–48.

[3] Градов А.П., Сулоева С.Б., Коробович Г.Ю., Гутман С.С. Структура процесса формирования и оценки эффективности стратегии предприятия // Эффективность стратегии фирмы. СПб., 2006. С. 188–248.

[4] Ждан Г.В., Муханова Н.В. Механизмы и инструменты реализации инвестиционной политики на субфедеральном уровне // Региональное и муниципальное управление социально-экономическим развитием в Сибирском федеральном округе / Новоселов А.С. [и др.]; Российская академия наук, Сибирское отделение;

Институт экономики и организации промышленного производства. Новосибирск, 2014. С. 149–168.

[5] Иванов М.В., Соколицын А.С., Соколицына Н.А. Оптимальное распределение финансовых ресурсов по программам развития предприятия // Финансовые проблемы и пути их решения: теория и практика: сб. науч. тр. 15-й Междунар. науч.-практ. конф. / отв. Д.Г. Родионов; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. СПб., 2014. С. 295–298.

[6] Левенцов А.Н., Левенцов В.А. Эффективные инвестиции в современных условиях // Финансовые решения XXI ВЕКА: теория и практика: сб. науч. тр. 17-й Междунар. науч.-практ. конф. / Санкт-Петербургский политехнический университет. СПб., 2016. С. 235–241.

[7] Левенцов В.А. Анализ современных форм и особенностей развития стратегических альянсов // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2017. № 5 (23). С. 85–92.

- [8] **Малюк В.И.** Методика оценки рационального распределения ограниченных инвестиций в развитие производственной системы региона // Региональная экономика: теория и практика. 2009. № 18. С. 12–21.
- [9] **Радаев А.Е., Кобзев В.В.** Оптимизационная модель адаптивного функционирования сети поставок промышленных предприятий // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2013. № 4 (175). С. 135–140.
- [10] **Сулоева С.Б., Бабкин А.В.** Стратегический контроллинг и его информационная система // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2005. № 3 (41). С. 175–182.
- [11] **Тупикова Д.В., Богданова Т.А.** Методика учета рисков отраслевой консолидации при разработке экономической стратегии предприятия // Труды СПбГПУ. 2012. № 514. С. 123–126.
- [12] **Ходырев В.В.** Проблемы адаптации в системе управления предприятием и основные направления их решений // Организатор производства. 2008. № 4 (39). С. 27–29.
- [13] **Шербаков В.В., Силкина Г.Ю.** Информационный инструментарий цифровой трансформации экономики и менеджмента // Экономика и предпринимательство. 2017. № 5–1 (82). С. 1090–1096.
- [14] **Якубович В.Л., Ливинцова М.Г.** Управление рисками при реализации инновационного проекта // Промышленная политика в цифровой экономике: проблемы и перспективы: тр. науч.-практ. конф. с междунар. участием / под ред. А.В. Бабкина. СПб., 2017. С. 636–641.
- [15] **Abushova E.E., Burova E.V., Suloeva S., Shcheglova A.E.** Complex approach to selecting priority lines of business by an enterprise // Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions): 6th International Conference ICRITO. 2017. P. 581–585.
- [16] **Gluhov V., Leventsov V., Radaev A., Nikolaevskiy N.** Analytical Modeling of Development and Implementation of Telecommunication Technologies // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 2018. Vol. 11118 LNCS. P. 428–440.
- [17] **Kuladzhi T., Babkin A., Murtazaev S.-A.** Matrix Tool for Efficiency Assessment of Production of Building Materials and Constructions in the Digital Economy // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. Vol. 692. P. 1333–1346.
- [18] **Malyuk V., Danilov, A.** Modeling of the investment project of construction the cottage settlement // MATEC Web of Conferences, 2018. URL: [https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/29/mateconf\\_spbwosce2018\\_01090.pdf](https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/29/mateconf_spbwosce2018_01090.pdf) (accessed November 3, 2018).
- [19] **Nekrasova T., Leventsov V., Axionova E.** Evaluating the efficiency of investments in mobile telecommunication systems development // Lecture Notes in Computer Science. 2016. Vol. 9870 LNCS. C. 741–751.
- [20] **Silkina G.I., Bakanova S.A.** Knowledge growth: Applied models of general and individual knowledge evolution // International Journal of Environmental and Science Education. 2016. 11(18). P. 12865–12874.

**МАЛЮК Владимир Иванович.** E-mail: malyuk.vi@gmail.com

**РАДАЕВ Антон Евгеньевич.** E-mail: TW-inc@yandex.ru

**СИЛКИНА Галина Юрьевна.** E-mail: galina.silkina@gmail.com

*Статья поступила в редакцию: 03.11.2018*

## REFERENCES

- [1] **A.V. Babkin,** Methods of evaluating the economic potential of the industrial enterprise, St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 1–2 (163) (2013) 138–148.
- [2] **D.A. Garanin, N.S. Lukashevich,** Modelirovaniye parametrov investitsionnogo proyekta na osnove informatcionno-statisticheskogo podkhoda [Modeling of parameters for an investment project on the basis of informational and-statistical approach], Ekonomicheskij analiz: teoriya i praktika, 33 (384) (2014) 37–48.
- [3] **A.P. Gradov, S.B. Suloyeva, G.Yu. Korobovich, S.S. Gutman,** Struktura protsessa formirovaniya i otsenki effektivnosti strategii predpriyatiya [Structure of the process of the enterprise strategy's formation and stimation of efficiency], Effektivnost strategii firmy. SPb., 2006. S. 188–248.
- [4] **G.V. Zhdan, N.V. Mukhanova,** Mekhanizmy i instrumenty realizatsii investitsionnoy politiki na subfederalnom urovne [Instruments for implementation of investment policy on subfederal level], Regionalnoye i munitsipalnoye upravleniye sotsialno-ekonomicheskim razvitiyem v Sibirskom federalnom okruge / Novoselov A.S. [i dr.]; Rossiyskaya akademiya nauk, Sibirskoye otdeleniye, Institut ekonomiki i organizatsii promyshlennogo proizvodstva. Novosibirsk, (2014) 149–168.
- [5] **M.V. Ivanov, A.S. Sokolitsyn, N.A. Sokolitsyna,** Optimalnoye raspredeleniye finansovykh resursov po programmam razvitiya predpriyatiya [Optimal allocation of financial resources for enterprise development programs], Finansovyye problemy i puti ikh resheniya: teoriya i prakti-



ka: sbornik nauchnykh trudov 15-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Otv. D.G. Rodionov; Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy politekhnicheskii universitet. SPb., (2014) 295–298.

[6] **A.N. Leventsov, V.A. Leventsov**, Effektivnyye investitsii v sovremennykh usloviyakh [Efficient investments in modern conditions], Finansovyye resheniya XXI VEKA: teoriya i praktika: sbornik nauchnykh trudov 17-y mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Sankt-Peterburgskiy politekhnicheskii universitet. SPb., (2016) 235–241.

[7] **V.A. Leventsov**, Analiz sovremennykh form i osobennostey razvitiya strategicheskikh alyansov [Analysis of modern forms and features for the development of strategic alliances], Innovatsionnaya ekonomika: perspektivy razvitiya i sovershenstvovaniya, 5 (23) (2017) 85–92.

[8] **V.I. Malyuk**, Metodika otsenki ratsionalnogo raspredeleniya ogranichennykh investitsiy v razvitiye proizvodstvennoy sistemy regiona [Procedure for assessment of rational distribution of restricted investments for development of the production system of a region], Regionalnaya ekonomika: teoriya i praktika, 18 (2009) 12–21.

[9] **A.E. Kobzev, V.V. Radaev**, Optimization model for adaptive functionig of supply network including industrial enterprises, St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 4 (175) (2013) 135–140.

[10] **S.B. Suloyeva, A.V. Babkin**, Strategicheskii kontrolling i yego informatsionnaya sistema [Strategic controlling and its information system], St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 3 (41) (2005) 175–182.

[11] **D.V. Tupikova, T.A. Bogdanova**, Metodika ucheta riskov otraslevoy konsolidatsii pri razrabotke ekonomicheskoy strategii predpriyatiya [Procedure for teking into account of the risks connected to industry consolidation during creation of enterprise's economic strategy], Trudy SPbGTU, 514 (2012) 123–126.

[12] **V.V. Khodyrev**, Problemy adaptatsii v sisteme upravleniya predpriyatiyem i osnovnyye napravleniya ikh resheniy [Adaptation problems in enterprise's management system and main directions for their overcoming], Organizator proizvodstva, 4 (39) (2008) 27–29.

[13] **V.V. Shcherbakov, G.Yu. Silkina**, Informatsionnyy instrumentariy tsifrovoy transformatsii ekonomiki i menedzhmenta [Informational instruments of digital transformation for economics and management], Ekonomika i predprinimatelstvo, 5–1 (82) (2017) 1090–1096.

[14] **V.L. Yakubovich, M.G. Livintsova**, Upravleniye riskami pri realizatsii innovatsionnogo proyekta [Risk management during the implementation of an innovation project], Promyshlennaya politika v tsifrovoy ekonomike: problemy i perspektivy Trudy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Pod red. A.V. Babkina. SPb., (2017) 636–641.

[15] **E.Ye. Abushova, E.V. Burova, S. Suloeva, A.E. Shcheglova**, Complex approach to selecting priority lines of business by an enterprise, Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions): 6th International Conference ICRITO, (2017) 581–585.

[16] **V. Gluhov, V. Leventsov, A. Radaev, N. Nikolaevskiy**, Analytical Modeling of Development and Implementation of Telecommunication Technologies, Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 11118 LNCS (2018) 428–440.

[17] **T. Kuladzi, A. Babkin, S.-A. Murtazaev**, Matrix Tool for Efficiency Assessment of Production of Building Materials and Constructions in the Digital Economy, Advances in Intelligent Systems and Computing, 692 (2018) 1333–1346.

[18] **V. Malyuk, A. Danilov**, Modeling of the investment project of construction the cottage settlement, MA-TEC Web of Conferences, 2018. URL: [https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/29/mateconf\\_spbwosce2018\\_01090.pdf](https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/29/mateconf_spbwosce2018_01090.pdf) (accessed November 3, 2018).

[19] **T. Nekrasova, V. Leventsov, E. Axionova**, Evaluating the efficiency of investments in mobile telecommunication systems development, Lecture Notes in Computer Science, 9870 LNCS (2016) 741–751.

[20] **G.I. Silkina, S.A. Bakanova**, Knowledge growth: Applied models of general and individual knowledge evolution, International Journal of Environmental and Science Education, 11 (18) (2016) 12865–12874.

**MALYUK Vladimir I.** E-mail: malyuk.vi@gmail.com

**RADAEV Anton E.** E-mail: TW-inc@yandex.ru

**SILKINA Galina Yu.** E-mail: galina.silkina@gmail.com