ВЕСТНИК

ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

2019
Т. 19, № 2

ISSN 1991-976X (Print)
ISSN 2409-6571 (Online)

СЕРИЯ

«КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, УПРАВЛЕНИЕ, РАДИОЭЛЕКТРОНИКА»

Решением ВАК России включен в Перечень рецензируемых научных изданий

Учредитель – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»

Журнал освещает новые научные достижения и практические разработки ученых по актуальным проблемам компьютерных технологий, управления и радиоэлектроники.

Основной целью издания является пропаганда научных исследований в следующих областях:

- Автоматизированные системы управления в энергосбережении
- Автоматизированные системы управления технологическими процессами
- Антенная техника
- Инфокоммуникационные технологии
- Информационно-измерительная техника
- Навигационные приборы и системы
- Радиотехнические комплексы
- Системы автоматизированного управления предприятиями в промышленности
- Системы управления летательными аппаратами

Редакционная коллегия:

Шестаков А.Л., д.т.н., проф. (*гл. редактор*);
Бурков В.Н., д.т.н., проф., засл. деятель науки РФ (г. Москва) (*зам. гл. редактора*);
Логиновский О.В., д.т.н., проф., засл. деятель науки РФ (*зам. гл. редактора*);
Плотникова Н.В., к.т.н., доц. (*отв. секретарь*).
Березанский Л., PhD, проф. (г. Беэр-Шева, Израиль);
Джапаров Б.А., д.т.н., проф. (г. Астана, Казахстан)

Редакционный совет:

Авербах И., PhD, проф. (г. Торонто, Канада);
Браверман Е., PhD, проф. (г. Калгари, Канада);
Дегтярь В.Г., д.т.н., проф., чл.-корр. РАН, (г. Миасс, Челябинская обл.);
Затонский А.В., д.т.н., проф. (г. Пермь);
Казаринов Л.С., д.т.н., проф. (г. Челябинск);
Кибалов Е.Б., д.э.н., проф. (г. Новосибирск);
Куликов Г.Г., д.т.н., проф., засл. деятель науки РФ (г. Уфа);
Мазуров В.Д., д.ф.-м.н., проф. (г. Екатеринбург);
Максимов А.А., д.т.н. (г. Новокузнецк);
Новиков Д.А., д.т.н., проф., чл.-корр. РАН (г. Москва);
Панферов В.И., д.т.н., проф. (г. Челябинск);
Слинько А., PhD, проф. (г. Окленд, Новая Зеландия);
Столбов В.Ю., д.т.н., проф. (г. Пермь);
Танана В.П., д.ф.-м.н., проф. (г. Челябинск);
Ухоботов В.И., д.ф.-м.н., проф. (г. Челябинск);
Ушаков В.Н., д.ф.-м.н., проф., чл.-корр. РАН (г. Екатеринбург);
Шестаков И., д.ф.-м.н., проф. (г. Сан-Паулу, Бразилия);
Ширяев В.И., д.т.н., проф. (г. Челябинск);
Шнайдер Д.А., д.т.н., проф. (г. Челябинск);
Штессель Ю., PhD, проф. (г. Хантсвилл, Алабама, США);
Ячиков И.М., д.т.н., проф. (г. Магнитогорск).

© Издательский центр ЮУрГУ, 2019

BULLETIN
OF THE SOUTH URAL STATE UNIVERSITY
SERIES
"COMPUTER TECHNOLOGIES, AUTOMATIC CONTROL, RADIO ELECTRONICS"

2019
Vol. 19, no. 2

ISSN 1991-976X (Print)
ISSN 2409-6571 (Online)

Vestnik Yuzhno-Ural'skogo Gosudarstvennogo Universiteta.
Seriya "Komp'yuternye Tekhnologii, Upravlenie, Radioelektronika"

South Ural State University

The journal covers new scientific achievements and practical developments of scientists on actual problems of computer technologies, control and radio electronics.

The main purpose of the series is information of scientific researches in the following areas:

- Automated control systems in energy saving
- Automated process control
- Antenna technique
- Communication technologies
- Information and measuring equipment
- Navigation devices and systems
- Radio engineering complexes
- Computer-aided management of enterprises in industry
- Control systems of aircrafts

Editorial Board:

Shestakov A.L., Dr. of Sci. (Eng.), Prof. (*editor-in-chief*), South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;
Burkov V.N., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Honored Worker of Science of the Russian Federation (*deputy editor-in-chief*), Institute of Control Sciences named by V.A. Trapeznikov of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation;
Loginosvkiy O.V., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Honored Worker of Science of the Russian Federation (*deputy editor-in-chief*), South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;
Plotnikova N.V., Cand. of Sci. (Eng.), Ass. Prof. (*executive secretary*), South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;
Berezansnky L., PhD, Prof., Ben Gurion University of the Negev, Israel;
Dzhaparov B.A., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Archive of the President of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan.

Editorial Council:

Averbakh I., PhD, Prof., University of Toronto, Canada;
Braverman E., PhD, Prof., St. Mary's University, Calgary, and Athabasca University, Department of Science, Athabasca, Canada;
Degtyar' V.G., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Member Correspondent of the Russian Academy of Sciences, Academician V.P. Makeyev State Rocket Centre, Miass, Chelyabinsk region, Russian Federation;
Zatonskiy A.V., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Honored Worker of Science and Education of the Russian Federation, Berezniki Branch of the Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia;
Kazarinov L.S., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;
Kibalov E.B., Dr. of Sci. (Econ.), Prof., Siberian Transport University, Novosibirsk, Russian Federation;
Kulikov G.G., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Honored Worker of Science of the Russian Federation, Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation;
Mazurov V.D., Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Prof., Ural Federal University, Ekaterinburg, Russian Federation;
Maksimov A.A., Dr. of Sci. (Eng.), Open Joint Stock Company 'Kuznetsk Ferroalloys', Novokuznetsk, Russian Federation;
Novikov D.A., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Member Correspondent of the Russian Academy of Sciences, Institute of Control Sciences named by V.A. Trapeznikov of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation;
Panferov V.I., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Military Educational Scientific Center of the Air Force "Military and Air Academy of prof. N. E. of Zhukovsky and Yu.A. Gagarin", Branch in Chelyabinsk, Chelyabinsk, Russian Federation;
Slinko A., PhD, Prof., University of Auckland, New Zealand;
Stolbov V.Yu., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation;
Tanana V.P., Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;
Ukhobotov V.I., Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Prof., Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russian Federation;
Ushakov V.N., Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Prof., Member Correspondent of the Russian Academy of Sciences, N.N. Krasovsky Institute of Mathematics and Mechanics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation;
Shestakov I., Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Prof., São Paulo University, Brazil;
Shiryaev V.I., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;
Schneider D.A., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;
Shtessel Yu., PhD, Prof., Huntsville, Alabama, USA;
Yachikov I.M., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Magnitogorsk State Technical University of G.I. Nosov, Magnitogorsk, Russian Federation.

СОДЕРЖАНИЕ

Информатика и вычислительная техника

БОТОВ Д.С., ДМИТРИН Ю.В., КЛЕНИН Ю.Д. Семантический поиск учебных дисциплин под требования рынка труда на основе нейросетевых моделей языка 5

Управление в технических системах

SHIRYAEV V.I., SHCHERBAKOV V.P., BRAGINA A.A. To the Problem of Improve Positioning Precision of Robotic Manipulator under Conditions of Incomplete Information 16

ШОРИКОВ А.Ф., КАЛЁВ В.И. Алгоритм оптимального адаптивного терминального управления расходом топлива жидкостной двигательной установки ракеты-носителя. Часть II 29

НОСИКОВ М.В. Архитектура тренажерной системы подготовки операторов радиационно стойких манипуляторов 38

Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы

ЯПАРОВА Н.М. Метод прогнозирования температурного состояния цилиндра при термообработке в условиях неполной исходной информации 54

Управление в социально-экономических системах

БАРКАЛОВ С.А., БУРКОВ В.Н., ХОДУНОВ А.М. Задачи максимизации объема выполненных работ в управлении проектами 66

ПАВЛОВИЧ Т.В., ДРОНЬ Е.А., КУЛИКОВ Г.Г. Внедрение корпоративных информационных систем для достижения стратегических показателей промышленных предприятий 77

ДРАНКО О.И., ЛОГИНОВСКИЙ О.В. Технология экспресс-анализа больших массивов данных по оборотным активам промышленных предприятий 86

КУТЫШКИН А.В., ОРЛОВА Д.С. Диагностика устойчивости развития региональных социально-экономических систем на примере Ханты-Мансийского автономного округа – Югры 103

АВЕРИНА Т.А., БАРТЕНЕВА А.А., ПЕРЕВАЛОВА О.С. Направления развития социального предпринимательства в регионе 117

Автоматизированные системы управления технологическими процессами

КАЗАРИНОВ Л.С., ХАСАНОВ Дж.Р. Выбор решений при оперативном нейроуправлении процессом помола шихты в цементном производстве 128

Краткие сообщения

KLEPIKOV M.O. Formation of Modern Algorithm of Territorial Development Management 139

КУЛИКОВ Г.Г., КУЛБАЕВ Б.Р. Системная модель контроля и диагностики пожарной защиты силовой установки летательного аппарата 145

HOLLAY A.V. Need of Developing Information Systems of Managing a Technology Lifecycle of Industrial Enterprises 153

MAZUROV Vl.D., POLYAKOVA E.Yu. Experience of Multi-Layer Neural Network Application for Empirical Regularities Identification 160

ЗАТОНСКИЙ А.В., МИХАЛЕВ П.В. Разработка имитационной модели движения горно-выработочной машины 166

ZAKHAROV V.V. Tasks Solved in the Analysis of the Enterprise's Labor Resources 175

CONTENTS

Informatics and Computer Engineering

BOTOV D.S., DMITRIN Yu.V., KLENIN Yu.D. Neural Network-Based Semantic Search of Educational Programmes Fitting Labor Market Requirements 5

Control in Technical Systems

SHIRYAEV V.I., SHCHERBAKOV V.P., BRAGINA A.A. To the Problem of Improve Positioning Precision of Robotic Manipulator under Conditions of Incomplete Information 16

SHORIKOV A.F., KALEV V.I. The Optimal Closed-Loop Terminal Propellant Consumption Control Algorithm for Liquid Propulsion System of Launch Vehicle. Part II 29

NOSIKOV M.V. The Architecture of Human-Controlled Arm Manipulator Operator Training System 38

Instrument Engineering, Metrology and Information and Measuring Devices and Systems

YAPAROVA N.M. Method for Determining the Temperature State of a Cylinder at the Heat Treatment with Incomplete Initial Data 54

Control in Social and Economic Systems

BARKALOV S.A., BURKOV V.N., KHODUNOV A.M. Maximization Problems the Volume of Performed Works in Project Management 66

PAVLOVICH T.V., DRON E.A., KULIKOV G.G. Implementation of Corporate Information Systems to Achieve Strategic Goals of Industrial Enterprises 77

DRANKO O.I., LOGINOVSKIY O.V. Technology Express Analysis of Large Massives of Data on Reversible Assets of Industrial Enterprises 86

KUTYSHKIN A.V., ORLOVA D.S. Diagnostics of the Sustainable Development of Regional Socio-Economic Systems on the Example of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra 103

AVERINA T.A., BARTENEVA A.A., PEREVALOVA O.S. Directions of Social Entrepreneurship Development in the Region 117

Automated Process Control Systems

KAZARINOV L.S., KHASANOV Dzh.R. Selection of Solutions for the Operational Neurocontrol of the Mixture Grinding Process in Cement Production 128

Brief Reports

KLEPIKOV M.O. Formation of Modern Algorithm of Territorial Development Management 139

KULIKOV G.G., KULBAEV B.R. System Model of Monitoring and Diagnostics Fire Protection of Aircraft Powerplant 145

HOLLAY A.V. Need of Developing Information Systems of Managing a Technology Lifecycle of Industrial Enterprises 153

MAZUROV Vl.D., POLYAKOVA E.Yu. Experience of Multi-Layer Neural Network Application for Empirical Regularities Identification 160

ZATONSKIY A.V., MIKHALEV P.V. Design of Imitating Model of Mining Mashine 166

ZAKHAROV V.V. Tasks Solved in the Analysis of the Enterprise's Labor Resources 175

Информатика и вычислительная техника

УДК 004.855 **DOI: 10.14529/ctcr190201**

СЕМАНТИЧЕСКИЙ ПОИСК УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН ПОД ТРЕБОВАНИЯ РЫНКА ТРУДА НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ЯЗЫКА

Д.С. Ботов, Ю.В. Дмитрин, Ю.Д. Кленин

Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

В условиях роста объема открытого образовательного контента, повышения требований к профессиональному образованию со стороны рынка труда, развития концепции обучения в течение всей жизни (Lifelong Learning) сегодня крайне актуальной является задача регулярного обновления содержания образовательных программ и отдельных дисциплин. В статье рассматривается метод семантического поиска образовательного контента под заданные требования рынка труда, определяемые профессиональными стандартами. В отличие от традиционных подходов сопоставления и анализа содержания образовательных программ, основанных на онтологических моделях и правилах, предлагается использовать подход к распределенному представлению слов (word embeddings) с помощью известных нейросетевых моделей языка word2vec и fastText. В качестве исходных запросов выступают фрагменты профессиональных стандартов – конкретные требования к знаниям, умениям и описания трудовых действий и трудовых функций, а в качестве искомых документов – описания учебных дисциплин и онлайн-курсов, включающие аннотацию, результаты обучения, структуру и содержание основных тем. Приводятся данные экспертной оценки качества ранжирования по метрике NDCG (Normalized Discounted Cumulative Gain) и точности семантического поиска по метрике MAP (Mean Average Precision) на представительном корпусе программ учебных дисциплин вузов по ИТ-направлениям и массовых открытых онлайн-курсов. Лучшие результаты для поиска показывают модели word2vec и fastText, обучаемые без учителя на больших специально подготовленных корпусах текстов программ учебных дисциплин и описаний онлайн-курсов. Для перехода от векторов слов к векторам текстов исследуются разные способы усреднения векторов слов, полученных от нейросетевых моделей, в сочетании с векторной моделью TF-IDF.

Ключевые слова: семантический поиск, семантическая близость, дистрибутивная семантика, word2vec, fastText, учебная дисциплина, массовые открытые онлайн-курсы, рынок труда.

Введение

В современном мире наблюдается стремительный рост количества образовательных программ и массовых открытых онлайн-курсов (Massive Open Online Courses). С одновременным увеличением доступного открытого образовательного контента происходит обновление образовательных и профессиональных стандартов, которое отражает постоянное изменение требований к выпускникам, предъявляемых региональным рынком труда. С учетом новых приоритетов развития цифровой экономики все более значимой становится проблема качества содержательного контента и актуальности образовательных программ, необходимость построения индивидуальных образовательных траекторий обучающихся с использованием информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) с целью сокращения разрыва между профессиональным образованием и потребностями динамично развивающихся отраслей цифровой экономики.

Актуальность темы исследования подтверждается и развитием законодательства РФ. В тексте Федерального закона [1] в статье 96 «О профессионально-общественной аккредитации образовательных программ» явно указано требование соответствия качества и уровня подготовки выпускников, освоивших образовательные программы, требованиям профессиональных стандартов и требованиям рынка труда. В Федеральном законе от 3 июля 2016 г. [2] явно прописана проце-

дура подтверждения соответствия квалификации работника положениям профессионального стандарта.

Одновременно с этим завершается переход к компетентностно-ориентированной модели профессионального образования. Крайне важное значение при проектировании образовательных программ имеет грамотное определение профессиональных компетенций и актуальных результатов обучения, которые в новых редакциях Федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС ВО 3++) определяются образовательной организацией самостоятельно, исходя из требований профессиональных стандартов.

Можно сделать вывод об актуальности задачи навигации в пространстве образовательного контента и его сопоставления и актуализации под требования рынка труда, определяемых профессиональными стандартами и работодателями.

1. Обзор подходов к семантическому поиску образовательного контента и требований рынка труда

Методы анализа образовательных программ на основе онтологических подходов и эвристических алгоритмов для сопоставления целей и содержания образования и принятия решений при разработке образовательных программ и управления индивидуальными образовательными траекториями представлены в работах [3–5].

Основная сложность использования данных подходов на практике заключается в необходимости постоянного привлечения представительного состава экспертов для методов с использованием экспертных оценок, решении крайне трудоемких задач формирования и поддержки в актуальном состоянии онтологий, систем правил логического вывода и прецедентов для каждой из предметных областей направлений подготовки образовательных программ. Кроме того, с помощью данных моделей и методов невозможно гибко учесть региональные особенности и постоянно изменяющиеся потребности рынка труда.

Несоответствие между традиционным компетентностным описанием выпускника и конкретными, постоянно изменяющимися требованиями реального рынка труда отмечается авторами проекта по созданию системы мониторинга потребностей рынка труда [6]. В своей работе они предлагают определять соответствие содержания образовательных программ выявленным потребностям рынка труда на основе известной нейросетевой модели word2vec [7], реализующей идею дистрибутивной семантики. Авторами также предлагается идея прогнозирования изменений потребностей рынка труда.

Работа [8] посвящена созданию инструмента поиска образовательного контента – курсов с различных МООС-платформ. В основе лежит преобразование текстов программ курсов в набор составляющих их концептов. Сам поиск работает в два этапа: поиск концептов по ключевому слову; поиск курсов, ближайших к выбранному концепту. Авторами приводятся результаты анкетирования пользователей, показывающих положительную оценку качества работы системы, однако более конкретные количественные показатели качества работы системы не приведены.

Авторы настоящего исследования в работе [9] исследовали применимость различных методов векторного представления текста, тематического моделирования и нейросетевых моделей языка для семантического поиска онлайн-курсов под заданную программу учебной дисциплины. В рамках данной задачи лучшие результаты при экспертной оценке точности поиска показали классическая векторная модель TF-IDF и модель усредненного word2vec со взвешиванием слов по IDF.

В данной работе предлагается определить оптимальный метод поиска и модель языка для задачи семантического сопоставления онлайн-курсов, программ дисциплин университетов с требованиями рынка труда, представленными в профессиональных стандартах. Специфической особенностью поиска является существенное различие лексики описания программ учебных курсов и ограниченной лексики профессиональных стандартов, а также расширенной профессиональной лексики текстов вакансий в системах онлайн-рекрутмента.

2. Метод семантического поиска учебных курсов и требований рынка труда

Для поиска релевантного образовательного контента предлагается использовать следующую информацию, извлекаемую из рабочих программ дисциплин и описаний онлайн-курсов на русском языке:

- название дисциплины;
- цели и задачи дисциплины;
- результаты обучения;
- содержание дисциплины (перечень разделов и тем с описанием их содержания).

Общая схема метода представлена на рис. 1.

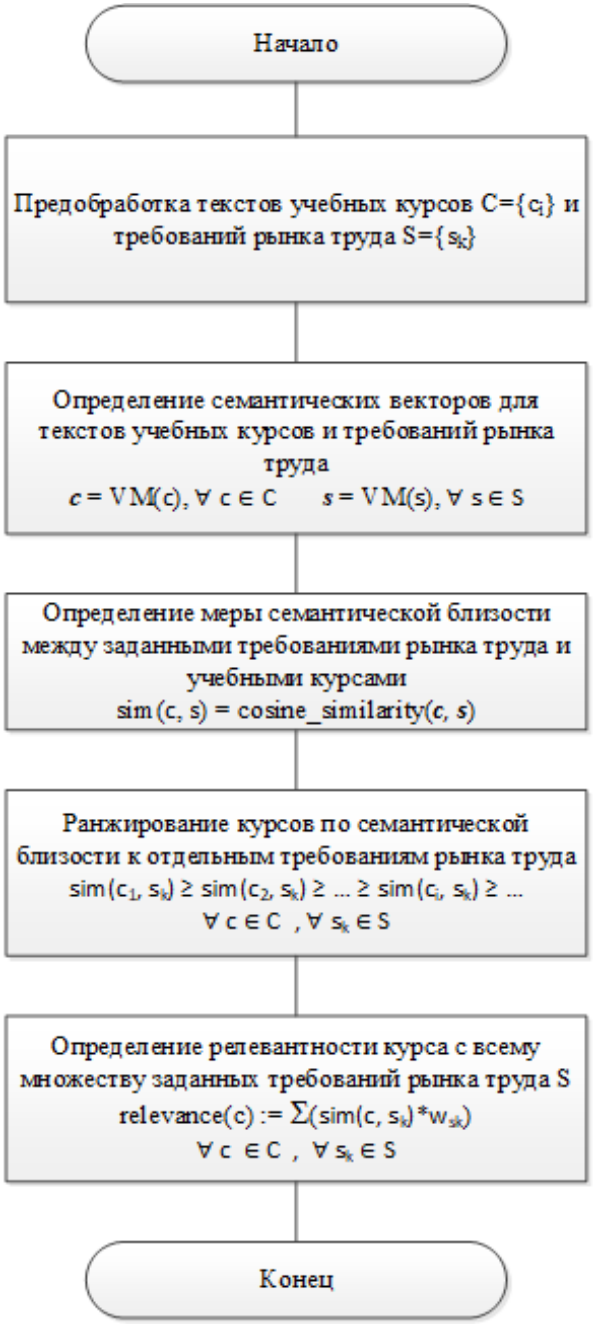


Рис. 1. Схема метода семантического поиска курсов с требованиями рынка труда

В качестве поисковых запросов выступают описания трудовых функций, извлекаемые из текстов профессиональных стандартов, а также отдельные элементы описания функций: трудовые действия, требования к знаниям/умениям.

На первом этапе полученные тексты учебных дисциплин и профессиональных стандартов проходят традиционную для задач обработки естественного языка предобработку по следующим принципам:

1. Токенизация текста.

2. Очистка от всех символов, не являющихся буквами, цифрами, знаками пробела или некоторыми спецсимволами.

3. Лемматизация (используется библиотека pymorphy2).

4. Удаление стоп-слов и служебных частей речи (союзов, предлогов и местоимений).

На втором этапе происходит векторизация текстов – учебных курсов и запросов из требований профессиональных стандартов с использованием одной из моделей векторного представления текстов, их подробное описание приводится в следующем разделе. Затем выполняется сопоставление запросов с каждым из документов из текстовой коллекции учебных дисциплин и онлайн-курсов. В ходе сопоставления определяется косинусная мера между векторами запроса и документа из коллекции – традиционная мера семантической близости в задачах поиска. На основе полученных значений мер семантической близости производится ранжирование и формирование поисковой выдачи под отдельный запрос – конкретное требование профессионального стандарта.

На последнем этапе результаты поиска для отдельных запросов могут быть объединены путем суммирования мер семантической близости для каждого из релевантных документов по отношению ко всем запросам. При этом эксперт или интеллектуальная система поддержки принятия решений может задать различные веса – степень важности для отдельных требований профстандарта. Это позволяет гибко определять итоговый набор учебных дисциплин и онлайн-курсов, подходящих под комплекс заданных требований на уровне всего профстандарта или ограниченных определенными уровнями квалификации.

3. Векторные модели (статистические и нейросетевые модели языка)

В данном разделе описываются основные векторные модели языка, которые могут использоваться в предлагаемом методе семантического поиска.

3.1. TF-IDF

TF-IDF – это классическая схема взвешивания важности слов в коллекции документов. Данный алгоритм состоит из двух компонентов: TF (term frequency, частота термина) – это мера, считающая слова тем важнее, чем чаще они встречаются в коллекции; IDF (inverse document frequency, обратная документная частота) – мера, дающая больший вес тем словам, которые встречаются в меньшем числе документов. Комбинация этих двух схем взвешивания позволяет учитывать важность и релевантность каждого слова по отношению к коллекции документов, при этом снижая влияние общеупотребимой лексики и стоп-слов.

Векторное представление каждого слова в данной модели – это вектор с размерностью в количество уникальных слов в словаре коллекции, с единственным ненулевым измерением, соответствующим уникальному идентификатору этого слова в словаре и равным TF-IDF весу этого слова. Векторы документов же получаются путем сложения векторов всех слов этого документа.

3.2. Word2vec

Word2vec [7] – нейросетевая языковая модель, основывающаяся на неглубокой нейронной сети с одним скрытым слоем. Задачей обучения для этой сети ставится сопоставление слов их контекстам, т. е. определение наиболее вероятного слова по его контексту и наиболее вероятного контекста по заданному слову. В процессе оптимизации по этой задаче нейронная сеть обучается сопоставлять словам в тексте векторные представления – так называемые IN-представления для входящих слов и OUT-представления для выходящих. Как правило, после обучения используются только матрица IN, однако практика показывает [10], что в то время как косинусная близость для векторов IN-IN (оба вектора из IN-представления) выше для функционально близких слов, косинусная близость для IN-OUT векторов выше для слов, которые часто совместно употребляются. В наших экспериментах мы исследуем оба варианта векторного представления.

Для получения векторного представления всего документа, как правило, производится усреднение векторов входящих в документ слов, иногда с учетом индивидуального веса каждого слова (например, по IDF [11]).

Также в текущем исследовании рассматривается и вариант расширения исходного поискового запроса наиболее близкими словами по модели word2vec с дальнейшим формированием вектора расширенного запроса на основе TF-IDF.

3.3. Paragraph2vec

Paragraph2vec [12], также известный как doc2vec, – это развитие модели word2vec, стремящееся к созданию векторов документов таким же образом, как и вектора слов. Для этого в архитектуру нейронной сети вносится изменение: помимо векторов слов, употребляющихся совместно с целевым словом, контекстом также считается и сам документ, представляемый собственным вектором, попадающим в то же пространство, что и отдельные слова. Ранее в работе [9] данная модель показала довольно низкие результаты при оценке качества поиска образовательного контента, поэтому в нашем исследовании ее качество не оценивается.

3.4. FastText

FastText [13] является алгоритмом, схожим с word2vec, однако с одним ключевым отличием: word2vec воспринимает каждый элемент последовательности токенов (слово, число, символ) как отдельную неделимую сущность, не имеющую внутренней структуры, тогда как fastText учитывает тот факт, что слова имеют внутренние взаимосвязанные компоненты. Различные слова, соответственно, могут быть связаны синтаксически или семантически, если они имеют одни и те же компоненты (например, однокоренные слова). Данная модель может более эффективно решать задачи семантической близости в сравнении с word2vec особенно для флективных языков, к которым относится и русский язык.

Таким образом, fastText использует отдельные символьные n-граммы в качестве элементов текста, обучаясь сопоставлять каждый n-грамм с некоторым векторным представлением, генерируя векторные представления целых слов, исходя из векторов входящих в них символьных n-граммов.

4. Описание текстовых корпусов для векторных моделей

В табл. 1 представлены характеристики основных текстовых корпусов, используемых в данном исследовании. Корпуса используются как для обучения нейросетевых моделей word2vec и fastText, так и в качестве коллекции документов, в которой производится поиск.

Таблица 1

Характеристики текстовых корпусов учебных курсов

Корпус	Число источников	Число документов (учебных курсов)	Число токенов	Число уникальных токенов (словарь)
Корпус курсов из МООС-платформ	4 МООС-платформы	2051	249 тыс.	14 тыс.
Корпус рабочих программ дисциплин	10 университетов	976	351 тыс.	16 тыс.
Общее количество	14 источников	3027	600 тыс.	23 тыс.

В табл. 2 представлены детальные данные по МООС-платформам и корпусу рабочих программ дисциплин (РПД), собранные с сайтов 10 крупных российских вузов по направлениям подготовки, связанным с информационными технологиями.

Таблица 2

Детализация корпусов онлайн-курсов и учебных дисциплин

	Stepik	OpenEDU	Coursera	Intuit	РПД
Число документов	554	315	275	907	976
Количество токенов	39 394	93 866	39 669	75 942	351 459
Количество уникальных токенов	6098	6574	6113	6693	15 688
Средняя длина документа	71	297	144	83	360

5. Эксперимент по оценке качества семантического поиска

Для экспериментов в качестве поисковых запросов использовались формулировки трудовых функций, а также отдельных трудовых действий и требований к знаниям и умениям из трех профессиональных стандартов: «Программист», «Системный администратор информационно-коммуникационных систем», «Специалист по информационным системам».

Общее число различных поисковых запросов: 78.

К оценке качества поиска были привлечены эксперты-работодатели, преподающие в вузах профильные дисциплины, связанные с указанными профессиями. Эксперты оценивали релевантность результатов поиска для каждой из моделей по шкале от 1 до 5. После разметки несогласованные оценки экспертов были либо удалены, либо коллегиально пересмотрены.

Для оценки качества использовались традиционные метрики для информационного поиска: Mean average precision (MAP) и Normalized Discounted Cumulative Gain (nDCG).

В табл. 3 приведены параметры обучения для используемых нейросетевых моделей, показавшие лучшие результаты в поиске. Нейросетевые модели были обучены на исходном текстовом корпусе учебных курсов с использованием предобработки текста, описанной выше в методе. Модели, которые были обучены на открытых интернет-корпусах (НКРЯ, Википедиа, Araneum), показывают себя в задаче семантического поиска курсов существенно хуже и в итоговой оценке качества не приводятся.

Таблица 3

Параметры нейросетевых моделей языка (показавших лучшие результаты)

Модель	Архитектура	Размерность	Min частота встречи слова	Эпохи
Word2vec	CBOW	300	3	50
FastText	CBOW	300	3	50

Модель TF-IDF – expansion w2v реализует концепцию расширения исходного короткого запроса из 8–12 слов описания требования профстандарта близкими словами по модели word2vec. Лучшим для этой модели себя показал вариант с расширением каждого слова 3 ближайшими словами.

В табл. 4 представлены результаты оценки точности поиска на глубину выдачи – 1, 5 и 10, а также приведены результаты для двух границ релевантности результатов по оценке экспертов: 2,5 и 3,5. Лучшие результаты показывает модель усредненного word2vec. Стоит отметить, что для более точного поиска по релевантности с 3,5 результаты модели fastText приближаются по качеству к word2vec. Нейросетевые модели с применением сопоставления IN-OUT матриц при расчете семантической близости показывают себя хуже в этой задаче во всех случаях. Модель TF-IDF с расширением запроса по word2vec для поисковой выдачи глубины 5 и 10 показывает лучшие результаты, чем исходная модель TF-IDF без модификации запроса.

Таблица 4

Результаты эксперимента по оценке точности семантического поиска курсов

Модель	Relevance ≥ 2,5			Relevance ≥ 3,5		
	MAP@1	MAP@5	MAP@10	MAP@1	MAP@5	MAP@10
TF_IDF	0,903	0,752	0,660	**0,801**	0,607	0,518
TF-IDF – expansion w2v	0,830	0,768	0,699	0,667	0,618	0,521
Avg. Word2Vec	**0,907**	**0,865**	**0,836**	0,702	**0,647**	**0,616**
Avg Word2vec (IN-OUT)	0,930	0,825	0,749	0,733	0,631	0,542
Avg. Word2Vec – TF-IDF	0,867	0,816	0,789	0,667	0,593	0,562
Avg. Word2Vec – TF-IDF (IN-OUT)	0,833	0,773	0,736	0,733	0,620	0,572
Avg. FastText	0,867	0,811	0,804	0,733	**0,642**	**0,593**
Avg. FastText (IN-OUT)	0,759	0,643	0,604	0,586	0,498	0,448

На рис. 2 показана оценка точности поиска по метрике MAP для глубины выдачи 5 (MAP@5) для разного порога релевантности курсов – от 1,5 до самого точного варианта поиска с оценкой экспертов выше 4,5.

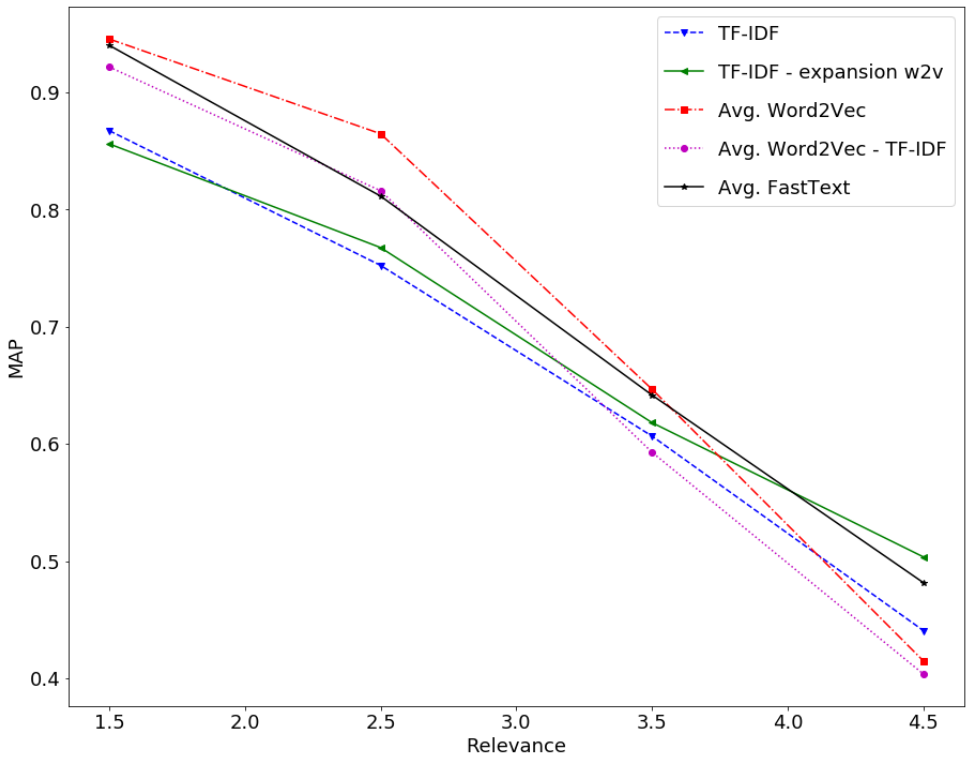


Рис. 2. Оценка качества точности поиска (MAP) векторных моделей при разном значении порога релевантности результатов (от 1,5 до 4,5)

Для самых высоких порогов релевантности лучше всего себя показывает TF-IDF с расширением запроса по word2vec. Кроме этого, можно заметить, что качество модели FastText снижается гораздо медленнее при повышении порога релевантности, чем качество моделей Word2vec. Это делает модель FastText более предпочтительной при высоких требованиях к точности поиска, когда мы ожидаем в качестве результатов более узкие предметные учебные курсы, максимально близкие к исходному запросу – требованию профстандарта, а не более широкие базовые профессиональные курсы, покрывающие требование лишь частично.

В табл. 5 приведены результаты оценки качества ранжирования по метрике nDCG. Лучшие результаты демонстрирует модель FastText, что еще раз свидетельствует об устойчивости модели к поиску более узких предметных курсов, максимально полно отвечающих исходному запросу рынка труда.

Таблица 5

Результаты эксперимента по оценке качества ранжирования (метрика nDCG) семантического поиска курсов

Модель	nDCG@3	nDCG@5	nDCG@10
TF_IDF	0,742	0,729	0,757
TF-IDF – expansion w2v	0,716	0,719	0,733
Avg. Word2Vec	0,685	0,702	0,746
Avg Word2vec (IN-OUT)	0,683	0,709	0,724
Avg. Word2Vec – TF-IDF	0,643	0,677	0,717
Avg. Word2Vec–TF-IDF (IN-OUT)	0,647	0,663	0,726
Avg. FastText	**0,771**	**0,778**	**0,811**
Avg. FastText (IN-OUT)	0,593	0,606	0,689

В табл. 6 приведен пример поисковой выдачи для иллюстрации практического применения подхода объединения запросов с требованиями профстандарта при поиске учебных курсов для одной профессии «Программист» по суммарной семантической близости на основе нейросетевой модели FastText как последний шаг предлагаемого метода семантического поиска программ дисциплин с требованиями рынка труда.

Таблица 6

Пример поисковой выдачи: Топ-10 учебных дисциплин, проранжированных по релевантности по суммарной семантической близости к требованиям профессионального стандарта «Программист»

№	Название учебной дисциплины	Σ(sim)
1	Программная инженерия	3,0026
2	Тестирование и отладка программного обеспечения	2,6837
3	Технологии разработки программного продукта	2,4050
4	Проектирование программных систем	2,3993
5	Технологии разработки программного обеспечения	2,3532
6	Верификация и аттестация программного обеспечения	2,3300
7	Методы тестирования программного обеспечения	2,3129
8	Технологии разработки программного обеспечения для мобильных устройств	1,7825
9	Введение в генерацию программного кода	1,7017
10	Анализ требований к программному обеспечению	1,3147

Заключение

В данной работе предложен метод семантического поиска учебных дисциплин и онлайн-курсов под заданные требования профессиональных стандартов. Проведена экспериментальная оценка качества нейросетевых моделей word2vec и fastText в сравнении со статистической векторной моделью TF-IDF. Модели усредненного word2vec и fastText показали лучшие результаты по точности поиска по метрике MAP, при этом модель fastText также обеспечивает лучшее качество ранжирования выдачи по метрике nDCG.

В качестве дальнейших шагов исследования предлагается применить модели тематического моделирования (PLSA, LDA) с аддитивной регуляризацией для предварительного сужения пространства поиска (коллекции курсов) под заданные требования определенных профессиональных стандартов, что позволит повысить качество поиска на большую глубину выдачи и заранее отсечь курсы, которые нерелевантны для определенной профессиональной области. Также предлагается реализовать оценку важности со стороны работодателей тех или иных требований профстандартов путем семантического анализа текстов вакансий в системах онлайн-рекрутмента на основе нейросетевых моделей языка.

Исследование выполняется при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта № 18-47-860013 р_а «Интеллектуальная система формирования образовательных программ на основе нейросетевых моделей естественного языка с учетом потребностей цифровой экономики Ханты-Мансийского автономного округа – Югры» (договор № 18-47-860013\18).

Литература

1. Федеральный закон от 29 декабря 2012 г. N 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации. – http://ivo.garant.ru/#/document/70291362/ (дата обращения: 26 декабря 2018).

2. Федеральный закон от 3 июля 2016 г. N 238-ФЗ «О независимой оценке квалификации». – http://ivo.garant.ru/#/document/71433946/ (дата обращения: 26 декабря 2018).

3. Сметанина, О.Н. Методологические основы управления образовательным маршрутом с использованием интеллектуальной информационной поддержки / О.Н. Сметанина. – УГАТУ, 2012. 446 с.

4. Лисицына, Л.С. Автоматизация управления образовательными траекториями для разработки модульных компетентностно-ориентированных образовательных программ вуза / Л.С. Лисицына, А.С. Пирская // Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Информационные технологии в обеспечении нового качества высшего образования». – М., 2010. – С. 75–86.

5. Черникова, Е.А. Формализация и сравнение учебных программ на основе онтологического подхода / Е.А. Черникова, А.С. Черников // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». Спецвыпуск «Информационные технологии и компьютерные системы». – 2011. – С. 101–104.

6. Мониторинг соответствия профессионального образования потребностям рынка труда / С.Д. Валентей, П.В. Зрелов, В.В. Кореньков и др. // Общественные науки и современность. – 2018. – № 3. – С. 5–16.

7. Efficient estimation of word representations in vector space / T. Mikolov, K. Chen, G. Corrado, J. Dean. – arXiv preprint arXiv:1301.3781, 2013.

8. Architecture of a concept-based information retrieval system for educational resources / R. Pérez-Rodríguez, L. Anido-Rifón, M. Gómez-Carballa, M. Mouriño-García // Science of Computer Programming. – 2016, no. 129. – P. 72–91. DOI: 10.1016/j.scico.2016.05.005

9. Klenin, J. Comparison of Vector Space Representations of Documents for the Task of Information Retrieval of Massive Open Online Courses / J. Klenin, D. Botov, Y. Dmitrin // Proceedings Conference on Artificial Intelligence and Natural Language. – Cham: Springer, 2017. – P. 156–164. DOI: 10.1007/978-3-319-71746-3_14

10. Improving document ranking with dual word embeddings / E. Nalisnick, B. Mitra, N. Craswell, R. Caruana // Proceedings of the 25th International Conference Companion on World Wide Web. – International World Wide Web Conferences Steering Committee, 2016. – P. 83–84. DOI: 10.1145/2872518.2889361

11. Lilleberg, J. Support vector machines and word2vec for text classification with semantic features / J. Lilleberg, Y. Zhu, Y. Zhang // Proceedings of International Conference on Cognitive Informatics & Cognitive Computing (ICCI CC), 2015 IEEE 14th. – 2015. – P. 136–140. DOI: 10.1109/ICCI-CC.2015.7259377*

12. Le, Q. Distributed representations of sentences and documents / Q. Le, T. Mikolov // Proceedings of International Conference on Machine Learning. – 2014. – P. 1188–1196.

13. Enriching word vectors with subword information / P. Bojanowski, E. Grave, A. Joulin, T. Mikolov. – arXiv preprint arXiv:1607.04606, 2016. DOI: 10.1162/tacl_a_00051

Ботов Дмитрий Сергеевич, старший преподаватель кафедры информационных технологий и экономической информатики, Челябинский государственный университет, г. Челябинск; dmbotov@gmail.com.

Дмитрин Юрий Владиславович, аспирант кафедры информационных технологий и экономической информатики, Челябинский государственный университет, г. Челябинск; dmitrinyuri@gmail.com.

Кленин Юлий Дмитриевич, аспирант кафедры информационных технологий и экономической информатики, Челябинский государственный университет, г. Челябинск; jklen@yandex.ru.

Поступила в редакцию 20 декабря 2018 г.

DOI: 10.14529/ctcr190201

NEURAL NETWORK-BASED SEMANTIC SEARCH OF EDUCATIONAL PROGRAMMES FITTING LABOR MARKET REQUIREMENTS

D.S. Botov, *dmbotov@gmail.com,*
Yu.V. Dmitrin, *dmitrinyuri@gmail.com,*
Yu.D. Klenin, *jklen@yandex.ru*
Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russian Federation

With the growth of open educational content, growing demand for professional education from the labor market, and the development of the concept of lifelong learning, the task of updating the content of educational programs today is extremely important. The article discusses the semantic search method to retrieval and ranking of educational content for the specified requirements of the labor market, determined by professional standards. In contrast to traditional approaches of matching and analyzing the content of educational programs based on ontological models and rules, we propose the usage of word embedding and well-known neural network language models word2vec and fastText. The initial requests are specific requirements for knowledge, skills and descriptions of labor activities and labor functions extracted from professional standards. The search results are the descriptions of academic disciplines and online courses, including goals and objectives, learning outcomes, the structure and content of the main topics. We include the results of the expert evaluation of the ranking quality for the semantic search by metrics NDCG (Normalized Discounted Cumulative Gain) and MAP (Mean Average Precision) on the representative corpus of IT disciplines programmes of universities and massive open online courses (MOOC). The best results for the search are shown by the word2vec and fastText models, which are trained without supervision on large specially prepared corpuses of curriculum programs and descriptions of online courses. To move from word vectors to document vectors various combinations of neural network models with the TF-IDF weighting scheme are investigated.

Keywords: semantic search, semantic similarity, distributional semantic, word2vec, fastText, academic discipline, massive open online courses, labor market.

References

1. *Federal'nyy zakon ot 29 dekabrya 2012 g. N 273-FZ "Ob obrazovanii v Rossiyskoy Federatsii"* [Federal Law of December 29, 2012 No. 273-FZ "About Education in the Russian Federation"]. Available at: http://ivo.garant.ru/#/document/70291362/ (accessed 26 December 2018).

2. *Federal'nyy zakon ot 3 iyulya 2016 g. N 238-FZ "O nezavisimoy otsenke kvalifikatsii"* [Federal Law of July 3, 2016 No. 238-FZ "About Independent Assessment of Qualifications"]. Available at: http://ivo.garant.ru/#/document/71433946/ (accessed 26 December 2018).

3. Smetanina O.N. *Metodologicheskie osnovy upravleniya obrazovatel'nym marshrutom s ispol'zovaniem intellektual'noy informatsionnoy podderzhki* [Methodological Basis of Educational Route Management Using Intellectual Information Support]. USATU Publ., 2012. 446 p.

4. Lisitsyna L.S., Pirskaya A.S. [Automation of Management of Educational Trajectories for the Development of Modular Competence-Oriented Educational Programs of the University]. *Sbornik trudov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Informacionnye tekhnologii v obespechenii novogo kachestva vysshego obrazovaniya"*. [In Proc. of the All-Russian Scientific-Practical Conference with International Participation "Information Technology in Providing a New Quality of Higher Education"]. Moscow, 2010, pp. 75–86. (in Russ.)

5. Chernikova E.A., Chernikov A.S. [Formalization and Comparison of Curricula Based on the Ontological Approach]. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Instrument Engineering. Special Edition "Information Technology and Computer Systems"*, 2011, pp. 101–104. (in Russ.)

6. Valentey S.D., Zrelov P.V., Korenkov V.V., Belov S.D., Kadochnikov I.S. [Monitoring Matching of Professional Education and Labor Market Requirements]. *Social Sciences and Modernity*, 2018, no. 3, pp. 5–16. (in Russ.)

7. Mikolov T., Chen K., Corrado G., Dean J. Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space. *arXiv preprint arXiv:1301.3781*, 2013.

8. Pérez-Rodríguez R., Anido-Rifón L., Gómez-Carballa M., Mouriño-García M. Architecture of a Concept-Based Information Retrieval System for Educational Resources. *Science of Computer Programming*, 2016, no. 129, pp. 72–91. DOI: 10.1016/j.scico.2016.05.005

9. Klenin J., Botov D., Dmitrin Y. Comparison of Vector Space Representations of Documents for the Task of Information Retrieval of Massive Open Online Courses. *Proceedings Conference on Artificial Intelligence and Natural Language*, Springer, Cham, 2017, pp. 156–164. DOI: 10.1007/978-3-319-71746-3_14

10. Nalisnick E., Mitra B., Craswell N., Caruana R. Improving Document Ranking with Dual Word Embeddings. *Proceedings of the 25th International Conference Companion on World Wide Web*, International World Wide Web Conferences Steering Committee, 2016, pp. 83–84. DOI: 10.1145/2872518.2889361

11. Lilleberg J., Zhu Y., Zhang Y. Support Vector Machines and Word2vec for Text Classification with Semantic Features. *Proceedings of International Conference on Cognitive Informatics & Cognitive Computing (ICCI* CC), 2015 IEEE 14th*, 2015. pp. 136–140. DOI: 10.1109/ICCI-CC.2015.7259377

12. Le Q., Mikolov T. Distributed Representations of Sentences and Documents. *Proceedings of International Conference on Machine Learning*, 2014, pp. 1188–1196.

13. Bojanowski P., Grave E., Joulin A., Mikolov T. Enriching Word Vectors with Subword Information. *arXiv preprint arXiv:1607.04606*, 2016. DOI: 10.1162/tacl_a_00051

Received 20 December 2018

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Ботов, Д.С. Семантический поиск учебных дисциплин под требования рынка труда на основе нейросетевых моделей языка / Д.С. Ботов, Ю.В. Дмитрин, Ю.Д. Кленин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 5–15. DOI: 10.14529/ctcr190201

FOR CITATION

Botov D.S., Dmitrin Yu.V., Klenin Yu.D. Neural Network-Based Semantic Search of Educational Programmes Fitting Labor Market Requirements. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 5–15. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr190201

Управление в технических системах

DOI: 10.14529/ctcr190202

TO THE PROBLEM OF IMPROVE POSITIONING PRECISION OF ROBOTIC MANIPULATOR UNDER CONDITIONS OF INCOMPLETE INFORMATION

V.I. Shiryaev, *shiriaevvi@susu.ru,*
V.P. Shcherbakov, *shcherbakovvp@susu.ru,*
A.A. Bragina, *braginaaa@susu.ru*
South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The control algorithm of robotic manipulator (RM) movement along the program trajectory by the method of Lyapunov function is obtained. The method uses the decomposition of original multiply-connected nonlinear system into subsystems and realizes the possibility of decentralized control of each of moving RM links. The control signal is formed taking into account the dynamics of RM mechanical system and electric drives. When constructing the control system, the coefficients of nonlinear system dynamics equations a constructed in the form of the Lagrange – Maxwell equations are calculated. The control for the initial nonlinear system is obtained explicitly. The stability of dynamical system in entire phase space and its dissipativity in region of phase space are investigated with a significant influence of disturbing moments in operating conditions. To compensate for them, an adaptive signal-type additive has been introduced into the control law, which ensures system performance at significant rates of change in power moments on the output shafts of drives. The influence of measurement errors of RM state vector on the formation of control is taken into account.

In the Acsocad software according to the mathematical model of RM link, a block diagram is made up with subsystems of gradient tuning and signal adjustment. The movement of one link along the program trajectory is considered. To take into account the influence of measurement noise on the values of current, speed and position, blocks with adding a random signal having a normal distribution are added to system. Simulation was performed in the absence and influence of noise on measurements both at constant values of adjustable coefficients, and using the coefficient gradient tuning method. Constructed curves of coefficients optimal values to obtain the minimum deviation value from the program trajectory. The efficiency of using the gradient tuning and signal adjustment methods when RM is moving in conditions of incomplete information is shown.

Keywords: control, nonlinear systems, Lyapunov functions, bounded disturbances, uncertainty, dissipativity, limiting set estimation, stability.

Introduction

A manipulation robot is a mechanical system whose dynamics is described by Lagrange's differential equations. The main difficulties encountered in solving problems of controlling such a mechanical system are due to its high order, non-linearity and the presence of dynamic interaction between various degrees of freedom. In the study of nonlinear continuous and discrete control systems, the main method of analysis with the use of complete models of dynamics is the method of Lyapunov function. It is also used to study the dissipativity of systems when the values of the constant parameters of the system are uncertain. At the same time the main objective is to choose a Lyapunov function that would allow to conduct the analysis effectively enough [1–3]. When solving the problem of synthesis of the control moments of robot manipulator (RM) by this method, a function that reflects the change in the total energy of the dynamic system can be chosen as a Lyapunov function that allows to study the behavior of the phase trajectories of the system in the entire phase space. With this approach, the Lyapunov function is selected from the first integrals of the motion of the system. Along with the task of constructing a model when managing a dynamic system, the task of measuring the state vector of a system with limited noise, which considered in [4–20], is important.

1. Formulation of the problem

The object of the study is a three-link robot manipulator with electric drives, the full model of which dynamics is constructed in the form of Lagrange – Maxwell equations [16, 17] and according to the well-known rules [21] is reduced to a non-linear model by the form of the relationship between its input and output parameters, defined by the vector differential

$$\dot{\bar{x}} = F\left(\bar{x}, \bar{U}, \bar{v}\right), \tag{1}$$

where $U = \left(u_1, u_2, ..., u_n\right)^T$ are the input signals, and $x = \left(x_1, x_2, ..., x_n\right)^T$ are the output signals, which are determined ambiguously and depend on random factors $v = \left(v_1, v_2, ..., v_s\right)^T$, $s = 1, \ldots, 3n$.

The dynamic system (1) operates under uncertainty. Along with external disturbances, the quality of the control is also affected by the disturbances caused by errors in measuring the components of the state vector of the system.

The problem of tracking the points of a program trajectory with control actions constrained in magnitude is considered. The state vector of the RM $x_\lambda = \left(\eta_\lambda, \dot{\eta}_\lambda, I_{a\lambda}\right)^T$ is determined by manipulator generalized coordinates, given rotation angles η^λ, $\lambda = 1,2,3$ and angular velocities $\dot{\eta}_\lambda$ of the links of the RM, as well as generalized velocities of electric drives, that is the currents of motor armature windings $I_{a\lambda}$. Generalized coordinates and velocities are assumed to be measurable at any specific time. The points of the program trajectory are given by the generalized coordinates η°_λ and velocities $\dot{\eta}^\circ_\lambda$, $I^\circ_{a\lambda}$. The problem of the motion control of the RM at the point of the program trajectory $x^\circ = \left(\eta^\circ_\lambda, \dot{\eta}^\circ_\lambda, I^\circ_{a\lambda}\right)^T$ is set as the problem of return of a certain region from an arbitrary point due to deviation from the trajectory under the action of disturbances.

Perturbations $\Delta\eta^\lambda$, $\Delta\dot{\eta}^\lambda$, ΔI^λ_a are introduced as the difference between the current and program values of the phase vector coordinates. It is assumed that the generalized coordinates and velocities of the system are accessible to measurement, and the control forces are subject to restrictions on the norm.

The control is synthesized using the Lyapunov function method in the tensor form of the record, which removes the cumbersomeness of the given expressions.

The Lyapunov function V is constructed as a bundle of first integrals of the perturbed motion of the system.

$$V = J + \rho J_\lambda J_\lambda, \quad \lambda = 1,2,3,$$

where ρ is the positive constant,

$$J = \frac{1}{2} c_{\lambda\mu}\dot{\eta}^\lambda\dot{\eta}^\mu + \frac{1}{2}\left(L_{a\lambda\mu} - L_b^{\nu\gamma} M_{\lambda\gamma} M_{\nu\mu}\right)\Delta I^\lambda_a \Delta I^\mu_a + W_p(\Delta\eta), \quad \lambda,\mu,\gamma,\nu = 1,2,3, \tag{2}$$

$$J_\lambda = \left(L_{a\lambda\mu} - L_b^{\nu\gamma} M_{\gamma\mu} M_{\nu\lambda}\right) I_{a\mu} - \left(L_{a\lambda\mu} - L_b^{\nu\gamma} M^\circ_{\gamma\mu} M^\circ_{\nu\lambda}\right) I^\circ_{a\mu} + L_b^{\nu\gamma} n_\gamma \frac{\partial M_{\nu\lambda}}{\partial \eta_\beta}\Delta\eta_\beta, \quad \lambda,\mu,\gamma,\nu = 1,2,3, \tag{3}$$

$c_{\lambda\mu}$ is the manipulator metric tensor, $L_{a\lambda\mu}$, $L_{b\lambda\mu}$ are inductance tensors, $M_{\lambda\mu}$ is the tensor of mutual inductance of armature winding and stimulation of electric motors, $L_b^{\lambda\gamma}$ is calculated using the formula $L_{b\nu\lambda} L_b^{\lambda\gamma} = \delta^\gamma_\nu$, where δ^γ_ν denotes Kronecker symbol; $R_{\lambda\mu}$, $B_{\lambda\mu}$ are tensors, defining the dissipation of electromagnetic and mechanical energy of the system, accordingly, $W_p(\eta)$ is the manipulator potential energy.

Total derivative $\dot{V}$ of the function V in the force of the system (1), taking into account (2), (3), has the form

$$\dot{V} = -B_{\lambda\mu}\dot{\eta}^\lambda\dot{\eta}^\mu + \left(U_\lambda - R_{\lambda\mu} I^\mu_a\right)\left(\rho J_\lambda + \delta_{\lambda\mu}\Delta I^\mu_a\right),$$

operating on the degree of freedom λ, U_λ is the control restrained by limitation $U_\lambda \in R^S$, R^S is the restricted closed set given from the control resources.

Choosing the controls in the form of

$$U_\lambda = R_{\lambda\mu} I_a^\mu - \alpha\left(J_\lambda + \frac{1}{\rho}\delta_{\lambda\mu}\Delta I_a^\mu \right), \quad (4)$$

with positive constant α, we will obtain

$$\dot{V} = -B_{\lambda\mu}\dot{\eta}^\lambda\dot{\eta}^\mu - \rho\alpha\left(J_\lambda + \frac{1}{\rho}\delta_{\lambda\mu}\Delta I_a^\mu \right)^2.$$

The derivative $\dot{V}$ of the Lyapunov function is negative definite, and, consequently, the equilibrium position of the system is stable.

2. Parametrization of control law

The constructed control (4) contains two arbitrary parameters α and ρ. For their choice, we submit the control law in the form

$$U_\lambda = R_\lambda I_{a\lambda} + K^1_{\lambda\mu}\Delta I_a^\lambda + K^2_{\lambda\mu}\Delta\eta^\lambda, \quad \lambda,\mu = 1,2,3, \quad (5)$$

where the tensors $K^1_{\lambda\mu}$ and $K^2_{\lambda\mu}$, whose elements contain unknown parameters, are to be calculated and realized in the controller. Let us take the following objective function as a parameter choice criterion

$$Q = \frac{1}{2}\left(\Delta x_\lambda\right)^2,$$

where the vector of deviations $\Delta x_\lambda \in R^{n_\lambda} : \Delta x_\lambda = \left(\Delta I_a^\lambda, \Delta\eta^\lambda, \Delta\dot{\eta}^\lambda\right)^T$, $\lambda = 1,2,3.$

When minimizing the objective function with respect to the required parameters, we shall take the differential equations of the object as constraints in a simplified form: we assume that the RM is in a potential-free field, the mutual inductance factors are negligible, and its dynamics is described by a system of differential equations obtained from the system (1) by linearizing it in the position of the robotic arm with orthogonal arrangement of links. These constrains have the form

$\dot{\bar{x}} = A\bar{x} + B\bar{U} + C\bar{v}$.

In this equation A is a block matrix whose structure is determined by the metric tensor of the manipulator and the tensors of inductance and mutual inductance of the armature windings and excitation of drive electric motors, $\bar{U} = \left(u_1, u_2, u_3\right)^T$, $\bar{v} = \left(v_1, v_2, v_3\right)^T$ – disturbances, B, C – matrixes of the system.

Decentralized control (4) makes it easier to solve the problems of control by representing the initial nonlinear system in the form of three subsystems, each of which is subject to mutually uncorrelated disturbances. Given the small dimension of the subsystems, we obtain their equations linearized in the neighborhood of the points of the program trajectory

$\dot{x} = A_\lambda x + B_\lambda u + C_\lambda \nu$,

$$A_\lambda = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -D_\lambda / J_\lambda & C_M / J_\lambda \\ 0 & -C_E / L_\lambda & -R_\lambda / L_\lambda \end{pmatrix}, \quad B_\lambda = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1/L_\lambda \end{pmatrix}, \quad \lambda = 1,2,3,$$

where x, u, ν – are the vectors of the state, control, and disturbances, A_λ, B_λ are the matrices; C_M, C_E are the coefficients of proportionality of the torque and EMF resulting from the rotation of the motor armature; L_λ is the inductance of the armature winding; D_λ and R_λ are the coefficients of the viscous friction and the resistance of armature winding, respectively, which determine the dissipation of mechanical and electromagnetic energies, respectively; J_λ is the moment of inertia of the subsystem brought to the shaft of the electric motor.

When setting ratios the task of the subsystem is to find the minimum of the scalar function $Q = \frac{1}{2}\left(\Delta x_\lambda\right)^2, \lambda = 1,...,N,$ by the gain coefficient vectors k_λ. Rate of change of the objective function

$$\dot{Q}_\lambda = \left(\frac{\partial Q}{\partial k} \dot{k} \right)_\lambda \tag{6}$$

in the tuning process should be less than zero and as less as possible, thus ensuring the quickest descent in the direction of the minimum Q_λ. It follows from the (6) that a gradient tuning algorithm can be used to solve the minimization problem, which has the following form of the function under consideration

$$\dot{k}_\lambda = -\left(\Gamma \varphi^T \left(\Delta x \right)^T \right)_\lambda ,$$

where Γ_λ is the diagonal matrix of the coefficients of regulating loops.

3. Control under significant influence of disturbance torques

Among the main reasons for the deterioration of the quality of robot control are unpredictable changes in load moments at the output actuator shafts, the effect of viscous and dry friction forces, the elimination methods of which are difficult to implement, and the intensification of the destabilizing interference of subsystems. These phenomena are difficult to overcome using actuators with only linear feedback on the output variables of the subsystems, especially since the controller gains have design constrains. One of the means of compensation for disturbing factors are signal-type control algorithms that ensure the system's operability at significant rates of change in disturbing factors. The advantages of algorithms include the high speed of adaptive processes and ease of implementation, however, due to the limitation of input signals of electromechanical systems, the adaptability of algorithms is also limited. Accordingly, it is advisable to use them to control the object, when there are disturbing factors with a limited range of their variation and high speed.

Let us construct an algorithm for RM control under a significant influence of disturbance torques using the Lyapunov. We take into account the effect of the dry friction force moments $M_\lambda^{st} = k_{\lambda\mu}^{st} sign\left\{ \dot{\eta}_\mu \right\}$ in the elements of the mechanical transmissions of RM and the moment of forces opposing the movement of the operating element, caused by the work performed $M_\lambda^r = -k_{\lambda\mu}^r \dot{\eta}_\mu$, where $k_{\lambda\mu}^{st}$ and $k_{\lambda\mu}^r$ are the diagonal matrices of the coefficients of friction and resistance, respectively. We shall call a disturbance random torque caused by the impact of external factors, the emergence of which is inevitable in the operating process of manipulating equipment, as M_λ^{sl}. In the control synthesis, we shall assume that M_λ^{sl} is limited in value.

We shall add a relay component to the equation (5)

$$U_\lambda^\circ = U_\lambda + U_\lambda^{sp}, \tag{7}$$

where $U_\lambda^{sp} = -k_{\lambda\mu}^{sp} \left| \dot{\eta}_\mu \right| sign\left\{ J_\lambda + \frac{1}{\rho} \delta_\lambda^\mu \Delta I_{a\mu} \right\}$, $k_{\lambda\mu}^{sp}$ is a diagonal matrix, the positive elements of which are chosen based on the requirements imposed on the quality of control, control resources and magnitudes of the disturbance torques.

Evaluation of the stability of the movement of the RM in the management (7) gives inequality, which should be guided by the choice of coefficients, based on the condition $\dot{V} \le 0$:

$$\left| M_\mu^{sl} \dot{\eta}_\mu \right| \le \rho k_{\lambda\mu}^{sp} \left| \left(L_{a\lambda\mu} + \frac{1}{\rho} \delta_\lambda^\mu \right) \Delta I_{a\mu} + I_{b\nu} \frac{\partial M_{\nu\beta}}{\partial \eta_\lambda} \Delta \eta_\beta \right| \left| \dot{\eta}_\mu \right| .$$

4. Simulation of control law

The structural diagram of the second subsystem of RM is shown in Fig. 1. The presented model realizes the movement along the program trajectory, which determined by the expressions $\eta_\circ^1 = \eta_\circ^3 = 0$, $\eta_\circ^2 = 0.5 \sin 2t$. To obtain the measured values of current I_a^2, velocity $\dot{\eta}^2$ and position η^2, the Noise blocks that allow generating Gaussian noise, as well as FK units that perform signal filtering, are added to the diagram.

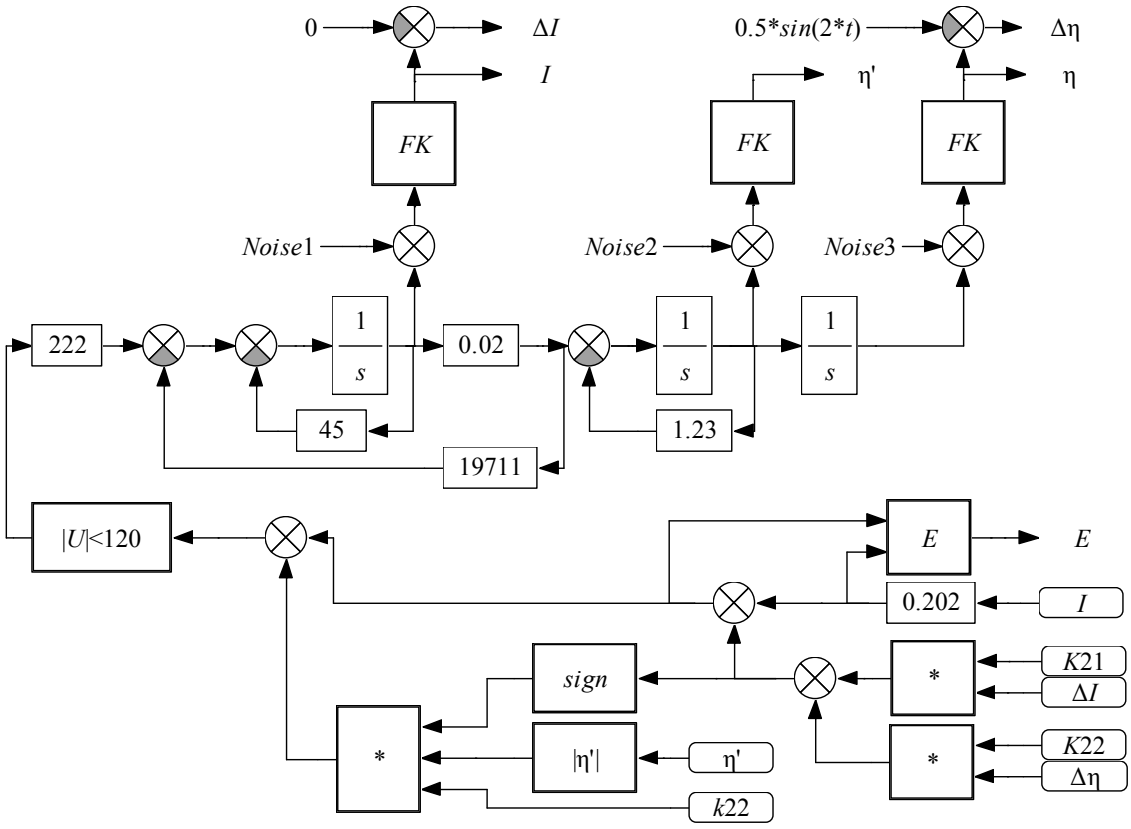


Fig. 1. Structural diagram of the second subsystem of RM

The control law of the second subsystem is simulated in the form (5). The value of the signal adjustment coefficient k_2^2 (k22 in diagrams) has a constant value, and the values of the parameters K_{22}^1 and K_{22}^2 (K21 and K22 in diagrams, respectively) are determined during the motion of subsystem using a gradient adjustment with the values of the specified coefficients γ_1 and γ_2. The structural diagrams of the gradient adjustment subsystems for coefficients K_{22}^1 и K_{22}^2 are shown in Figs. 2, 3.

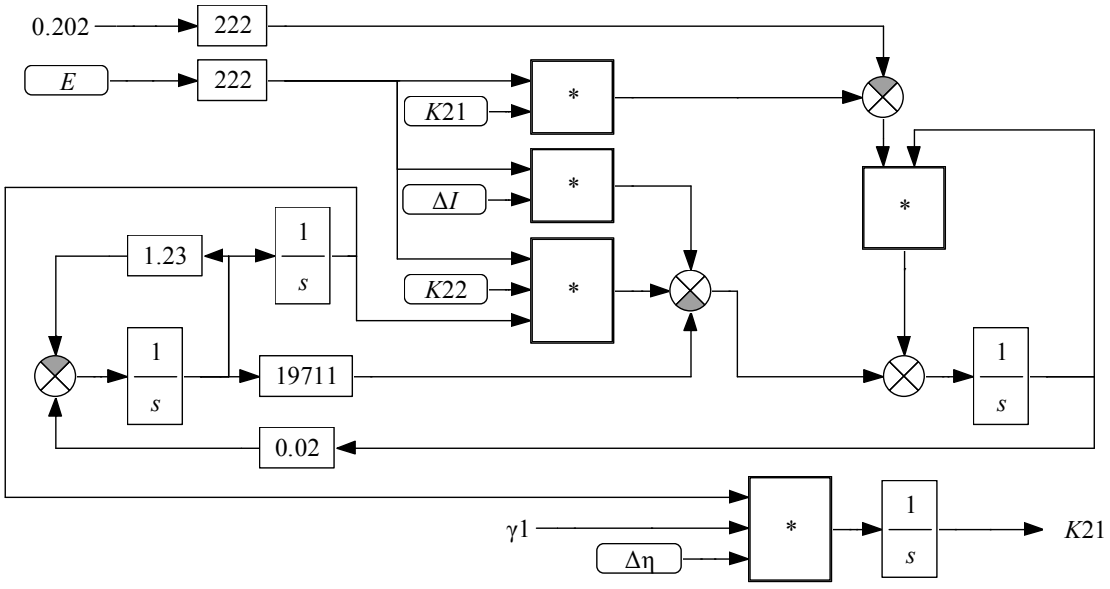


Fig. 2. Structural diagram for adjusting the coefficient K21

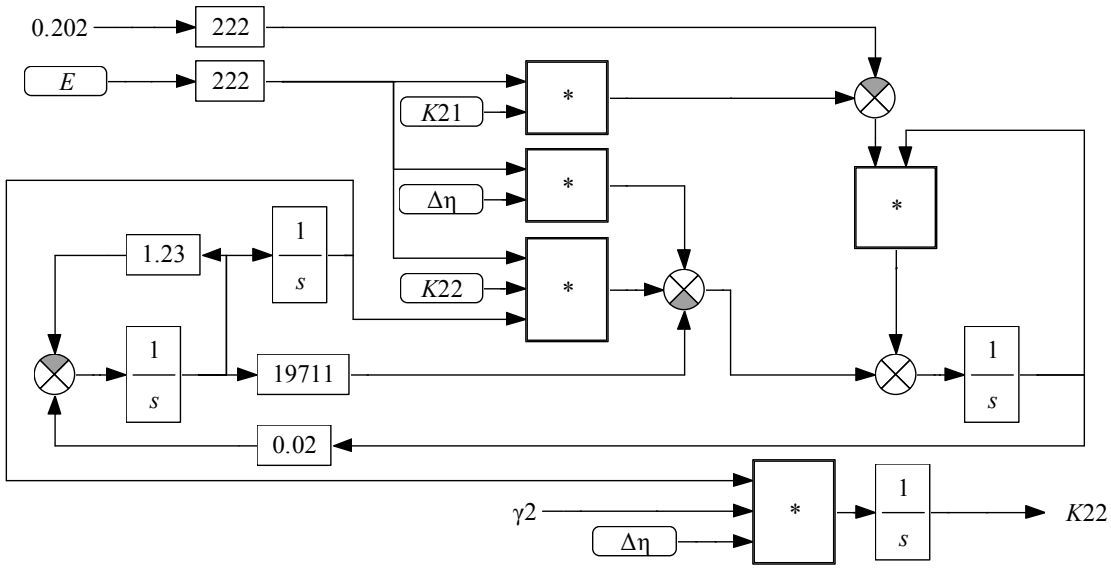


Fig. 3. Structural diagram for adjusting the coefficient K22

The initial values of the adjustable coefficients K_{22}^1, K_{22}^2 and k_2^2 are choosen to be equal to –5 V/A, –13305 V/rad and 80 Vs/rad, respectively, and values of coefficients γ_1 and γ_2 are assumed to be equal to -4000 and $-10,9^{11}$, respectively. The results of simulation of the second subsystem without regard to the influence of noise are shown in Figs. 4–6. The values of coefficients K_{22}^1 (Fig. 4) and K_{22}^2 (Fig. 5) are determined during the motion of subsystem in real-time mode for the purpose of decrease deviation of position $\Delta\eta^2$ from the program value (Fig. 6).

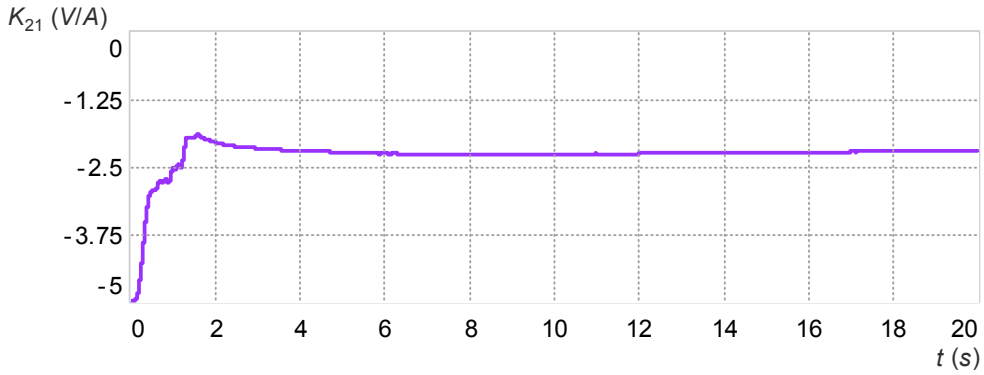


Fig. 4. Curve of changes in the adjustable coefficient K21

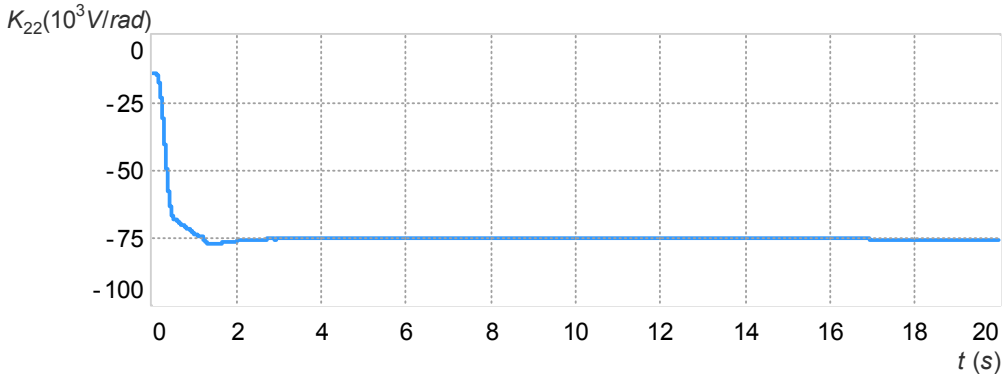


Fig. 5. Curve of changes in the adjustable coefficient K22

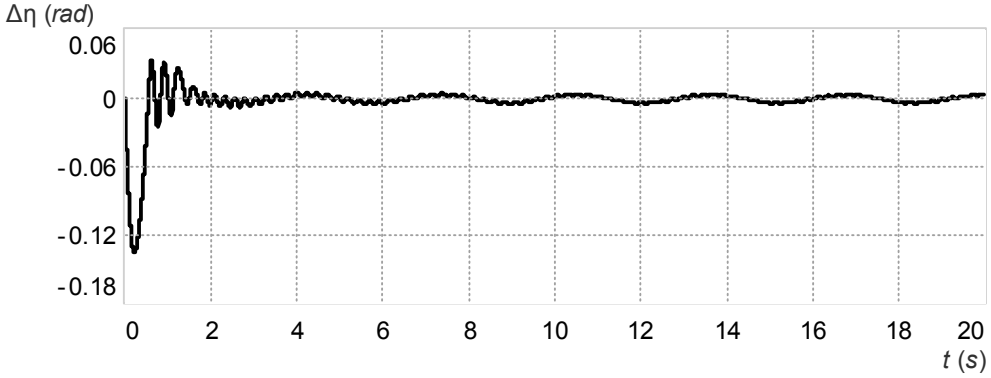


Fig. 6. Curve of deviation of position from the program value

It should be noted that the observed transient processes are conventionally divided into two areas. In the first area, the duration of which is up to 4 seconds, there is a significant change in current due to the start of the engine. The maximum absolute error value (MAO) in this area is 0.14 rad, however, the main program of RM is constructed so that during this period of time there is no interaction with the object.

During this time, the primary gradient adjustment of the parameters K_{22}^1 and K_{22}^2 is carried out, the values of which by the end of the first section are –2.186 V/A and –75363 V/rad, respectively. Further, during the processing of the object, the values of the adjustable parameters change by no more than 10% relative to the values determined at the end of the first section, and MAO value in this area does not exceed 0,004 rad.

If the gradient tuning and the signal adjustment are not used, and the values of –2,186 V/A and –75363 V/rad are chosen as constant values of parameters K_{22}^1 and K_{22}^2, then MAO value will be 0,075 rad in the first area, and 0,0056 rad in the second area. If the signal adjustment is used, then the MAO value in the second area is equal to 0,0065 rad. Thus, the use of constant coefficients with the included signal adjustment allows to control the link in the absence of noise and disturbances more accurately than without the use of signal adjustment.

To determine the optimal combination of parameter values K_{22}^1 and K_{22}^2, allowing to achieve maximum accuracy of movement along the program trajectory, a function $S\left(K_{22}^1, K_{22}^2\right)$ is built, the value of which at each point corresponds to the MAO value of the second trajectory area from 4 to 20 seconds with corresponding values of coefficients K_{22}^1 and K_{22}^2. Fig. 7 shows the dependence K_{22}^2 on K_{22}^1, which makes it possible to reach the minimum of the MAO value, and in Fig. 8, the curve of the MAO value at the corresponding points.

Thus, with an increase in the value of the coefficients K_{22}^1 and K_{22}^2, a decrease in the MAO value of the second area of the trajectory to a value of 0.0025 rad is observed.

This allows to increase in the specific case under consideration by 60% accuracy relative to the results of applying the gradient tuning method.

When the noise channels Noise1, Noise2, Noise3 are affected, having a deviation of the normal distribution of 1, 0.001 and 0.001, respectively, the MAO value increases. So, when using constant values of coefficients K_{22}^1 and K_{22}^2, improving accuracy by 60% without the influence of noise, the MAO value of the second area of the trajectory will be 0.0286 rad.

However, when using a gradient tuning with signal adjustment, the MAO value of the second trajectory area (Fig. 9) will be only 0.0106 rad.

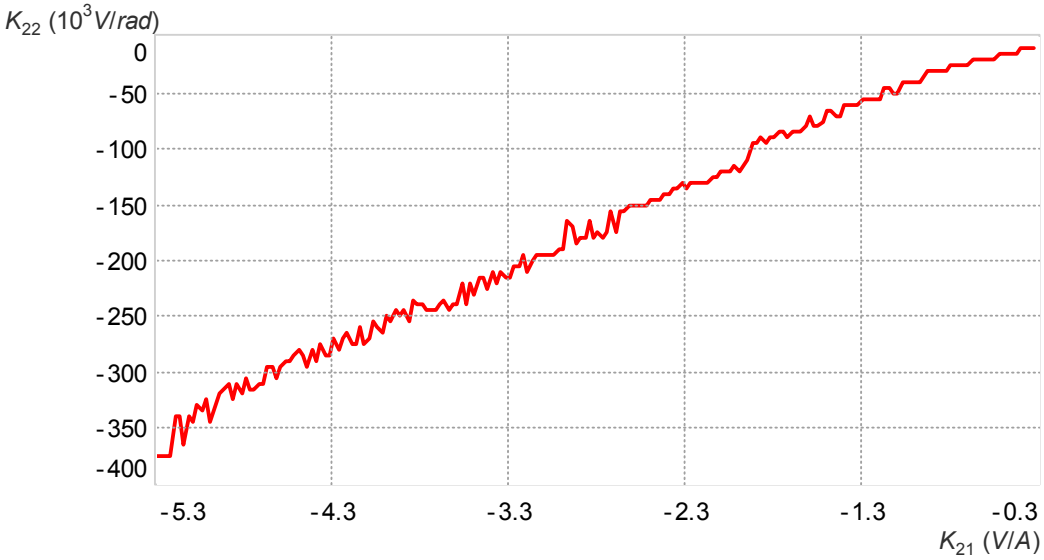


Fig. 7. Curve of optimal values of coefficients K21 and K22

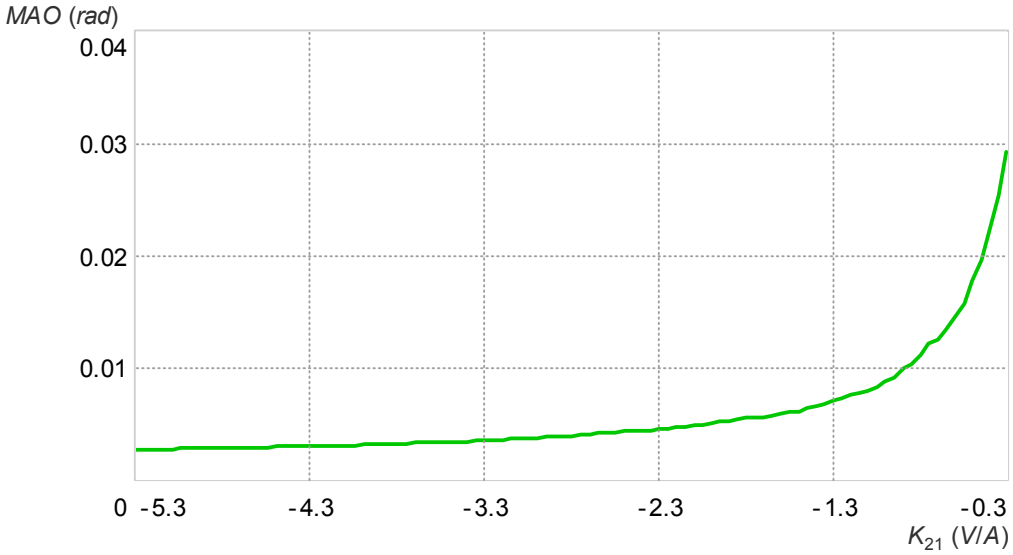


Fig. 8. MAO value of the second trajectory area

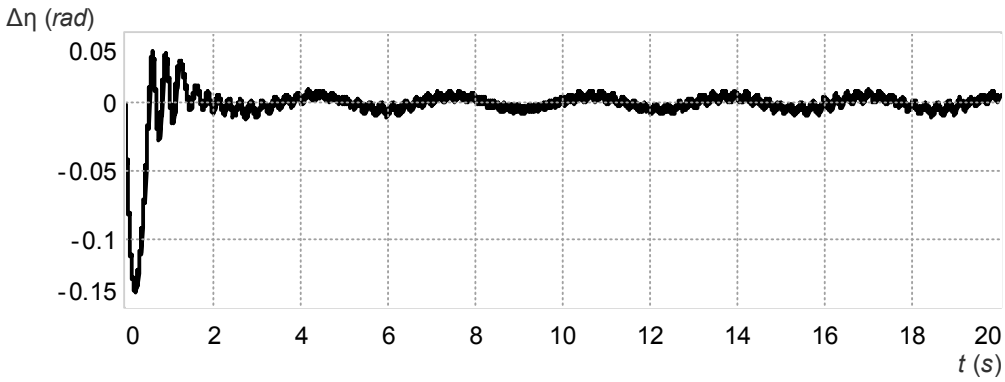


Fig. 9. Curve of deviation of position from the program value

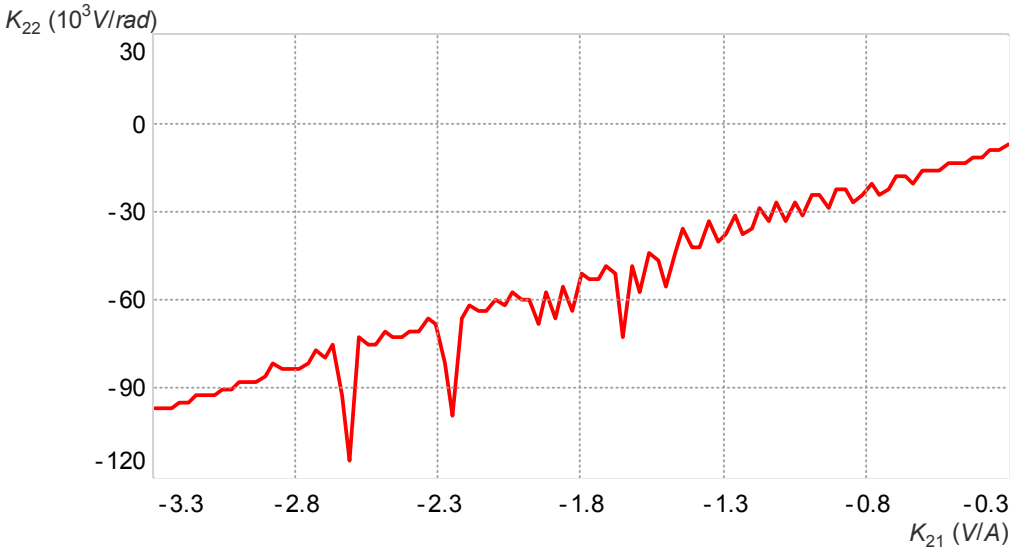


Fig. 10. Curve of optimal values of coefficients K21 and K22

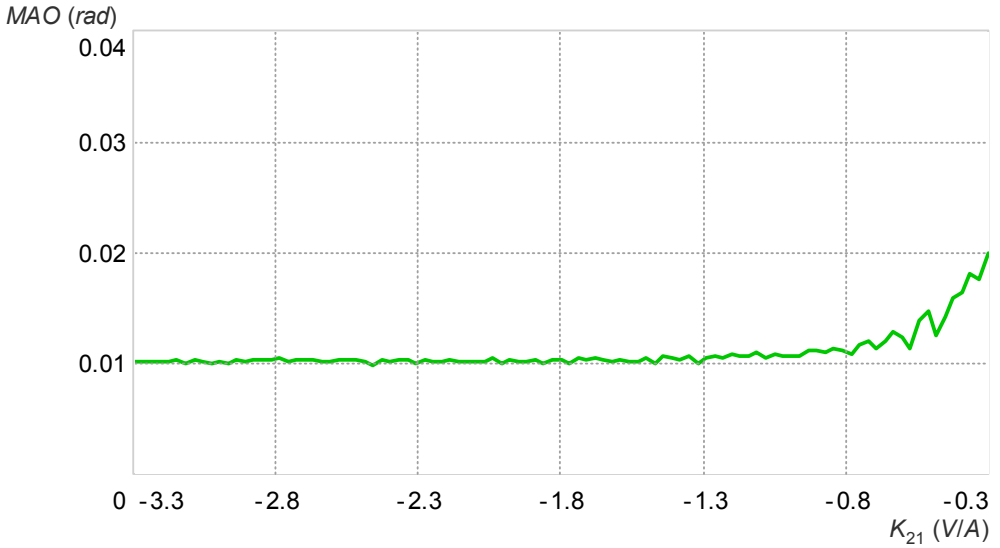


Fig. 11. MAO value of the second trajectory area

Fig. 10 shows the dependence K_{22}^2 on K_{22}^1, which makes it possible to reach the minimum of the MAO value, and in Fig. 11, the curve of the MAO value at the corresponding points. The smallest MAO value in this case is 0,01 rad that it is less than 6% higher than the result of the gradient tuning method.

Conclusion

This allows to conclude that, despite the less accurate indicators of the gradient tuning method using signal adjustment without regard to the influence of noise compared with the method of selecting and using constant optimal coefficient values, this method works effectively in the conditions of incomplete information and does not require additional calculations of values of the coefficients K_{22}^1 and K_{22}^2.

The decentralized control algorithm of the RM by the direct Lyapunov method is constructed using the complete nonlinear model of the dynamics of the control object, ensuring a stable movement to the point of the program trajectory. With the destabilizing influence of the interconnections of RM subsystems, the significant influence of disturbances in the operating mode and the availability of typical

nonlinearities, the expediency of using the control algorithm of the signal type is substantiated. The property of the system dissipativity and the stability resulting from it under certain conditions are considered. The results of simulation are presented.

The work was supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract No. 02.A03.21.0011.

References

1. Lychak M.M. [Robust Dissipativity of Discrete Systems and Its Study by Means of a Sequence of Sets of Lyapunov Function]. *Cybernetics and Systems Analysis*, 2008, no. 2, pp. 13–23. (in Russ.) DOI: 10.1007/s10559-008-0016-7

2. Kuntsevich V.M., Lychak M.M. [Elements of the Theory of Evolution of Sets and the Stability of These Processes]. *Cybernetics*, 1983, no. 1, pp. 105–111. (in Russ.)

3. Kuntsevich V.M., Lychak M.M. *Sintez sistem avtomaticheskogo upravleniya s pomoshch'yu funktsiy Lyapunova* [Synthesis of the System of Automatic Control by Lyapunov Functions]. Moscow, Nauka, 1977. 399 p.

4. Bortsov Yu.A., Polyakhov N.D. *Elektromekhanicheskie sistemy s adaptivnym i modal'nym upravleniem* [Electromechanical Systems with Adaptive and Modal Control]. Leningrad, Energoatomizdat, 1984. 214 p.

5. Korenev, G.V. *Tselenapravlennaya mekhanika upravlyaemykh manipulyatorov* [Object Oriented Mechanics of Controlled Manipulators]. Moscow, Nauka, 1979. 447 p.

6. Kuntsevich V.M., Lychak M.M. *Sintez optimal'nykh i adaptivnykh sistem upravleniya: Igrovoy podkhod* [The Synthesis of Optimal and Adaptive Control Systems: Game Approach]. Kiev, Nauk. dumka, 1985. 247 p.

7. Kuntsevich V.M. Set-valued Estimation of State and Parameter Vectors within Adaptive Control Systems. *Bounding Approaches to System Identification*, 1996, pp. 239–259. DOI: 10.1007/978-1-4757-9545-5_15

8. Kuntsevich V.M. [Guaranteed Results in the Problems of Parametric Identification and Estimations of State Vector (Filtration) under Slowly Changeable Restricted Obstacles of Changes]. *Problems of Control and Information Science*, 2006, no. 4, pp. 50–57. (in Russ.)

9. Kuntsevich V.M., Kurzhanskii A.B. [Fields of Achievement of Linear and Some Classes of Nonlinear Systems of Discrete Systems and Their Control]. *Problems of Control and Information Science*, 2010, no. 1, pp. 5–21. (in Russ.)

10. Kuntsevich V.M., Kuntsevich A.V. [Invariant Sets of the Set of Linear and Nonlinear Discrete Systems with Restricted Disturbances]. *Automatics and Telemechanics*, 2012, no. 1, pp. 92–106. (in Russ.)

11. Kuntsevich V.M. [Control of the Set of Linear and Nonlinear Dynamic Systems at the Measurements with Restricted Obstacles]. *Trudy instituta matematiki i mekhaniki UrO RAN* [The Research Papers of the Institute of Mathematics and Mechanics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences]. Ekaterinburg, UB RAS, 2014, vol. 20, no. 4, pp. 178–186.

12. Shiryaev V.I. Synthesis of Control of Linear Systems in Incomplete Information. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 1994, no. 3, pp. 229–237.

13. Shiryaev V.I. [Problems of Control by Dynamic Systems with Incomplete Information]. *Mechatronics*, 2001, no. 8, pp. 2–5. (in Russ.)

14. Shiryaev V.I., Dolbenkov V.I., Il'in E.D., Podivilova E.O. [Estimation of the State of Dynamic System in the Conditions of Indeterminacy]. *Ekstremal'naya robototekhnika: sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Extreme Robotic Technology: International Conference Abstracts]. St. Petersburg, Politekhnika-servis, 2011, pp. 234–243.

15. Fokin L.A., Shiryaev V.I. Preliminary Comparison of Kalman and Minimax Approaches to Error Estimation of Integrated Navigation System. *IEEE International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2013) Proceedings*, 2013, pp. 212–214. DOI: 10.1109/SIBCON.2013.6693599

16. Shiryaev V.I., Bragina A.A. [On Control of Robotic Manipulator in the Conditions of Indeterminacy]. *Robotics and Engineering Cybernetics*, 2014, no. 1 (2), pp. 18–21. (in Russ.)

17. Bragina A.A., Shcherbakov V.P., Shiryaev V.I. Synthesis of Adaptive Control of Robotic Manipulator by the Method of Lyapunov Functions. *IFAC-PapersOnLine*, 2018, vol. 51, no. 32, pp. 298–303. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.11.399

18. Shiryaev V.I., Podivilova E.O. Set-Valued Estimation of Linear Dynamical System State when Disturbance is Decomposed as a System of Functions. *Procedia Engineering*, 2015, vol. 129, pp. 252–258. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.12.045

19. Chernousko F.L. Minimax Control for a Class of Linear Systems Subject to Disturbances. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 2005, vol. 127, no. 3, pp. 535–548. DOI: 10.1007/s10957-005-7501-1

20. Bo Zhou, Kun Qian, Xu-Dong Ma, Xian-Zhong Dai A New Nonlinear Set Membership Filter Based on Guaranteed Bounding Ellipsoid Algorithm. *Acta Automatica Sinica*, 2013, vol. 39, no. 2, pp. 146–154. DOI: 10.1016/s1874-1029(13)60017-8

21. Erugin N.P., Shtokalo I.Z. *Kurs obyknovennykh differentsial'nykh uravneniy* [The Course of Ordinary Differential Equations]. Kiev, Vishcha shkola, 1974. 472 p.

Received 10 March 2019

УДК 621.865.8 **DOI: 10.14529/ctcr190202**

К ЗАДАЧЕ УЛУЧШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОТЫ ИНФОРМАЦИИ

В.И. Ширяев, В.П. Щербаков, А.А. Брагина

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Получен алгоритм управления движением манипуляционного робота (МР) по программной траектории методом функций Ляпунова. Метод использует декомпозицию исходной многосвязной нелинейной системы на подсистемы и реализует возможность децентрализованного управления каждым из подвижных звеньев МР. Управляющий сигнал формируется с учетом динамики механической системы МР и электроприводов. При построении системы управления вычисляются коэффициенты уравнений динамики нелинейной системы, построенных в форме уравнений Лагранжа – Максвелла. Управление для исходной нелинейной системы получено в явном виде. Исследована устойчивость динамической системы во всем фазовом пространстве и ее диссипативность в области фазового пространства при существенном влиянии возмущающих моментов в рабочих режимах. Для их компенсации в закон управления введена адаптивная добавка сигнального типа, обеспечивающая работоспособность системы при значительных скоростях изменения силовых моментов на выходных валах приводов. Учтено влияние ошибок измерения вектора состояния МР на формирование управления.

В программном продукте Acsocad по математической модели звена МР составлена структурная схема с подсистемами градиентной настройки и сигнальной подстройки. Рассматривается движение одного звена по программной траектории. Для учета влияния шума измерений на значения тока, скорости и положения в систему введены блоки, добавляющие случайный сигнал, имеющий нормальное распределение. Выполнено моделирование в условиях отсутствия и влияния шума на измерения как при постоянных значениях настраиваемых коэффициентов, так и с использованием метода градиентной настройки коэффициентов. Построены кривые оптимальных значений коэффициентов для получения минимального значения отклонения от программной траектории. Показана эффективность использования методов градиентной настройки и сигнальной подстройки при движении МР в условиях неполноты информации.

Ключевые слова: управление, нелинейные системы, метод функций Ляпунова, ограниченные возмущения, неопределенность, свойство диссипативности, предельное множество, стабилизация.

Литература

1. Лычак, М.М. Робастная диссипативность дискретных систем и ее исследование с помощью последовательности множеств функций Ляпунова / М.М. Лычак // Кибернетика и системный анализ. – 2008. – № 2. – С. 13–23. DOI: 10.1007/s10559-008-0016-7

2. Кунцевич, В.М. Элементы теории эволюции множеств и устойчивость этих процессов / В.М. Кунцевич, М.М. Лычак // Кибернетика. – 1983. – № 1. – С. 105–111.

3. Кунцевич, В.М. Синтез систем автоматического управления с помощью функций Ляпунова / В.М. Кунцевич, М.М. Лычак. – М.: Наука, 1977. – 399 с.

4. Борцов, Ю.А. Электромеханические системы с адаптивным и модальным управлением / Ю.А. Борцов, Н.Д. Поляхов. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 214 с.

5. Коренев, Г.В. Целенаправленная механика управляемых манипуляторов / Г.В. Коренев. – М.: Наука, 1979. – 447 с.

6. Кунцевич, В.М. Синтез оптимальных и адаптивных систем управления: Игровой подход / В.М. Кунцевич, М.М. Лычак. – Киев: Наук. думка, 1985. – 247 с.

7. Kuntsevich, V.M. Set-valued estimation of state and parameter vectors within adaptive control systems / V.M. Kuntsevich // Bounding Approaches to System Identification. – 1996. – Vol. 15. – P. 239–259. DOI: 10.1007/978-1-4757-9545-5_15

8. Кунцевич, В.М. Гарантированные результаты в задачах параметрической идентификации и оценивания вектора состояния (фильтрации) при медленно изменяющихся ограниченных помехах измерений / В.М. Кунцевич // Проблемы управления и информатики. – 2006. – № 4. – С. 50–57.

9. Кунцевич, В.М. Области достижимости линейных и некоторых классов нелинейных систем дискретных систем и управления ими / В.М. Кунцевич, А.Б. Куржанский // Проблемы управления и информатики. – 2010. – № 1. – С. 5–21.

10. Кунцевич, В.М. Инвариантные множества семейств линейных и нелинейных дискретных систем с ограниченными возмущениями / В.М. Кунцевич, А.В. Кунцевич // Автоматика и телемеханика. – 2012. – № 1. – С. 92–106.

11. Кунцевич, В.М. Управление семейством нелинейных динамических систем при измерениях с ограниченными помехами / В.М. Кунцевич // Труды института математики и механики УрО РАН. – Екатеринбург: УРО РАН, 2014. – Т. 20, № 4. – С. 178–186.

12. Shiryaev, V.I. Synthesis of control of linear systems in incomplete information / V.I. Shiryaev // Journal of Computer and Systems Sciences International. – 1994. – no. 3. – P. 229–237.

13. Ширяев, В.И. Алгоритмы управления динамическими системами в условиях неопределенности / В.И. Ширяев // Мехатроника. – 2001. – № 8. – С. 2–5.

14. Оценивание состояния динамической системы в условиях неопределенности / В.И. Ширяев, В.И. Долбенков, Е.Д. Ильин, Е.О. Подивилова // Экстремальная робототехника: сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – 2011. – С. 234–243.

15. Fokin, L.A. Preliminary comparison of Kalman and Minimax approaches to error estimation of integrated navigation system / L.A. Fokin, V.I. Shiryaev // IEEE International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2013) Proceedings. – 2013. – P. 212–214. DOI: 10.1109/SIBCON.2013.6693599

16. Ширяев, В.И. Об управлении манипуляционным роботом в условиях неопределенности / В.И. Ширяев, А.А. Брагина // Робототехника и техническая кибернетика. – 2014. – №1(2). – С. 18–21.

17. Bragina A.A., Shcherbakov V.P., Shiryaev V.I. Synthesis of adaptive control of robotic manipulator by the method of Lyapunov functions / A.A. Bragina, V.P. Shcherbakov, V.I. Shiryaev // IFAC-PapersOnLine. – 2018. – Vol. 51, no. 32. – P. 298–303. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.11.399

18. Shiryaev, V.I. Set-valued estimation of linear dynamical system state when disturbance is decomposed as a system of functions / V.I. Shiryaev, E.O. Podivilova // Procedia Engineering. – 2015. – Vol. 129. – P. 252–258. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.12.045

19. Chernousko, F.L. Minimax control for a class of linear systems subject to disturbances / F.L. Chernousko // Journal of Optimization Theory and Applications. – 2005. – Vol. 127, no. 3. – P. 535–548. DOI: 10.1007/s10957-005-7501-1

20. A New Nonlinear Set Membership Filter Based on Guaranteed Bounding Ellipsoid Algorithm / Bo Zhou, Kun Qian, Xu-Dong Ma, Xian-Zhong Dai // Acta Automatica Sinica. – 2013. – Vol. 39, no. 2. – P. 146–154. DOI: 10.1016/s1874-1029(13)60017-8

21. Еругин, Н.П. Курс обыкновенных дифференциальных уравнений / Н.П. Еругин, И.З. Штокало. – Киев: Вища школа. – 1974. – 472 с.

Ширяев Владимир Иванович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой систем автоматического управления, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; shiriaevvi@susu.ru.

Щербаков Василий Петрович, старший преподаватель кафедры систем автоматического управления, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; shcherbakovvp@susu.ru.

Брагина Асия Ахмедовна, канд. техн. наук, доцент кафедры систем автоматического управления, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; braginaaa@susu.ru.

Поступила в редакцию 10 марта 2019 г.

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Shiryaev, V.I. To the Problem of Improve Positioning Precision of Robotic Manipulator under Conditions of Incomplete Information / V.I. Shiryaev, V.P. Shcherbakov, A.A. Bragina // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 16–28. DOI: 10.14529/ctcr190202

FOR CITATION

Shiryaev V.I., Shcherbakov V.P., Bragina A.A. To the Problem of Improve Positioning Precision of Robotic Manipulator under Conditions of Incomplete Information. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 16–28. DOI: 10.14529/ctcr190202

УДК 681.511 DOI: 10.14529/ctcr190203

АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО АДАПТИВНОГО ТЕРМИНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДОМ ТОПЛИВА ЖИДКОСТНОЙ ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ. ЧАСТЬ II

А.Ф. Шориков[1], В.И. Калёв[1, 2]

[1] Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия,
[2] АО «НПО автоматики им. академика Н.А. Семихатова», г. Екатеринбург, Россия

Предлагается алгоритм решения задачи управления расходом топлива жидкостной двигательной установки первой ступени ракеты-носителя, в котором эта задача формулируется как задача оптимального адаптивного терминального управления для соответствующей линейной дискретной динамической системы. Для этого исходная нелинейная непрерывная система, описывающая динамику объекта управления, линеаризуется относительно заданной опорной траектории и затем дискретизируется согласно требованиям к процессу управления, в результате чего сформированная аппроксимирующая модель представляет собой систему векторно-матричных рекуррентных соотношений. В аппроксимирующей системе учитываются все ограничения, наложенные на фазовый вектор и вектор управления, и, кроме того, предполагается, что эти ограничения имеют вид выпуклых, замкнутых и ограниченных многогранников с конечным числом вершин в соответствующих векторных пространствах. В работе формулируются задачи оптимального программного и адаптивного терминального управления для сформированной линейной дискретной динамической системы. На основе решения конечной последовательности задач оптимального программного терминального управления для аппроксимирующей линейной модели предлагается рекуррентный алгоритм оптимального адаптивного терминального управления исходной нелинейной динамической системой. При реализации алгоритма оптимального программного терминального управления используется аппарат построения и анализа областей достижимости, реализованный при помощи общего алгебраического рекуррентного метода построения областей достижимости линейных дискретных динамических систем с несколькими его модификациями, направленными в основном на снижение вычислительной сложности и, как следствие, на увеличение его быстродействия. Эффективность разработанного алгоритма оптимального адаптивного терминального управления демонстрируется на численном модельном примере оптимизации адаптивного управления расходом топлива жидкостной двигательной установки первой ступени ракеты-носителя.

Данная работа является второй частью статьи.

Ключевые слова: оптимальное программное и адаптивное управление, терминальное управление, расход топлива, ракета-носитель, области достижимости.

Введение

В данной статье на основании работ [1–10] для решения задачи оптимального адаптивного управления дискретной динамической системой предлагается рекуррентный алгоритм, который сводит исходную многошаговую задачу к решению конечной последовательности задач оптимального программного терминального управления в форме Задачи 1. В свою очередь, каждая Задача 1 сводится к реализации конечной последовательности одношаговых операций решения задач линейного и выпуклого математического программирования, алгебраических операций над выпуклыми компактными многогранниками, систем линейных алгебраических операций и вспомогательных одношаговых краевых задач для линейных управляемых систем.

Действие предлагаемых в работе алгоритмов реализовано в программной среде MATLAB и проиллюстрировано на модельном примере. Работа продолжает первую часть этой статьи, термины и обозначения из которой используются здесь без дополнительных пояснений.

1. Алгоритм формирования множества оптимальных программных терминальных управлений

Пусть в дискретной динамической системе

$$x(t+1) = A(t)x(t) + B(t)u(t),\ x(0) = x_0 \quad (1)$$

с ограничениями фазового состояния и управления

$$x(t) \in \mathbf{X}_1(t) \subset \mathbb{R}^4, t \in \overline{0,T}; \quad (2)$$

$$u(t) \in \mathbf{U}_1(t) \subset \mathbb{R}^1, t \in \overline{0,T-1}, \quad (3)$$

качество управления в которой на временном интервале $\overline{\tau,T} \subseteq \overline{0,T}$ оценивается функционалом

$$\gamma_{\overline{\tau,T}}\left(w(\tau),u(\cdot)\right) = \left\|x(T) - x_d\right\|_4 = \Phi(x(T)), \quad (4)$$

сформирована τ-позиция $w^{(e)}(\tau) = \{\tau, x^{(e)}(\tau)\} \in \mathbf{W}(\tau)$ ($w^{(e)}(0) = w_0$). Тогда для вычисления множества оптимальных программных управлений $\mathbf{U}^{(e)}(\overline{\tau,T}, \{x(\tau)\}, \mathbf{X}^{(e)}_{\gamma_{\overline{\tau,T}}}(T)) \subset \mathbf{U}(\overline{\tau,T})$ разработан метод прямых и обратных конструкций [3, 6], который применительно к рассматриваемой управляемой динамической системе реализуется путем выполнения нижеследующих операций:

1) пошагового построения прямых областей достижимости $\mathbf{G}_+(\tau, x^{(e)}(\tau); t)$, $\forall t \in \overline{\tau+1,T}$ на основе модификации общего рекуррентного алгебраического метода [10] путем решения рекуррентной последовательности задач линейного математического программирования, выполнения одношаговых операций над компактными многогранниками и описания их с помощью вершин и конечных систем алгебраических равенств и неравенств;

2) оптимизации функционала $\gamma_{\overline{\tau,T}}(w(\tau),u(\cdot))$, определяемого (4), на множестве $\mathbf{G}_+(\tau, x^{(e)}(\tau); T)$, т. е. формирования множества $\mathbf{X}^{(e)}_{\gamma_{\overline{\tau,T}}}(T) \subset \mathbb{R}^4$ оптимальных финальных состояний системы (1)–(4) путем решения следующей задачи выпуклого математического программирования [6, 11]:

$$\mathbf{X}^{(e)}_{\gamma_{\overline{\tau,T}}}(T) = \left\{ x^{(e)}(T) \mid \ x^{(e)}(T) \in \mathbf{G}_+(\tau, x^{(e)}(\tau); T), \right.$$

$$\left. c^{(e)}_{\gamma}(\overline{\tau,T}, w(\tau)) = \Phi^{(e)}_{\tau,T} = \min_{x(T) \in \mathbf{G}_+(\tau, x^{(e)}(\tau); T)} \left\|x^{(e)}(T) - x_d\right\|_4 \right\};$$

3) пошагового построения обратных областей достижимости $\mathbf{G}_-(T, \mathbf{X}^{(e)}_{\gamma_{\overline{\tau,T}}}(T); t)$, $\forall t \in \{T-1, T-2, \ldots, \tau+1\}$ на основе модификации общего рекуррентного алгебраического метода [10] путем решения рекуррентной последовательности задач линейного математического программирования, выполнения одношаговых операций над компактными многогранниками и описания их с помощью вершин и конечных систем алгебраических равенств и неравенств;

4) последовательного построения пересечений сформированных прямых и обратных областей достижимости путем реализации конечной последовательности одношаговых операций перехода от вершинного описания областей достижимости к описанию соответствующими системами линейных алгебраических уравнений и неравенств и наоборот:

$$\mathbf{G}(\tau, x(\tau); t) = \mathbf{G}_+(\tau, x(\tau); t) \cap \mathbf{G}_-(T, \mathbf{X}^{(e)}_{\gamma_{\overline{\tau,T}}}(T); t), \forall t \in \overline{\tau, T-1};$$

$$\mathbf{G}(\tau, x(\tau); \tau) = \{x(\tau)\}; \mathbf{G}(\tau, x(\tau); T) = \mathbf{X}^{(e)}_{\gamma_{\overline{\tau,T}}}(T);$$

5) решения вспомогательных краевых задач на промежутке времени $\overline{\tau,T}$ для системы (1)–(4) с краевыми условиями $x(\tau)$ и $x(T) = x^{(e)}(T) \in \mathbf{X}^{(e)}_{\gamma_{\overline{\tau,T}}}(T)$, т. е. нахождения следующего множества оптимальных программных управлений путем реализации конечной последовательности алгебраических операций:

$$\mathbf{U}^{(e)}(\overline{\tau,T}, \{x(\tau)\}, \mathbf{X}^{(e)}_{\gamma_{\overline{\tau,T}}}(T)) = \{u^{(e)}(\cdot) \mid u^{(e)}(t) \in \mathbf{U}_1(t), \forall t \in \overline{\tau, T-1},$$

$$x^{(e)}(t+1) = A(t)x^{(e)}(t) + B(t)u^{(e)}(t) \in \mathbf{G}(\tau, x(\tau); t+1), x^{(e)}(\tau) \in \mathbf{X}_1(\tau)\}.$$

2. Алгоритм формирования оптимального адаптивного терминального управления

Пусть в дискретной динамической системе (1)–(4) сформирована τ-позиция $w^{(e)}(\tau) = \{\tau, x^{(e)}(\tau)\} \in \mathbf{W}(\tau)$ ($w^{(e)}(0) = w_0$).

Тогда для $\tau \in \overline{0, T-1}$ оптимальная адаптивная стратегия управления $\mathbf{U}_a^{(e)} = \widetilde{\mathbf{U}}_a^{(e)} \in \mathbf{U}_a^*$ формируется на основе применения метода прямых и обратных конструкций [3, 6] путем реализации следующей последовательности операций.

1. Решения Задачи 1, т. е. вычисления множества

$$\mathbf{U}_\gamma^{(e)}(\overline{\tau,T}, w(\tau)) = \mathbf{U}^{(e)}(\overline{\tau,T}, \{x(\tau)\}, \mathbf{X}^{(e)}_{\gamma_{\overline{\tau,T}}}(T)) \in \mathbf{U}(\overline{\tau,T})$$

и числа $c_\gamma^{(e)}(\overline{\tau,T}, w(\tau)) = \Phi^{(e)}_{\overline{\tau,T}}$ на отрезке времени $\overline{\tau,T}$.

2. На основании формул (13)–(15) первой части статьи вычисления множества управлений $\mathbf{U}_a^{(e)}(w^{(e)}(\tau)) = \widetilde{\mathbf{U}}_a^{(e)}(w^{(e)}(\tau)) \subseteq \mathbf{U}_1(\tau)$.

3. Выбора любого управления $u^{(e)}(\tau) \in \mathbf{U}_a^{(e)}(w^{(e)}(\tau))$.

4. Вычисления по уравнениям нелинейного объекта (τ+1)-позиции:

$w^{(e)}(\tau+1) = \{\tau+1, x^{(e)}(\tau+1)\}$, $x^{(e)}(\tau+1) = \tilde{x}(\tau+1; \overline{\tau,\tau+1}, x^{(e)}(\tau), u^{(e)}(\tau))$.

5. Если $(\tau+1) \le T-1$, то осуществить переход на п. 1, иначе – на п. 6.

6. Расчет числа $c^{(e)}_{a,\gamma}(\overline{0,T}, w_0) = \gamma_{\overline{0,T}}(w_0, u^{(e)}(\cdot))$ – оптимального результата решения Задачи 2, соответствующего реализации управления $u^{(e)}(\cdot) = \{u^{(e)}(t)\}_{t \in \overline{0,T-1}} \in \mathbf{U}(\overline{0,T})$, полученного посредством применения оптимальной адаптивной стратегии $\mathbf{U}_a^{(e)} = \widetilde{\mathbf{U}}_a^{(e)} \in \mathbf{U}_a^*$.

В работах [3, 6] доказано, что для линейных дискретных систем вида (1)–(3) предложенный алгоритм адаптивного управления, основанный на решении вспомогательных задач оптимального программного терминального управления методом прямых и обратных конструкций, является оптимальным алгоритмом адаптивного управления для терминального функционала вида (4).

Отметим, что предложенный алгоритм решения задачи оптимального адаптивного управления сводится к решению конечного числа задач линейного и выпуклого математического программирования, выполнения одношаговых операций над многогранниками и описания их с помощью вершин и конечных систем алгебраических равенств и неравенств, решения вспомогательных краевых задач.

3. Численный модельный пример решения задачи оптимального адаптивного терминального управления ДУ РН

Покажем эффективность предложенного подхода и соответствующих алгоритмов на численном примере, моделирующем решение задачи оптимального адаптивного терминального управления расходом топлива ДУ РН [8, 9]. Рассматривается нелинейная непрерывная управляемая система, описывающая динамику ДУ РН на промежутке времени [0, t_1] уравнениями:

$$\begin{aligned} m_o(t) &= \frac{(P + c_1 U(t)^2 + c_2 U(t))(K + U(t))}{(I + c_3 U(t)^2 + c_4 U(t))(1 + K + U(t))}, \\ m_f(t) &= \frac{P + c_1 U(t)^2 + c_2 U(t)}{(I + c_3 U(t)^2 + c_4 U(t))(1 + K + U(t))}, \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned} M_o(t) &= M_o^0 + \Delta M_o - \int_{t_0}^{t_1} m_o(t)dt, \\ M_f(t) &= M_f^0 + \Delta M_f - \int_{t_0}^{t_1} m_f(t)dt, \end{aligned} \tag{6}$$

с параметрами, заданными в табл. 1.

Таблица 1

Параметры исходной нелинейной системы

I, с	P, кг	K, б/р	M_o^0, кг	M_f^0, кг	ΔM_o, кг	ΔM_f, кг
320	528 000	8/3	120 000	45 000	–500	300
ΔK, б/р	c_1, б/р	c_2, б/р	c_3, б/р	c_4, б/р	c_5, б/р	t_1, с
–1/25	8/75	–6700	9000	–15	–12	100

Исходной нелинейной непрерывной системе поставлена в соответствие аппроксимирующая линейная дискретная динамическая система, полученная посредством линеаризации вдоль опорной траектории вида траектории:

$$\begin{cases} m_o^{ref}(t) = \dfrac{P \cdot K}{I + I \cdot K}, \\ m_f^{ref}(t) = \dfrac{P}{I + I \cdot K}; \end{cases} \quad \begin{cases} M_o^{ref}(t) = M_o^0 - \dfrac{P \cdot K}{I + I \cdot K} t, \\ M_f^{ref}(t) = M_f^0 - \dfrac{P}{I + I \cdot K} t, \end{cases} \tag{7}$$

и дискретизации. Таким образом, аппроксимирующая рекуррентная векторно-матричная система, соответствующая (1), имеет вид

$$x(t+1) = A(t)x(t) + B(t)u(t), t \in \overline{0,15},$$

где $x(t) = \{x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t)\} \in \mathbb{R}^4$; $x_1(t)$ – расход окислителя ДУ РН; $x_2(t)$ – масса окислителя ДУ; $x_3(t)$ – расход горючего ДУ РН; $x_4(t)$ – масса горючего ДУ РН; $u(t) \in \mathbb{R}^1$ – вектор управления; $x(0) = x_0 = (1192.5, 119\,500, 454, 45\,300)^T$ – начальный фазовый вектор объекта управления; матрицы $A(t)$ и $B(t)$ стационарные и имеют следующие значения:

$$A(t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -6,25 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -6,25 & 1 \end{pmatrix}, \; B(t) = \begin{pmatrix} 17 \\ 0 \\ -12 \\ 0 \end{pmatrix}, \; \forall t \in \overline{0,15}.$$

Фазовые ограничения ДУ РН для всех $t \in \overline{0,16}$ имеют вид

$$x_1(t) \in [1176; 1224], |x_2(t)| \le 120\,000, x_3(t) \in [432; 468], |x_4(t)| \le 46\,000.$$

Качество процесса управления жидкостной ДУ РН оценивается значением выпуклого терминального функционала в момент времени $T = 16$, соответствующий моменту времени $t_1 = 100$ для начальной нелинейной непрерывной системы, значения которого вычисляются по формуле

$$\Phi(x(T)) = \sqrt{(1200 - x_1(T))^2 + x_2(T)^2 + K^2 (450 - x_3(T))^2 + K^2 x_4(T)^2},$$

где первый и третий члены под квадратным корнем обозначают отклонение расходов компонентов топлива от требуемых значений, а второй и четвертый члены – количество топлива в баках жидкостной ДУ РН.

Решение задачи оптимального программного терминального управления для линейной дискретной системы реализовано с помощью алгоритма, приведенного в первой главе данной работы, и представляет собой формирование множества оптимальных управлений $\mathbf{U}^{(e)}(\cdot) = \{u^{(e,j)}(\cdot)\}_{j \in \overline{1,k}}, \forall j \in \overline{1,k} : u^{(e,j)}(\cdot) = \; = \{u^{(e,j)}(t)\}_{t \in \overline{0,15}}$, которое порождает соответствующие оптимальные траектории $x^{(e,j)}(\cdot) = \bar{x}(\cdot; \overline{0,16}, x_0, u^{(e,j)}(\cdot)), j \in \overline{1,k}$. Финальное состояние таких траекторий – $x^{(e,j)}(16) = \bar{x}(16; \overline{0,16}, x_0, u^{(e,j)}(\cdot))$, для всех $j \in \overline{1,k}$ есть вычисленный вектор $x^{(e,j)}(16) = (1200.1, 38.97, 450.03, 10.5)$, который доставляет функционалу качества Ф минимальное значение $\Phi^{(e)} = \Phi(x^{(e)}(16)) = 47{,}988$. Далее выбираются четыре программных управления

$u^{(e,j)}$, $j=\overline{1,4}$ и подставляются в исходную систему (5), (6) для сравнения результатов реализации процедур программного и адаптивного управления.

Решение задачи оптимального адаптивного терминального управления нелинейной системой реализовано с помощью алгоритма, приведенного во второй главе данной работы, и описывается множеством управлений $\mathbf{U}_a^{(e)}(\cdot)=\{u_a^{(e,j)}(\cdot)\}_{j\in\overline{1,d}}$, $\forall j\in\overline{1,d}: u_a^{(e,j)}(\cdot)=\{u_a^{(e,j)}(x(t))\}_{t\in\overline{0,15}}$. Для сравнения полученных результатов реализации программного и адаптивного управления в рассматриваемом примере были выбраны и подставлены пошагово в систему (5), (6) четыре стратегии адаптивного управления $u_a^{(e,j)}(x(t))$, $j\in\overline{1,4}$. Проекции соответствующих траекторий представлены на рис. 1.

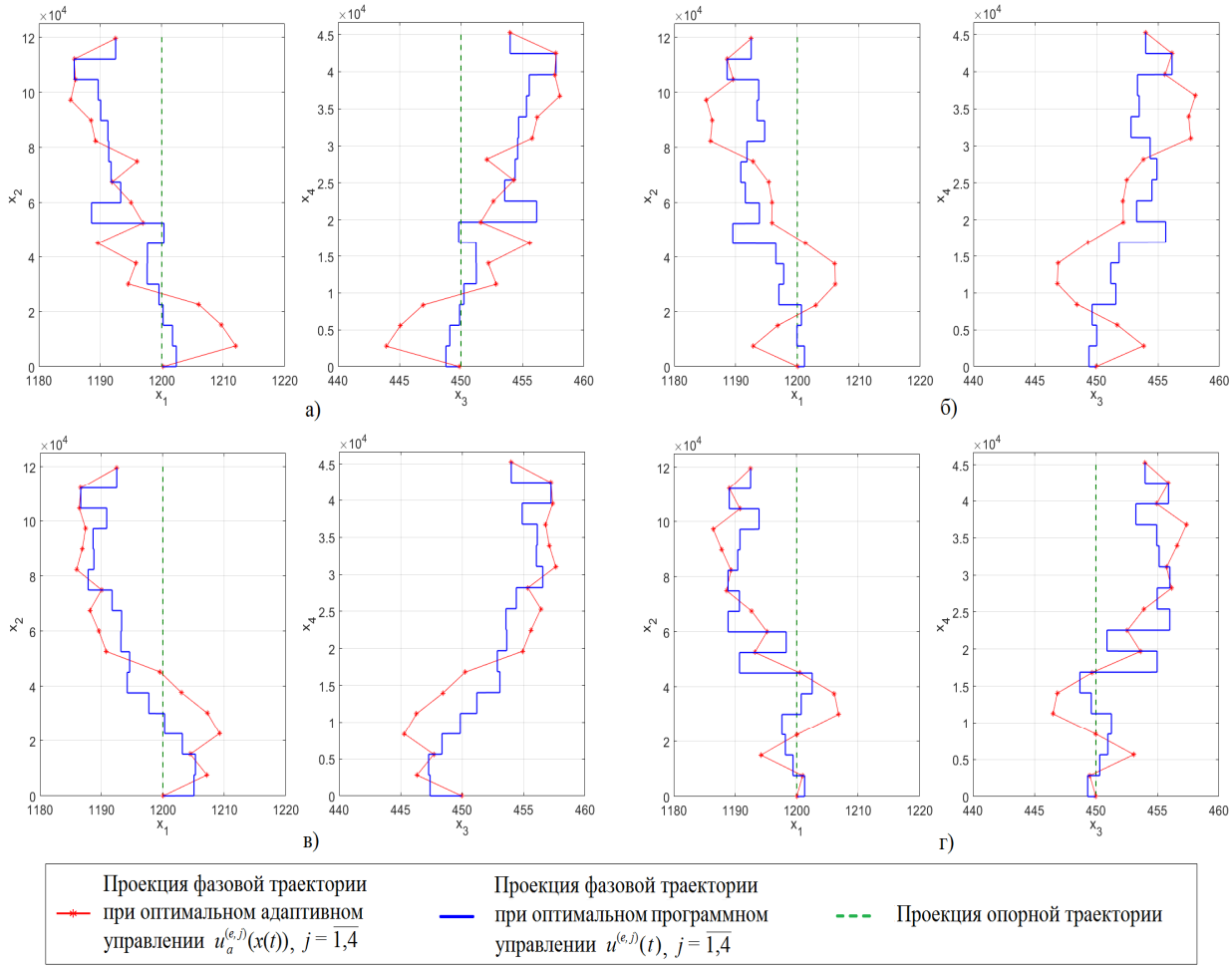


Рис. 1. Проекции фазовых траекторий при управлениях:
а) $u^{(e,1)}$ и $u_a^{(e,1)}$; б) $u^{(e,2)}$ и $u_a^{(e,2)}$; в) $u^{(e,3)}$ и $u_a^{(e,3)}$; г) $u^{(e,4)}$ и $u_a^{(e,4)}$

В табл. 2 приведены значения функционала Ф для траекторий, соответствующих реализациям оптимального программного терминального управления линейной и нелинейной системами, а также адаптивного терминального управления исходной нелинейной системой.

Период времени моделирования для одного варианта решения задачи оптимального программного терминального управления жидкостной ДУ РН составляет 0,4 с. Весь период времени моделирования решения задачи оптимального адаптивного терминального управления составляет 10 с. Из табл. 2 видно, что для исходной нелинейной системы результат реализации оптимального адаптивного терминального управления лучше, чем результат реализации оптимального программного терминального управления.

Таблица 2

Результаты решения модельного примера

	Управление	$x_1(T)$	$x_2(T)$	$x_3(T)$	$x_4(T)$	$\Phi(x(T))$
Опорная траектория	$u(t) \equiv 0$	1200	0	450	0	**0**
Нелинейная система	$u^{(e,1)}(t)$	1200,1	39,1	450	10,6	**48,261**
	$u_a^{(e,1)}(x(t))$	1200,2	32,7	449,9	8,5	**39,837**
	$u^{(e,2)}(t)$	1200,1	39,6	450	12,1	**51,021**
	$u_a^{(e,2)}(x(t))$	1200,1	36,3	450	9,5	**44,228**
	$u^{(e,3)}(t)$	1200	38,7	450	9,6	**46,339**
	$u_a^{(e,3)}(x(t))$	1200,1	31,1	450	8,2	**37,935**
	$u^{(e,4)}(t)$	1200,1	39,9	450	10,6	**48,906**
	$u_a^{(e,4)}(x(t))$	1200	36,6	450	10,1	**45,372**
Линейная система	$u^{(e,j)}(t)$	1200,1	39	450	10,5	**47,988**

Численное моделирование примера решения задач оптимального программного и адаптивного терминального управления жидкостной ДУ РН реализовано в среде MATLAB R2014a на ПК с Intel© Core™ i7-3770 CPU @ 3.4 GHz, 8 Gb RAM.

Заключение

В статье динамическая система управления расходом топлива жидкостной ДУ РН описана как нелинейная непрерывная дифференциальная система. Задача терминального управления расходом топлива жидкостной ДУ РН сформулирована как задача оптимального адаптивного терминального управления соответствующей аппроксимирующей линейной дискретной динамической системой. Для вычисления оптимального адаптивного терминального управления ДУ РН с нелинейной динамикой предложена процедура, основанная на реализации решения конечной рекуррентной последовательности вспомогательных задач оптимального программного терминального управления соответствующей аппроксимирующей линейной дискретной системой. Подробно описаны алгоритмы решения основной и вспомогательной задач оптимального управления. Показано, что задачу оптимального адаптивного терминального управления можно свести к решению конечного числа задач линейного и выпуклого математического программирования, выполнения одношаговых операций над компактными многогранниками и описания их с помощью вершин и конечных систем алгебраических равенств и неравенств, решения вспомогательных краевых задач. Результаты компьютерного моделирования показали применимость общего рекуррентного алгебраического метода построения областей достижимости и метода прямых и обратных конструкций [3] к решению задачи оптимального адаптивного терминального управления расходом топлива жидкостной ДУ РН.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-01-00544).

Литература

1. Бортовые терминальные системы управления (принципы построения и элементы теории) / Б.Н. Петров, Ю.П. Портнов-Соколов, А.Я. Андриенко, В.П. Иванов. – М.: Машиностроение, 1983. – 200 с.

2. Красовский, Н.Н. Теория управления движением / Н.Н. Красовский. – М.: Наука, 1968. – 476 с.

3. Шориков, А.Ф. Минимаксное оценивание и управление в дискретных динамических системах / А.Ф. Шориков. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. ун-та, 1997. – 242 с.

4. Шориков, А.Ф. Формирование линейной дискретной динамической модели для решения задачи оптимального терминального управления расходом топлива ракеты-носителя / А.Ф. Шориков, Калёв В.И. // Информационные технологии и системы: тр. 5-й Междунар. науч. конф. – 2016. – С. 61–66.

5. Калёв, В.И. Моделирование задачи терминального управления расходом топлива жидкостных ракет / В.И. Калёв, А.Ф. Шориков // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2016. – Т. 59, № 8-2. – С. 45–48.

6. Тюлюкин, В.А. Об одном алгоритме построения области достижимости линейной управляемой системы / В.А. Тюлюкин, А.Ф. Шориков // Негладкие задачи оптимизации и управление. – Свердловск: УрО АН СССР. – 1988. – С. 55–63.

7. Тюлюкин, В.А. Алгоритм решения задачи терминального управления для линейной дискретной системы / В.А. Тюлюкин, А.Ф. Шориков // Автоматика и телемеханика. – 1993. – № 4. – С. 115–127.

8. Шориков, А.Ф. Алгоритм решения задачи оптимального терминального управления в линейных дискретных динамических системах / А.Ф. Шориков // Информационные технологии в экономике: теория, модели и методы: сб. науч. тр. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2005. – С. 119–138.

9. Шориков, А.Ф. Описание библиотеки компьютерных программ для моделирования решения задачи апостериорного минимаксного оценивания / А.Ф. Шориков, В.А. Тюлюкин // Известия Урал. гос. экон. ун-та. – 1999. – № 2. – С. 36–49.

10. Аппроксимация областей достижимости нелинейных дискретных управляемых динамических систем / А.Ф. Шориков, В.В. Булаев, А.Ю. Горанов, В.И. Калев // Вестник БГУ. Математика, информатика. – 2018. – № 1. – С. 52–65.

11. Зойтендейк Г. Методы возможных направлений / Г. Зойтендейк. – М.: Изд-во иностр. лит., 1963. – 176 с.

Шориков Андрей Федорович, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры прикладной математики Уральского энергетического института, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург; afshorikov@mail.ru.

Калёв Виталий Игоревич, аспирант кафедры прикладной математики Уральского энергетического института, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина; инженер-конструктор, АО «НПО автоматики им. академика Н.А. Семихатова», г. Екатеринбург; v.i.kalev@urfu.ru.

Поступила в редакцию 25 января 2019 г.

DOI: 10.14529/ctcr190203

THE OPTIMAL CLOSED-LOOP TERMINAL PROPELLANT CONSUMPTION CONTROL ALGORITHM FOR LIQUID PROPULSION SYSTEM OF LAUNCH VEHICLE. PART II

A.F. Shorikov[1], *afshorikov@mail.ru,*
V.I. Kalev[1, 2], *v.i.kalev@urfu.ru*

[1] *Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation,*
[2] *JSC "Scientific and Production Association of automatics named after academician N.A. Semikhatov", Ekaterinburg, Russian Federation*

In this paper, we propose the algorithm of launch vehicle's liquid propulsion system propellant consumption control problem solving, in which this problem is formulated as the optimal closed-loop terminal control problem for corresponding linear discrete-time dynamical system. To achieve this, initial nonlinear continuous model, which describes the plant dynamics, is linearized along given reference trajectory and then is discretized in accordance to control process requirements. As the result of this, we have formed approximating model represented as the vector-matrix system of recurrence equations. The constraints of state vector and control vector are also taken into account in this approximating system, and we assume that the constraints are convex, closed and limited polyhedra with finite number of vertices in corresponding vector spaces. The optimal open-loop and closed-loop terminal control problems are formulated for generated linear discrete-time dynamical system. For solving the problems the optimal closed-loop terminal control recurrence algorithm is developed, which consists in the solving of number of optimal open-loop terminal control problems for linear discrete-time dynamical system. Based on solution of finite sequence of optimal open-loop terminal control problem for linear approximate model we provide recurrence optimal closed-loop terminal control algorithm for initial nonlinear dynamical system. In the implementation of proposed optimal open-loop control algorithm we use the tool of reachable sets computation and analysis based on general algebraic recurrence approach for linear discrete-time dynamical systems and some modifications of this approach intended for reducing the computational complexity and consequently for increasing the operation speed. The performance of developed optimal closed-loop terminal control algorithm is presented on numerical model example of launch vehicle's first stage liquid propulsion system propellant consumption closed-loop control optimization.

This work is a second part of a paper.

Keywords: optimal closed-loop control, terminal control, propellant consumption, launch vehicle, reachable sets.

References

1. Petrov B.N., Portnov-Sokolov A.Yu., Andrienko A.Ya., Ivanov V.P. *Bortovye terminalnye sistemy upravleniya* [On-board Terminal Control Systems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1983. 200 p.

2. Krasovskiy N.N. *Teoriya upravleniya dvizheniem (Lineynye sistemy)* [Theory of Motion Control (Linear Systems)]. Moscow, Nauka Publ., 1968. 476 p.

3. Shorikov A.F. *Minimaksnoe otsenivanie i upravlenie v diskretnykh dinamicheskikh sistemakh* [Minimax Estimation and Control in Discrete-Time Dynamical Systems]. Ekaterinburg, Ural State University Publ., 1997. 242 p.

4. Shorikov A.F., Kalev V.I. [Linear Discrete-Time Dynamical Model Forming for Solving Optimal Terminal Fuel Consumption Problem of Launch Vehicle]. *Informatsionnye tekhnologii i sistemy. Proceedings of 5th International Conference*, 2016, pp. 61–66. (in Russ.)

5. Kalev V.I., Shorikov A.F. [Fuel Consumption Terminal Control Problem Statement for Liquid-Propellant Rockets]. *Russian Physics Journal*, 2016, vol. 59, no. 8-2, pp. 45–48. (in Russ.)

6. Tyulyukin V.A., Shorikov A.F. [About One Algorithm of Creation of Area of Approachibility of the Linear Operated System]. *Optimization and Control Nonsmooth Problems*, 1988, pp. 55–63. (in Russ.)

7. Tyulyukin V.A., Shorikov A.F. [The Solution Algorithm of Terminal Control Problem for Linear Discrete-Time System]. *Automatics and Telemechanics*, 1993, no. 4, pp. 115–127. (in Russ.)

8. Shorikov A.F. [Algorithm of the Solution of a Problem of Optimum Terminal Control in Linear Discrete Dynamic Systems]. *Information Technologies in Economy: Theory, Models and Methods: Collection of Scientific Works*, Ekaterinburg, 2005, pp. 119–138. (in Russ.)

9. Shorikov A.F., Tyulyukin V.A. [Description of Library of Computer Programs for Modeling of the Solution of a Problem of a Posteriori Minimax Estimation]. *News the Ural State Econ. Univ.*, 1999, no 2, pp. 36–49. (in Russ.)

10. Shorikov A.F., Bulaev V.V., Goranov A.Yu., Kalev V.I., [Approximation of Attainability Domains of Nonlinear Discrete-Time Controlled Dynamical Systems**]**. *Bulletin of the Buryat State University. Mathematics, Informatics*, 2018, no. 1, pp. 52–65. (in Russ.)

11. Zoutendijk G. *Metody vozmozhnykh napravleniy* [Methods of Feasible Direction]. Moscow, Inostrannaya literatura Publ, 1963. 176 p.

Received 25 January 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Шориков, А.Ф. Алгоритм оптимального адаптивного терминального управления расходом топлива жидкостной двигательной установки ракеты-носителя. Часть II / А.Ф. Шориков, В.И. Калёв // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 29–37. DOI: 10.14529/ctcr190203

FOR CITATION

Shorikov A.F., Kalev V.I. The Optimal Closed-Loop Terminal Propellant Consumption Control Algorithm for Liquid Propulsion System of Launch Vehicle. Part II. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 29–37. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr190203

УДК 007.51:007.52:681.518 DOI: 10.14529/ctcr190204

АРХИТЕКТУРА ТРЕНАЖЕРНОЙ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРОВ РАДИАЦИОННО СТОЙКИХ МАНИПУЛЯТОРОВ

М.В. Носиков

Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе, г. Миасс, Россия

Описана концепция построения, структура и практическая реализация тренажерной системы для подготовки операторов радиационно стойких дистанционно управляемых роботизированных электромеханических манипуляторов, устанавливаемых в герметичных камерах. В настоящее время на предприятиях атомной отрасли широко применяются механические и электромеханические манипуляторы копирующего типа. Современные подходы к построению систем управления и человеко-машинных интерфейсов позволяют уйти от способа прямого копирования кинематических конфигураций задающего и исполнительного органов и реализовывать как автоматизированные, так и автоматические режимы управления. Ключевой особенностью является присутствие человека в контуре управления, что обусловливается большим разнообразием и сложностью выполняемых операций и в ряде случаев недетерминированностью самой рабочей среды. В связи с этим вне зависимости от типа применяемых органов управления необходимо формирование устойчивых навыков выполнения операций, в том числе с использованием систем обучения и тренажерных систем. Задачами тренажерных систем для оборудования подобного типа являются: теоретическая подготовка операторов, поэтапная подготовка операторов к выполнению практических функций управления манипуляторами, реализация периодического контроля квалификации оператора, выполнение функций мониторинга управляющих воздействий на всех этапах выполнения технологических операций, регистрация и анализ предаварийных и аварийных состояний как манипулятора, так и его системы управления. Использование в составе системы дополнительной рабочей станции инструктора позволяет строить процесс подготовки в режиме непосредственного взаимодействия и совместного управления «оператор – инструктор». В работе приведены архитектура программной части тренажерной системы, интерфейсы взаимодействия с системой управления, структура базы данных регистрируемой информации.

Ключевые слова: робот-манипулятор, тренажерная система, ROS, база данных, система управления.

Введение

Современные многокоординатные робототехнические комплексы и манипуляторы с электрическими исполнительными приводами широко используются во многих отраслях промышленности и в большинстве случаев являются высокоавтономными системами, функционирующими в автоматическом режиме. Их типовыми режимами работы являются: выполнение движений по заданной траектории с требуемой скоростью без учета недетерминированности внешней среды; адаптивное выполнение движений по требуемой траектории с анализом внешних условий среды (например, при использовании системы технического зрения).

Отдельным классом робототехнических комплексов (РТК), мобильных и стационарных манипуляционных систем являются комплексы с участием человека непосредственно в контуре управления. РТК данного типа применяются в технических областях с нестационарными и/или недетерминированными условиями внешней среды, в частности: РТК для военной сферы, РТК системы разминирования, пожарные РТК. Одной из важнейших сфер применения РТК такого типа является атомная промышленность, где влияние ряда опасных факторов (радиационные поля, химически агрессивная среда и т. д.) и высокая степень вариативности выполняемых операций сочетается с необходимостью защиты человека от опасных факторов. Разработанные в 60–70-е гг. XX в. манипуляторы были построены по схеме копирования положения задающего органа исполнительному механизму (манипулятору) механическими передачами или электромеханической сельсинной системой [1]. Ряд отечественных и зарубежных предприятий по настоящее

время выпускает электромеханические копирующие манипуляторы, а количество эксплуатируемых РТК данного типа на предприятиях атомной отрасли РФ доходит до нескольких сотен единиц. На рис. 1 изображен типовой электромеханический манипулятор легкого класса грузоподъемностью до 15 кг. Местом установки исполнительных органов (манипуляторов) является потолок толстостенной герметичной камеры, гарантированно защищающей оператора и обслуживающий персонал от влияния опасных факторов. Оператор выполняет требуемые технологические операции путем механического воздействия и перемещения задающего органа, кинематически идентичного исполнительному органу. Контроль выполнения операций осуществляется путем визуального наблюдения через толстостенное стекло передней стенки камеры. На рис. 2 приведен разрез (вид сбоку) типовой герметичной камеры с установленными манипулятором и задающим органом.

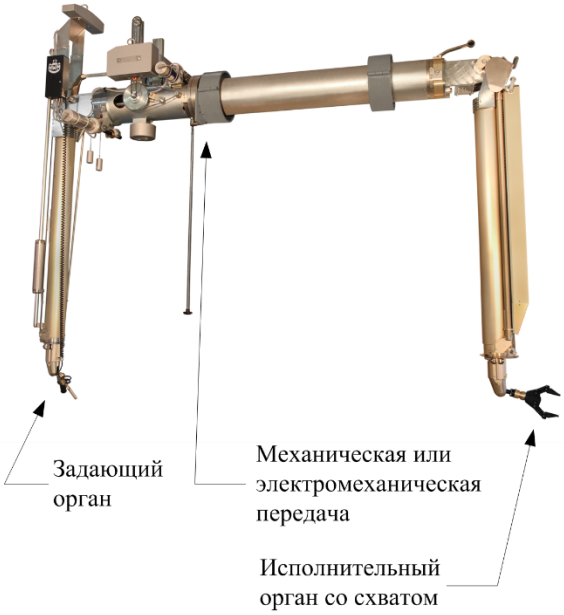


Рис. 1. Копирующий манипулятор легкого класса

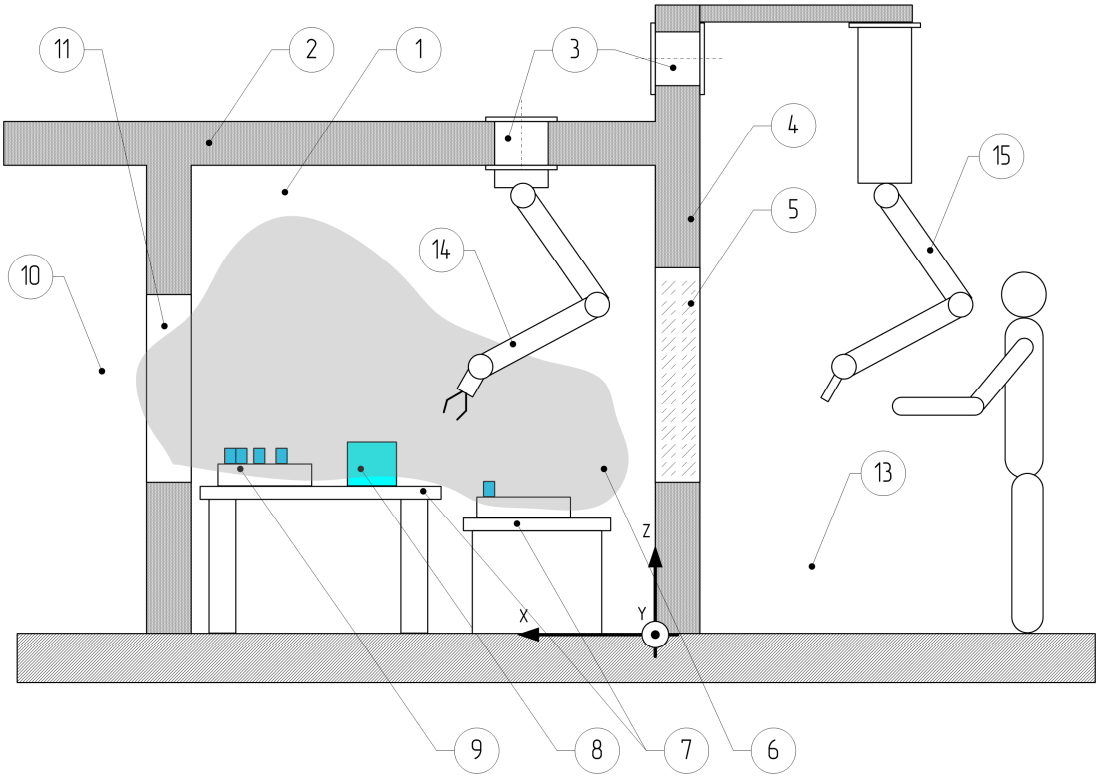


Рис. 2. Герметичная защитная камера (вид сбоку, разрез)

На рис. 2 обозначены:

1 – герметичный объем камеры;

2 – потолок камеры;

3 – герметичные каналы («проходки») для технологического оборудования и манипуляторов;

4 – передняя стенка камеры;

5 – толстостенное защитное стекло;

6 – рабочее пространство технологического оборудования и манипуляторов при выполнении типовых внутрикамерных операций;

7 – основные и вспомогательные рабочие поверхности для размещения оборудования и материалов;

8 – внутрикамерные технологические приспособления, измерительные устройства;

9 – технологическая посуда (тара) в контейнере;

10 – технологическая зона (транспортный коридор) для осуществления межкамерных транспортных операций;

11 – технологическое окно между камерой и транспортным коридором (приемная зона камеры);

12 – транспортное оборудование для межкамерных операций;

13 – операторская зона;

14 – внутрикамерный манипулятор;

15 – кинематически-подобный задающий орган.

Несмотря на очевидное достоинство кинематически-подобных систем в части идентичности кинематических конфигураций задающего и исполнительного органов при выполнении операций, копирующие манипуляторы имеют ряд недостатков:

1) высокие величины механических нагрузок на руки оператора, высокая утомляемость при длительном выполнении технологических операций;

2) наличие люфтов в кинематических парах как манипулятора, так и задающего органа, приводящие к потере точности позиционирования, а в ряде случаев – к невозможности выполнения требуемых операций;

3) фиксированные передаточные отношения (1 : 1) между задающим органом и манипулятором, что вызывает определенные трудности при осуществлении операций, требующих повышенной точности позиционирования схвата;

4) невозможность автоматизации операций, выполняемых с помощью манипуляторов данного типа.

Современные технические средства и комплексы программных продуктов для синтеза систем управления позволяют строить высокоэффективные решения по управлению сложными техническими объектами, в том числе многокоординатными манипуляторами. В целом к задачам систем управления РТК с участием человека в контуре управления можно отнести:

1) обеспечение выполнения технологических манипуляционных операций с требуемыми точностью и быстродействием; обеспечение возможности работы в ручном, автоматизированном и автоматическом режимах;

2) предоставление оператору средств воздействия/управления (задающих органов), позволяющих формировать и контролировать величину и, при необходимости, направление управляющих воздействий;

3) формирование и визуализацию с помощью технических средств вектора состояния системы, необходимого и достаточного для однозначного его восприятия оператором;

4) обеспечение функций контроля и безопасности при манипуляционных действиях;

5) обеспечение сопряжения с системами более высокого уровня с целью информационной интеграции отдельных технологических зон в единое информационное пространство современных производств (технологии «цифровое производство», «Индустрия 4.0» и т. д.).

В качестве человеко-машинного интерфейса в части задающих органов возможно применение целого ряда современных устройств: устройства управления типа «мышь»; двух- и многоосевые джойстики; задающие устройства с тремя поступательными и тремя вращательными степенями свободы, в том числе беспроводные на базе инерциальных сенсоров; экзоскелеты и т. д.

Зарубежные производители радиационно стойких манипуляторов (в частности французская фирма LaCalhene) приступили к созданию и опытной эксплуатации подобных систем [2]. Лаборатория робототехники филиала ЮУрГУ в г. Миассе в период 2015–2018 гг. выполнила проектирование, изготовление и ввод в опытную эксплуатацию шестистепенного радиационно стойкого манипулятора «МР-48» грузоподъемностью до 15 кг [3–5]. Входящий в состав пульта управления промышленный персональный компьютер с сенсорным экраном обеспечивает визуализацию состояния комплекса в графическом и текстовом видах. В качестве задающих органов используются два промышленных многоосевых джойстика (рис. 3).

Рис. 3. Манипулятор МР-48 и его пульт управления (операторская рабочая станция)

В процессе опытной эксплуатация манипулятора «МР-48» осуществлялась регистрация и анализ действий оператора на задающие органы, а также выполнялся общий анализ готовности операторов к использованию дистанционно управляемых РТК с задающими органами типа «джойстик». С целью улучшения навыков работы оператора как в обычных условиях эксплуатации, так и при аварийных режимах работы была предложена подсистема тренажерного обучения, мониторинга и анализа действий оператора как часть программного комплекса системы управления «МР-48».

Общая архитектура тренажерной системы

Задачами тренажерной системы являются теоретическая подготовка, формирование, отработка и оценка практических навыков работы с дистанционно управляемыми манипуляторами. Процесс обучения может быть разбит на следующие этапы:

Теоретическая часть:

- технические характеристики РТК, конструкция РТК, рабочая зона манипулятора, применяемый сменный инструмент;
- структура пульта управления и органов управления манипулятором;
- процедуры включения и останова РТК;
- общие принципы управления РТК.

Практическая часть:

- работа с подсистемой визуализации (рабочие окна программного обеспечения, изменение состава отображаемых параметров, внешнего вида 3D-моделей и т. д.);
- базовые команды и операции по реконфигурации манипулятора;
- выполнение операций в прямоугольной декартовой системе координат схвата;
- выполнение операций в прямоугольной базовой системе координат;
- захват и отпускание объектов;
- формирование, сохранение и воспроизведение траекторий движения;
- перевод манипулятора в исходное положение («парковка» манипулятора);
- выполнение операций при аварийных режимах работы манипулятора.

В теоретической части возможна организация проведения промежуточных и итоговых тестов. Готовность обучаемых операторов к выполнению практической эксплуатации РТК может базироваться на оценке инструктора, анализе зарегистрированных системой управления данных о характере управления, точности и быстроте выполнения операций.

Человеко-машинный интерфейс (интерфейс «человек-манипулятор») включает в себя четырехосевой и трехосевой джойстики с пропорциональными и дискретными каналами управления, сенсорный монитор, который также может являться источником управляющих сигналов. Рис. 4 отображает общую структуру взаимодействия «человек-манипулятор». Оператор руками выполняет механическое перемещение рукояток задающих органов, что вызывает формирование управляющих воздействий, являющихся уставками для угловой скорости или углового положения звеньев и кисти манипулятора.

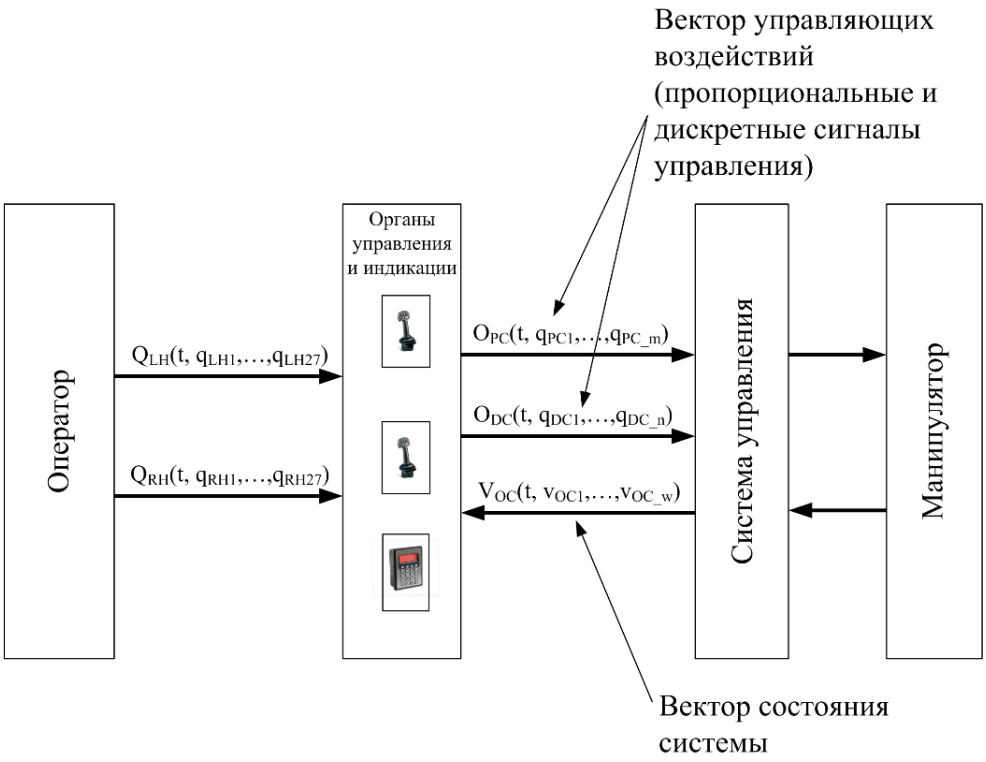


Рис. 4. Общая структура взаимодействия «человек-манипулятор»

На рис. 4 обозначены:

Q_{LH} – вектор перемещения (положения) левой руки оператора;

Q_{RH} – вектор перемещения (положения) правой руки оператора;

O_{PC} – вектор величины отклонения рукоятки джойстиков (пропорциональных каналов управления);

O_{DC} – вектор состояния дискретных каналов управления (аппаратные и программные кнопки и тумблеры);

V_{OC} – вектор состояния манипулятора и системы управления.

Обновление значений компонент векторов управляющих воздействий O_{PC}, O_{DC} может формироваться асинхронно, значения компонент вектора состояния системы V_{OC} обновляются синхронно в соответствии с фиксированным тактом вычисления контуров управления системы (рис. 5).

При реализации тренажерной системы (практической части) необходимо обеспечить выполнение следующих задач:

1. Формирование набора обучающих и контрольных практических заданий (траекторий движения, исходных и финальных конфигураций манипулятора и т. д.) для различных сценариев реализации технологических операций.

2. Обеспечение гарантированной записи на информационный носитель всех управляющих векторов, векторов состояния, режимов и настроечных параметров системы. Реализация данной задачи позволяет провести:

• анализ воздействий оператора на органы управления в течение всего этапа обучения или выполнения технологической операции;

• анализ адекватности воздействий оператора, исходя из состояния системы (кинематической конфигурации манипулятора);

• повторное воспроизведение воздействий оператора и параметров движения манипулятора, в том числе с различным масштабом по времени. Повторное воспроизведение и анализ состояния системы могут быть выполнены как на манипуляторе, так и на его программной математической модели.

3. Организация участия инструктора в процессе тренажерной сессии с целью оперативной коррекции действий обучаемого оператора. Данный подход предполагает наличие рабочего места инструктора с идентичным операторскому составу задающих органов, при этом воздействия инструктора на задающие органы должны иметь более высокий приоритет по сравнению с воздействиями оператора.

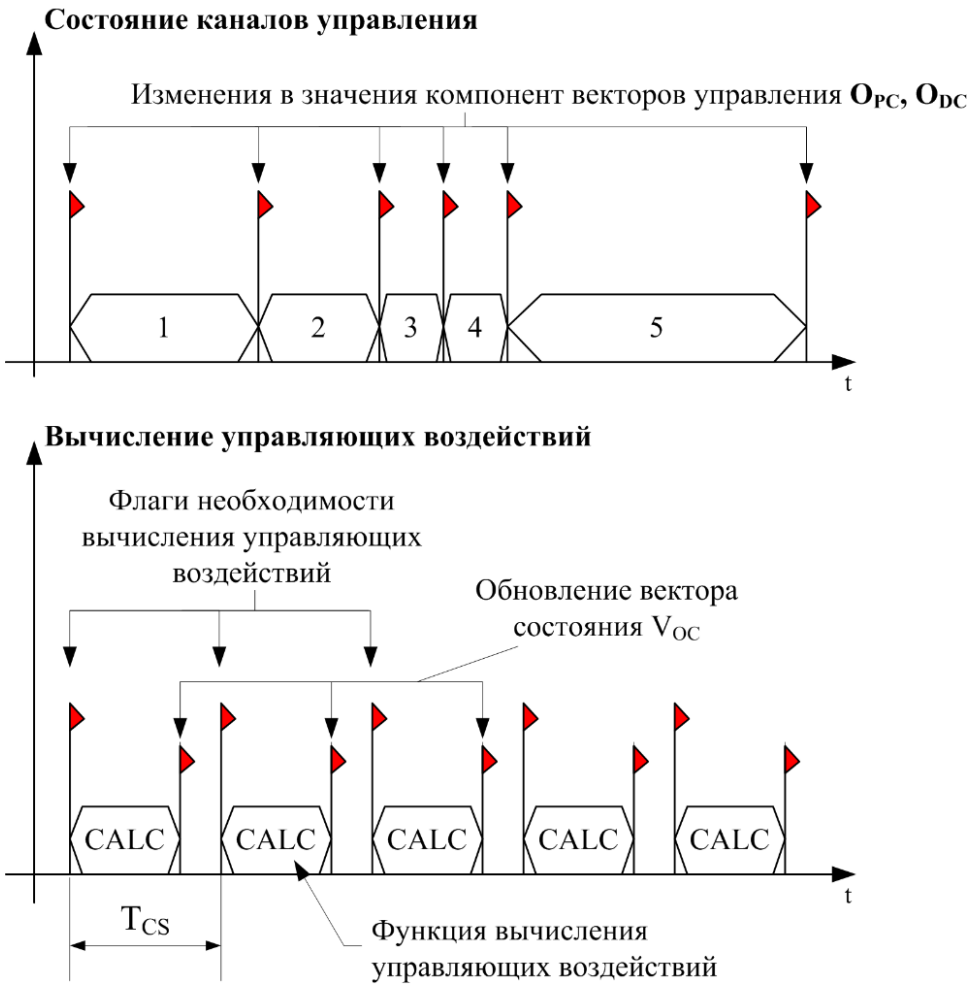


Рис. 5. Общая структура взаимодействия «человек-манипулятор»

В процессе подготовки тренажерной сессии инструктор формирует или выбирает из списка типовых операций текущее задание, учитывая при этом квалификацию обучаемого оператора. Настройка задания выполняется на рабочей станции инструктора (рис. 6) и может включать в себя: начальную кинематическую конфигурацию манипулятора, количество объектов манипулирования, конфигурацию расположения препятствий и т. д.

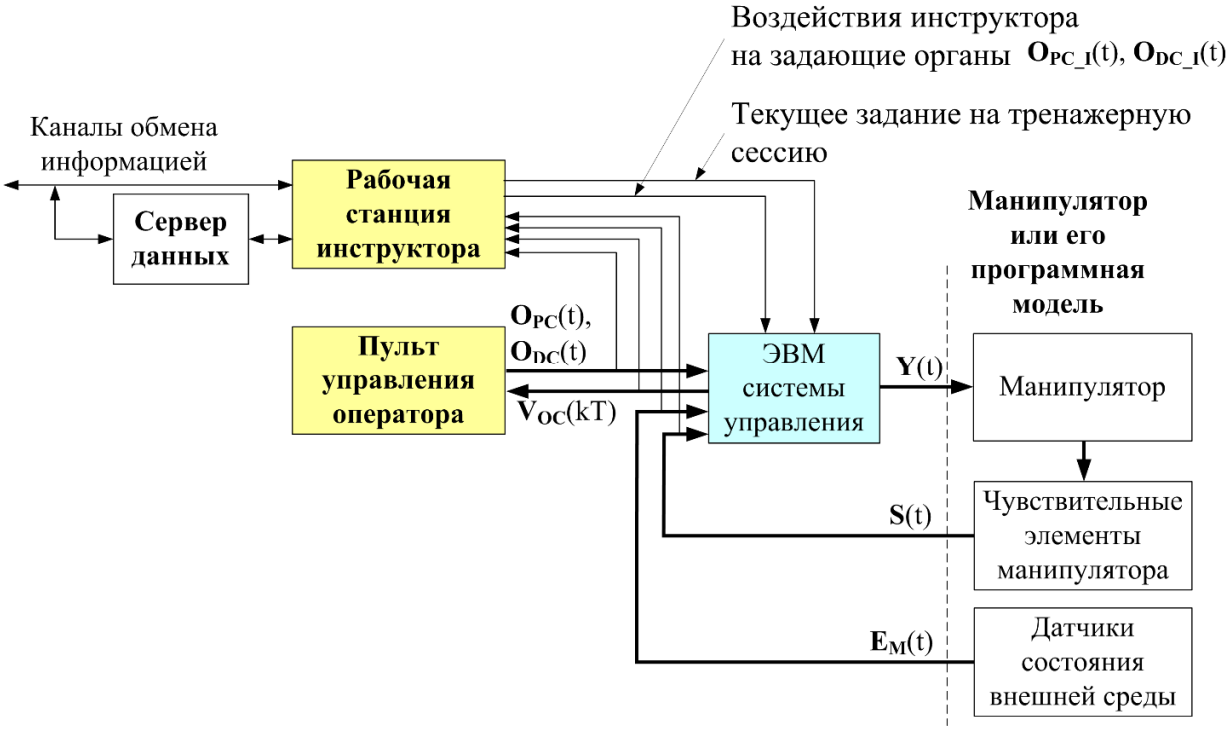


Рис. 6. Укрупненная структурно-функциональная схема тренажерной системы

Программное обеспечение тренажерной системы

При реализации программных модулей тренажерной системы требуется исходить из аппаратно-программной архитектуры системы управления РТК. На сегодняшний день существует ряд подходов и программных платформ для реализации систем управления, один из наиболее широко применяющихся – использование специализированных программных наборов библиотек («фрэймворков», наборов алгоритмов, функций и программных классов). Одним из наиболее популярных решений для задач мобильной и стационарной робототехники является использование фрэймворка Robotic Operating System (ROS, ROS2, ROS-Industrial) [6, 7]. Фрэймворк ROS является «надстройкой» над операционной системой (ОС, базовой являются ОС класса Linux). В состав ROS входит ядро системы, выполняющее функции арбитража, синхронизации, организации межпроцессного взаимодействия, большое количество специализированных программных библиотек и модулей, реализующих специфичные для робототехнических применений алгоритмы приема и обработки данных первичных измерителей, решения задач навигации, кинематики и динамики РТК, локализации и прокладки маршрутов и траекторий движения. Программная архитектура ROS поддерживается большим числом как исследовательских проектов и лабораторий, так и ведущими производителями промышленного робототехнического оборудования, такими как FANUC, ABB, Universal Robots. Разработчикам систем управления РТК предоставляется широкий спектр средств разработки и отладки собственных программных модулей, интегрируемых в общую программную инфраструктуру ROS («Модуль 1», «Модуль N», рис. 7).

Одной из ключевых особенностей ROS является подсистема обмена сообщениями между программными компонентами системы управления, выполняющая гарантированную доставку информации от модуля-отправителя к модулю-получателю. Подсистема позволяет выполнять обмен как типовыми структурами данных (целые и дробные числа различного формата, строковые сообщения, сообщения от стандартных устройств ввода-вывода), специализированными сообщениями (матрицы однородных преобразований, сообщения-вектора текущей конфигурации манипулятора), так и сложными пользовательскими структурами сообщений. Подсистема мониторинга сообщений ROS позволяет осуществлять мониторинг передачи сообщений, используя различные критерии фильтрации, текстовый и графический вывод информационных данных и т. д. Для тренажерной системы подсистема обмена сообщениями ROS является основным источником информации о текущем состоянии СУ, действиях оператора и инструктора.

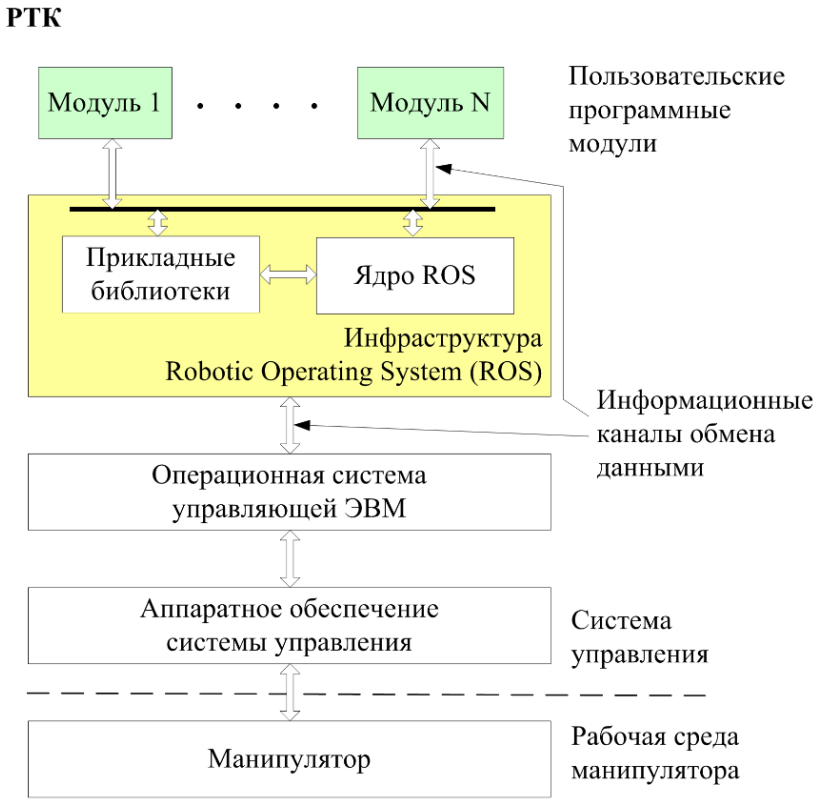


Рис. 7. Инфраструктура ROS в составе аппаратно-программной системы управления РТК

Алгоритмы запуска и инициализации пользовательских программных модулей (именуемых в ROS узлами) позволяют передавать ядру ROS перечень сообщений, которые требуются данному узлу от других компонент и узлов системы, а также перечень сообщений, формируемых данным узлом при выполнении периодических или апериодических действий. Таким образом формируется таблица информационного взаимодействия программных узлов, пример которой в графическом виде, подготовленным стандартной ROS-утилитой rqt_graph, представлен на рис. 8. При получении сообщения определенного типа программный узел вызывает функцию обработки сообщения, выполняет необходимые математические и/или логические операции и формирует ответное сообщение.

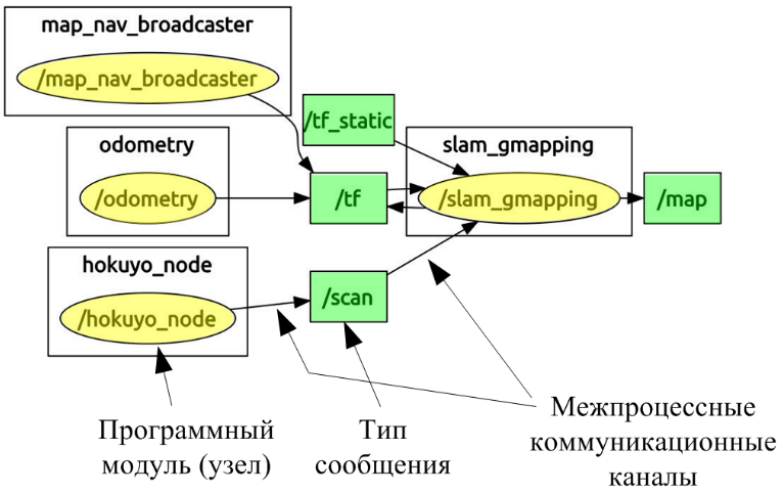


Рис. 8. Пример графа связей программных узлов системы управления, подготовленный утилитой rqt_graph

Для обеспечения функций управления манипулятором МР-48 и функций тренажерной системы в программной части системы управления реализован следующий состав программных модулей (узлов) и взаимодействие между ними (табл. 1, рис. 9):

Таблица 1

Основные программные ROS-модули (узлы) системы управления МР-48

Узел	Функциональное назначение
/mr_algorithms	Основной программный модуль, реализующий алгоритмы управления МР-48
/mr_hrdw_interface	Модуль обмена информацией с адаптерами ввода-вывода манипулятора МР-48. Реализует выдачу управляющих воздействий и прием информации от чувствительных элементов манипулятора
/trainee_ctrls /instructor_ctrls	Программные модули, реализующие прием сигналов от пропорциональных и дискретных каналов управления задающих органов оператора и инструктора
/training_task	Программный модуль формирования текущего задания во время тренажерной сессии
/storage	Программный модуль хранения векторов состояния и управления, взаимодействие с сервером базы данных
/usb_cam	Программный модуль приема и визуализации видеоданных от видеокамер, установленных на манипуляторе и/или в герметичной камере
/speech_database /sound_play	Программные модули формирования речевой и аудиоинформации при выполнении определенных этапов тренажерной сессии либо наступлении определенных событий в системе управления

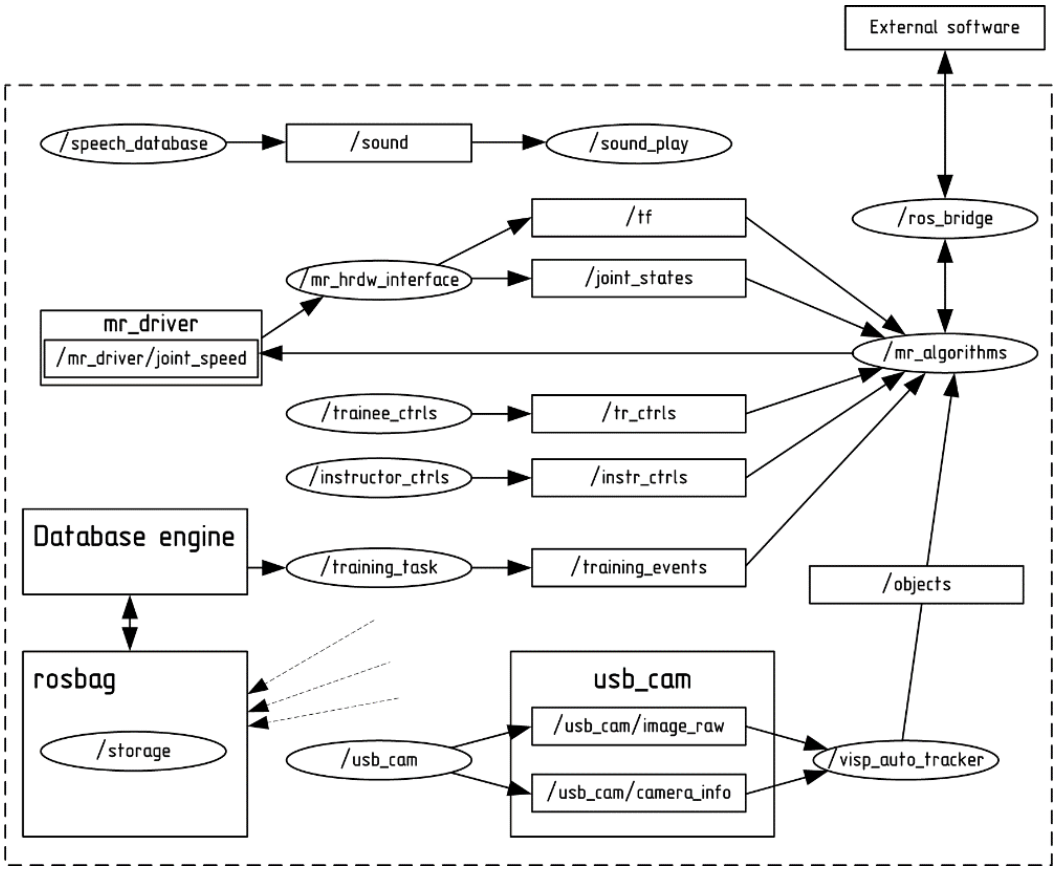


Рис. 9. Граф взаимодействия ROS-узлов системы управления МР-48

Для регистрации (сохранения) межмодульного взаимодействия в системе ROS используется сервис rosbag – набор функциональных модулей и процедур для обеспечения записи требуемых сообщений в файловую систему, используя заданные критерии. В процессе записи обеспечивается автоматическое формирование порядкового номера сообщения и его строгая привязка к системному времени. Записанные сообщения могут быть визуализированы в графическом и табличном виде как внутренними средствами ROS, так и внешним программным обеспечением. В системе тренажерного обучения записанная информация может быть использована как для анализа действий в режиме «отложенного времени», так и быть воспроизведена повторно для оценки действий в режиме «реального времени». Пример заголовка rosbag-файла с суммарной информацией о типе и объеме записанной информации приведен на рис. 10.

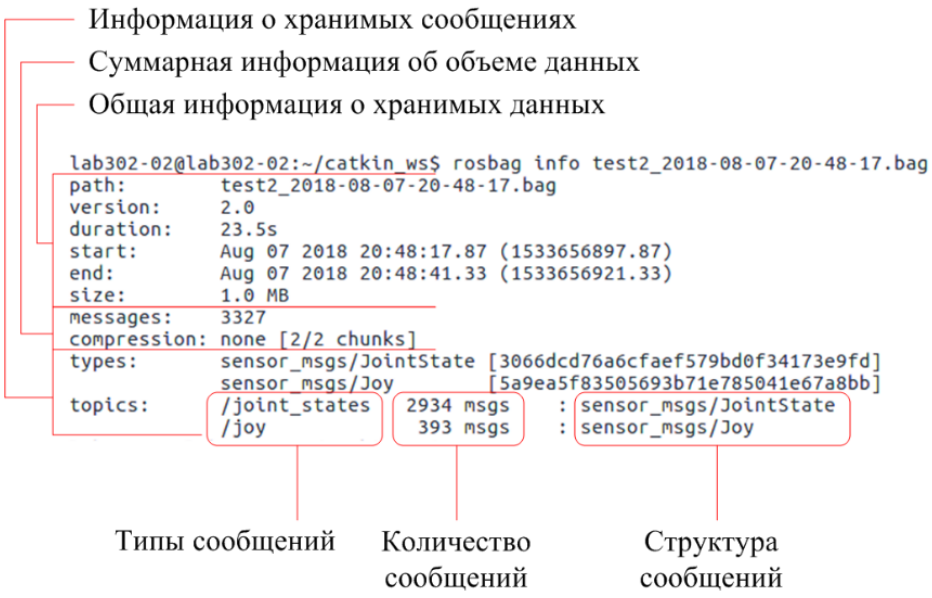


Рис. 10. Пример заголовка зарегистрированного rosbag-файла системы управления МР-48

В табл. 2 приведены типы хранимых в системах управления и тренажерного обучения МР-48 сообщений, периодичности их поступления и оценочные объемы сохраняемой информации.

Таблица 2

Типы и объемы данных регистрируемых сообщений системы управления МР-48

Тип сообщения	Описание	Темп поступления, Гц	Объем регистрируемой информации, МБ/мин
/tr_ctrls /instr_ctrls	Управляющие воздействия на задающие органы оператора и инструктора	1–50	0,1–1
/joint states	Кинематическая конфигурация манипулятора (угловые положения и угловые скорости звеньев манипулятора)	50	2
/tf	Матрицы однородных преобразований текущей кинематической конфигурации манипулятора	50	2
/training_events	Текстовые и числовые сообщения о текущей тренажерной сессии	непериодические	0,1
/usb_cam/image_raw	Видеопоток данных от внешней USB-камеры	10–50	10–100

Программный модуль «Database engine» (см. рис. 9) обеспечивает организацию хранения информации о процессе тренажерной подготовки, включая идентификационную информацию об операторе, инструкторе, тренажерных заданиях, тренажерных сессиях, результатах выполнения оператором того или иного задания. Модуль «Database engine» осуществляет интеграцию данной информации с информацией, зарегистрированной в rosbag-файле в единой реляционной SQL базе данных (MariaDB 5.0). Упрощенный вариант структуры таблиц базы данных и их отношений приведен на рис. 11.

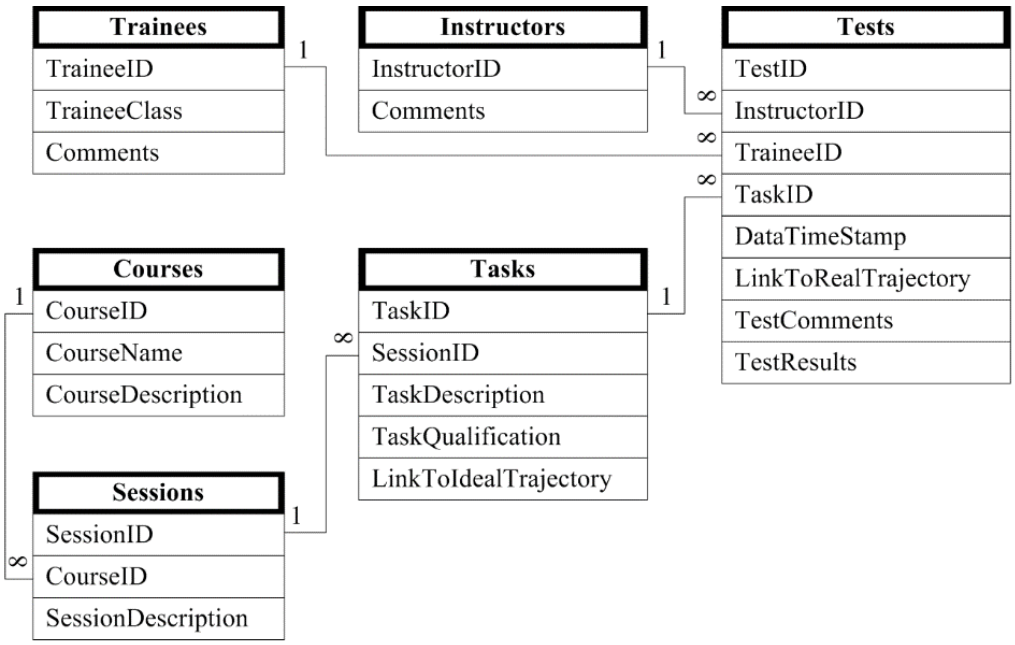


Таблица	Описание
Trainees	Таблица данных об обучаемых
Instructors	Таблица данных об инструкторах
Courses	Таблица данных о программе подготовки
Sessions	Таблица данных о тренажерных сессиях
Tasks	Таблица данных о выполняемых заданиях
Tests	Таблица данных о результатых выполннения заданий

Рис. 11. Упрощенная структура базы данных тренажерной системы

Программные средства анализа данных тренажерной системы

Инструктор имеет возможность осуществлять анализ действий оператора и на основании данной информации принимать решение о квалификации оператора, используя следующие средства:

1) наблюдение за действиями оператора, конфигурацией и движениями манипулятора в режиме реального времени, используя программные средства визуализации текущей информации;

2) анализ записанной видеоинформации с камер обзора, установленных на манипуляторе или в герметичной камере;

3) анализ зарегистрированных векторов состояния и управления в виде двумерных графиков с одновременным отображением (в режиме наложения) требуемых (заданных, идеальных) действий и траекторий и возможностью повторения (режим воспроизведения) определенных временных интервалов (рис. 12);

4) отображение трехмерных конфигураций и движений манипулятора с нескольких точек обзора. Данный режим применяется на виртуальной модели манипулятора (рис. 13).

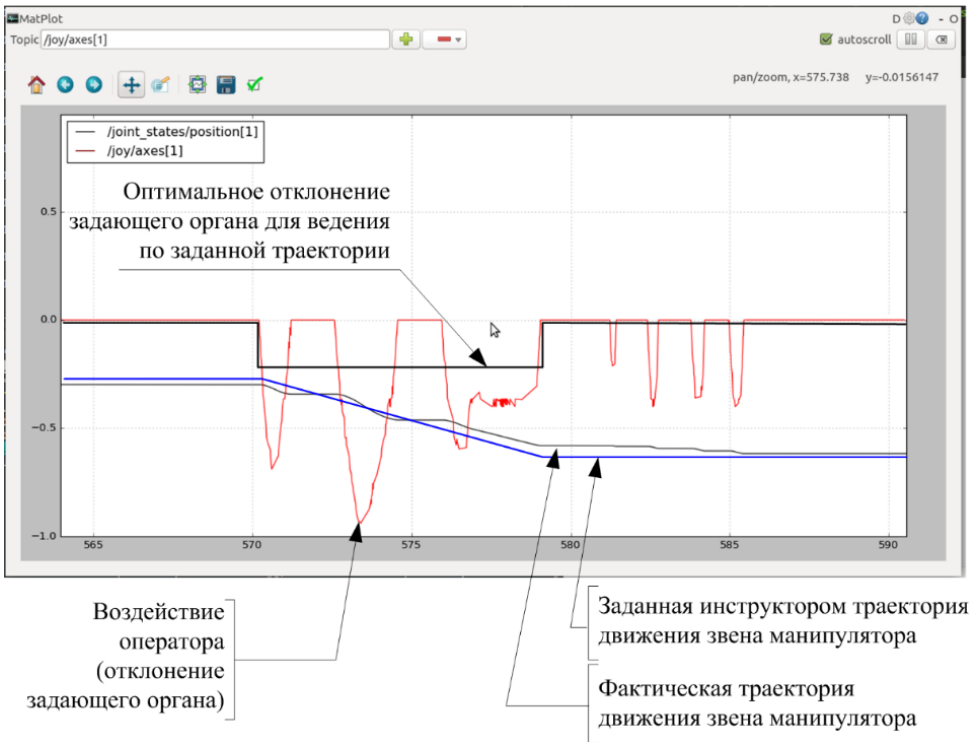


Рис. 12. Анализ действий оператора, представленных в виде временной зависимости

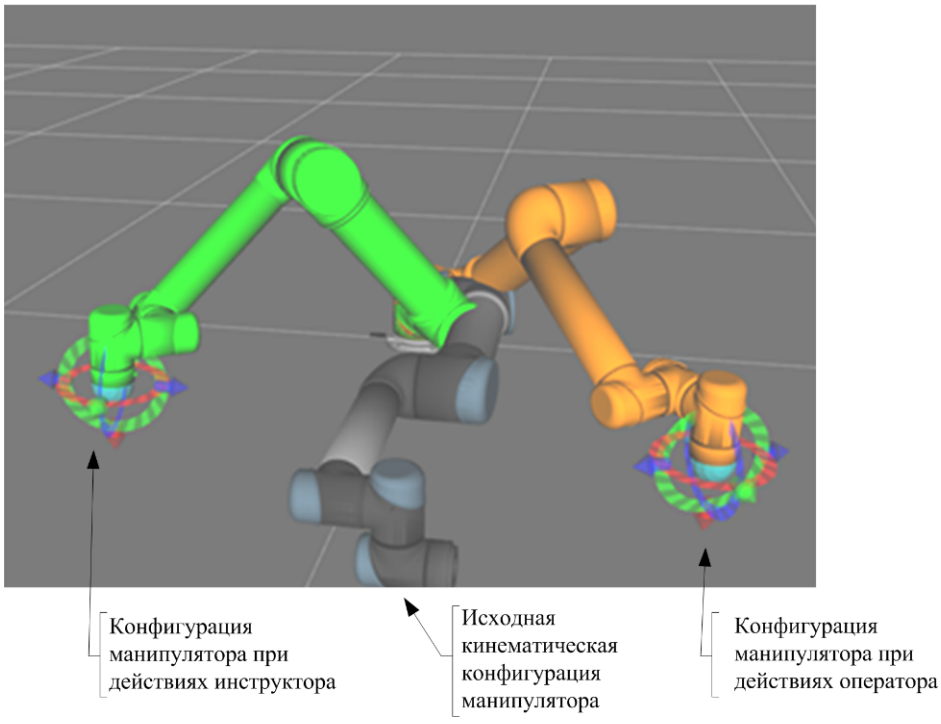


Рис. 13. Анализ действий оператора и инструктора, представленные в виде трехмерной модели манипулятора

Для отображения текущей системной информации в режиме реального времени предложен подход, основанный на распределенной (сетевой) архитектуре с возможностью обмена ROS-сообщениями между узлами сети и использовании веб-браузеров как универсального средства вывода текстовой, табличной и графической информации. Развитие современных информационных технологий и высокоуровневых программных средств представления информации позволяет строить эффективные человеко-машинные системы с учетом специфики восприятия информации определенного типа.

В системе тренажерного обучения в режиме мониторинга действий оператора для визуализации состояния системы используются следующие программные продукты и протоколы (рис. 14):

- программный модуль ros-bridge, обеспечивающий обмен сообщениями между инфраструктурой ROS и внешним программным обеспечением, используя TCP-соединение, технологии WebSockets и JSON;
- веб-бразуер с поддержкой технологии WebSockets;
- язык разметки текстовой и медиаинформации HTML5;
- скриптовый язык создания веб-приложений JavaScript (ECMAScript 2018);
- протокол текстового обмена сообщениями JSON5.

На рис. 15, 16 приведены примеры окон браузера рабочей станции инструктора, функционирующей в режиме мониторинга действий оператора в режиме реального времени.

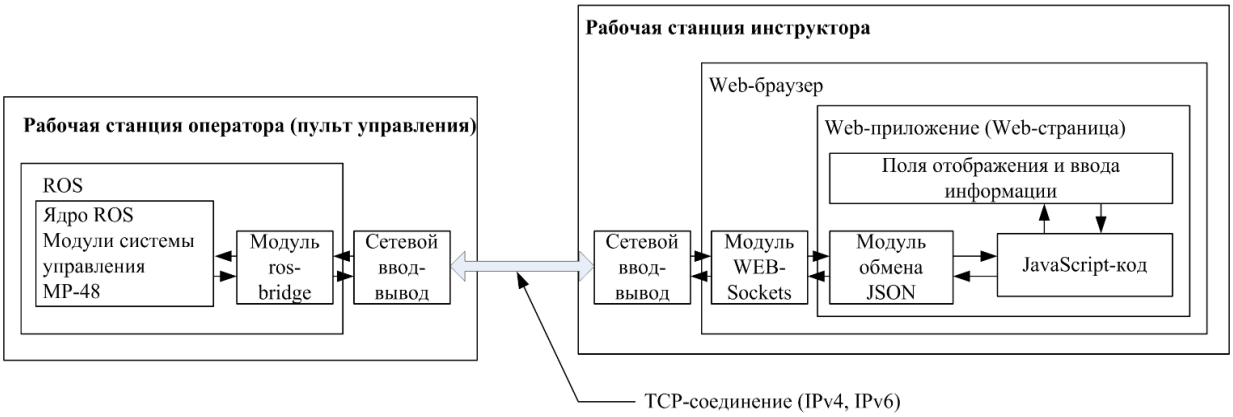


Рис. 14. Структура информационного взаимодействия Web-браузера и системы управления МР-48

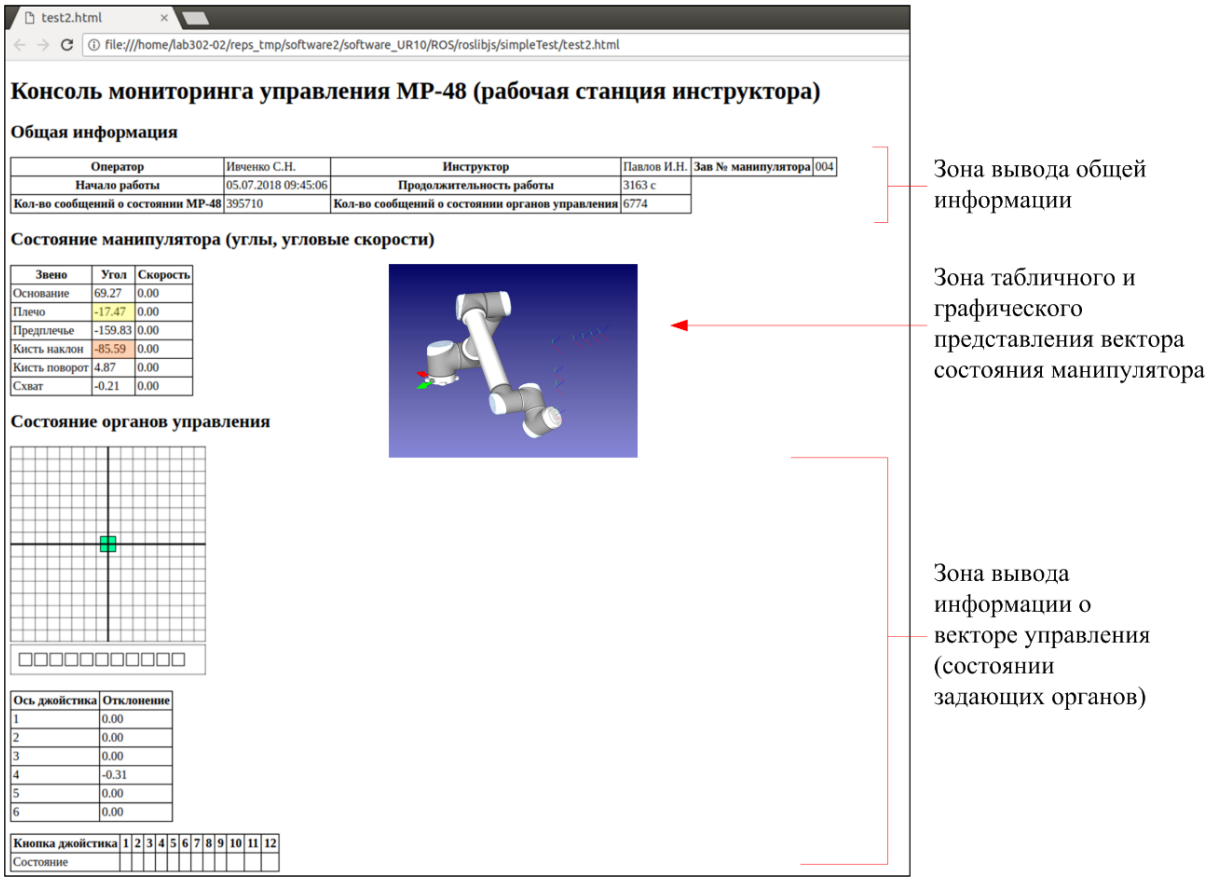


Рис. 15. Общий вид окна браузера рабочей станции инструктора в режиме мониторинга действий оператора

Рис. 16. Пример окна браузера рабочей станции инструктора при воздействии оператора на задающие органы

Заключение

Предложенная система тренажерного обучения позволяет организовать эффективный процесс обучения операторов дистанционно управляемых РТК с цифровыми системами управления. Использование свободно распространяемых программных продуктов (в том числе с открытым исходным кодом) позволяет наращивать функциональные возможности системы, например, осуществлять мониторинг нескольких внутрикамерных или объединенных в технологическую цепочку манипуляторов. Автором предложены: программная архитектура, информационная структура и способы взаимодействия системы управления радиационно стойким манипулятором и подсистемы тренажерного обучения. Разработка, отладка и тестирование системы были выполнены в лабораториях «Робототехника» и «Моделирование динамики движения» филиала ЮУрГУ в г. Миассе.

Литература

1. Юревич, Е.И. Основы робототехники / Е.И. Юревич. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.

2. MT 200 TAO Electrically Assisted, Computer-Aided Master-Slave Manipulator. – https://www.lacalhene.com/siteassets/la-calhene/application--products/remote-manipulation/mt200tao/getingelacalhene_ma200tao_bc_en.pdf (дата обращения: 23.06.2018).

3. Пат. 172431 Российская Федерация, F42D5/04. Манипулятор МР-48 для атомной промышленности / И.В. Войнов, И.Ф. Круглов, Б.А. Морозов, А.М. Казанцев, М.В. Носиков. – 2016.

4. Радиационно-стойкие манипуляторы и методы расширения их функциональных возможностей / И.В. Войнов, А.М. Казанцев, Б.А. Морозов, М.В. Носиков // «Экстремальная робототехника и конверсионные тенденции»: сб. тр. междунар. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, ЦНИИ РТК, 7–8 июня 2018). – СПб., 2018. – С. 114–125.

5. Voinov, I.V. Automatic and Manual Control Algorithms of Radiation-Proof Manipulators / I.V. Voinov, M.V. Nosikov // Proceedings of 2018 Global Smart Industry Conference, IEEE Xplore. DOI: 10.1109/GloSIC.2018.8570161

6. Robot Operationg System (ROS). The Complete Reference (Volume 3) / Anis Koubaa (Ed.). – Springer, 2019. – 605 p. DOI: 10.1007/978-3-319-91590-6.

7. Lentin Joseph. Mastering ROS for Robotics Programming / Lentin Joseph. – Packt Publishing, 2015. – 481 p.

Носиков Максим Владимирович, старший преподаватель кафедры автоматики, заведующий лабораторией «Моделирование динамики движения» НОЦ «Ракетростроение», Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе, г. Миасс; nosikovmv@susu.ru.

Поступила в редакцию 10 февраля 2019 г.

DOI: 10.14529/ctcr190204

THE ARCHITECTURE OF HUMAN-CONTROLLED ARM MANIPULATOR OPERATOR TRAINING SYSTEM

***M.V. Nosikov**, nosikovmv@susu.ru*
South Ural State University, Miass, Russian Federation

Nowadays Industrial robots of different kinematic structures and functionality are widely used nowadays in different areas of industry and most of them function autonomously with pre-programmed set of actions or typical trajectories. Some special purposes mobile and stationary robots are human-controlled and in most cases require qualified operator skills. For example, in nuclear industry the mechanical and electro-mechanical "master arm – slave arm" manipulators are widely used. Modern approaches of control systems and human machine interfaces designs allow to eliminate direct copy of kinematic configuration of manipulator arms, add semi-automatic and automated control modes. Key feature of such manipulator systems is a presence of human in control loop, by reason of variety and complexity of manipulations and, in some cases, non-deterministic environment. Due to these factors, it is very desirable to form operator sustainable skills to control such manipulators, including learning process using training systems. This article describes general approaches and practical aspects of the operator training and qualification system for arm-based special purpose manipulators. The set of training system functions include: general manipulator control (basic motion) and grasping actions, manipulator operations in restricted working areas, operator actions using virtual reality helms and multi-monitor visualization, etc. The hardware and software architecture of training system should allow effective training process and teamwork of trainee and instructor to reach good results. The paper proposes ROS-based software part of training system with description of inter-process communication messages, data formats, integration with database and following analysis of trainee action.

Keywords: training system, manipulator, software architecture, ROS, database.

References

1. Yurevich E.I. *Osnovy robototekhniki* [Robotics Basics]. St. Petersburg, BHV-Petersburg Publ., 2005. 416 p.

2. MT 200 TAO Electrically Assisted, Computer-Aided Master-Slave Manipulator. Available: https://www.lacalhene.com/siteassets/la-calhene/application--products/remote-manipulation/mt200tao/getingelacalhene_ma200tao_bc_en.pdf (accessed 23.06.2018).

3. Voinov I.V., Kruglov I.F., Morozov B.A., Kazantsev A.M., Nosikov M.V. *Manipulyator MR-48 dlya atomnoy promyshlennosti* [Manipulator MR-48 for Nuclear Industry]. Patent RU, no. 172431, 2016.

4. Voinov I.V., Morozov B.A., Kazantsev A.M., Nosikov M.V. [Radiation-Proof Manipulators and Methods for Extending Their Functionality]. *"Ekstremal'naya robototekhnika i konversionnye tendentsii": sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* ["Extreme Robotics and Conversion Tendencies": Proceedings of the International Scientific and Technological Conference]. St. Petersburg, RSSC, 7–8 June 2018, pp. 114–125. (in Russ.)

5. Voinov I.V., Nosikov M.V. Automatic and Manual Control Algorithms of Radiation-Proof Manipulators. *Proceedings of 2018 Global Smart Industry Conference*, IEEE Xplore. DOI: 10.1109/glosic.2018.8570161

6. Anis Koubaa (Ed.). *Robot Operationg System (ROS). The Complete Reference (Volume 3)*, Springer, 2019. 605 p. DOI: 10.1007/978-3-319-91590-6

7. Lentin Joseph. *Mastering ROS for Robotics Programming*. Packt Publishing, 2015. 481 p.

Received 10 February 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Носиков, М.В. Архитектура тренажерной системы подготовки операторов радиационно стойких манипуляторов / М.В. Носиков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 38–53. DOI: 10.14529/ctcr190204

FOR CITATION

Nosikov M.V. The Architecture of Human-Controlled Arm Manipulator Operator Training System. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 38–53. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr190204

Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы

УДК 519.6 + 681.5 + 51-74 + 517.9 DOI: 10.14529/ctcr190205

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ЦИЛИНДРА ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОЙ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Н.М. Япарова

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Предложен метод определения температуры при нелинейном теплопереносе внутри цилиндрического тела с неизвестной начальной температурой. Исходными данными являются результаты измерений температурных функций вблизи поверхности тела. Рассматриваемая задача возникает при термической обработке изделий в камерных печах. Математическая модель процесса включает в себя нелинейное уравнение теплопроводности, учитывающее зависимость теплофизических свойств материала от температуры, и граничные условия, характеризующие процесс теплообмена на поверхности тела. Для определения температуры внутри тела предложен метод дискретной регуляризации, позволяющий последовательно находить температуру в направлении от поверхности к оси цилиндра. Вычислительная схема метода предполагает использование стабилизирующих функционалов, а также конечно-разностных уравнений для определения температурных значений по пространственной переменной, что позволяет уменьшить влияние неизвестных начальных условий. Использование стабилизирующих функционалов позволяет обеспечить устойчивость вычислительной процедуры относительно погрешности исходных данных. В статье приведены результаты исследований устойчивости вычислительной схемы. С целью проверки принципиальной возможности определения температуры и получения экспериментальных оценок температурных погрешностей проведен вычислительный эксперимент. В эксперименте выполнен расчет температурного поля цилиндра с неизвестной начальной температурой, проведен сравнительный анализ найденных температурных функций с тестовыми значениями и получены экспериментальные оценки уклонений вычисленных температур от тестовых значений. Результаты вычислительного эксперимента представлены в работе, согласуются с теоретическими оценками и подтверждают эффективность и надежность предлагаемой вычислительной схемы.

Ключевые слова: теплоперенос, обратная задача; метод регуляризации; метод обработки информации; устойчивость; оценка погрешности.

Введение

В современных технологиях, связанных с процессами теплопереноса, особое внимание уделяется процедуре температурного контроля объекта и выбору соответствующих температурных режимов, позволяющих реализовывать требуемые свойства объекта. Изучение влияния выбранных режимов на характеристики объекта, когда по результатам температурных измерений вблизи поверхности тела необходимо определить температуру во внутренних точках, вызывает большой интерес [1–5]. Математические модели теплопереноса, как правило, включают в себя уравнение или систему уравнений теплопроводности, граничные условия, формируемые из результатов измерений температурных функций вблизи поверхности и начальных условий, определяемых температурным состоянием тела в начальный момент времени. Задача определения температуры внутри тела по известному тепловому режиму, заданному на внешней поверхности, относится к

классу обратных задач, и для ее решения необходимо использовать регуляризующие алгоритмы, позволяющие получать приближенные решения, устойчивые относительно погрешности исходных данных. С разработкой и исследованием методов решения обратных задач связаны работы многих исследователей [6–14]. Существенная особенность численных методов решения обратных задач заключается в том, что они разрабатываются с учетом известных начальных условий. С другой стороны, многие процессы теплопереноса связаны с ситуацией, когда в начальный момент времени невозможно измерить температуру внутри тела. Такая ситуация возникает при комплексной термообработке изделий на этапе отпуска или нормализации. Это приводит к возникновению задач с неизвестными начальными условиями.

В данной работе рассматривается задача определения температуры во внутренних точках цилиндрического тела, подвергаемого отпуску в процессе комплексной термообработки. Исходными данными являются результаты измерений, полученные от внешних температурных датчиков. В задаче требуется определить изменения температуры внутри тела при выбранном внешнем тепловом режиме воздействия на поверхность тела. Математическая модель теплопереноса включает уравнения теплопроводности, коэффициенты которого зависят от температуры, и граничных условий. Существенной особенностью данной задачи является наличие погрешностей в результатах измерения, а также отсутствие информации о начальной температуре тела.

В статье предложен метод определения температуры во внутренних точках по результатам поверхностных измерений. Метод основан на использовании конечно-разностных уравнений и регуляризирующих функционалов. Основная идея метода заключается в том, что, в отличие от существующих подходов, на каждом шаге неизвестная температурная функция определяется относительно пространственной переменной. Таким образом, схема позволяет одновременно найти температуру внутри рассматриваемой области вплоть до оси цилиндра и уменьшить влияние неизвестных начальных условий на результаты вычислений. Подобный подход был предложен в [15] в ситуации линейного теплопереноса при неизвестной начальной температуре объекта.

В работе показана локальная устойчивость метода при соответствующем соотношении шагов дискретизации и параметра регуляризации, приведены результаты сравнительного анализа получаемых температур с тестовыми значениями, а также получены оценки температурных погрешностей. Полученные оценки согласуются с теоретическими результатами и свидетельствуют о том, что предложенная вычислительная схема позволяет прогнозировать температуру во внутренних точках тела, подвергаемого внешнему тепловому воздействию.

Постановка задачи

В работе рассматривается задача, связанная с процессом теплопереноса в цилиндре радиусом ℓ (рис. 1а). При термической обработке в печи тело подвергается внешнему тепловому воздействию, продолжительность воздействия ограничена величиной T. Температура в каждой внутренней точке A в текущий момент времени t характеризуется функцией $u(A,t)$.

Основные теплофизические свойства материала: теплоемкость, плотность и коэффициент теплопроводности в каждой внутренней точке A зависят от значения температуры в текущий момент времени t. Специфика процесса термообработки позволяет принять следующие допущения. Тепловое воздействие, осуществляемое через боковую поверхность ∂S_ℓ, одинаково в каждой точке ∂S_ℓ и достаточно велико по сравнению с тепловыми изменениями, получаемыми через торцы. Тепловое воздействие регулируется в каждый момент времени t и плотность тепловых потоков характеризуется функцией $q(t)$. Полагаем, что температура принимает постоянные значения вдоль любой прямой, параллельной оси цилиндра.

Принятые допущения позволяют свести задачу об определении температуры внутри тела к задаче распространения тепла в сечении цилиндра плоскостью, перпендикулярной оси цилиндра (рис. 1б).

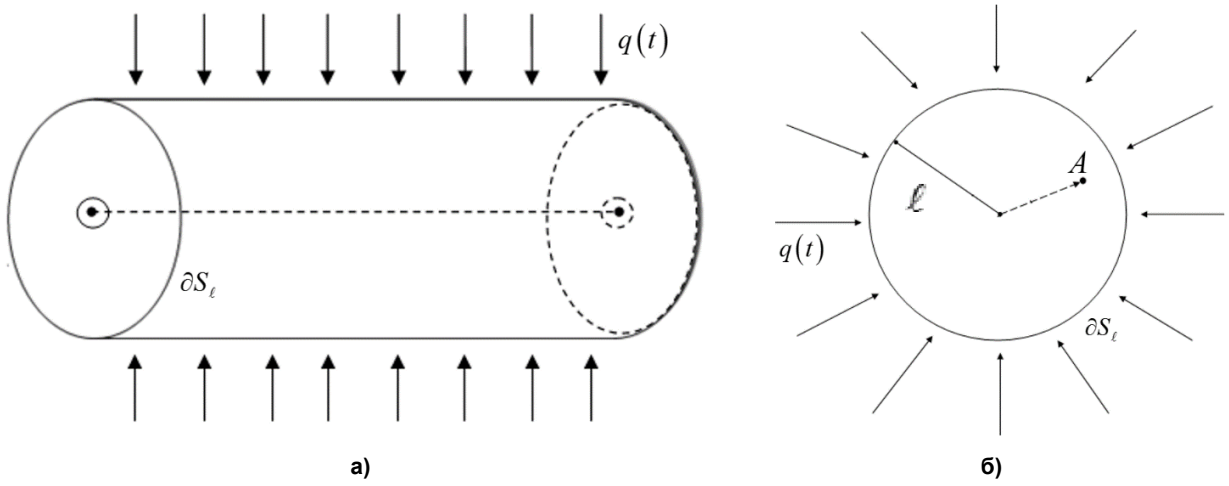


Рис. 1. Схема нагрева цилиндра

Существенная особенность технологического процесса термообработки в печи заключается в следующем. Термообработка в печи является промежуточным этапом комплексной термообработки, и к началу этого этапа сохраняется влияние остаточных тепловых процессов во внутренних точках. Учитывая, что доступной для измерения областью является только внешняя поверхность тела, получаем, что температура во внутренних точках в начальный момент времени не может быть получена из результатов измерений и является неизвестной.

Математическая модель рассматриваемого процесса теплопереноса в полярной системе координат имеет следующий вид:

$$c(u)\rho(u)\frac{\partial u}{\partial t}=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\lambda(u)r\frac{\partial u}{\partial r}\right),\ (r,t)\in Q_T; \tag{1}$$

$$u(\ell,t)=p(t),\ -\lambda(u)\frac{\partial u(\ell,t)}{\partial r}=q(t),\ t\in[0,T], \tag{2}$$

где r – текущий радиус, область $Q_T=(0,\ell)\times(0,T)$, температурная функция $u(r,t)$ – осесимметрична, коэффициенты $c(u)$, $\rho(u)$, $\lambda(u)$ соответствуют значениям теплоемкости, плотности и коэффициента теплопроводности в каждой точке тела в каждый момент времени, функция $p(t)$ формируется из результатов измерений температуры вблизи поверхности тела, а функция $q(t)$ характеризует плотность теплового потока на поверхности тела. В этой задаче требуется найти $u(r,t)$, удовлетворяющую (1), (2), а также температуру на оси цилиндра

$$u(0,t)=\phi(t),\ t\in[0,T]. \tag{3}$$

Существование точного решения $u_0(r,t)\in H^{2+\gamma,1+\frac{\gamma}{2}}(Q_T)\bigcap H^{1,\frac{\gamma}{2}}\left(\overline{Q_T}\right)$, $\gamma\in(0,1)$, $\overline{Q_T}=[0,\ell]\times[0,T]$ задачи (1)–(3) при действительных значениях $p_0(t)$ и $q_0(t)$ доказано в работах [6], [16], а единственность решения в некоторой подобласти $D_\varepsilon\subset Q_T$ обоснована в [6].

Принимая во внимание, что при термообработке изделия в камерных печах в силу инертности теплопереноса нагрев изделия происходит постепенно, а также учитывая продолжительность и наибольшую температуру нагрева, полагаем, что имеют место следующие допущения:

$$\max_{\overline{Q}_T}|u(r,t)|\le\Phi e^{\beta(r+t)},\quad \max\left\{\max_{\overline{Q}_\ell}|u_{tt}|,\max_{\overline{Q}_\ell}|u_{rr}|,\max_{\overline{Q}_\ell}|u_{rrr}|\right\}\le C. \tag{4}$$

При определении температуры $u(r,t)$ во внутренних точках необходимо учитывать, что при проведении измерений вблизи поверхности тела неизбежно возникают уклонения измеренных величин p_δ, q_δ от действительных значений $p_0(t)$ и $q_0(t)$. В математической модели эту ситуацию представим следующим образом. Вместо точных значений $p_0(t)$, $q_0(t)$ известны некоторые

приближения $p_\delta(t)$, $q_\delta(t)$ и δ такие, что $\max\left\{\| p_0(t)-p_\delta \|, \| q_0(t)-q_\delta \|\right\} \le \delta$. Таким образом, необходимо по приближенным данным $p_\delta(t)$, $q_\delta(t)$ и δ найти функцию $u_\delta(r,t)$, удовлетворяющую (1), (2), а также температуру $\phi_\delta(t)$ на оси цилиндра.

Метод прогнозирования температуры

Вычислительная процедура прогнозирования температуры основана на методе дискретной регуляризации и заключается в следующем. Введем в рассмотрение конечно-разностную сетку:

$$G=\begin{cases} \left(r_i,t_j\right):\ r=(N+1-i)h,\ t=(j-1)\tau; \\ h=\ell/N;\ \tau=T/M;\ i=\overline{1,N+1};\ j=\overline{1,M+1}, \end{cases}$$

где h и τ – шаги сетки по переменным r и τ соответственно, а также множество дискретных функций $V=\left\{v\left(r_i,t_j\right)=v_{i,j}\right\}$, заданных на G. Используя конечно-разностный аналоги частных производных, представим (1), (2) в следующем виде:

$$c_{i,j}\rho_{i,j}\frac{v_{i,j+1}-v_{i,j}}{\tau}=\frac{\lambda_{i+1,j}-\lambda_{i,j}}{v_{i+1,j}-v_{i,j}}\frac{\left(v_{i+1,j}-v_{i,j}\right)^2}{h^2}+\frac{\lambda_{i,j}}{(i-1)h}\frac{v_{i+1,j}-v_{i,j}}{h}+$$

$$+\lambda_{i,j}\frac{v_{i+1,j}-2v_{i,j}+v_{i-1,j}}{h^2},\ i=\overline{2,N},\ k=\overline{1,M+1}. \qquad (5)$$

$$v_{1,j}=p_j,\ v_{2,j}=p_j-\frac{q_j}{\lambda_{1,j}}h,\ j=\overline{1,M+1}. \qquad (6)$$

Учитывая характеристики технологического процесса и результаты, представленные в [17, 18], полагаем, что $c(u)$, $\rho(u)$, $\lambda(u)$ положительны, дважды непрерывно дифференцируемы в соответствующей области и определяются формулами:

$$c(u_{i,j})=c_0+k_c u_{i,j},\ \rho(u_{i,j})=\rho_0+k_\rho u_{i,j},\ \lambda(u_{i,j})=\lambda_0+k_\lambda u_{i,j}, \qquad (7)$$

где значения $c_0=c\left(u\left(\ell,0\right)\right)$, $\rho_0=\rho\left(u\left(\ell,t\right)\right)$, $\lambda_0=\lambda\left(u\left(\ell,0\right)\right)$, а величины k_c, k_ρ, k_λ согласованы с соответствующими характеристиками, представленными, например, в [18].

Основная идея предлагаемого метода заключается в том, что на каждом следующем шаге итерационного процесса, используя (5), вычисляют значения $v_{i+1,j}$ в точках $\left(r_{i+1},t_j\right)$ для всех $j=\overline{1,M}$:

$$v_{i+1,j}=v_{i,j}+\frac{c_{i,j}\rho_{i,j}(i-1)h^2}{\lambda_{i+1,j}(i-1)+\lambda_{i,j}}\frac{v_{i,j+1}-v_{i,j}}{\tau}+\frac{\lambda_{i,j}(i-1)}{\lambda_{i+1,j}(i-1)+\lambda_{i,j}}\left(v_{i,j}-v_{i-1,j}\right), \qquad (8)$$

начиная от точки $\left(r_i,t_j\right)$, $i=\overline{3,N}$, расположенной вблизи внешней границы, к точке $\left(r_{N+1},t_j\right)$, расположенной на оси цилиндра. Коэффициенты $c_{i,j}$, $\rho_{i,j}$, $\lambda_{i,j}$ вычисляются по формуле (7).

Особенность задачи заключается в том, что непосредственное использование уравнения (8) не позволяет получать приближенные решения, устойчивые относительно погрешности исходных данных. Для обеспечения устойчивости метода поступают следующим образом. При вычислении коэффициента $\lambda_{i+1,j}$ в (8) используется модифицированное соотношение (7) с введенным в него стабилизирующим функционалом $\lambda_{i+1,j}=\lambda_0+\left(k_\lambda-\alpha\right)v_{i,j}$, включающим параметр регуляризации α. Значение параметра α и величину h согласуют с τ и δ.

Устойчивость вычислительной схемы метода

Исследуем устойчивость вычислительной схемы, используя подход, принятый в теории регуляризации [2], [13], введя в рассмотрение функции w_i, определяемые формулой

$$w_{i+1}=\max_{j=\overline{1,M+1}}\left|v_{i+1,j}-v_{i,j}\right|.$$

Согласуем значение N, характеризующее дискретизацию по пространственной переменной, с количеством измерений $(M+1)$, а параметр регуляризации α выберем так, чтобы при известном значении $(M+1)$ величина температурной погрешности удовлетворяла бы неравенству $w_{N+1} \le K\delta$, где K – некоторая константа. Введем следующие параметры:

$$S = \max_{j=\overline{1,M+1}} |q_j|, \quad \mu = \max_{i,j} \frac{\lambda_{i,j}(i-1)}{\lambda_{i+1,j}(i-1)+\lambda_{i,j}}, \quad \eta = \max_{i,j} \frac{c_{i,j}\rho_{i,j}(i-1)h^2}{\left(\lambda_{i+1,j}(i-1)+\lambda_{i,j}\right)\tau}. \tag{9}$$

Выбираем α таким, что при всех $i=\overline{1,N+1}$ и $j=\overline{1,M+1}$ было выполнено условие

$$\alpha \le \min_{i,j} \frac{\lambda_{i,j}}{(i-1)|v_{i,j}|}. \tag{10}$$

Учитывая теплофизические свойства процесса термообработки в печах, получаем, что $\mu<1$, тогда, имеет место следующая оценка

$$w_{i+1} \le \eta \max_{j=\overline{1,M}} |v_{i,j+1}-v_{i,j}| + \mu w_i. \tag{11}$$

Учитывая ограниченность функции $u(r,t)$, из (4) получаем, что

$$\max_{j=\overline{1,M}} |v_{i,j+1}-v_{i,j}| \le 2\Phi e^{\ell+T}. \tag{12}$$

Из (9)–(12), получаем

$$w_2 = \max_{j=\overline{1,M+1}} |v_{2,j}-v_{1,j}| \le \max_{j=\overline{1,M+1}} |q_j h| \le h(S+\delta) \le S+\delta,$$

$$w_{i+1} \le 2\Phi e^{\ell+T}\frac{\eta}{1-\mu} + (S+\delta)\mu^{i-1}, \quad i=\overline{3,N+1}.$$

Тогда имеет место следующая оценка

$$w_{N+1} \le 2\eta\Phi e^{\ell+T}\frac{1}{1-\mu} + (S+\delta)\mu^{N-2},$$

характеризующая величину погрешности численного метода решения задачи (1)–(3). Учитывая (9), (10) и то, что $\lambda_{i+1,j} = \lambda_0 + (k_\lambda - \alpha)v_{i,j}$, выберем шаги дискретизации так, чтобы имело место условие $\eta \le \dfrac{\delta}{2\Phi e^{(\ell+T)}}$. Тогда получаем, что при выполнении следующего условия

$$\frac{h^2}{\tau} \le \frac{\delta}{2\Phi e^{(\ell+T)}}\left(\min_{i=\overline{2,N+1},\, j=\overline{1,M+1}}\left(\frac{\lambda_{i,j}}{c_{i,j}\rho_{i,j}}\right)\right) \tag{13}$$

имеет место оценка $w_{N+1} \le \dfrac{\delta}{1-\mu} + (S+\delta)\mu^{N-2}$. Принимая во внимание, что $\mu<1$, получаем, что при соблюдении условия

$$N > 2 + \log_\mu\left(\left(K - \frac{1}{1-\mu}\right)\frac{\delta}{S+\delta}\right), \tag{14}$$

где $K \ge 1 + \dfrac{1}{1-\mu}$, будет выполнено требуемое неравенство $w_{N+1} \le K\delta$. Соотношения (13), (14) свидетельствуют о локальной устойчивости предлагаемого метода определения температур.

Заметим, что аналогичные результаты были получены в работе [19] для задачи измерения определения температуры на поверхности цилиндра по результатам измерений на оси, связанной с диагностикой состояния температурного датчика. Это свидетельствует о том, что в отличие от методов, ориентированных на вычисления по переменной, характеризующей время, при изменении направления вычислений по пространственной переменной не требуется разработка принципиально новой вычислительной схемы, а достаточно ограничиться модификацией основной схемы.

Оценка температурных погрешностей

Оценим величину наибольшего возможного уклонения вычисленных температурных значений от действительных, используя величины s_i, определяемые формулой

$$s_i = \max_{j=1,M+1} \left| v_{i,j} - u_{i,j} \right|, \ i = \overline{1, N+1},$$

где $v_{i,j}$ является приближенным решением задачи (5), (6), а $u_{i,j}$ соответствует действительным значениям температуры при текущем значении радиуса $r = r_i$ в момент времени $t = t_j$. Имеем

$$s_{i+1} \le s_i + \frac{c_{i,j}\rho_{i,j}(i-1)h^2}{\left(\lambda_{i+1,j}(i-1)+\lambda_{i,j}\right)\tau} 2\Phi e^{(\ell+T)} + 2\frac{\lambda_{i,j}(i-1)}{\lambda_{i+1,j}(i-1)+\lambda_{i,j}} s_i +$$

$$+ \frac{c_{i,j}\rho_{i,j}(i-1)h^2}{\lambda_{i+1,j}(i-1)+\lambda_{i,j}} \underline{Q}(\tau) + 2\frac{(\lambda_{i+1,j}-\lambda_{i,j})(i-1)h}{\lambda_{i+1,j}(i-1)+\lambda_{i,j}} \underline{Q}(h) +$$

$$+ \frac{(\lambda_{i+1,j}-\lambda_{i,j})(i-1)h^2}{(u_{i+1,j}-u_{i,j})(\lambda_{i+1,j}(i-1)+\lambda_{i,j})} \left(\underline{Q}(h)\right)^2 + \frac{\lambda_{i,j}h}{\lambda_{i+1,j}(i-1)+\lambda_{i,j}} \underline{Q}(h) +$$

$$+ \frac{\lambda_{i,j}(i-1)h^2}{\lambda_{i+1,j}(i-1)+\lambda_{i,j}} \underline{Q}(h^2). \qquad (15)$$

Оценивая слагаемые в (15) и учитывая (13) и (14), получаем

$$\frac{c_{i,j}\rho_{i,j}(i-1)h^2}{\left(\lambda_{i+1,j}(i-1)+\lambda_{i,j}\right)\tau} 2\Phi e^{(\ell+T)} \le \delta. \qquad (16)$$

Из (11), (15), определения μ и подхода к вычислению $\lambda_{i+1,j}$ получаем:

$$\frac{|\lambda_{i+1,j}-\lambda_{i,j}|(i-1)}{\lambda_{i+1,j}(i-1)+\lambda_{i,j}} \le \frac{\alpha|v_{i,j}|(i-1)}{\lambda_{i+1,j}(i-1)+\lambda_{i,j}} < \frac{\lambda_{i,j}}{\lambda_{i,j}i-\alpha|v_{i,j}|(i-1)} < \frac{\mu}{i-1} \le \frac{\mu}{2}; \qquad (17)$$

$$\frac{\lambda_{i,j}(i-1)}{\lambda_{i+1,j}(i-1)+\lambda_{i,j}} \le \mu, \quad \frac{\lambda_{i,j}}{\lambda_{i+1,j}(i-1)+\lambda_{i,j}} \le \frac{\mu}{i-1} \le \frac{\mu}{2}. \qquad (18)$$

Обозначим $\lambda^* = \min_{i=\overline{1,N+1}, j=\overline{1,M+1}} \lambda_{i,j}$. Учитывая, что $\frac{\lambda_{i+1,j}-\lambda_{i,j}}{u_{i+1,j}-u_{i,j}} = k_\lambda$, имеем

$$\left|\frac{\lambda_{i+1,j}-\lambda_{i,j}}{u_{i+1,j}-u_{i,j}}\right| \frac{(i-1)}{\lambda_{i+1,j}(i-1)+\lambda_{i,j}} \le \frac{k_\lambda}{\lambda^*}.$$

Отсюда и из соотношений (4), (15)–(18) следует, что

$$s_{i+1} \le (1+2\mu)s_i + \delta + \left(\eta C\tau^2 + \frac{3}{2}\mu C h^2 + \left(\frac{k_\lambda}{\lambda^*}C^2 + \frac{\mu}{2}C\right)h^4\right), \ i = \overline{2, N}.$$

Учитывая (14), получаем при $i = \overline{2, N+1}$

$$s_{i+1} \le (1+2\mu)s_i + \delta + \eta C\tau^2 + \frac{3C\mu\ell^2}{2N^2} + \frac{k_\lambda}{\lambda^*}\frac{C^2\ell^4}{N^4} + \frac{C\mu\ell^4}{2N^4}. \qquad (19)$$

Полагаем $\Psi = \eta C\tau^2 + \frac{3C\mu\ell^2}{2N^2} + \frac{k_\lambda}{\lambda^*}\frac{C^2\ell^4}{N^4} + \frac{C\mu\ell^4}{2N^4}$. Тогда соотношение (19) имеет вид

$$s_{i+1} \le (1+2\mu)s_i + \delta + \Psi \le (1+2\mu)^{i-1} s_2 + \left(\sum_{k=0}^{i-2}(1+2\mu)^k\right)(\delta+\Psi).$$

Учитывая, что $s_2 = \max_{j=1,M+1} \left| v_{2,j} - u_{2,j} \right| \le \delta + h(\delta + C)$, получаем, что для величины s_{N+1}, харак-

теризующей наибольшее отклонение численного решения от истинных температур на оси цилиндра, имеет место следующая оценка:

$$s_{N+1} \le \left(1+2\mu\right)^{N-1}\left(\delta+\frac{\ell\left(\delta+C\right)}{2+\log_{\mu}\left(\frac{\delta}{S+\delta}\right)}+\frac{1}{4\mu^{2}}\left(\delta+\Psi\right)\right). \quad (20)$$

Из соотношений (14), (20) следует, что сходимость метода зависит от величины шагов дискретизации, следовательно, метод является условно сходящимся и для получения приближенного решения необходимо выбирать достаточно небольшие значения N.

Из соотношения (20) следует, что величина s_{N+1}, соответствующая наибольшей температурной погрешности, будет достаточно велика на всем $[0,T]$. Это согласуется с результатами, представленными в [6], в соответствии с которыми невозможно получить единственное решение во всей области $\overline{Q_T}$, а следовательно, невозможно точно оценить температурные погрешности во всей области $\overline{Q_T}$, но возможно получить более точную оценку температурных погрешностей (оценку погрешности метода) только в некоторой подобласти D_{ε}. Для получения уточненных оценок погрешностей был проведен вычислительный эксперимент на основе имитационного моделирования. Результаты эксперимента представлены в данной работе.

Результаты вычислительного эксперимента

С целью проверки принципиальной возможности определения температуры внутри тела по результатам поверхностных измерений и получения оценки температурной погрешности был проведен вычислительный эксперимент на основе имитационного моделирования.

Методика эксперимента заключалась в следующем. На начальном этапе эксперимента находили решение прямой задачи:

$$c(u)\rho(u)\frac{\partial u}{\partial t}=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\lambda(u)r\frac{\partial u}{\partial r}\right),\ (r,t)\in Q_T; \quad (21)$$

$$u(0,t)=\phi_0(t),\ u(\ell,t)=p_0(t),\ t\in[0,T]; \quad (22)$$

$$u(r,0)=g_0(r),\ r\in[0,\ell]. \quad (23)$$

Полученное решение $u_0(r,t)$ прямой задачи (21)–(23), характеризующее температурное поле цилиндра, и функцию $\phi_0(t)$, соответствующую температуре на оси цилиндра, использовали в дальнейшем в качестве тестовых функций.

На втором этапе эксперимента осуществляли моделирование функции $q_0(t)$, характеризующей внешнее тепловое воздействие. Ситуацию возникновения погрешностей в результатах измерения представляли следующим образом. В каждой точке t_j формировали приближенные значения $p_{\delta}(t)$, $q_{\delta}(t)$, используя следующие формулы:

$$p_{\delta}(t_j)=p_0(t_j)+er_p\left(t_j\right),\ \ q_{\delta}(t_j)=q_0(t_j)+er_q\left(t_j\right).$$

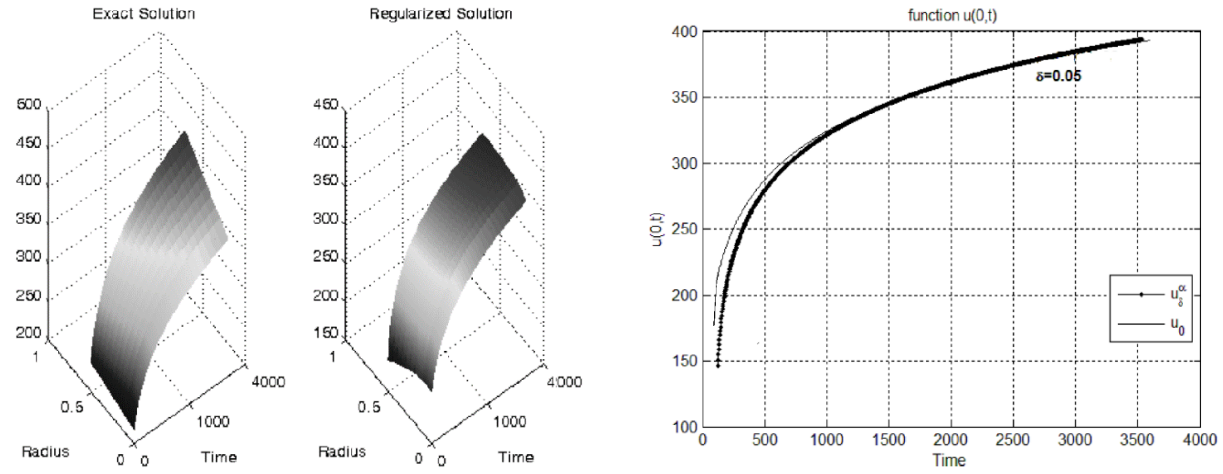
Величины $er_p\left(t_j\right)$ и $er_q\left(t_j\right)$ соответствуют значениям случайных величин, равномерно распределенных на $[-\delta,\delta]$. Предлагаемый подход к моделированию $p_{\delta}(t)$, $q_{\delta}(t)$, эквивалентен появлению аддитивных случайных погрешностей в результатах измерений вблизи поверхности цилиндра, уровень которых не превосходит величины δ. Полученные значения $p_{\delta}(t)$, $q_{\delta}(t)$ определяли исходные данные в задаче (1)–(3).

На следующем этапе эксперимента находили приближенное решение $u_{\delta}(r,t)$ задачи (1)–(3) по исходным данным $p_{\delta}(t)$, $q_{\delta}(t)$, δ и вычисляли значения температурной функции $u_{\delta}(0,t)=\phi_{\delta}(t)$. Функция $u_{\delta}(r,t)$ соответствует прогнозируемым температурным значениям, получаемым в области из $p_{\delta}(t)$, $q_{\delta}(t)$ с помощью предлагаемого метода дискретной регуляриза-

ции, а функция $\phi_\delta(t)$ соответствует температурным значениям на оси цилиндра. На следующем этапе эксперимента проводили сравнительный анализ полученных численных решений $u_\delta(r,t)$ и $\phi_\delta(t)$ с тестовыми функциями.

В работе представлены результаты вычислительного эксперимента, проведенного на основе имитационного моделирования в соответствии с предложенной методикой. В качестве эталонной модели рассматривался процесс теплопереноса в цилиндре радиуса $\ell = 1$, помещенного в камерную печь, разогретую до температуры 400 °С. Теплофизические характеристики материала $c(u), \rho(u), \lambda(u)$ соответствовали характеристикам стали марки Ст45, [17], [18]. Продолжительность процесса составила $T = 60$ мин. При решении прямой задачи (21)–(23) полагали, что начальной температуре тела соответствовало значение $u(r,0) = 25\,°\text{C}, r \in [0,\ell]$. При формировании тестовой функции $p(t)$, $\phi(t)$, а также функции $q(t)$ использовали результаты, представленные в [20].

Результаты вычисления температурного поля цилиндра $u_\delta(r,t)$, полученные в подобласти $D_\varepsilon \subset Q_T$, $D_\varepsilon = [0,\ell]\times(\varepsilon, T-\varepsilon)$ при $\delta = 0{,}05$ с помощью предложенной вычислительной схемы, а также тестовая функция $u_0(r,t)$ представлены на рис. 2а. Поверхность Exact solution соответствует графику тестовой температурной функции $u_0(r,t)$, а поверхность Regularized solution представляет график приближенного решения $u_\delta(r,t)$ задачи (1)–(3), соответствующие прогнозируемым температурным значениям в подобласти D_ε.



а) **б)**

Рис. 2. Температурное поле цилиндра

Результаты вычисления температур на оси цилиндра $\phi_\delta(t)$ и график тестовой функции $\phi_0(t)$ при $t \in (\varepsilon, T-\varepsilon)$ представлены на рис. 2б. Обозначение u_0 соответствует графику тестовой функции $\phi_0(t)$, а обозначение u_δ^α – графику численного решения $\phi_\delta(t)$ задачи (1)–(3).

Как отмечалось ранее, невозможно точно оценить температурные погрешности при всех $t \in [0,T]$, получить оценку погрешности метода возможно только в некоторой подобласти $(\varepsilon, T-\varepsilon)$. В эксперименте был проведен сравнительный анализ тестовой температурной функции $\phi_0(t)$, заданной на оси цилиндра, и температурной функции $\phi_\delta(t)$, вычисленной на оси. Для проведения сравнительного анализа $\phi_0(t)$ и $\phi_\delta(t)$ в эксперименте были использованы величины Δ и Θ, определяемые формулами:

$$\Delta = \max_{t\in(\varepsilon,T-\varepsilon)} \left|\phi_\delta(t) - \phi(t)\right|, \quad \Theta = \max_{t\in(\varepsilon,T-\varepsilon)} \frac{\left|\phi_\delta(t) - \phi(t)\right|}{|\phi(t)|}.$$

Величина Δ соответствует наибольшей оценке отклонений температур, найденных с помощью предложенного метода во внутренних точках цилиндра, от тестовых значений. Результаты сравнительного анализа при различных значениях δ и N и $\varepsilon = 0,03T$ представлены в таблице.

Оценки температурных погрешностей

δ	N	Δ	Θ
0,05	5	27,95	0,2023
	6	26,86	0,1944
	7	25,56	0,1850
	8	20,72	0,1511
	9	$2\cdot10^{56}$	–
	10	$0,5\cdot10^{123}$	–
0,1	5	29,54	0,2307
	6	27,12	0, 2118
	7	26,08	0,2037
	8	21,76	0,1691
	9	$0,5\cdot10^{5}$	–
	10	$2\cdot10^{133}$	–

Используя величины Δ и Θ, определяемые формулой (24), получили, что при $\delta = 0,05$ для рассматриваемого примера величина температурных погрешностей на оси цилиндра составила $\Delta \approx 21\,^{\circ}\mathrm{C}$, и $\Theta = 0,15$ при $\varepsilon = 0,03T$, а при $\varepsilon = 0,06T$ значения этих величин составили $\Delta \approx 9\,^{\circ}\mathrm{C}$, и $\Theta = 0,05$ соответственно.

Таким образом, результаты вычислительного эксперимента свидетельствуют о том, что предложенный метод позволяет с достаточной точностью находить требуемую температурную функцию $u(r,t)$ во внутренних точках цилиндрического тела при соблюдении условий согласования величин шага дискретизации h, параметра регуляризации α с интервалом измерения τ, а наибольшие значения оценок температурных погрешностей являются достаточно точными в интервале $(\varepsilon, T-\varepsilon)$.

Заключение

В работе рассмотрена математическая модель теплопереноса внутри цилиндрического тела с неизвестной начальной температурой и предложен метод определения температурного состояния тела по исходным данным, известным на поверхности. Вычислительная схема метода основана на использовании конечно-разностных уравнений и включает регуляризующий алгоритм идентификации коэффициентов. Показана локальная устойчивость метода, а также найдена теоретическая оценка погрешности метода, соответствующая оценке наибольшего отклонения вычисленных температур от действительных значений. В работе представлены результаты вычислительного эксперимента, которые согласуются с теоретическими результатами и свидетельствуют о том, что предложенная вычислительная схема позволяет прогнозировать температуру во внутренних точках тела, подвергаемого внешнему тепловому воздействию с достаточной точностью.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации прикладных научных исследований в рамках базовой части Государственного задания «Разработка, исследование и реализация алгоритмов обработки данных динамических измерений пространственно-распределенных объектов», техническое задание 8.9692.2017/8.9 от 17.02.2017.

Литература

1. Алифанов, О.М. Обратные задачи теплообмена / О.М. Алифанов. – М.: Машиностроение, 1988. – 280 с.

2. Самарский, А.А. Вычислительная теплопередача / А.А. Самарский, П.Н. Вабищевич. – М.: Едиториал УРСС, 2009. – 784 с.

3. Шестаков, А.Л. Методы теории автоматического управления в динамических измерениях / А.Л. Шестаков. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2013. – 257 с.

4. Мартинсон, Л.К. Температурное поле цилиндрического тела в режиме периодического разогрева / Л.К. Мартинсон, О.Ю. Чигирёва // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия «Естественные науки». – 2015. – № 3 (60). – С. 88–98.

5. Лукин С.В. Режим нагрева и термостатирования слябов в печи при горячем посаде / С.В. Лукин // Металлург. – 2018. – № 7. – С. 54–58.

6. Лаврентьев, М.М. Некорректные задачи математической физики и анализа / М.М. Лаврентьев, В.Г. Романов, С.П. Шишатский. – М.: Наука, 1980. – 286 с.

7. New approaches to error estimation to Ill-posed problems with application to inverse problems of heat conductivity / K.Y. Dorofeev, N.N. Nikolaeva, V.N. Titarenko, A.G. Yagola // Journal of Inverse and Ill-posed problems. – 2002. – Vol. 10, no. 2. – P. 155–169. DOI: 10.1515/jiip.2002.10.2.155

8. Кабанихин, С.И. Прямые и итерационные методы решения обратных и некорректных задач / С.И. Кабанихин, М.А. Шишленин // Сибирские электронные математические известия. – 2008. – Т. 5. – С. 595–608.

9. Солодуша, С.В. Численное решение обратной граничной задачи теплопроводности с помощью уравнений Вольтерра I рода / С.В. Солодуша, Н.М. Япарова // Сибирский журнал вычислительной математики. – 2015. – Т. 18, № 3. – С. 327–335.

10. Марчук, Г.И. Методы вычислительной математики / Г.И. Марчук. – СПб.: Лань. – 2009. – 608 с.

11. Вабищевич, П.Н. Монотонные разностные схемы для задач конвекции/диффузии / П.Н. Вабищевич // Дифференциальные уравнения. – 1994 – Т. 30, № 3. – С. 503–515.

12. Тихонов, А.Н. Уравнения математической физики / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. – Изд-во МГУ, 1999. – 799 с.

13. Численные методы решения некорректных задач / А.Н. Тихонов, А.В. Гончарский, В.В. Степанов, А.Г. Ягола. – Изд-во МГУ, 1990. – 115 с.

14. Табаринцева, Е.В. Об оценке точности метода вспомогательных граничных условий при решении граничной обратной задачи для нелинейного уравнения / Е.В. Табаринцева // Сибирский журнал вычислительной математики. – 2018. – Т. 21, № 3. – С. 293–313. DOI: 10.1134/s1995423918030059

15. Yaparova, N. Method for temperature measuring in the rod with heat source under uncertain initial temperature / N. Yaparova // 2016 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016. – Proceedings 7911716. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911716

16. Ладыженская, О.А. Линейные и квазилинейные уравнения параболического типа / О.А. Ладыженская, В.А. Солонников, Н.Н. Уральцева. – М.: Наука, 1967. – 736 с.

17. Марочник стали и сплавов / А.С. Зубченко, М.М. Колосков, Ю.В. Каширский и др.; под общ. ред. А.С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.

18. Лившиц, Б.Г. Физические свойства металлов и сплавов / Б.Г. Лившиц, В.С. Крапошин, Я.Л. Линецкий. – М.: Металлургия, 1980. – 320 с.

19. Япарова, Н.М. Численный метод решения обратной задачи с неизвестными начальными условиями для нелинейного уравнения теплопроводности / Н.М. Япарова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Вычислительная математика и информатика». – 2016. – Т. 5, № 2. – С. 43–58. DOI: 10.14529/cmse160204

20. Исаченко, В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.

Япарова Наталья Михайловна, канд. физ.-мат. наук, зав. кафедрой вычислительной математики и высокопроизводительных вычислений, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; iaparovanm@susu.ru.

Поступила в редакцию 2 марта 2019 г.

DOI: 10.14529/ctcr190205

METHOD FOR DETERMINING THE TEMPERATURE STATE OF A CYLINDER AT THE HEAT TREATMENT WITH INCOMPLETE INITIAL DATA

***N.M. Yaparova**, iaparovanm@susu.ru*
South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The paper is devoted to the problem of determining the temperature inside the cylinder based on the surface measurements. The main characteristics of the material such as specific heat, thermal conductivity and material density depend on the temperature at each point of the body. This problem appears in complex heat treatment of products. The mathematical model of heat transfer is presented as nonlinear heat conduction equation with unknown initial condition. In this problem, both the Dirichlet and Neumann boundary conditions are given. The computational scheme of the method is based on the using of finite-difference equations and regularization technique. This approach allows to obtain the temperature inside cylindrical body and then to determine the unknown temperature on the cylinder axis. We investigate the stability of computational method and obtain the dependence of stability on the discretization steps and level error of the initial data. The reliability and the efficiency of the method were confirmed by results of computational experiments.

Keywords: heat transfer, inverse problem; regularization method; data processing method; computational stability, error estimate.

The work was conducted with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation of applied scientific research within the framework of the basic part of the State task "Development, research and implementation of data processing algorithms for dynamic measurements of spatially distributed objects", Terms of Reference 8.9692.2017/8.9 from 17.02.2017.

References

1. Alifanov O.M. *Obratnye zadachi teploobmena* [Inverse Heat Transfer Problems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988. 280 p.

2. Samarskij A.A., Vabishchevich P.N. *Vychislitel'naya teploperedacha* [Computational Heat Transfer]. Moscow, Editorial URSS Publ., 2003. 784 p.

3. Shestakov A.L. *Metody teorii avtomaticheskogo upravleniya v dinamicheskikh izmereniyakh* [The Methods of Control Theory in Dynamic Measurements]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2013. 257 p.

4. Martinson L.K., Chigiryova O.Y. [Thermal Fields of a Cylindrical Body during Cyclic Heating]. Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Natural Sciences, 2015, no. 3 (60). pp. 88–98. (in Russ.)

5. Lukin S.V. [Mode of Slabs Heating and Thermostating in Furnace at Hot Charge]. *Metallurgist*, 2018, no. 7, pp. 54–58. (in Russ.)

6. Lavrentiev M.M., Romanov V.G., Shishatskii S.P. *Nekorrektnye zadachi matematicheskoj fiziki i analiza* [Ill-Posed Problems of Mathematical Physics and Analysis]. Moscow, Nauka Publ., 1980, 286 p.

7. Dorofeev, K.Y., Nikolaeva N.N., Titarenko V.N., Yagola A.G. New Approaches to Error Estimation to Ill-posed Problems with Application to Inverse Problems of Heat Conductivity. *Journal of Inverse and Ill-Posed Problems*, 2002, vol. 10, no. 2, pp. 155–169. DOI: 10.1515/jiip.2002.10.2.155

8. Kabanihin S.I., Shishlenin M.A. [Direct and Iteration Methods for Solving Inverse and Ill-Posed Problems]. *Siberian Electronic Mathematical Reports*, 2008, vol. 5, pp. 595–608. (in Russ.)

9. Solodusha S.V., Yaparova N.M. Numerical Solving an Inverse Boundary Value Problem of Heat Conduction Using Volterra Equations of the First Kind. *Numerical Analysis and Applications*, 2015, vol. 8, no. 3, pp. 267–274. DOI: 10.1134/s1995423915030076

10. Marchuk G.I. *Metody vychislitel'noy matematiki* [Methods of Computational Mathematics]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2009. 608 p.

11. Vabishchevich P.N. Monotone Difference Schemes for Convection/Diffusion Problems. *Differential Equations*, 1994, vol. 30, no. 3, pp. 466–474.

12. Tikhonov A.N. Samarskiy A.A. *Uravneniya matematicheskoj fiziki* [Equations of Mathematical Physics]. Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 1999. 799 p.

13. Tikhonov A.N., Goncharskiy A.V., Stepanov V.V., Yagola A.G. *Chislennye metody resheniya nekorrektnykh zadach* [Numerical Methods for the Solution of Ill-Posed Problems]. Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 1990. 115 p.

14. Tabarintseva E.V. Estimating the Accuracy of a Method of Auxiliary Boundary Conditions in Solving an Inverse Boundary Value Problem for a Nonlinear Equation. *Numerical Analysis and Applications*, 2018, vol. 11, iss. 3, pp. 236–255. DOI: 10.1134/s1995423918030059

15. Yaparova N. Method for Temperature Measuring in the Rod with Heat Source under Uncertain Initial Temperature. *2016 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016*. Proceedings 7911716. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911716

16. Ladyzhenskaya O.A., Solonnikov V.A., Uralceva N.N. *Linejnye i kvazilinejnye uravneniya parabolicheskogo tipa* [Linear and Quasi-Linear Parabolic Equations]. Moscow, Nauka Publ., 1967. 736 p.

17. Zubchenko A.S., Koloskov M.M., Kashirskiy Yu.V. et al. *Marochnik stali i splavov* [Steel and Alloys: Grade Guide]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2003. 784 p.

18. Livshits B.G., Kraposhin V.S., Linetskiy Ya.L. *Fizicheskiye svoystva metallov i splavov* [Physical Properties of Metals and Alloys]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1980. 320 p.

19. Yaparova N.M. [Numerical Method for Solving an Inverse Problem for Nonlinear Parabolic Equation with Unknown Initial Conditions]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computational Mathematics and Software Engineering*, 2016, vol. 5, no. 2, pp. 43–58. (in Russ.) DOI: 10.14529/cmse160204

20. Isachenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S. *Teploperedacha* [Heat Transfer]. Moscow, Energiya Publ., 1975. 488 p.

Received 2 March 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Япарова, Н.М. Метод прогнозирования температурного состояния цилиндра при термообработке в условиях неполной исходной информации / Н.М. Япарова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 54–65. DOI: 10.14529/ctcr190205

FOR CITATION

Yaparova N.M. Method for Determining the Temperature State of a Cylinder at the Heat Treatment with Incomplete Initial Data. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 54–65. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr190205

Управление в социально-экономических системах

УДК 658.3 **DOI: 10.14529/ctcr190206**

ЗАДАЧИ МАКСИМИЗАЦИИ ОБЪЕМА ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ В УПРАВЛЕНИИ ПРОЕКТАМИ

С.А. Баркалов[1], В.Н. Бурков[2], А.М. Ходунов[1]

[1] Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия,
[2] Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, Россия

Задачи календарного планирования (управления временем) являются важной функциональной областью управления проектами. Как правило, при заданной продолжительности проекта рассматриваются задачи минимизации количества требуемых ресурсов либо типа затрат (стоимость), либо типа мощности (оборудование). Такие задачи возникают в двух случаях. В первом случае продолжительность реализации проекта (программы) жестко ограничена, но допускается его частичная реализация. Во втором случае проект (программа) выполняется по периодам и ставится задача максимизации ценности (взвешенного объема) выполненных работ в каждом периоде. В работе рассматриваются задачи формирования календарных планов работ проекта (или проектов программы) по критерию максимизации суммарного взвешенного объема выполненных работ при ограничениях на продолжительность проекта (программы) и на его стоимость. При этом заданы зависимости стоимости работ от их продолжительности. Рассмотрены случаи независимых работ, последовательных работ, проекта, состоящие из нескольких цепочек последовательных работ, проекта, описываемого сетевым графиком с упорядоченными событиями. Представлены примеры решения задачи для разных случаев.

Ключевые слова: ценность работы, календарный план, зависимости времени работ, стоимости, сеть с упорядоченными работами.

Введение

Задачи календарного планирования (управления временем) являются важной функциональной областью управления проектами. Как правило, при заданной продолжительности проекта рассматриваются задачи минимизации количества требуемых ресурсов либо типа затрат (стоимость), либо типа мощности (оборудование) [1, 2]. В статье рассматриваются задачи календарного планирования, такие что задано и время реализации проекта, и ресурсы, выделенные для его реализации. Задача заключается в максимизации объекта выполненных за это время работ с учетом их ценности (взвешенный объем). Такие задачи возникают в двух случаях. В первом случае продолжительность реализации проекта (программы) жестко ограничена, но допускается его частичная реализация. Во втором случае проект (программа) выполняется по периодам и ставится задача максимизации ценности (взвешенного объема) выполненных работ в каждом периоде.

В работе [3] задача рассмотрена для случая, когда заданы зависимости скорости выполнения работы от количества ресурсов. В данной статье рассматривается случай, когда продолжительность работы зависит от ее стоимости. Предложены методы решения для различных видов сетевых графиков (независимые работы, сетевой график – путь, сетевой график – несколько независимых путей, сетевой график с упорядоченными событиями).

1. Постановка задачи

Рассмотрим проект из **n** работ. Каждая работа описывается зависимостью $S_i(\tau_i)$ ее стоимости (затраты на выполнение) от времени и эффектом (ценностью) от ее выполнения. Задана продолжительность проекта T и его стоимость S.

Задача. Определить множество Q выполняемых работ, такое чтобы выполнялись ограничения по продолжительности и стоимости работ, а суммарная эффективность выполненных работ была максимальной. Решение задачи во многом зависит от вида сетевого графика проекта, определяющего необходимую очередность выполнения работ.

Рассмотрим различные случаи.

2. Независимые работы

Если работы независимы, то их можно выполнять параллельно. Если время T задано, то минимальные затраты равны $s_i = S_i(T)$, поскольку $S_i(\tau_i)$ убывающая (невозрастающая) функция τ_i. Предполагаем, что $S_i(\tau_i) < \infty$, то есть работа может быть выполнена за время T. Обозначим $x_i = 1$, если работа i выполняется, $x_i = 0$ в противном случае.

Задача 1. Определить $x = \{x_i\}$, максимизирующие

$$A(x) = \sum_i a_i x_i, \tag{1}$$

при ограничениях

$$\sum_i s_i x_i \le S. \tag{2}$$

Это классическая задача о ранце, эффективно решается при целочисленных параметрах методом дихотомического программирования [4, 5].

3. Последовательные работы

Пусть сетевой график представляет собой путь. В этом случае решение задачи состоит в последовательном решении ряда задач минимизации затрат при ограничении на продолжительность проекта следующего вида. Рассмотрим подпроект из k первых работ.

Задача 2. Определить τ_i, $i = \overline{1,k}$, минимизирующие

$$S_k(T) = \sum_{i=1}^{k} S_i(\tau_i), \tag{3}$$

при ограничениях

$$\sum \tau_i \le T. \tag{4}$$

Сложность решения этой задачи зависит от вида функций $S_i(\tau_i)$. Рассмотрим несколько частных случаев:

а) пусть

$$S_i(\tau_i) = r_i \varphi\left(\frac{\tau_i}{r_i}\right), \tag{5}$$

где $\varphi(\bullet)$ – выпуклая, непрерывно дифференцируемая функция, причем $\varphi'(0) = 0$.

Применяя метод множителей Лагранжа, получаем условие оптимальности

$$\varphi'\left(\frac{\tau_i}{r_i}\right) = \lambda,$$

где λ – множитель Лагранжа. Отсюда следует, что оптимальное решение имеет вид

$$\tau_i = \frac{r_i}{H_k} T, \tag{6}$$

где $H_k = \sum_{i=1}^{k} r_i$.

Имеем

$$S_k(T) = H_k \varphi\left(\frac{T}{H_k}\right).$$

Для определения оптимального решения находим максимальное *k*, удовлетворяющее условию

$$S_k(T) \le S. \qquad (7)$$

Пусть, например, $S_i(\tau_i)$ являются функциями типа Кобба – Дугласа

$$S_i(\tau_i) = r_i \left(\frac{\tau_i}{r_i} \right)^{-\alpha}, \ \alpha > 0.$$

В этом случае $S_k(T) = H_k \left(\frac{T}{H_k} \right)^{-\alpha}$ и из условия $S_k(T) \le S$ получаем $H_k \le \left(ST^{\alpha} \right)^{\frac{1}{1+\alpha}}$;

б) линейный случай

$S_i(\tau_i) = b_i - q_i \tau_i$, $d_i \le \tau_i \le D_i$, $i = \overline{1,n}$.

Как и ранее, решаем задачу минимизации затрат на выполнение первых *k* работ за время *T*.

Описание алгоритма

1 шаг. Упорядочиваем первые *k* работ по возрастанию (неубыванию) q_i:

$q_{i_1} \le q_{i_2} \le \ldots \le q_{i_k}$.

2 шаг. Обозначим $\Delta_i = D_i - d_i$. Определяем номер *m*, такой что

$$\sum_{s=1}^{m+1} \Delta_i > \sum_{s=1}^{k} D_{i_s} - T \ge \sum_{s=1}^{m} \Delta_{i_s}.$$

3 шаг. Полагаем

$\tau_{i_s} = d_{i_s}$, $s = \overline{1,m}$.

$$\tau_{i_{m+1}} = \sum_{s=1}^{k} D_{i_s} - \sum_{s=1}^{m} \Delta_{i_s} - T,$$

$\tau_{i_s} = D_{i_s}$, $s > m+1$.

Этот алгоритм является частным случаем алгоритма оптимизации сети по стоимости. Он дает оптимальное решение задачи.

Если при очередном *k*, $S_k(T) < S$, то увеличиваем *k* на 1 и повторяем алгоритм.

Пример 1. Имеем проект из четырех работ, данные о которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

i	1	2	3	4
b_i	40	20	25	15
q_i	5	3	2	1
d_i	2	1	4	3
D_i	6	5	8	8
Δ_i	4	4	4	5

Примем $T = 15$, $S = 30$.

Очевидно, что при $k = 1$ и 2 работы можно выполнять с максимальными продолжительностями $\tau_1 = 6$, $\tau_2 = 5$, $S_1(15) = 10$, $S_2(15) = 15 < 30$.

Возьмем $k = 3$.

Упорядочение работ имеет вид

$r_3 < r_2 < r_1$.

Вычисляем

$$\sum_{s=1}^{3} D_{i_s} - T = 19 - 15 = 4.$$

Имеем

$\Delta_3 = 4$.

Поэтому сокращаем продолжительность работы 3 на 4 единицы, $\tau_3 = 4$

$S_3(15) = 10 + 5 + 17 = 22 < 30$.

Возьмем $k = 4$.

Упорядочение работ имеет вид

$r_4 < r_3 < r_2 < r_1$.

Вычисляем

$$\sum_{s=1}^{4} D_{i_s} - T = 27 - 15 = 12.$$

Имеем

$\Delta_4 = 5 < 12$, $\tau_4 = 3$,

$\Delta_4 + \Delta_3 = 9 < 12$, $\tau_3 = 4$,

$\Delta_4 + \Delta_3 + \Delta_2 = 13 > 12$, $\tau_2 = 2$,

$\tau_1 = 6$,

$S_4(15) = 10 + 14 + 17 + 12 = 53 > 30$.

Следовательно, оптимальное решение состоит в выполнении первых трех работ.

4. Последовательно-параллельные проекты

Проект состоит их n последовательных цепочек (путей), а каждый путь состоит из m_i работ, $i = \overline{1,n}$.

Описание алгоритма

1 шаг. Для каждой последовательной цепочки (ПЦ) решаем задачу предыдущего пункта и получаем зависимость S_{ij} минимальных затрат на выполнение первых j работ за время T, $j = 1,m$, $i = \overline{1,n}$.

2 шаг. Обозначим $x_{ij} = 1$, если для i-й ПЦ выбран вариант j, то есть выполняются первые j работ, a_{ij} – суммарный эффект от этих j работ.

Задача 3. Определить $x = \{x_{ij}\}$, максимизирующие

$$A(x) = \sum_{ij} a_{ij} x_{ij} \tag{8}$$

при ограничениях

$$\sum_{j} x_{ij} \le 1, \ i = \overline{1,n}, \tag{9}$$

$$\sum x_{ij} s_{ij} \le S. \tag{10}$$

Задача при целочисленных параметрах эффективно решается методом дихотомического программирования [4]

Пример 2. Проект состоит их 4 ПЦ, каждая из которых состоит из 3 работ. Применяя алгоритм п. 3, получаем зависимости (S_{ij}), приведенные в табл. 2.

Величины эффектов (ценностей) a_{ij} приведены в табл. 3.

Таблица 2

j \ i	1	2
1	5	12
2	7	10
3	8	13
4	3	9

Таблица 3

j \ i	1	2
1	10	18
2	21	23
3	10	16
4	9	15

Возьмем структуру дихотомического представления задачи в виде рис. 1 [2].

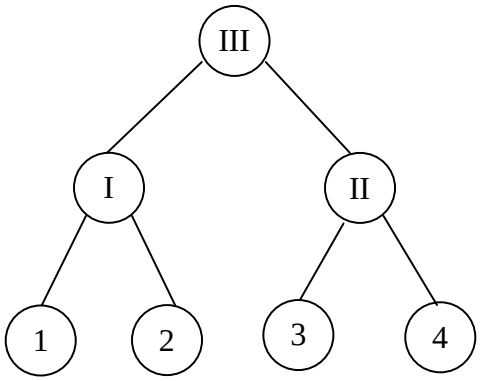


Рис. 1

Примем $S = 20$.

1 шаг. Рассматриваем ПЦ 1 и 2. Решение приведено в табл. 4.

Результаты сведены в табл. 5.

Таблица 4

2	10;23	15;33	–
1	7;21	12;31	19;39
0	0	5;10	12;18
2 / 1	0	1	2

Таблица 5

Вариант	0	1	2	3	4	5	6
Затраты	0	5	7	10	12	15	19
Эффект	0	10	21	23	31	33	39

Парето-доминируемые варианты удалены.

2 шаг. Рассматриваем ПЦ 3 и 4. Решение приведено в табл. 6.

Результаты сведены в табл. 7. Объединенный подпроект II.

Таблица 6

2	9;15	–	–
1	3;9	11;19	–
0	0	8;10	13;16
4 / 3	0	1	2

Таблица 7

Вариант	0	1	2	3	4
Затраты	0	3	8	9	11
Эффект	0	9	10	15	19

3 шаг. Рассматриваем объединенные проекты I и II. Решение приведено в табл. 8.

Таблица 8

6	19;39	–	–	–	–
5	15;33	18;42	–	–	–
4	12;31	15;40	20;41	–	–
3	10;23	13;32	18;33	–	–
2	7;12	10;28	15;31	16;36	18;40
1	5;10	8;19	13;20	14;34	16;38
0	0	3;9	8;10	9;15	11;19
4 / 3	0	1	2	3	4

Оптимальное решение определяется клеткой (18;42). Ему соответствует вариант 5 объединенного проекта I и вариант 1 объединенного проекта II. Варианту 5 объединенного проекта I соответствует вариант 2 ПЦ 2 и вариант 1 ПЦ 1, то есть выполнение работы 1 ПЦ1 и работа 1, 2 ПЦ2. Варианту 1 объединенного проекта II соответствует вариант 0 ПЦ 3 и вариант 1 ПЦ 4, то есть невыполнение ПЦ3 и выполнение работы 1 ПЦ4.

Сетевой график – куст

Пусть сетевой график является кустом, то есть графом, состоящим из корневой вершины (m + 1) и m смежных с ней висячих вершин. Такие структуры возникают, когда имеется одна работа (ей соответствует корневая вершина), результаты которой используются при проведении m других работ (рис. 2).

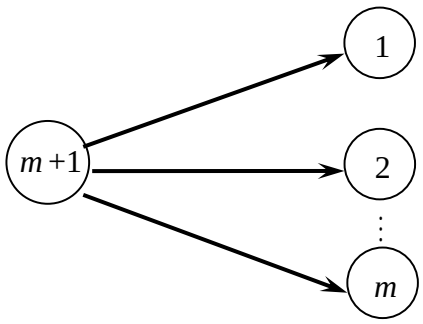


Рис. 2

Если продолжительность корневой работы равна τ_{m+1}, то продолжительности остальных работ равны $T-\tau_{m+1}$.

Примем, что работа (m + 1) имеет несколько дискретных вариантов с затратами $(S_{m+1,j})$ и продолжительностью $\tau_{m+1,j}$, $j=\overline{1,q}$. Задачу будем решать методом перебора всех q вариантов. При выбранном варианте j продолжительность m остальных работ равна $\Delta = T-\tau_{m+1,j}$. Задача свелась к задаче с независимыми работами (задача 1). Решив ее, получаем зависимость максимального эффекта A от затрат S. Если кустов несколько, то решаем задачу для каждого куста, получаем зависимость $A_i(S_i)$ эффекта для i-го куста от затрат, выделенных для него, $i=\overline{1,p}$, где p – число кустов. Далее решаем задачу определения оптимальных величин S_i при общем ограничении S. Эта задача аналогична задаче 2, рассмотренной выше.

5. Дискретные зависимости

Рассмотрим задачи, когда зависимости $S_i(\tau_i)$ являются дискретными.

Примем без ограничения общности, что каждая работа имеет m вариантов выполнения. Обозначим τ_{ij}, s_{ij}, соответственно продолжительность и стоимость j-го варианта i-й работы $x_{ij}=1$, если на i-й работе выбран вариант j, $x_{ij}=0$ – в противном случае.

Заметим, что

$\tau_{i1} < \tau_{i2} < \ldots < \tau_{im}$,

$S_{i1} > S_{i2} > \ldots > S_{im}$.

Рассмотрим задачу 1

Определим максимальный номер k_i варианта выполнения i-й работы, такой что $\tau_{k_i} \le T$.

Соответствующие затраты обозначим S_i. Легко видеть, что постановка задачи максимизации эффекта (ценности) от выполненных задач полностью совпадает с задачей 1.

Рассмотрим задачу 2

Как и в непрерывном случае для каждого числа k выполняемых работ решаем задачу минимизации

$$\sum_{i,j} x_{ij} s_{ij}$$

при ограничениях

$$\sum_{j} x_{ij} = 1,\ i = \overline{1,k},$$

$$\sum_{i=1}^{k} \sum_{j} \tau_{ij} x_{ij} \le T.$$

Минимальные затраты при выполнении k работ обозначим $S_k(T)$. Определим максимальное k, такое что $S_k(T) \le S$. Эта величина k определяет оптимальное решение задачи.

Рассмотрим еще одну постановку задачи с независимыми работами. Однако в данном случае работы могут выполняться только последовательно (например, работа выполняется одной бригадой). В этом случае получаем следующую задачу:

Задача 4. Определить $x = \left\{ x_{ij} \right\}$, максимизирующие (8) при ограничениях

$$\sum_{i,j} \tau_{ij} x_{ij} \le T, \tag{11}$$

$$\sum_{i,j} x_{ij} s_{ij} \le S, \tag{12}$$

$$\sum_{j} x_{ij} \le 1,\ i = \overline{1,n}. \tag{13}$$

Рассмотрим приближенный алгоритм решения задачи, в основе которого лежит метод дихотомического программирования и метод множителей Лагранжа.

Выпишем Лагранжиан

$$L(\lambda, x) = \sum_{i,j} a_{ij} x_{ij} - \lambda \left(\sum_{ij} s_{ij} x_{ij} - S \right), \tag{14}$$

где λ – множитель Лагранжа.

Опишем идею алгоритма.

I этап. При фиксированном λ решаем задачу (11), (13), (14) методом дихотомического программирования.

II этап. Определяем минимальное λ, при котором для оптимального решения будет выполняться неравенство (12). Полученное при этом решение будет давать приближенное решение исходной задачи.

Лемма. Если для приближенного решения неравенство (12) выполняется как строгое равенство, то это решение является оптимальным.

Доказательство. Как известно, Лагранжиан дает верхнюю оценку для исходной задачи. Если неравенство (12) выполняется как строгое равенство, то эта оценка достижима, а следовательно, решение является оптимальным.

6. Сетевой график – дерево

Рассмотрим случай дискретных зависимостей, когда сетевой график является деревом (рис. 3) или лесом (лесом называется граф, каждая компонента которого является деревом). Примем, что каждая работа имеет только один вариант выполнения с затратами S_i и продолжительностью τ_i, $i = \overline{1,n}$.

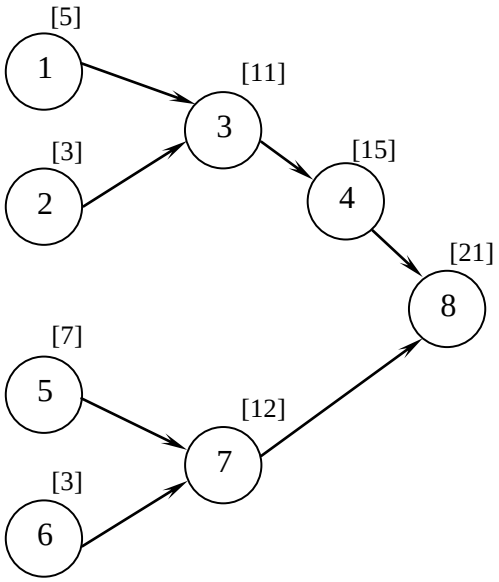


Рис. 3

Описание алгоритма

I этап. Определяем ранние моменты окончания работ t_i, применяя метод критического пути. Работы, для которых $t_i > T$, исключаем.

II этап. Берем произвольный куст, состоящий из m висячих вершин и корневой вершины $(m + 1)$. Обозначим $x_i = 1$, если вершина i входит в решение задачи, $x_i = 0$ – в противном случае.

Задача 5. Определить $x = \{x_{ij}\}$, максимизирующие

$$A(x) = \sum_{i=1}^{m} a_i x_i , \tag{15}$$

при ограничении

$$\sum_{i=1}^{m} s_i x_i \le Y , \tag{16}$$

где Y – параметр $0 \le Y \le S$.

Задачу решаем методом дихотомического программирования.

В итоговую таблицу решения $A(Y)$ добавляем последний столбец с затратами $\sum_{i=1}^{m} s_i + s_{m+1}$ (если эти затраты не больше S) и эффектом $\sum_{i=1}^{m} a_i + a_{m+1}$. В результате получаем параметрическую зависимость $A(Y)$. Куст заменяем одной вершиной с зависимостью $A(Y)$.

Далее берем следующий куст и повторяем процедуру и т. д.

Пример 3. Рассмотрим дерево рис. 3. Данные о продолжительностях, затратах и эффектах приведены в табл. 9.

Таблица 9

i	1	2	3	4	5	6	7	8
τ_i	5	3	6	4	7	3	5	6
s_i	6	2	7	4	3	8	5	7
a_i	9	5	10	6	7	11	8	9

Примем $T = 17$, $S = 16$.

I этап. В квадратных скобках указаны поздние времена окончания работ. Удаляем вершину 8, так как $t_8 = 21 > 17$. Получаем сетевой график (лес), состоящий из двух деревьев (рис. 4).

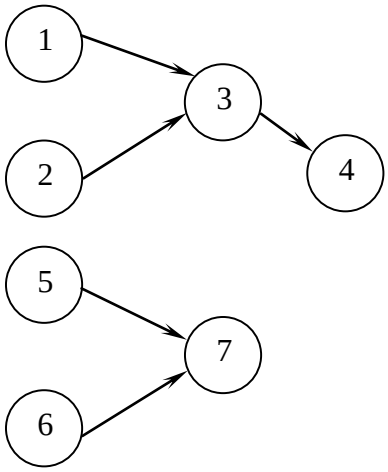


Рис. 4

II этап.

1 шаг. Берем куст с корневой вершиной 3. Решаем задачу максимизации

$$9x_1 + 5x_2$$

при ограничении

$$6x_1 + 2x_2 \le Y,\ 0 \le Y \le 16.$$

Решение приведено в табл. 10.

Таблица 10

Вариант I

Вариант	0	1	2	3	4
Затраты	0	2	6	8	15
Эффект	0	5	9	14	24

В табл. 10 добавлен последний столбец с затратами $s_1 + s_2 + s_3 = 15$ и эффектом $a_1 + a_2 + a_3 = 24$. Заменим куст одной вершиной с номером I.

2 шаг. Берем куст с корневой вершиной 4. Сразу выписываем параметрическую зависимость $A_4(Y)$, поскольку она совпадает с табл. 10 шага 1 (добавление затрат работы 5 нарушает ограничение на затраты). Оставляем вершину I.

3 шаг. Рассматриваем куст с корневой вершиной 7. Решаем задачу максимизации

$$7x_5 + 11x_6$$

при ограничении

$$3x_5 + 8x_6 \le Y,\ 0 \le Y \le 16.$$

Решение приведено в табл. 11.

Таблица 11

Вариант II

Вариант	0	1	2	3	4
Затраты	0	3	8	11	16
Эффект	0	7	11	18	26

Заменяем куст вершиной II.

4 шаг. Рассматриваем вершины I и II. Решение приведено в табл. 12.

Таблица 12

4	15;24	–	–	–	–
3	8;14	11;21	16;25	–	–
2	6;9	9;16	14;20	–	–
1	2;5	5;12	10;16	13;23	–
0	0	3;7	8;11	11;18	16;26
II / I	0	1	2	3	4

В клетках табл. 12 первое число – затраты, второе – эффект. Оптимальное решение определяется клеткой (16;26). Ему соответствует выполнение работ 1, 2, 3, 4 с затратами 16 и эффектом 26.

Литература

1. Математические основы управления проектами: учеб. пособие / С.А. Баркалов, В.И. Воропаев, Г.И. Секлетова и др.; под ред. В.Н. Буркова. – М.: Высшая школа, 2005. – 421 с.

2. Сетевые модели и задачи управления / В.Н. Бурков, Б.Д. Ланда, С.Е. Ловецкий и др. – М.: Советское радио, 1967. – 144 с.

3. Баркалов, С.А. Задачи календарного планирования работ с переменными объемами / С.А. Баркалов, В.Н. Бурков, А.М. Ходунов // Экономика и менеджмент систем управления. – 2018. – № 4 (30). – С. 76–83.

4. Буркова, И.В. Метод сетевого программирования в задаче целочисленного линейного программирования / И.В. Буркова, А.Р. Кашенков // Теория активных систем – 2011. Труды международной научно-практической конференции. – М.: Институт проблем управления РАН, 2011. – С. 25–26.

5. Буркова, И.В. Метод сетевого программирования в задачах нелинейной оптимизации / И.В. Буркова // Автоматика и телемеханика. – 2009. – № 10. – С. 15–21.

Баркалов Сергей Алексеевич, д-р техн. наук, заведующий кафедрой управления строительством, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж; barkalov@vgasu.vrn.ru.

Бурков Владимир Николаевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий лабораторией активных систем, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва; vlab17@bk.ru.

Ходунов Антон Михайлович, аспирант кафедры управления строительством, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж.

Поступила в редакцию 5 марта 2019 г.

DOI: 10.14529/ctcr190206

MAXIMIZATION PROBLEMS THE VOLUME OF PERFORMED WORKS IN PROJECT MANAGEMENT

S.A. Barkalov[1], *barkalov@vgasu.vrn.ru,*
V.N. Burkov[2], *vlab17@bk.ru,*
A.M. Khodunov[1]
[1] *Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation,*
[2] *V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

Scheduling tasks (time management) are an important functional area of project management. As a rule, for a given project duration, the tasks of minimizing the amount of required resources, either of the type of costs (cost) or type of capacity (equipment), are considered. Such tasks arise in two cases. In the first case, the duration of the project (program) is strictly limited, but its partial implementation is allowed. In the second case, the project (program) is carried out by periods and the task of maximizing the value (weighted volume) of work performed in each period is set. The paper considers the tasks of forming the calendar work plans of a project (or program projects) by the criterion of maximizing the total weighted volume of work performed, with restrictions on the duration of the project (program) and its cost. In this case, the dependence of the works cost on their duration are given. The cases of independent works, consecutive works, a project consisting of several chains of consecutive works, a project described by a network schedule with ordered events are considered. Examples of solving the problem for different cases are presented.

Keywords: work value, schedule, work time dependencies, costs, network with orderly works.

References

1. Barkalov S.A., Voropayev V.I., Sekletova G.I. et al.; Burkov V.N. (Ed.). *Matematicheskie osnovy upravleniya proektami* [Mathematical Foundations of Project Management]. Moscow, High School Publ., 2005. 421 p.

2. Burkov V.N., Landa B.D., Lovetskiy S.E. et al. *Setevye modeli i zadachi upravleniya* [Network Models and Control Problems]. Moscow, Soviet radio Publ., 1967. 144 p.

3. Barkalov S.A., Burkov V.N., Khodunov A.M. [Tasks Scheduling Work with Variable Volumes]. *Economics and Management of Control Systems*, 2018, no. 4 (30), pp. 76–83. (in Russ.)

4. Burkova I.V. Kashenkov A.R. [The Method of Network Programming in the Problem of Integer-Linear Programming]. *Teoriya aktivnykh sistem – 2011. Trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [The Theory of Active Systems – 2011. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Moscow, Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences, pp. 25–26. (in Russ.)

5. Burkova I.V. [The Method of Network Programming in Problems of Nonlinear Optimization]. *Automation and Telemechanics*, 2009, no. 10, pp. 15–21. (in Russ.)

Received 5 March 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Баркалов, С.А. Задачи максимизации объема выполненных работ в управлении проектами / С.А. Баркалов, В.Н. Бурков, А.М. Ходунов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 66–76. DOI: 10.14529/ctcr190206

FOR CITATION

Barkalov S.A., Burkov V.N., Khodunov A.M. Maximization Problems the Volume of Performed Works in Project Management. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 66–76. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr190206

УДК 519.673:658.512.4 DOI: 10.14529/ctcr190207

ВНЕДРЕНИЕ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Т.В. Павлович[1], Е.А. Дронь[2], Г.Г. Куликов[3]

[1] Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Россия,
[2] Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа, Россия,
[3] АО «Уфимское научно-производственное предприятие «Молния», г. Уфа, Россия

Статья посвящена вопросам повышения производительности труда и качества продуктов и услуг путем внедрения корпоративных информационных систем (КИС). Проанализированы цели внедрения КИС и взаимосвязь автоматизации с достижением стратегических целей нефтегазодобывающих предприятий.

Выявлена и обоснована необходимость разработки системы ключевых показателей эффективности (КПЭ) в разрезе бизнес-процессов предприятия для определения низкоэффективных процессов. Также обоснована идея проведения анализа лучших практик для оценки эффективности процессной модели предприятия AS IS. Целевая модель TO BE деятельности предприятия должна базироваться, с одной стороны, на анализе лучших практик, а с другой – на анализе КПЭ, рассчитанных в ходе функционально-стоимостного анализа (ФСА или ABC-анализ) бизнес-процессов.

На основе проведенного исследования авторами предлагается выделить 10 этапов подготовки к выбору и внедрению информационных систем для достижения стратегических показателей предприятия. Под успешным внедрением КИС понимается состояние предприятия, при котором оно стабильно достигает поставленных стратегических целей. В статье представлены результаты практического применения данных этапов на примере ведущей нефтегазодобывающей компании Российской Федерации. Каждый этап вносит свой собственный вклад в итоговый успех внедрения информационных систем. Как показали результаты проведенного исследования, исключение или ненадлежащее выполнение этапов может привести к провалам при внедрении КИС.

В статье также рассмотрена взаимосвязь неуспешного внедрения КИС и управления людьми, а также представлен общий подход к управлению человеческим капиталом при реализации проектов автоматизации. Подчеркнута важность создания линий двухстороннего общения с руководителями и рядовыми пользователями системы при планировании проекта по внедрению КИС, а также после ввода системы в практическую эксплуатацию. Согласие и искренняя поддержка людей проектов автоматизации является ключевым фактором успешного внедрения изменений.

Ключевые слова: корпоративные информационные системы (КИС), ключевые показатели эффективности (КПЭ), бизнес-процессы, анализ лучших практик (бенчмаркинг), функционально-стоимостной анализ (ФСА), стратегические показатели.

Введение

В настоящее время задача повышения производительности труда и качества продуктов и услуг является ключевой для нефтяных компаний, а также для производственных и сервисных компаний любых других областей без исключения. Это обусловлено высокой конкуренцией как внутри страны, так и на международном уровне. Экономическая эффективность любой компании или проекта главным образом определяется производительностью труда и качеством предоставляемых продуктов и услуг.

Производительность труда и качество продукции зависят от организации деятельности компании. Деятельность компании представляет собой набор взаимосвязанных бизнес-процессов, каждый из которых должен иметь свою цель, конечный продукт, ответственных и ключевые показатели эффективности (КПЭ). Примерами КПЭ для процессов могут быть: затраты, время, доход, выработка на одного рабочего и т. д.

Корпоративные информационные системы (КИС) внедряются для автоматизации бизнес-процессов с целью повышения их эффективности и достижения целевых КПЭ.

1. Этапы выбора КИС для достижения стратегических КПЭ предприятия

В настоящее время разработаны КИС для автоматизации практически каждого направления деятельности предприятий: продаж, производства, документооборота, закупок, логистики, бухгалтерского учета, бизнес-аналитики и т. д.

Каждая КИС прежде всего направлена на повышение эффективности и достижение показателей по соответствующим направлениям деятельности: продажам, производству, логистике и прочее, а также на повышение эффективности предприятия в целом. Все направления деятельности предприятия связаны между собой, и изменение работы одного направления непременно скажется на результатах работы других направлений и на деятельности всего предприятия. Например, в рамках оптимизации деятельности одного из ведущих российских нефтегазодобывающих предприятий было трансформировано направление закупок и логистики. Это привело к снижению себестоимости добычи углеводородов (УВ) и к повышению качества добываемого сырья. В связи с этим у предприятия появились новые международные контракты на продажу УВ. Финансовые результаты предприятия значительно улучшились и, что более важно, приобрели устойчивый растущий тренд.

Результаты проведенных исследований ряда российских нефтегазодобывающих предприятий и стран СНГ показывают необходимость подготовительной работы для взвешенного выбора и успешного внедрения КИС. Без проведения соответствующей подготовительной работы значительно возрастает риск недостижения стратегических показателей предприятия. В рамках существующей высокой конкуренции это приводит к потере рыночных позиций и к потере финансовой устойчивости компаний.

Согласно материалам компании Deloitteи статистики Gartner Group [1], неудачи при внедрении комплексных КИС (например, таких как ERP) составляют порядка 55–75 %.

В выборку анализируемых предприятий вошли компании, которые проводили необходимую подготовительную работу для выбора и подготовки к внедрению КИС, а также предприятия, которые не проводили данной работы. На основании анализа двух совершенно разных подходов были определены ключевые задачи или этапы, которые минимизируют риски неудач и являются залогом успешного внедрения информационных систем.

10 этапов подготовки к выбору и внедрению КИС для достижения стратегических КПЭ предприятия:

1) декомпозиция стратегической цели по бизнес-сегментам или по направлениям деятельности предприятия. Стратегическая цель определяется и утверждается акционерами на основании миссии и видения предприятия;

2) формализация существующих бизнес-процессов путем декомпозиции сверху-вниз и создание модели AS IS;

3) проведение функционально-стоимостного анализа (ФСА) модели AS IS. По результатам ФСА определяются КПЭ для каждого бизнес-процесса модели AS IS и оценивается возможность достижения поставленных стратегических КПЭ;

4) выбор бенчмарков для данного предприятия и сравнение КПЭ модели AS IS с КПЭ бенчмарков;

5) определение низкоэффективных процессов предприятия;

6) выбор КИС для повышения эффективности проблемных бизнес-процессов с учетом финансовых возможностей предприятия;

7) оптимизация проблемных бизнес-процессов и формирование модели TO BE. Модель TO BE может быть сформирована на основе анализа лучшего опыта компаний-бенчмарков;

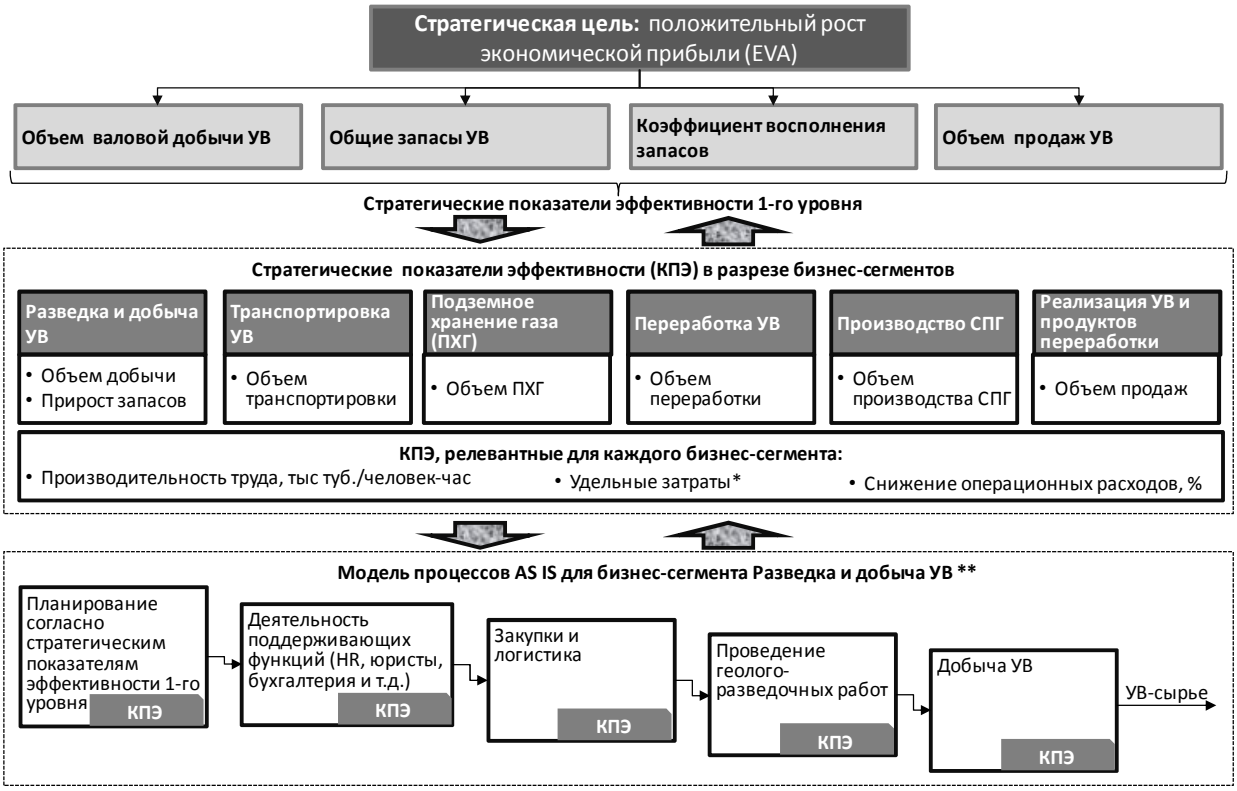
8) проведение ФСА для модели TO BE;

9) пересмотр существующих стратегических целей и принятие окончательного решения о том, как будут выстроены оптимизированные бизнес-процессы. Модель процессов TO BE должна обеспечивать достижение актуализированной стратегической цели;

10) разработка планов внедрения выбранной КИС для автоматизации модели процессов TO BE и достижения целевых КПЭ данных процессов.

2. Рассмотрение этапов внедрения КИС на примерах

На рис. 1 наглядно представлены 3 этапа выбора КИС на примере нефтегазодобывающей компании.



Примечание: * Удельные затраты – это затраты на единицу произведенной продукции или услуги. Например, удельные затраты для добычи газа измеряются в рублях за тонну условного топлива (т.у.т). Удельные затраты на транспортировку газа измеряются в рублях за тыс. м3 на 100 км.

** По аналогии декомпозируются бизнес-процессы других бизнес-сегментов.

КПЭ - Ключевые показатели эффективности, которые были определены по результатм функционально-стоимостного анализа бизнес-процессов. Из данных КПЭ складываются показатели вышестоящих процессов и по предприятию в целом.

Рис. 1. Первые три этапа выбора и подготовки к внедрению КИС на примере нефтегазодобывающей компании

В рамках 1-го этапа стратегическая цель и стратегические показатели эффективности 1-го уровня декомпозируются в разрезе бизнес-сегментов. В результате определяются стратегические ключевые показатели эффективности для каждого бизнес-сегмента.

На 2-м этапе для каждого бизнес-сегмента формализуются бизнес-процессы и разрабатывается модель AS IS [2–8]. Пример модели AS IS для бизнес-сегмента Разведка и добыча представлен в нижней части рис. 1.

В рамках 3-го этапа проводится функционально-стоимостной анализ (ФСА или АВС-анализ) и рассчитываются показатели для каждого бизнес-процесса. Данные показатели являются ключевыми показателями эффективности (КПЭ) каждого процесса. Из данных КПЭ складывается итоговый показатель эффективности деятельности бизнес-сегмента. На основании КПЭ по каждому бизнес-сегменту анализируется возможность достижения стратегических показателей эффективности 1-го уровня, а также стратегической цели нефтегазодобывающей компании в целом [9].

Результатами первых трех этапов выбора и подготовки к внедрению КИС являются:

– модель бизнес-процессов деятельности предприятия AS IS;

– набор КПЭ для каждого бизнес-процесса;

– оценка достижения стратегической цели.

На рис. 2 наглядно представлен подход к реализации этапов 4 и 5 выбора КИС для достижения стратегических КПЭ предприятия.

Примечание: *Данный процесс был выбран для примера. Это не имеет отношения к реальной ситуации в ведущей нефтегазодобывающей компании.

Рис. 2. Подход к определению низкоэффективных процессов предприятия

На этапе 4 осуществляется выбор компаний-аналогов (бенчмарков) для предприятия. Модели бизнес-процессов и КПЭ каждого выбранного бенчмарка сравниваются с моделью AS IS предприятия и формируются выводы в отношении эффективности существующих бизнес-процессов.

На этапе 5 по результатам сравнительного анализа выбранных бенчмарков определяются низкоэффективные процессы модели AS IS предприятия. Данные низкоэффективные процессы рассматриваются как риски для достижения стратегических КПЭ.

Так, в результате выполнения этапов 4 и 5 определяются низкоэффективные процессы предприятия.

На рис. 3 представлен подход к выбору КИС для оптимизации и автоматизации низкоэффективного процесса Закупки и логистика.

На этапе 6 осуществляется выбор КИС. Для этого определяются важные для предприятия критерии отбора, по которым оцениваются существующие на отечественном и зарубежном рынках КИС. Одним из ключевых критериев выбора КИС помимо функциональных возможностей является цена программного продукта, а также стоимость владения системой после ее внедрения и использования в промышленной эксплуатации. Для принятия взвешенного решения рекомендуется проводить оценку проекта по внедрению КИС по аналогии с оценкой инвестиционного проекта. Это позволит рассчитать рентабельность инвестиций, период окупаемости и общий финансовый эффект от внедрения. Результатом данного этапа является выбранная КИС для оптимизации и автоматизации низкоэффективного процесса [10].

На этапе 7 рассматриваются лучшие практики по оптимизации низкоэффективного процесса, которые, как правило, предоставляются вендором КИС. Также могут учитываться лучшие практики компаний-аналогов (бенчмарков). На основании лучших практик для низкоэффективного процесса формируется модель TO BE.

В рамках этапа 8 проводится функционально-стоимостной анализ для оценки модели TO BE и подтверждения значительного повышения эффективности процесса Закупки и логистика. Целью создания модели TO BE является существенный рост эффективности процесса и подготовка данного процесса к автоматизации путем внедрения выбранной КИС.

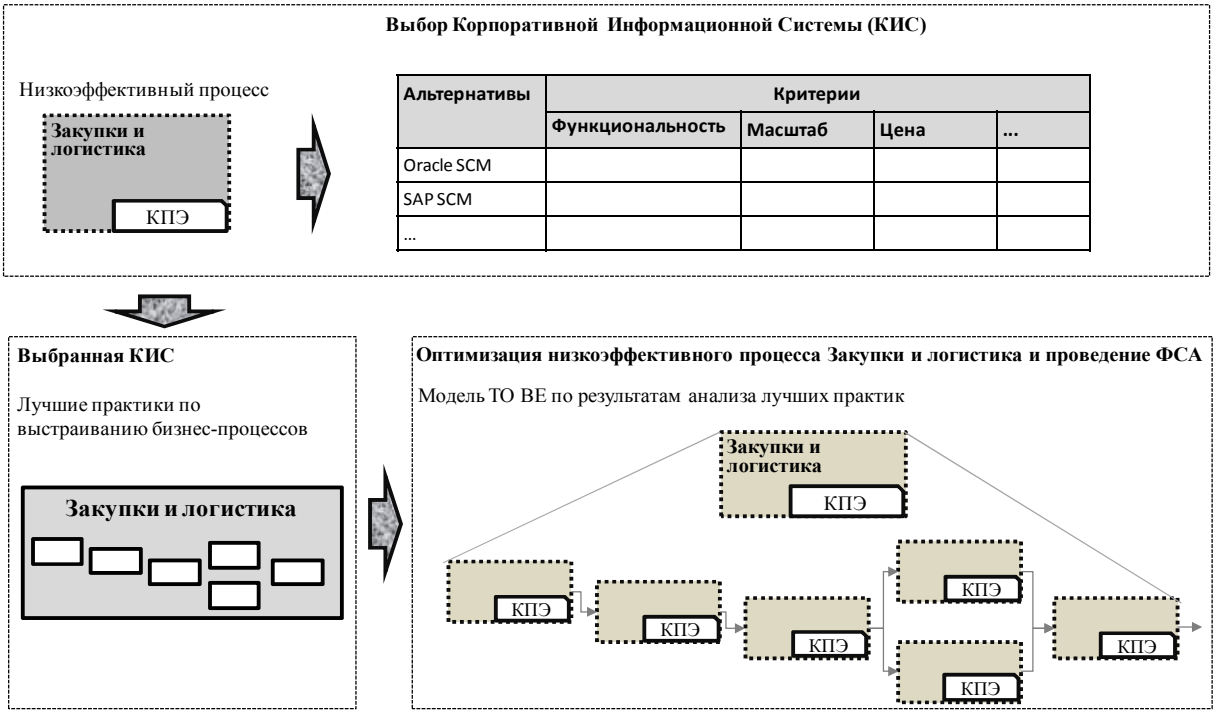


Рис. 3. Основные шаги выбора и подготовки к внедрению КИС для оптимизации и автоматизации низкоэффективных процессов

Таким образом, результатами этапов 7 и 8 является утвержденная модель TO BE процесса Закупки и логистика, подготовленная для внедрения КИС.

На рис. 4 представлен пример пересмотра финансовых показателей в рамках планируемого внедрения КИС согласно этапу 9. По итогам данного пересмотра актуализируется стратегическая цель предприятия.

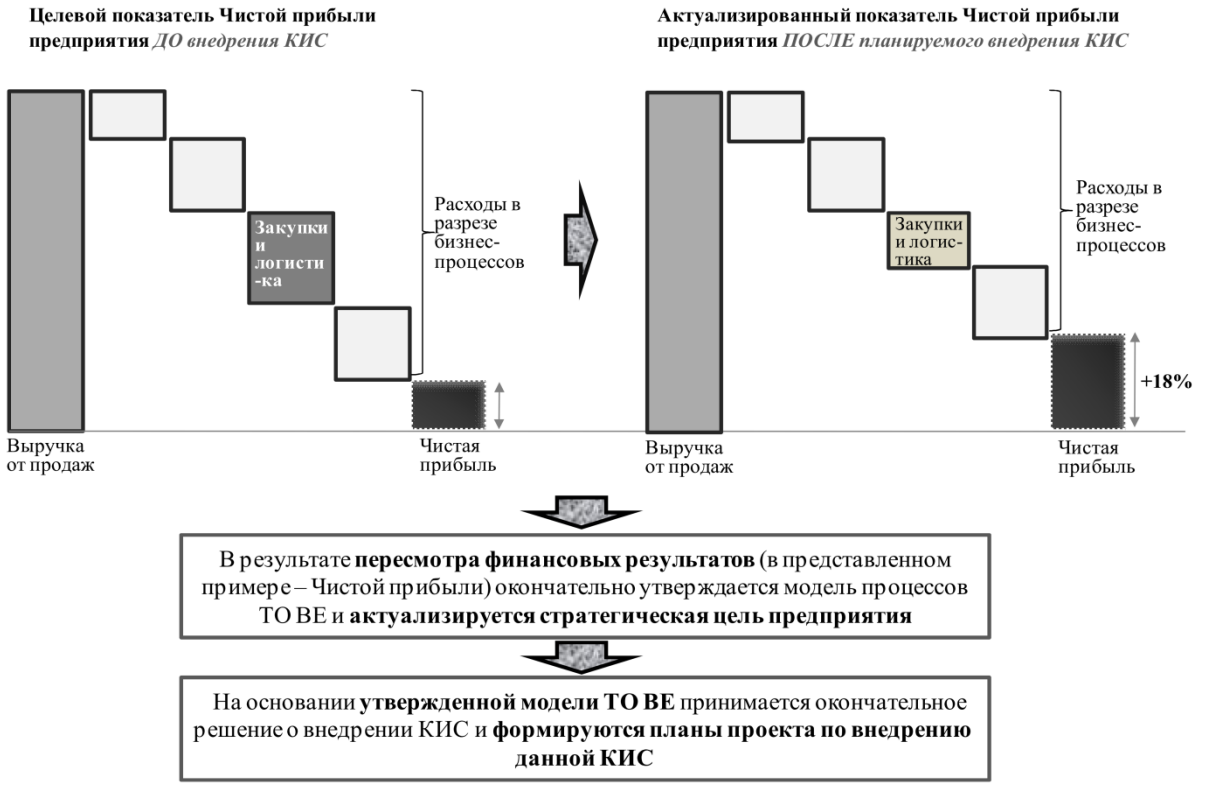


Рис. 4. Пересмотр финансовых показателей предприятия по результатам планируемого внедрения КИС

На этапе 9 пересматриваются финансовые показатели предприятия при планировании внедрения КИС и повышения эффективности бизнес-процессов. Как показано на рис. 4, в результате снижения расходов на процесс Закупки и логистика показатель Чистой прибыли увеличился на 18 %. Рост Чистой прибыли является основанием для пересмотра стратегической цели предприятия. Важно отметить, что оптимизация и автоматизация какого-либо одного процесса приводит к повышению эффективности других процессов предприятия [1]. Например, повышение эффективности процесса Закупки и логистика улучшит показатели производственных процессов. Это произойдет по причине оперативного снабжения производства необходимыми материалами требуемого качества и по оптимальной цене. Повышение эффективности производственных процессов положительно скажется на процессах продаж и других процессах. Другими словами, улучшение одного процесса повышает эффективность других процессов и предприятия в целом.

Результатом этапа 9 является актуализированная стратегическая цель, а также итоговое решение по внедрению выбранной КИС и бюджет инвестиционных затрат.

На заключительном 10-м этапе разрабатываются планы проекта по внедрению выбранной корпоративной информационной системы с учетом бюджета инвестиционных затрат. Внедряемая КИС должна обеспечивать достижение целевых КПЭ бизнес-процессов и актуализированной стратегической цели предприятия.

3. Причины неуспешного внедрения КИС и управление людьми

Под неуспешным внедрением информационных систем понимается недостижение предприятием целевых показателей эффективности и стратегических целей. Для исключения рисков неуспешного внедрения КИС необходимо уделить особое внимание людям, которые являются самым главным активом любого предприятия.

Во-первых, необходимо построить открытое общение с сотрудниками до запуска проекта по внедрению КИС. Руководители всех уровней, а также рядовые сотрудники должны принять идею планируемого внедрения информационной системы и искренне поддерживать данный проект. Для достижения этого согласия может потребоваться немало времени и усилий. Но в результате значительно повышаются шансы успеха проекта.

Открытое двухстороннее общение с персоналом предприятия должно быть выстроено на всех этапах реализации проекта, включая ввод информационной системы в промышленную эксплуатацию. Сотрудники должны получить необходимую поддержку и обучение при переходе на новую информационную систему.

В ходе промышленной эксплуатации внедренной КИС также необходимо развивать и расширять линии коммуникации с сотрудниками, так как они являются ключевыми пользователями системы. Обратную связь от людей следует тщательно анализировать и оперативно принимать соответствующие меры для урегулирования проблемных вопросов. Это будет мотивировать людей принимать и поддерживать внедренные изменения.

Во-вторых, необходимо изменить организационную структуру в соответствии с моделью ТО ВЕ. Организационная структура должна поддерживать оптимизированные процессы. Изменение организационной структуры следует рассматривать как отдельный проект, так как это связано с мотивацией, интересами и ожиданиями людей [11].

Любая информационная система представляет собой инструмент помощи сотрудникам в решении производственных задач. От того, как персонал будет использовать данный инструмент, зависит успех проектов автоматизации и достижение стратегических показателей предприятия.

Заключение

Представлены результаты исследования успешного и неуспешного внедрения комплексных КИС на ведущих российских нефтегазодобывающих предприятиях и на предприятиях стран СНГ. В результате исследований были определены 10 этапов подготовки к выбору и внедрению КИС, которые в значительной степени повышают успех внедрения и вероятность достижения целевых показателей эффективности бизнес-процессов и стратегических целей.

Также представлен обзор причин неуспешного внедрения КИС, которые связаны с человеческим фактором. Сформулированы подходы для эффективного управления людьми при внедрении масштабных и комплексных изменений, позволяющие значительно повысить успех проектов автоматизации.

Литература

1. Deloitte & Touche LLP. Your guide to a successful ERP journey. – https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/human-capital/01_ERP_Top10_Challenges.pdf (дата обращения: 10.03.2019).

2. Куликов, Г.Г. Формальная модель предметной области на основе нечетких отношений / Г.Г. Куликов, В.В. Антонов // Программные продукты и системы. – 2011. – № 2. – С. 48–51.

3. Автоматизированные информационные системы в экономике: учеб. пособие / Г.Г. Куликов, Е.А. Дронь, Ю.О. Багаева, М.А. Шилина. – Уфа: УГАТУ, 2013. – 180 с.

4. Разработка формальной модели производственного процесса для организации проектного и производственного менеджмента с применением интеллектуальной КИС / А.В. Речкалов, Г.Г. Куликов, В.В. Антонов, А.В. Артюхов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2014. – № 11. – С. 34–54.

5. Формальная модель производственного процесса для организации проектного и производственного менеджмента / А.В. Речкалов, Г.Г. Куликов, В.В. Антонов, А.В. Артюхов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2014. – № 4. – С. 175–186.

6. Разработка формальной модели производственного процесса с применением корпоративной информационной системы КИС / А.В. Речкалов, Г.Г. Куликов, В.В. Антонов, А.В. Артюхов // Научное обозрение. – 2015. – № 12. – С. 187–196.

7. Куликов Г.Г. Организация системы планирования машиностроительной корпорации на основе системной модели виртуального производства / Г.Г. Куликов, К.А. Ризванов // Научные горизонты: сб. – С. 69–74.

8. Куликов, Г.Г. Автоматизированная система поддержки принятия решений для организационного управления строительным производством / Г.Г. Куликов, Е.А. Дронь // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: сб. – 2017. – С. 191–196.

9. Павлович, Т.В. Система ключевых показателей деятельности как инструмент повышения производительности труда и мотивации персонала / Т.В. Павлович, Е.А. Дронь // Проблемы и перспективы развития промышленности России: сб. – 2018. – С. 384–386.

10. Информационные технологии и управление предприятием / В.В. Баронов, Г.Н. Калянов, Ю.Н. Попов, И.Н. Титовский. – М.: Компания АйТи, 2009.

11. Ньюэлл, Ф. Почему не работают системы управления отношениями с клиентами (CRM): Как добиться успеха, позволив клиентам управлять отношениями с вашей компанией: пер. с англ. / Ф. Ньюэлл. – М.: Добрая книга, 2004. – 368 с.

Павлович Татьяна Вячеславовна, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры бизнес-информатики, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва; TVPavlovich@fa.ru, tv_pavlovich@mail.ru;

Дронь Елена Анатольевна, канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизированных систем управления, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа; elena_dron@bk.ru.

Куликов Григорий Геннадьевич, технический директор, АО «Уфимское научно-производственное предприятие «Молния», г. Уфа.

Поступила в редакцию 15 марта 2019 г.

DOI: 10.14529/ctcr190207

IMPLEMENTATION OF CORPORATE INFORMATION SYSTEMS TO ACHIEVE STRATEGIC GOALS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

T.V. Pavlovich[1], *TVPavlovich@fa.ru, tv_pavlovich@mail.ru,*
E.A. Dron[2], *elena_dron@bk.ru,*
G.G. Kulikov[3]
[1] *Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation,*
[2] *Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation,*
[3] *JSC Ufa Research and Production Enterprise "Molniya", Ufa, Russian Federation*

The article is considered to the issues of increasing labor productivity and the quality of products and services by corporate information systems (CIS) implementation.

The article provides with expediency to develop a system of key performance indicators (KPI) to identify low-efficiency processes. The idea of the best practices analysis to evaluate the effectiveness of the AS IS business process model is also justified. The target TO BE model should be based on the best practices analysis and on KPIs analysis. KPIs should be calculated by Activity Based Costing (ABC) approach. KPI analysis should take into account the future trend of indicators.

Based on the study, the authors propose to highlight 10 stagers of choosing information systems to achieve strategic objectives of enterprises. Successful CIS implementation means the sustain condition when an enterprise achieves strategic goals. The article provides with the results of these stagers applying in one leading oil and gas company of the Russian Federation.

The article also considers the key reasons for the unsuccessful CIS implementation regarding people site management and presents the general approach to their elimination. The authors highlighted the importance of two-way communication lines creating. These two-way communication lines should connect a project team with leaders and end-users. These lines are necessary to install during the planning of CIS implementation and develop them after the industrial stage too. Sincere people support of automation projects is the key success factor of changes implementation.

Keywords: key performance indicators (KPIs), Corporate Information Systems (CIS), business-processes, the best practice analysis (benchmarking), Activity Based Costing (ABC) analysis, strategic objectives.

References

1. Deloitte & Touche LLP. Your Guide to a Successful ERP Journey. Available at: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/human-capital/01_ERP_Top10_Challenges.pdf (accessed 10.03.2019).

2. Kulikov G.G., Antonov V.V. [The Formal Model of Subject Domain on the Basis of the Indistinct Relations]. *Software Products and Systems*, 2011, no. 2, pp. 48–51. (in Russ.)

3. Kulikov G.G., Dron' E.A., Bagayeva Yu.O., Shilina M.A. *Avtomatizirovannyye informatsionnyye sistemy v ekonomike: ucheb. posobiye* [Automated Information Economic Systems]. Ufa, USATU Publ., 2013. 180 p.

4. Rechkalov A.V., Kulikov G.G. [Development of the Formal Model of Production for the Organization of Design and Production Management with Application of Intellectual CIS]. *Bulletin of the Perm' National Research Polytechnic University. Electrical Engineering, Information Technologies, Control Systems*, 2014, no. 11, pp. 34–54. (in Russ.)

5. Rechkalov A.V., Kulikov G.G. [The Formal Model of Production for the Organization of Design and Production Management]. *Bulletin of the Kazan State Technical University of A.N. Tupolev*, 2014, no. 4, pp. 175–186. (in Russ.)

6. Rechkalov A.V., Kulikov G.G. [Development of the Formal Model of Production with Application of Corporate Information System CIS]. *Scientific Review*, 2015, no. 12, pp. 187–196. (in Russ.)

7. Kulikov G.G., Rizvanov K.A. [The Organization of a System of Scheduling of Machine-Building Corporation on the Basis of Systemic Model of the Virtual Production]. *Materials of the XI International Scientific and Practical Conference "Scientific Horizons – 2015", Sheffield, 30 Sept. – 07 Oct. 2015*, pp. 69–74. (in Russ.)

8. Kulikov G.G., Dron' E.A. [The Automated System of Support of a Decision Making for Organizational Management of Structural Production]. In the Collection: *Informatics Problems in Education, Management, Economy and Technique*, 2017, pp. 191–196. (in Russ.)

9. Pavlovich T.V., Dron' E.A. [The System of Key Indicators of Activity as the Instrument of Increase in Labor Productivity and Motivation of Personnel]. *Collection of Materials III of the International Scientific and Practical Conference "Problems and Prospects of Development of the Industry of Russia"*, 2018, pp. 384–386. (in Russ.)

10. Baronov V.V., Kalyanov G.N., Popov Yu.N., Titovskiy I.N. *Informatsionnyye tekhnologii i upravleniye predpriyatiyem* [Information Technology and Enterprise Management]. Moscow, IT Co. Publ., 2009, 328 p.

11. Newell F. *Why CRM Doesn't Work: How to Win by Letting Customers Manage the Relationship*, 2003. Princeton, New Jersey, Bloomberg Press. 256 p.

Received 15 March 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Павлович, Т.В. Внедрение корпоративных информационных систем для достижения стратегических показателей промышленных предприятий / Т.В. Павлович, Е.А. Дронь, Г.Г. Куликов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 77–85. DOI: 10.14529/ctcr190207

FOR CITATION

Pavlovich T.V., Dron E.A., Kulikov G.G. Implementation of Corporate Information Systems to Achieve Strategic Goals of Industrial Enterprises. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 77–85. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr190207

УДК 658.1-50 DOI: 10.14529/ctcr190208

ТЕХНОЛОГИЯ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА БОЛЬШИХ МАССИВОВ ДАННЫХ ПО ОБОРОТНЫМ АКТИВАМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

О.И. Дранко[1], О.В. Логиновский[2]

[1] Московский физико-технический институт, г. Москва, Россия,
[2] Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Валовые показатели промышленных организаций России значительно увеличивались за 2003–2017 гг. (с некоторым спадом в период финансового кризиса 2009 г.). Благодаря этому экономика России по размеру смогла занять достойное место в мире. Для дальнейшего продвижения необходимы не только экстенсивный рост, но и повышение эффективности российских предприятий, которая, к сожалению, системно не улучшается за последние годы. Наиболее существенные показатели экономической деятельности – рентабельность (и связанные с ней удельные затраты) и сроки оборачиваемости – изменяются в относительно небольшом диапазоне, причем по сроку оборачиваемости наблюдается тенденция к ухудшению.

Управление параметрами операционной эффективности является ключевым фактором для дальнейшего роста.

В работе показан пример использования OLAP технологии анализа больших данных (BigData) для повышения эффективности финансово-экономического управления предприятием, в частности – по оборотным активам. Использование именно этого подхода позволяет провести анализ в экспресс-режиме, за период в 5–10 раз меньше, чем при традиционных методах анализа.

На выборке около 10 предприятий реального сектора по результатам углубленных анализов в процессе консультационных проектов показано, что доля неэффективных запасов (неликвидов и сверхнормативов) составляет 35–40 % от их общей величины.

Аналитическая модель стоимости как инструмент экспресс-анализа позволяет оценить последствия управления оборотными активами по влиянию на фундаментальную стоимость компании. Модельные расчеты показывают, что однократное сокращение срока оборачиваемости оборотных активов на 20 % обеспечивает прирост фундаментальной стоимости на 35 %.

Если данный результат тиражировать на все промышленные предприятия страны, эффект по дополнительному денежному потоку составит 5,8 трлн руб., по увеличению стоимости – около 3 трлн руб.

Ключевые слова: шестой технологический уклад, анализ больших данных, принятие решений, программа развития, экспресс-режим, моделирование, стоимость бизнеса, финансовое прогнозирование, OLAP, BI.

Введение

Рост экономики страны возможен по сочетанию как экстенсивных, так и интенсивных факторов роста. Для России экстенсивные факторы, в значительной мере обусловленные эффектом низкой базы и падением в 90-е годы, практически перестали действовать. Режим санкций резко сократил возможности экспорта.

Мировая экономика вступает (или уже вступила) в новый 6-й технологический уклад. В России его часто характеризуют как «цифровая экономика». Одним из важнейших направлений цифровой экономики является цифровая обработка информации.

Как в любое время перемен, нарастают факторы неопределенности и структурных изменений на рынках. Это требует гораздо более быстрых, оперативных методов и инструментов (экспресс-методов) для принятия решений.

Поэтому возрастает роль анализа и применения инструментов интенсивного развития [1]. В данной работе рассматриваются технологии повышения эффективности управления производственными предприятиями на основе использования инструментов анализа больших массивов данных по запасам предприятия с помощью гиперкубов (технологии OLAP).

В данной статье термины BI, OLAP и гиперкубы используются в качестве синонимов для улучшения стилистики текста.

1. Актуальность – анализ некоторых экономических показателей промышленности России

Россия занимает достойное шестое место среди экономик мира по показателю валовой внутренний продукт (ВВП) по паритету покупательной способности (ППС)[1], уже с небольшим отставанием от Германии.

Укрупненные показатели России в сопоставлении с ведущей развитой страной – США – приведены в табл. 1. По относительной производительности на одного человека по показателю ВВП по ППС на одного человека Россия примерно в два раза отстает от США. Если судить по показателю ВВП по ППС, Россия развивается успешно. Причем динамика роста показателя ВВП по ППС на одного человека в России хорошая, что может быть обусловлено как эффектом «низкой базы», так и реальным развитием экономики, хотя и с перекосом в добывающие отрасли.

Отметим, что по показателю ВВП (по официальному обменному курсу) Россия занимает 11–12-е место (The World Factbook ЦРУ[2], Мировой банк[3]).

Таблица 1

Сопоставление показателей России и США

№	Показатель	Россия	США	Отношение США/Россия
1	ВВП по ППС, 2017 г., трлн долл.	4,00	19,36	4,8
2	Население, июль 2017 г., млн чел.	142,3	326,6	2,3
3	ВВП по ППС на одного человека, 2017 г., тыс. долл.	27,9	59,5	2,1
4	Рыночная капитализация крупнейших компаний, 2017 г., трлн долл.	0,6	25,1	42
5	Количество крупнейших компаний в анализе капитализации, 2017 г., шт.	300	2369	7,9

Ряд экономических показателей предприятий России значительно выросли за последнее время: выручка, активы и пассивы. Но фундаментальная стоимость компаний (как комплексная оценка) и удельные характеристики эффективности практически не улучшаются. В данном разделе приведен анализ некоторых экономических показателей промышленности России для обоснования актуальности повышения эффективности предприятий.

График выручки полного круга промышленных организаций за 2003–2017 гг. по данным Росстата [6] приведен на рис. 1. Среднегодовой рост выручки (по экспоненциальному тренду) в текущих ценах составляет 14,9 %.

Из рис. 1 виден существенный и последовательный рост выручки и активов промышленных организаций за последние 15 лет (кроме кризиса 2009 г.).

Источники информации Росстата:

а) выручка, активы и пассивы полного круга организаций согласно бухгалтерской отчетности по РСБУ до 2015 г.;

б) оборот организаций по видам экономической деятельности (по организациям без субъектов малого предпринимательства, то есть крупных и средних) за 2005–2017 гг.;

в) пересчет выручки крупных и средних организаций на полный круг.

[1] GDP (Purchasing Power Parity). URL: https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2001rank.html (дата обращения: 06.09.2018).

[2] GDP (official exchange rate). URL: https://www.cia.gov/librarY/publications/the-world-factbook/fields/2195.html (дата обращения: 06.09.2018).

[3] Gross domestic product 2017. URL: https://databank.worldbank.org/data/download/GDP.pdf (дата обращения: 06.09.2018).

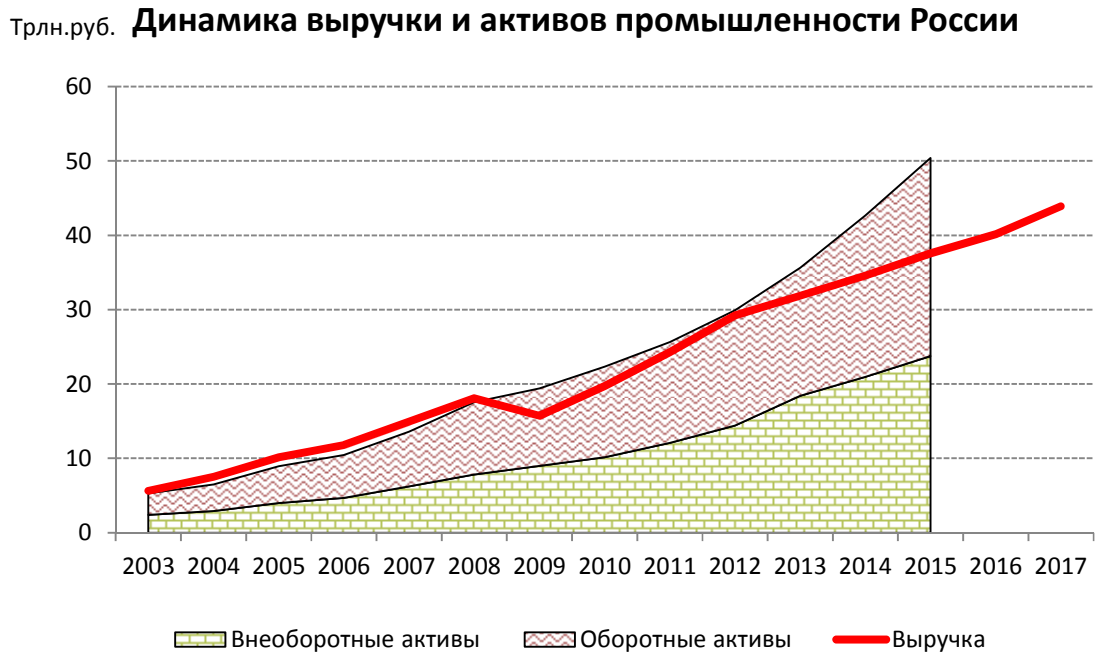


Рис. 1. Динамика выручки и активов промышленных организаций РФ

Далее под среднероссийским предприятием будем понимать «усредненное» предприятие с отчетностью согласно «полному кругу» российских организаций (по всем размерам, видам деятельности, формам собственности, территориям), представленной в Центральной базе статистических данных Федеральной службы государственной статистики (Росстат).

Под *«промышленностью»* (промышленными предприятиями) будем понимать организации, относящиеся к группе «Раздел D. Обрабатывающие производства» Росстата. Под *«торговлей»* будем понимать организации, относящиеся к группе «Раздел G. Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования», причем доля ремонта автотранспортных средств и мотоциклов пренебрежимо мала. *Добывающие* предприятия («Раздел C. Добыча полезных ископаемых») и организации *энергетики* («Раздел E. Производство и распределение электроэнергии, газа и воды») не рассматриваются в данной статье.

Наряду с позитивными трендами роста наблюдаются некоторые негативные факторы развития.

Отметим, что темпы роста выручки в текущих ценах стали замедляться, в том числе из-за уменьшения инфляции. Это видно на рис. 1. В табл. 2, 3 приведены темпы роста выручки промышленности и торговли.

Таблица 2

Темпы роста выручки промышленности, %

Показатель	2003–2008 гг.	2009 г.	2010–2012 гг.	2013–2017 гг.
Экспоненциальный тренд	25,73	–12,99	21,69	8,21
Средний коэффициент роста по годам	26,39	–12,99	22,94	8,48
Среднегодовой темп роста	26,19	–12,99	21,69	8,33

Таблица 3

Темпы роста выручки торговли, %

Показатель	2003–2008 гг.	2009 г.	2010–2016 гг.	2016–2017 гг.
Экспоненциальный тренд	22,42	–13,54	17,33	–3,60
Средний коэффициент роста по годам	30,20	–13,54	16,93	–3,55
Среднегодовой темп роста	25,73	–13,54	17,02	–3,60

Расчет показателей проводится по следующим алгоритмам:

– экспоненциальный тренд – по методу наименьших квадратов;

– средний коэффициент роста по годам – усреднение темпов роста по отдельным годам;

– среднегодовой темп роста – по начальной и конечной точке.

Рост активов обеспечивается опережающим финансированием за счет заемного капитала, прирост собственного капитала практически остановился в 2012–2015 гг. (рис. 2). По косвенным признакам (авторы не знают регулярного источника сводной информации по активам/пассивам в стране) эта тенденция сохранилась в 2016–2017 гг. Ухудшаются показатели рисков, такие как финансовый рычаг.

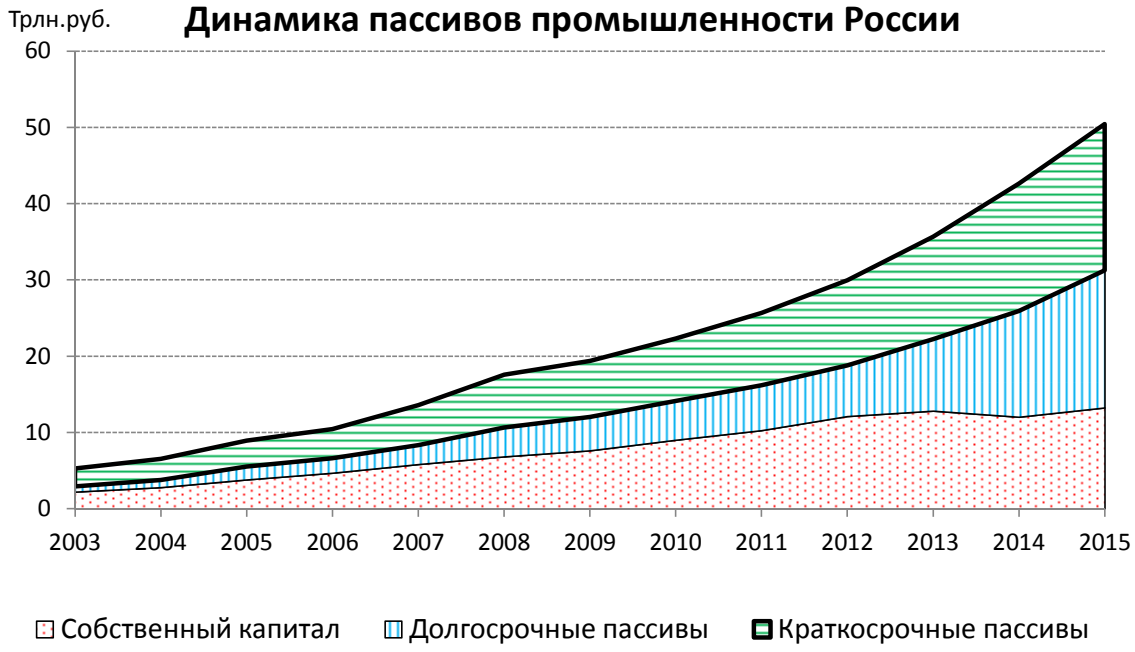


Рис. 2. Динамика пассивов промышленных организаций РФ

Зависимость видов активов (внеоборотных и оборотных) от выручки для полного круга обрабатывающей промышленности России показана на рис. 3. Из графика виден практически линейный рост оборотных и внеоборотных активов при увеличении выручки. Коэффициент увеличения составляет 0,6553 для внеоборотных активов и 0,666 для оборотных, а также 0,3187 для кредиторской задолженности (на графике не показано). Таким образом, коэффициент капиталоемкости обрабатывающей промышленности России составляет 1,003. Близость коэффициентов для оборотных и внеоборотных активов – типична для промышленных предприятий, для организаций других видов деятельности пропорции могут быть иными.

На рис. 4 показан анализ динамики сроков оборачиваемости оборотных активов, а также их основных компонент: запасов, затрат и дебиторской задолженности. Из графика видна общая тенденция увеличения срока оборачиваемости оборотных активов (среднегодовой темп роста составляет 11 % за 2012–2015 гг.).

Доля полных расходов по полному кругу организаций составляет 97 % от выручки[4] (расчеты автора по данным Росстата [6], также см. [7]). На рис. 5 показана зависимость полных затрат от выручки полного круга организаций. Можно сделать вывод о сильной инерционности расходов российских компаний (показатель R^2 равен 0,9989).

[4] По оси X отложена выручка за соответствующий год, по оси Y – величина полных затрат. Методом наименьших квадратов проводится линия тренда, которая наилучшим образом показывает линейную зависимость точек Y от точек X.

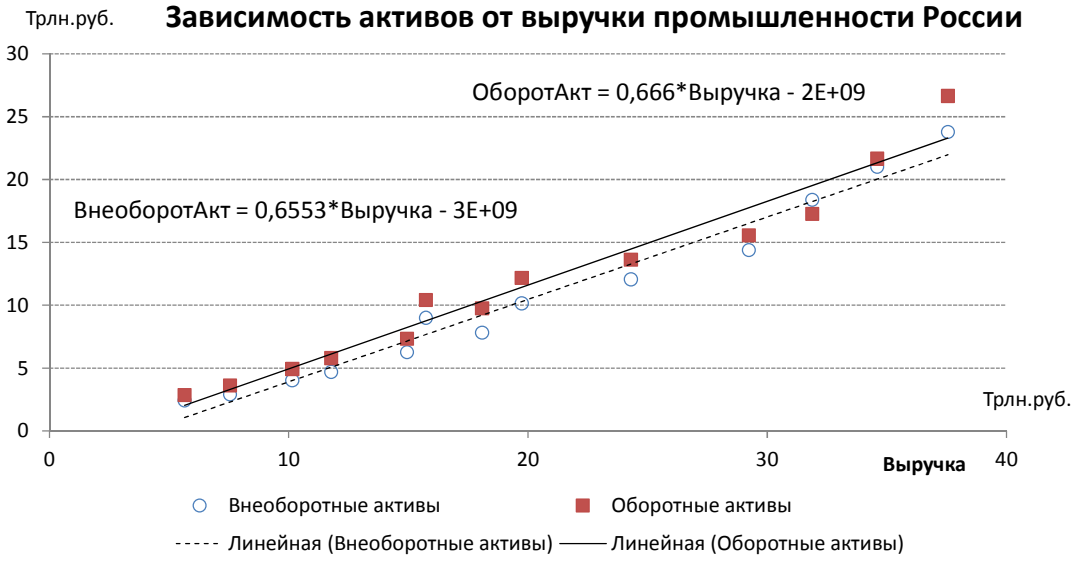


Рис. 3. Зависимость видов активов от выручки промышленных организаций РФ

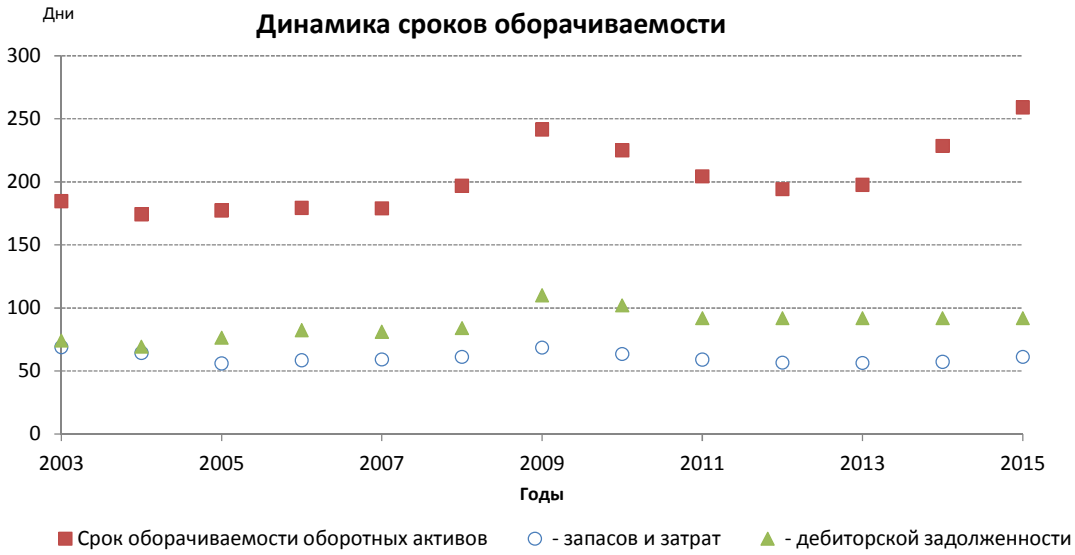


Рис. 4. Динамика сроков оборачиваемости промышленных организаций РФ

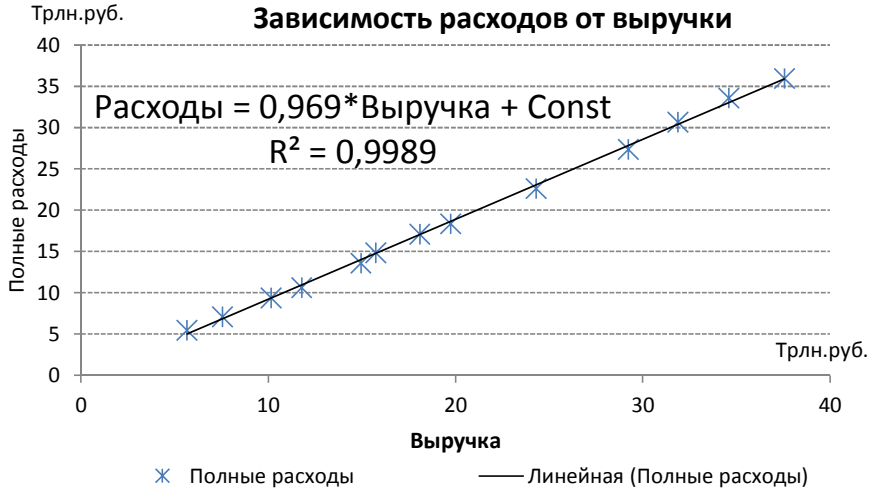


Рис. 5. Зависимость полных расходов от выручки полного круга промышленных организаций России, 2003–2015 гг.

Одной из основных целей развития предприятий рассматривается увеличение капитализации (стоимости бизнеса). Отметим, что кроме капитализации некоторые авторы рассматривают богатство акционеров. Однозначных способов расчета стоимости бизнеса нет, наиболее распространенные способы требуют знания внутренней информации о возможностях развития предприятия (что внешним инвесторам редко доступно). Прогнозирование движения денежных средств для оценки стоимости доходным методом – достаточно объемная задача, требует больших и кропотливых расчетов. Экспресс-метод прогнозирования денежных потоков на базе финансовой отчетности, рассматриваемый в данной статье, позволяет упростить и главное – ускорить формирование прогноза движения денежных средств.

Рыночная капитализация[5] крупнейших 300 компаний России на Московской бирже составляла 35,9 трлн руб. (0,6 трлн долл.) на 31 декабря 2017 года[6]. Следует отметить очень большую неравномерность распределения компаний по стоимости. Самые крупные 10 компаний стоили 21,6 трлн руб. (или 60 %), а крупнейшие 40 компаний стоили 32,1 трлн руб. (90 %, правило Парето «20 на 80» заметно перевыполняется).

По показателю капитализации компаний на бирже Россия (623 млрд.долл., 2017 г.) в 40 раз отстает от США ($25,07 триллионов)[7].

Стоимость компаний (по индексу ММВБ или по суммарной стоимости на ММВБ) упала с 2007 г. и незначительно изменяется с 2010 г. (рис. 6).

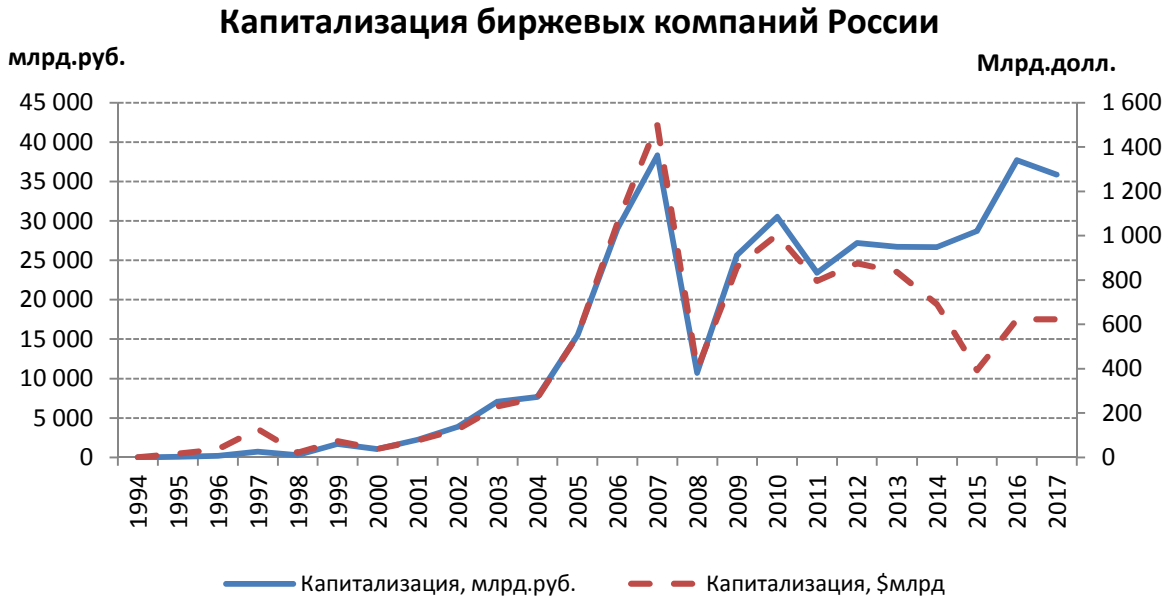


Рис. 6. Динамика стоимости биржевых компаний России

Вывод: наблюдаются негативные тенденции по уменьшению темпов роста выручки, в реальном изменении – даже падение в отдельные годы. Оборотные активы растут, срок оборачиваемости растет.

Необходимо принятие управленческих решений по улучшению финансово-экономического состояния организаций.

2. Формирование программы инновационных работ

Одним из инструментов по повышению эффективности предприятия является формирование и реализация программы инновационных работ (ПИР).

[5] Терминологическая добавка. Под стоимостью компании в работе будем понимать оценку фундаментальной стоимости полного капитала, включающего как собственный, так и заемный капитал. Под капитализацией будем понимать оценку стоимости собственного капитала.

[6] Расчеты автора по данным Московской биржи.

[7] URL: https://www.cia.gov/librarY/publications/the-world-factbook/fields/2200.html. Данные 2015 г.

Экспресс-модель оценки стоимости позволяет руководству предприятия выделить наиболее существенные параметры влияния на оценку бизнеса и в оперативном режиме (в течение 1–2 дней) выработать мероприятия по развитию, максимально увеличивающие целевой критерий. Отметим, что руководство многих предприятий ориентируется на показатели выручки и прибыли, так как стоимость бизнеса – гораздо более сложный комплексный показатель и учитывает значительно более широкий перечень факторов развития.

Модельные исследования позволяют выделить основные направления желательных изменений. Анализ чувствительности целевых показателей к изменению параметров, а также экспертные оценки в экспресс-режиме позволяют выработать оценку возможного улучшения финансово-экономического состояния предприятия, а также выработать приоритеты направлений реализации мероприятий повышения операционной эффективности. Основные группы факторов следующие:

– увеличение продаж – темп роста выручки;

– сокращение затрат – уменьшение удельных затрат;

– оптимизация инвестиционной программы – сокращение удельных капиталовложений во внеоборотные активы, сроков окупаемости инвестиционных проектов;

– сокращение срока оборачиваемости оборотного капитала;

– формирование системы управления и мотивации, позволяющих повысить активность руководства и оперативно реагировать на вызовы времени;

– выработка мероприятий по устранению рисков – уменьшение ставки дисконтирования будущих доходов;

– другие параметры.

Но вопрос практической реализуемости зачастую остается открытым. В российской литературе не очень много материалов по повышению внутренней эффективности предприятий. Примеры конкретного вида перечня мероприятий приведены в книгах и статьях, описывающих опыт развития успешных российских предприятий [9]. Простым и эффективным методом отбора мероприятий служит метод «затраты – эффективность» [12].

3. Краткая характеристика BI (OLAP) систем – теория

В качестве программной платформы для информационно-аналитической системы управления промышленных предприятий целесообразно использовать решение класса Business Intelligence (BI-систем).

Понятие Business Intelligence[8] используют для обозначения компьютерных методов и инструментов для перевода деловой информации в форме отдельных операций (трансакций) в форму, пригодную для бизнес-анализа, а также средства для массовой работы с такой обработанной информацией. Цель BI – интерпретировать большое количество данных, заостряя внимание лишь на ключевых факторах эффективности, моделируя исход различных вариантов действий, отслеживая результаты принятия решений.

Business Intelligence[9] в широком смысле определяют как:

- процесс превращения данных в информацию и знания о бизнесе для поддержки принятия улучшенных и неформальных решений;
- информационные технологии (методы и средства) сбора данных, консолидации информации и обеспечения доступа бизнес-пользователей к знаниям;
- знания о бизнесе, добытые в результате углубленного анализа детальных данных и консолидированной информации.

Основной целью BI-платформы является интерпретация значительного объёма неструктурированных либо слабо упорядоченных данных, выполняя выборку с прицелом на ключевые факторы эффективности, обеспечивая моделирование последствий различных вариантов управленческих действий и синтез информации с целью последующего принятия решений.

[8] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Business_Intelligence (дата обращения: 09.09.2018).

[9] Валерий Артемьев. Открытые системы #04/2003 г. URL: http://citforum.ru/consulting/BI/whatis/ (дата обращения: 02.09.2018).

Основу BI-систем составляют компоненты OLAP.

OLAP (Online Analytical Processing) – это технология обработки данных, заключающаяся в структуризации данных по многомерному принципу (гиперкубы информации) и подготовке суммарной (агрегированной) информации на основе больших массивов данных.

Причина использования OLAP для обработки запросов – скорость.

Отметим, что описания технологии OLAP (OnLine Analytical Processing) в литературе ориентированы на «программистский», а не «пользовательский» подход. Приводятся объяснения и формулировки по особенностям формирования многомерных или реляционных гиперкубов, а не как использовать новые возможности по анализу информации, которые не были доступны ранее.

Среди важнейших пользовательских свойств OLAP-приложений можно выделить следующие:

– перестроение форм отчетности по различным иерархическим аналитическим признакам (Slicing and Dicing). Такими аналитическими признаками могут быть: «наименование» (группа / подгруппа / наименование), «период» (год / квартал / месяц / декада / день), «регион» (страна / область / город), «организация», «план / факт» и другие. В терминах гиперкубов это соответствует выбору гиперплоскостей информации по другим аналитическим признакам. Существенно, что порядок (сценарии) перестроения отчетов могут быть любыми и время перестроения составляет секунды. В традиционных системах отчетности это эквивалентно подготовке и хранению форм отчетов (1 раз) и переходу к новым отчетам (минуты);

– детализация информации (DrillDown) – «проваливание» на следующий уровень расшифровки информации по аналитическим признакам. В OLAP-системах это происходит за 1 «клик» мышкой (секунды), в традиционных подходах – переход к другим отчетам и/или выбор других аналитических признаков (единицы или десятки минут);

– операции над гиперплоскостями. Проиллюстрируем примером: выручка по товару определяется произведением цены на количество. Для OLAP-приложений это может быть реализовано как «гиперплоскость выручки» = «гиперплоскость цены» × «гиперплоскость количества». При любых перестроениях гиперкуба вычисления производятся по данным сразу всей гиперплоскости (плохо читается). Если расчеты в отдельных ячейках Excel можно рассматривать как точечные формулы (которые легко копируются), то операции над гиперплоскостями аналогичны векторным вычислениям (другой уровень). Время расчетов составляет доли секунды (на приложениях, с которыми сталкивались авторы).

4. Технология использования BI-инструментов для выявления неликвидных оборотных активов – практика

Технология использования BI-инструментов (OLAP-гиперкубов) для выявления неликвидных оборотных активов позволяет обработать информацию по неликвидным и сверхнормативным запасам практически в режиме реального времени.

Алгоритм анализа запасов и дебиторской / кредиторской задолженностей:

– выгрузка данных из учетной системы;

– дополнение недостающей аналитикой (аналитическими признаками);

– построение гиперкубов;

– анализ запасов и дебиторской задолженности по группам оборачиваемости;

– выделение групп оборачиваемости с большой долей запасов;

– детализация групп оборачиваемости (неликвидов, сверхнормативов, запасов с ранней закупкой) по номенклатуре изделий и контрагентов (Drilldown);

– содержательный анализ по номенклатуре;

– определение ответственных специалистов за содержательный анализ оборотных активов по позициям;

– принятие управленческих решений по номенклатуре запасов с большим сроком оборачиваемости (неликвиды, сверхнормативы);

– формирование «предотвращающих» мер по сокращению оборотных средств.

В табл. 4 показаны варианты времени на проведение анализа и выработку мероприятий в традиционной технологии (при наличии автоматизированных учетных типа 1С или складского учета) или при анализе с помощью гиперкубов. Отметим, реализация адресных мероприятий по повышению эффективности использования оборотных активов составляет несколько месяцев,

но в проведение OLAP-анализа позволяет инициировать и провести такую работу практически в любой момент, в то время как традиционные средства анализа позволяют проводить такую работу, но в условиях дефицита специалистов на предприятиях это не проводится совсем.

Таблица 4

Варианты обработки данных

№	Показатель	OLAP-анализ	Анализ традиционными средствами
1	Выгрузка данных, подготовка аналитических признаков	15 мин	0 – в учетной системе (1С)
2	Содержательный анализ	60 мин	1 день до 1 тыс. позиций, 2–3 дня для 10 тыс. позиций, 5–14 дней для 20–100 тыс. позиций
3	Декомпозиция списка по ответственным	10 мин	1 час для 100 основных позиций по обороту или не проводится совсем
4	Выработка адресных мероприятий по повышению эффективности	1–2 дня	5 дней для 10–20 основных позиций по обороту или не проводится совсем

Пример результатов анализа приведен ниже. После анализа адресно ставится задача реализации неликвидов и сверхнормативов с высвобождением «замороженных» оборотных активов.

Как правило, в качестве аналитических признаков (dimensions в терминах OLAP) используются:

– счет и субсчет бухгалтерского учета;

– признак количественного или стоимостного учета. Далее примеры анализа приведены для стоимостного учета;

– наименование;

– группа товаров;

– информация по остаткам на начало и конец периода, а также о приходе / расходе (дебите / кредите);

– местоположение запасов (склад);

– ответственный за хранение (подразделение, менеджер);

– период анализа;

– другие признаки.

Срок оборачиваемости запасов по каждой позиции номенклатуры рассчитывается по формуле

Срок оборачиваемости = (Запас / Отгрузка) × Длительность периода.

Под запасами рассматриваются запасы сырья, материалов или готовой продукции. Срок оборачиваемости характеризует период, за который будет израсходован имеющийся запас.

Товары группируются по следующим группам срока оборачиваемости (табл. 5).

Таблица 5

Группы запасов по оборачиваемости

Группа	Характеристика
Приход без расхода	Есть приход, нет расхода. Возможно, был приход в последние дни перед закрытием периода
< 30 дней	Менее 30 дней
> 30 дней	От 30 до 90 дней
> 90 дней	От 90 до 180 дней
> 180 дней	От 180 до 360 дней
> 1 года	Более 1 года (сверхнормативы)
> 3 лет	Более 3 лет (сверхнормативы)
> 10 лет	Более 10 лет (сверхнормативы)
Без расхода	Нет ни прихода, ни расхода (неликвиды)

Ниже приведен пример анализа оборачиваемости запасов предприятия машиностроения. В расчете использовалась информация по расшифровкам бухгалтерской отчетности за 9 мес. 2016 г. В этом случае длительность периода принята 273 дня.

Выводы по анализу оборачиваемости машиностроительного завода:

- потенциально – неликвидов и сверхнормативов на 69 млн руб., или около 50 % (!) запасов;
- заказано продукции, которая не была использована в течение 2 месяцев, на сумму 38 млн руб. (28 % величины запасов);
- суммарно около 3/4 (77 %) запасов имеют признаки избыточности.

По состоянию на дату анализа структура запасов представлена в табл. 6.

Таблица 6

Структура запасов

Статья баланса	Остаток входящий	Дт	Кт	Остаток исходящий
Сырье и материалы	67 712 680	300 374 660	273 083 053	95 004 286
Затраты в незавершенном производстве	6 524 450	1 508 827 860	1 503 858 066	11 494 243
Готовая продукция	41 397 727	505 599 400	501 723 943	45 273 184
Всего	**115 634 856**	**2 314 801 919**	**2 278 665 062**	**151 771 714**

Основные запасы сосредоточены в статьях «Сырье и материалы» и «Готовая продукция и товары для перепродажи», поэтому далее анализируется данная статья по номенклатуре.

Свод всех групп оборачиваемости сырья и готовой продукции представлен в табл. 7.

Таблица 7

Свод всех групп оборачиваемости сырья и готовой продукции

Группа ухода, дни	Начало	Приход	Расход	Конец	Доля, %
Приход без расхода	21 543	48 649 581	0	48 671 124	35
< 30	14 185 370	712 001 746	725 973 457	213 659	0
> 30	9 719 841	7 586 083	14 003 607	3 302 316	2
> 90	11 308 586	8 453 863	13 229 898	6 532 550	5
> 180	14 696 504	9 987 222	12 297 593	12 386 133	9
> 1 год	12 494 911	11 233 577	7 907 845	15 820 643	11
> 3 года	393 340	8 061 646	1 325 091	7 129 894	5
> 10 лет	1 428 175	342	69 503	1 359 014	1
Без расхода	44 862 138	0	0	44 862 138	32
Общий итог	**109 110 407**	**805 974 060**	**774 806 996**	**140 277 471**	**100**

Анализ группы «Неликвиды» по номенклатуре

В группу «Неликвиды» включены группы оборачиваемости «без расхода».

Всего позиций: 387 шт. Всего сумма запасов на конец: 44 862 138 руб. Анализ группы по номенклатуре представлен в табл. 8.

Таблица 8

Анализ группы «Неликвиды»

Наименование	Начало	Приход	Расход	Конец
Товар А1	13 161 201	0	0	13 161 201
Товар А2	10 300 852	0	0	10 300 852
Товар А3	4 345 000	0	0	4 345 000
…	…	0	0	…

Анализ группы «сверхнормативы» по номенклатуре

В группу «сверхнормативы» включены группы оборачиваемости «> 1 года», «> 3 лет», «> 10 лет».

Всего позиций: 75 шт. Всего сумма на конец: 24 309 551 руб.

Анализ группы по номенклатуре представлен в табл. 9.

Таблица 9

Анализ группы «сверхнормативы»

Наименование	Начало	Приход	Расход	Конец
Товар Б1	1 628 071	5 264 216	1 628 071	5 264 216
Товар Б2	0	4 275 553	752 306	3 523 247
Товар Б3	0	3 192 742	376 153	2 816 589
…	…	…	…	…

Анализ группы «Ранняя поставка»

В группу «Ранняя поставка» включена группа «приход без расхода», без операций за 2 последних месяца.

Всего позиций: 68 шт. Всего сумма прихода: 38 672 154 руб.

Анализ группы по номенклатуре представлен в табл. 10.

Таблица 10

Анализ группы «Ранняя поставка»

Наименование	Начало	Приход	Расход	Конец
Товар П1	0	7 701 011	0	7 701 011
Товар П2	0	3 916 300	0	3 916 300
Товар П3	0	3 888 314	0	3 888 314
…	…	…	…	…

5. Примеры анализа оборачиваемости по ряду предприятий

Ниже приведена информация по ряду организаций промышленности, в которых был проведен анализ сверхнормативов и неликвидов в процессе формирования программ повышения операционной эффективности. Аналогичная работа проводилась для анализа других компонент оборотного капитала: дебиторской и кредиторской задолженности, а также ряда других (как правило, более мелких статей).

На многих предприятиях количество позиций номенклатуры (табл. 11) составляет несколько тысяч позиций, нередки случаи десятков тысяч позиций. Традиционными методами формирования отчетов обработка таких массивов информации не реализуется при выполнении и других функций управления предприятиями (то есть нужны специализированные аналитики).

Дальнейшая проработка показывает, что по выявленным неэффективным оборотным активам около 50 % «можно вернуть в оборот», то есть сократить величину оборотных активов на 20 %.

Доля неэффективных запасов составляет около 40 % для многих предприятий.

Сокращение неэффективных запасов наполовину высвобождает 20 % от величины запасов.

Применение данного метода к другим статьям позволяет оценить общее сокращение потребности в оборотных средствах в 20 % от их величины.

Таблица 11

Характеристика организаций анализа запасов

№	Регион	Отрасль	Количество позиций, тыс. ед.	Доля неликвидов, %	Доля сверхнормативов, %	Доля неэффективных запасов (5 + 6), %	Год анализа
1	Центральная часть России	Машиностроение	5	32	17	49	2017
2	Юг	Пищевая промышленность	8	28	16	44	2017
3	Подмосковье	Пищевая промышленность	0,3	0	5	5	2016
4	Северо-Запад	Пищевая промышленность	4	26	15	41	2015
5	Восточная Сибирь	Добывающая промышленность	6	10	25	35	2014
6	Западная Сибирь	Стройиндустрия	6	20	25	45	2013
7	Юг	Торговля с/х техникой	21	16	20	36	2013
8	Центральная часть России	Химическая промышленность	15	29	14	43	2011
9	Восточная Сибирь	Стройиндустрия	2,5	19	19	38	2010
10	Зарубежье	Добывающая промышленность	19	46	31	78	2007
11	Ближнее зарубежье	Тяжелое машиностроение	55	42	50	92	2008

6. Модель основного целевого критерия – стоимость бизнеса

В качестве основного целевого критерия анализа используем стоимость бизнеса [8].

Следует отметить, что в данной работе проводится оценка расчетной, фундаментальной стоимости (intrinsic value), а на бирже известна рыночная, торгуемая на бирже стоимость акций. На рыночную стоимость гораздо сильнее влияют финансовые кризисы (в разы), новости (на десятки процентов), интерес со стороны отдельных акционеров (единицы – десятки процентов), то есть рыночная стоимость подвержена значительно более сильным изменениям («волатильности»), чем оценки фундаментальной стоимости. Но сопоставление рыночной и фундаментальной стоимости – не цель данной статьи.

Аналитическая модель оценки стоимости компании доходным способом с изменяющимися параметрами затрат и капиталоемкости может применяться для экспресс-расчетов влияния мероприятий по повышению эффективности на целевой критерий.

Оценка стоимости бизнеса доходным способом по дисконтированным денежным потокам определяется по формуле [2]

$$EV = \sum_{t=0}^{\infty} \frac{FCF_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^{N} \frac{FCF_t}{(1+r)^t} + \sum_{t=N+1}^{\infty} \frac{FCF_t}{(1+r)^t} = EV_1 + EV_2, \quad (1)$$

где EV – стоимость бизнеса; FCF – свободный денежный поток в соответствующий период; r – ставка дисконтирования; EV_1 и EV_2 – стоимость бизнеса в прогнозный и постпрогнозный периоды соответственно; N – длительность прогнозного периода; t – индекс времени.

Основная предпосылка аналитической модели стоимости – формирование прогноза движения денежных средств (ДДС) компании на основании ее финансовой отчетности прошлых периодов.

Прогноз ДДС сценарным подходом формируется для каждого периода по данным роста объема продаж и изменением эндогенных экономико-технологических параметров (удельные затраты, длительность бизнес-процессов). Эндогенные параметры прогнозируются на перспективу, и рассматривается возможность их изменения (управления) целевым образом для достижения предпочтительных результатов.

Экспресс-метод прогнозирования денежных потоков на базе финансовой отчетности позволяет упростить формирование оценки стоимости компании [3], а также сориентировать на методы повышения стоимости.

Основываясь на финансовой отчётности компании, можно построить прогноз движения свободных денежных средств [4] для целей оценки стоимости

$$FCF_t = S_t(1-c_t) - I_t, \tag{2}$$

где FCF – свободный денежный поток; S – выручка; c – удельные затраты; I – инвестиции.

Формула для инвестиций с учетом коэффициента капиталоемкости имеет вид

$$I_t = \Delta A_t = a_t\ \Delta S_t = a_t\left(S_t - S_{t-1}\right) = a_t\ s_t\ S_{t-1} = a_t\ s_t\ /\left(1+s_t\right)\ S_t, \tag{3}$$

где A – активы; a – капиталоемкость; s – темп роста выручки.

После преобразований получаем

$$FCF_t = S_t(1-c_t) - S_t\ a_t\ s_t\ /\left(1+\ s_t\right) = S_t\left(1-c_t - a_t\ s_t\ /\left(1+\ s_t\right)\right). \tag{4}$$

Подставляя выражение денежного потока (4) в формулу для EV_1 (1), получим

$$EV_1 = \sum_{t=1}^{N}\frac{FCF_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=1}^{N}\frac{S_t(1-c_t - a_t s_t\ /\ (1+s_t))}{(1+r)^t}.$$

Пусть удельные параметры системы (удельные затраты c и капиталоемкость a) изменяются с постоянным темпом Δc и Δa в год соответственно, то есть

$$c_t = c_0(1+\Delta c)^t;$$

$$a_t = a_0(1+\Delta a)^t.$$

Тогда при постоянном темпе роста выручки s формула EV_1 имеет вид

$$EV_1 = \sum_{t=1}^{N}\frac{S_0(1+s)^t(1-c_0(1+\Delta c)^t - a_0(1+\Delta a)^t s\ /\ (1+s))}{(1+r)^t}. \tag{5}$$

После преобразований суммирования

$$EV_1 = S_0\left\{\frac{\left(\frac{1+s}{1+r}\right)^N - 1}{1-\left(\frac{1+s}{1+r}\right)^{-1}} - c_0\frac{\left(\frac{(1+s)(1+\Delta c)}{1+r}\right)^N - 1}{1-\left(\frac{(1+s)(1+\Delta c)}{1+r}\right)^{-1}} - a_0 s\ /\ (1+s)\frac{\left(\frac{(1+s)(1+\Delta a)}{1+r}\right)^N - 1}{1-\left(\frac{(1+s)(1+\Delta a)}{1+r}\right)^{-1}}\right\}. \tag{6}$$

Обозначим для компактности $\alpha = 1+s/1+r$, $\beta = \alpha(1+\Delta c)$, $\gamma = \alpha(1+\Delta a)$. Тогда

$$EV_1 = S_0\left\{\frac{\alpha^N - 1}{1-\alpha^{-1}} - c_0\frac{\beta^N - 1}{1-\beta^{-1}} - a_0 s\ /\ (1+s)\frac{\gamma^N - 1}{1-\gamma^{-1}}\right\}. \tag{7}$$

Стоимость бизнеса в постпрогнозный период EV_2 при изменении параметров удельных затрат и капиталоемкости будет иметь вид

$$EV_2 = \sum_{j=1}^{\infty}\frac{FCF_N(1+g)^j}{(1+r)^N(1+r)^j} = \frac{S_0(1+s)^N(1-c_0(1+\Delta c)^N - a_0(1+\Delta a)^N g\ /\ (1+g))}{(1+r)^N}\frac{1+g}{r-g}. \tag{8}$$

Экспресс-модель оценки полной стоимости, включающую стоимость в прогнозный и постпрогнозный период, имеет вид

$$EV = S_0\left\{\frac{\alpha^N - 1}{1-\alpha^{-1}} - c_0\frac{\beta^N - 1}{1-\beta^{-1}} - a_0 s\ /\ (1+s)\frac{\gamma^N - 1}{1-\gamma^{-1}} + \alpha^N(1-c_0(1+\Delta c)^N - a_0(1+\Delta a)^N g\ /\ (1+g))\frac{1+g}{r-g}\right\}. \tag{9}$$

7. Эффект по влиянию на конечные показатели

Приведем расчеты по оценке влияния изменения оборотных активов на целевой показатель стоимости бизнеса, а также на величину высвобождаемого денежного потока.

В качестве примера рассмотрим предприятие с выручкой 1 000 млн руб. (численность около 300 чел.), а удельные показатели используем как для усредненного предприятия страны. Расчеты по трем сценариям приведены в табл. 12:

– развитие без изменений;

– однократное сокращение срока оборачиваемости оборотных активов на 20 %. Прирост стоимости составляет 35 %;

– постепенное сокращение срока оборачиваемости оборотных активов на 20 % в течение прогнозного периода. Прирост стоимости составляет 22 %.

В расчете приняты следующие параметры: темп роста выручки в прогнозный период $s = 7{,}2$ %, удельные затраты $c = 0{,}945$, ставка дисконтирования $r = 10{,}6$ %, длительность прогнозного периода $N = 5$ лет, темп роста в постпрогнозный период $g = 3$ %. Некоторые параметры основаны на прогнозе долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года [5].

Оценка дополнительного денежного потока за счет сокращения оборотных активов составляет 133 млн руб.

Таблица 12

Оценка фундаментальной стоимости

Наименование	Развитие отсутствует	Оптимизация оборотных активов однократная	Оптимизация оборотных активов постепенная
Темп роста выручки в прогнозный период, %	7,2	7,2	7,2
Прибыльность (NOPLAT/Sales), начальная, %	5,5	5,5	5,5
Капиталоемкость начального периода	1,0026	0,8694	1,0026
Изменение капиталоемкости в год, %	0,0	0,0	–2,7
Результаты расчетов			
Стоимость компании на 1 рубль выручки	**0,24**	**0,33**	**0,30**
Стоимость компании за прогнозный период	–0,06	–0,02	–0,05
Стоимость компании за постпрогнозный период	0,30	0,34	0,34
Выручка базового года	1 000	1 000	1 000
Стоимость расчетная	243	328	296
Прирост стоимости, %		35	22

Если данный результат тиражировать на все промышленные предприятия страны, эффект по дополнительному денежному потоку составит 5,8 трлн руб., по увеличению стоимости – около 3 трлн руб. Отметим, что капитализация Газпрома на 09.09.2018 составляла 3,5 трлн руб. [10].

Здесь уместно привести слова академика РАН А.Е. Шейндлина [11]: «Вообще мое личное мнение: любые прогнозы никакой ценности не имеют. То есть то, что мы сейчас оцениваем, к 2030 году не будет реализовано. Ни один прогноз, а я держал в своих руках все прогнозы развития энергетики за последние семьдесят лет, не реализовался. Но прогноз нужен для понимания цели, куда надо направить сегодня удар».

Заключение

Рассмотрены инструменты работы больших массивов данных (BigData) для анализа оборотных средств.

Рассмотрено несколько сценариев возможного развития предприятий с различным сокращением срока оборачиваемости оборотных активов.

Проанализированы фактические значения удельных показателей эффективности, такие как удельные затраты и срок оборачиваемости.

Использование аналитической модели стоимости доходным способом позволяет оценить влияние изменения срока оборачиваемости на фундаментальную стоимость компании. Для рассматриваемых примеров увеличение стоимости составляет около 30 %, а увеличение денежного потока – около 13 % от годовой выручки.

Литература

1. Управление промышленными предприятиями: стратегии, механизмы, системы: моногр. / О.В. Логиновский, В.Н. Бурков, И.В. Буркова и др.; под ред. О.В. Логиновского. – М.: ИНФРА-М, 2018 – 410 с. DOI: 10.12737/monography_59ea1d572ffc98.50192866

2. Коупленд, Т. Стоимость компаний: оценка и управление / Т. Коупленд, Т. Коллер, Д. Муррин. – М.: Олимп-Бизнес, 2005. – 554 с.

3. Дранко, О.И. Формирование программы инновационного развития: управление стоимостью / О.И. Дранко, З.А. Отарашвили, Д.В. Сушков // Проблемы управления. – 2012. – № 6. – С. 26–31.

4. Дранко, О.И. Модель финансового прогнозирования и сценарии внутренних инвестиций / О.И. Дранко // Проблемы управления. – 2007. – № 1. – С. 37–40.

5. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года. – http://economy.gov.ru/minec/activity/sections/macro/prognoz/doc20130325 06.

6. Центральная база статистических данных Федеральной службы государственной статистики. – http://cbsd.gks.ru/ (дата обращения: 09.09.2018).

7. Дранко, О.И. Капиталоемкость видов деятельности /О.И. Дранко // Аудит и финансовый анализ. – 2015. – № 3. – С. 67–70.

8. Степанов, Д.В. Value-Based Management и показатели стоимости / Д.В. Степанов. – http://www.cfin.ru/management/finance/value-based_management.shtml (дата обращения: 06.02.2018).

9. Балашов, В.Г. Рост и прорыв в лидеры: практикум по преодолению кризиса / В.Г.Балашов, В.А. Ириков, С.И. Иванова. – М.: Дело, 2009. – 335 с.

10. https://www.finam.ru/profile/moex-akcii/gazprom (дата обращения: 09.09.2018).

11. Имамутдинов, И. В погоне за циклом Карно / И. Имамутдинов, Д. Медовников // Эксперт. – 5 марта 2007. – № 9 (550) – http://expert.ru/expert/2007/09/sheydlin/ (дата обращения: 09.09.2018).

12. Бурков, В.Н. Механизмы управления: Управление организацией: планирование, организация, стимулирование, контроль: учеб. пособие / В.Н. Бурков, И.В. Буркова, М.В. Губко; под ред. Д.А. Новикова. – М.: Ленанд, 2013. – 216 с.

Дранко Олег Иванович, канд. физ.-мат. наук, заместитель заведующего кафедрой инновационного менеджмента, Московский физико-технический институт, г. Москва, olegdranko@gmail.com.

Логиновский Олег Витальевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; loginovskiyo@mail.ru.

Поступила в редакцию 28 февраля 2019 г.

DOI: 10.14529/ctcr190208

TECHNOLOGY EXPRESS ANALYSIS OF LARGE MASSIVES OF DATA ON REVERSIBLE ASSETS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

O.I. Dranko[1], *olegdranko@ gmail.com,*
O.V. Loginovskiy[2], *loginovskiyo@mail.ru*
[1] *Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow, Russian Federation,*
[2] *South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation*

Gross indicators of industrial organizations in Russia increased significantly in 2003–2017. (with some decline in the financial crisis of 2009). Due to this, the Russian economy in size was able to take a worthy place in the world. For further advancement, not only extensive growth is necessary, but also an increase in the efficiency of Russian enterprises, which, unfortunately, has not improved systemically in recent years. The most significant indicators of economic activity: profitability (and the unit costs associated with it) and turnover periods vary in a relatively small range, with a tendency towards deterioration in the turnover period.

Managing operational efficiency is key to growth.

The paper shows an example of using OLAP technology of big data analysis (BigData) to increase the efficiency of financial and economic management of an enterprise, in particular, on current assets. The use of this approach allows the analysis in the express mode, for a period of 5–10 times less than with traditional methods of analysis.

On a sample of about 10 enterprises of the real sector, according to the results of in-depth analyzes in the process of consulting projects, it was shown that the share of inefficient stocks (illiquid assets and excess standards) is 35–40 % of their total value.

The analytical model of value as a tool for express analysis makes it possible to assess the consequences of managing current assets by influencing the company's fundamental value. Model calculations show that a one-time reduction in the turnover of current assets by 20 % provides for a 35 % increase in the fundamental value.

If this result is replicated to all industrial enterprises of the country, the effect on additional cash flow will amount to 5.8 trillion rubles, to increase in value – about 3 trillion rubles.

Keywords: sixth technological order, big data analysis, decision making, development program, express mode, modeling, business value, financial forecasting, OLAP, BI.

References

1. Loginovskiy O.V., Burkov V.N., Burkova I.V., Gel'rud Ya.D., Korennaya K.A., Maksimov A.A. *Upravleniye promyshlennymi predpriyatiyami: strategii, mekhanizmy, sistemy: monografiya* [Management of Industrial Enterprises: Strategies, Mechanisms, Systems: Monograph]. Moscow, INFRA-M Publ., 2018. 410 p. DOI: 10.12737/monography_59ea1d572ffc98.50192866

2. Copeland T., Koller T., Murrin J. *Measuring & Managing the Value of Companies*. John Wiley & Sons, Inc., 2000. 508 p.

3. Dranko O.I., Otarashvili Z.A., Sushkov D.V. [Formation of the Program of Innovative Development: Cost Management]. *Management Problems*, 2012, no. 6, pp. 26–31. (in Russ.)

4. Dranko O.I. [Financial Forecasting Model and Domestic Investment Scenarios]. *Management Problems*, 2007, no. 1, pp. 37–40. (in Russ.)

5. *Prognoz dolgosrochnogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda.* [Forecast of the Long-Term Socio-Economic Development of the Russian Federation for the Period up to 2030]. Available at: http://economy.gov.ru /minec/activity/sections/macro/prognoz/doc20130325_06.

6. *Tsentral'naya baza statisticheskikh dannykh Federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki. Elektronnyy resurs* [The Central Statistical Database of the Federal State Statistics Service]. Available at: http://cbsd.gks.ru/ (accessed 09.09.2018).

7. Dranko O.I. [Capital Intensity of Activities]. *Audit and Financial Analysis*, 2015, no. 3, pp. 67–70. (in Russ.)

8. Stepanov D.V. *Value-Based Management i pokazateli stoimosti. Elektronnyy resurs* [Value-Based Management and Value Indicators]. Available at: http://www.cfin.ru/management/finance/value-based_management.shtml. (accessed 06.02.2018).

9. Balashov V.G., Irikov V.A., Ivanova S.I. *Rost i proryv v lidery: praktikum po preodoleniyu krizisa* [Growth and a Breakthrough in Leaders: a Workshop on Overcoming the Crisis]. Moscow, Delo Publ., 2009. 335 p.

10. https://www.finam.ru/profile/moex-akcii/gazprom (accessed 09.09.2018).

11. Imamutdinov I., Medovnikov D. [In Pursuit of the Carnot Cycle]. *Expert*, March 5, 2007, no. 9 (550). Available at: http://expert.ru/expert/2007/09/sheydlin/ (accessed 09.09.2018) (in Russ.)

12. Burkov V.N., Burkova I.V., Gubko M.V., Novikov D.A. *Mekhanizmy upravleniya: Upravleniye organizatsiyey: planirovaniye, organizatsiya, stimulirovaniye, kontrol'* [Mechanisms of Management: Organization Management: Planning, Organization, Incentives, Control]. Moscow, Lenand Publ., 2013. 216 p.

Received 28 February 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Дранко, О.И. Технология экспресс-анализа больших массивов данных по оборотным активам промышленных предприятий / О.И. Дранко, О.В. Логиновский // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 86–102. DOI: 10.14529/ctcr190208

FOR CITATION

Dranko O.I., Loginovskiy O.V. Technology Express Analysis of Large Massives of Data on Reversible Assets of Industrial Enterprises. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 86–102. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr190208

УДК 519.865.7:332.143 DOI: 10.14529/ctcr190209

ДИАГНОСТИКА УСТОЙЧИВОСТИ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА – ЮГРЫ

А.В. Кутышкин, Д.С. Орлова

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

Представлены результаты диагностики устойчивости развития региональной социально-экономической системы (РСЭС) Ханты-Мансийского автономного округа – Югры за период с 2001 по 2015 г. по данным официальной статистической отчетности, представляемой в региональном разрезе. Диагностика осуществлялась с использованием методологии динамического норматива, которая позволяет оценивать отклонения в развитии рассматриваемой региональной социально-экономической системы от наперед заданного для нее нормативного – устойчивого развития. Использовавшийся динамический норматив представляет собой комплекс динамических нормативов, характеризующих в свою очередь отклонения от устойчивого развития трех ключевых подсистем данной системы – экономической, социальной и экологической. В эти динамические нормативы были включены и упорядочены темпы изменений показателей, которые наиболее полно характеризовали развитие этих подсистем. Значения данных показателей перед расчетом темпов изменений приводились к базисным индексам относительно 2001 г. В работе проведен критический анализ ряда зависимостей, чаще всего применяемых в настоящее время для расчета показателя комплексной оценки устойчивости развития систем подобного вида, по результатам которого была предложена оригинальная методика расчета этого показателя. Анализ полученных результатов оценки устойчивости развития региональной социально-экономической системы Ханты-Мансийского автономного округа – Югры за указанный период позволил классифицировать данную характеристику для рассматриваемой системы согласно принятой на сегодняшний день соответствующей шкале. Наряду с этим были также получены оценки взаимного влияния развития указанных выше подсистем рассмотренной РСЭС, а также косвенные качественные оценки эффективности функционирования ее подсистемы управления – органов административной и законодательной власти региона.

Ключевые слова: устойчивое развитие, диагностика устойчивого развития, региональная социально-экономическая система, метод динамического норматива, комплексная оценка устойчивости развития, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра.

Введение

При реализации процесса управления техническими и организационно-техническими системами различной сложности диагностика их состояния, в том числе и функционирования, осуществляется в рамках таких процедур данного процесса, как фиксация и сбор данных (значений показателей), характеризующих состояние диагностируемой системы, анализа собранных данных, а также мониторинга реализации выработанных на основе результатов анализа управленческих решений. Проведение диагностики состояния и функционирования системы предполагает наличие комплекса измеримых показателей, инструментария их измерения/контроля и соответствующие нормативные/пороговые значения данных показателей или допустимые диапазоны их изменения. Следует отметить, что проведение диагностики зависит от соответствующих целевых установок, определяемых непосредственно целями функционирования диагностируемой системы. Диагностика функционирования организационно-технических систем, к которым относятся предприятия и организации, а также «большие» системы [1] – региональные социально-экономические системы (РСЭС), возможна при наличии указанных выше атрибутов. Для предприятий и организаций в качестве комплекса измеримых и контролируемых (диагностируемых) показателей выступают финансовые оперативные коэффициенты (ФОК) [2–8]. Длительный и положительный опыт использования этих коэффициентов для решения широкого спектра задач

анализа финансово-хозяйственной деятельности предприятий и организаций, наличие в той или иной мере обоснованных на сегодняшний день соответствующих пороговых значений ФОК, а также несравненно меньшие размеры и сложность самих систем (предприятий и организаций) по сравнению с РСЭС позволили теоретически обосновать как взаимосвязи между ФОК, так и соотношения порядка между изменениями их значений [1, 4–7]. Таким образом, сформировались два подхода к реализации диагностики состояния и функционирования указанных организационно-технических систем: условно говоря, статическая диагностика, использующая комплекс ФОК [2, 3], и динамическая диагностика, опирающаяся на применение такого инструмента, как динамический норматив (ДН) [1, 4–7], представляющий собой определенным образом упорядоченное множество темпов изменений значений ФОК за некоторый промежуток времени. Чаще всего в качестве целевых установок проводимой диагностики выступала финансовая устойчивость функционирования предприятия [1–8]. Региональные социально-экономические системы представляют собой существенно более сложные организационно-технические системы, в которых принято выделять такие ключевые подсистемы, как экономическую, социальную и экологическую [9–20]. Указанная сложность РСЭС предопределила, на наш взгляд, экспертный подход к определению минимально необходимого перечня (комплекса) показателей, относящихся к выделенным подсистемам, которые бы вместе с тем достаточно полно характеризовали функционирование как самих подсистем, так и развитие рассматриваемой системы в целом. Сформированный на основе официальной статистической отчетности, представляемой в региональном разрезе, комплекс показателей используется в первую очередь при проведении динамической диагностики состояния РСЭС [9–20]. Для статической диагностики используются выборки показателей той же статистической отчетности, сформированные с учетом целей ее проведения. Следует отметить, что перечень показателей претерпел существенные изменения, эволюционируя от смешанного набора показателей, относящихся к выделенным подсистемам [9, 16, 18], до формирования связанных непосредственно с этими подсистемами наборов показателей [10–13, 19, 20]. Это привело к разработке динамических нормативов эталонного развития каждой из этих подсистем. В обоих вариантах перечня показателей ДН проводится оценка и анализ отклонений фактических значений этих показателей (диагностируется состояние подсистем РСЭС) и на основании его результатов формируется заключение о характере развития рассматриваемой РСЭС.

С точки зрения целевых установок подавляющее большинство работ по проблематике данной статьи акцентировано на диагностике устойчивости развития РСЭС. Так в работах [9, 14, 15, 17] представлены результаты теоретического анализа исследований в этой области достаточно большого количества отечественных и зарубежных авторов, что в целом позволило сформулировать как само понятие «устойчивость развития региона/территории», так и выявить основные факторы и источники внешней и внутренней среды данной системы, оказывающие наиболее существенное влияние на реализацию такого режима функционирования РСЭС. За последнее время в открытой печати опубликованы следующие значимые результаты исследований устойчивого развития региональных социально-экономических систем, полученные с использованием динамического норматива:

– регионы Северо-Западного федерального округа (2011 г.) [16];
– Вологодская область (2001–2012 гг.) [18];
– регионы ЦФО (2006–2010 гг.) [20];
– Федеральные округа РФ (2000–2013 гг.) [10];
– Новгородская область (200–2014 гг.) [19];
– Пермский край (2004–2014 гг.) [11];
– регионы Уральского и Приволжского федеральных округов (2005–2014 гг.) [13].

В данной работе авторами представлены результаты диагностики устойчивого развития РСЭС Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (ХМАО-Югра) на основе использования динамического норматива. Необходимо отметить, что ХМАО-Югра не был включен в выборку регионов Уральского федерального округа, результаты обследования которых представлены в работе [13].

1. Динамический норматив для оценки развития региональной социально-экономической системы

Динамический норматив для оценки устойчивого развития региональной социально-экономической системы представляет собой комплекс динамических нормативов для ее ключевых подсистем [10–13,18–20]: экономической, социальной и экологической.

Для экономической подсистемы в ДН включаются следующие показатели [10–13]:

– индекс валового регионального продукта (ВРП);

– индекс объема промышленного производства региональной экономики (ПП);

– полная учетная стоимость основных производственных фондов региональной экономики (ОФ);

– коэффициент износа основных производственных фондов региональной экономики (Ки);

– удельный вес (доля) убыточных организаций в региональной экономике (УбО);

– объем инновационных товаров, работ, услуг, производимых региональной экономикой (ИТРУ);

– сумма внутренних затрат региональной экономики на научные исследования и разработки (ВЗ ИР);

– индекс производительности труда в региональной экономике (ПТ);

– реальная среднемесячная начисленная заработная плата работнику региональной экономики (РНЗП);

– среднегодовая доля занятых в экономике в общей численности экономически активного населения (З).

Нормативное упорядочивание темпов изменений $t_{\text{СФР}}\,(t^{\text{Н}}_{1.\text{Экон}})$, $t_{\text{ПТ}}\,(t^{\text{Н}}_{2.\text{Экон}})$, $t_{\text{ВРП}}\,(t^{\text{Н}}_{3.\text{Экон}})$, $t_{\text{ИТРУ}}\,(t^{\text{Н}}_{4.\text{Экон}})$, $t_{\text{РН ЗП}}\,(t^{\text{Н}}_{5.\text{Экон}})$, $t_{\text{ПП}}\,(t^{\text{Н}}_{6.\text{Экон}})$, $t_{\text{ОФ}}\,(t^{\text{Н}}_{7.\text{Экон}})$, $t_{\text{ВЗ ИР}}\,(t^{\text{Н}}_{8.\text{Экон}})$, $t_{\text{З}}\,(t^{\text{Н}}_{9.\text{Экон}})$, $t_{\text{УбО}}\,(t^{\text{Н}}_{10.\text{Экон}})$, $t_{\text{Ки}}\,(t^{\text{Н}}_{11.\text{Экон}})$ перечисленных выше показателей для экономической подсистемы РСЭС приведено на рис. 1 [10–13].

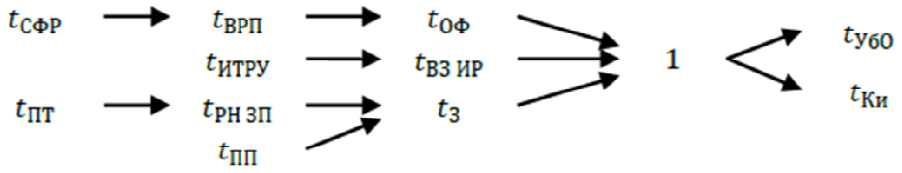


Рис. 1. Графическое представление нормативного упорядочивания темпов изменения показателей $\text{ДН}_{\text{Экон}}$ экономической подсистемы РСЭС, характеризующего ее устойчивое развитие

Нормативное (эталонное) упорядочивание темпов роста показателей ДН для экономической подсистемы региональной социально-экономической системы (см. рис. 1) преобразовывались в матричную форму [1, 5–7,10–13]:

$$\text{М}_{\text{Экон}}[\text{ЭП}] = \{\mu_{ij}\},\ \mu_{ij} = \begin{cases} 1, \text{если } t^{\text{Н}}_{i.\text{Экон}} > t^{\text{Н}}_{j.\text{Экон}}, \text{ в том числе и для } i = j, \\ -1, \text{если } t^{\text{Н}}_{i.\text{Экон}} < t^{\text{Н}}_{j.\text{Экон}}, \\ 0, \text{если нормативное упорядочивание} \\ \text{между } t^{\text{Н}}_{i.\text{Экон}} \text{ и } t^{\text{Н}}_{j.\text{Экон}} \text{ не установлено.} \end{cases} \quad (1)$$

Здесь $\text{М}_{\text{Экон}}[\text{ЭП}]$ – матрица эталонного упорядочения показателей ДН для экономической подсистемы; μ_{ij} – элемент матрицы $\text{М}_{\text{Экон}}[\text{ЭП}]$; i, j – номера показателей $\text{ДН}_{\text{Экон}}$ ($i = 1, \ldots, n_{\text{Экон}}$; $j = 1, \ldots, n_{\text{Экон}}$; $n_{\text{Экон}} = 11$); $t^{\text{Н}}_{i.\text{Экон}}$, $t^{\text{Н}}_{j.\text{Экон}}$ – нормативные темпы изменения показателей i, j экономической подсистемы.

В динамический норматив социальной подсистемы РСЭС ($\text{ДН}_{\text{Соц}}$) включаются следующие показатели [10–13]:

– валовой региональный продукт в расчете на душу населения региона (ВРП ДН);

– ежемесячные среднедушевые денежные доходы населения региона (СДД);

– коэффициент Джини (КД);

– индекс развития человеческого потенциала населения региона (ИРЧП);
– численность населения региона (ЧН);
– число зарегистрированных преступлений на 100 000 населения региона (ЧЗП);
– доля населения региона с денежными доходами ниже величины прожиточного минимума (ЧН ДНПМ);
– общая заболеваемость (число зарегистрированных заболеваний у пациентов с диагнозом, установленным впервые в жизни, в расчете на 1000 населения) (КОЗ);
– уровень безработицы в регионе по методологии МОТ (отношение численности безработных определенной возрастной группы к численности рабочей силы той же возрастной группы) (ЧБ);
– величина расходов на конечное потребление в расчете на душу населения региона в месяц (РКП);
– величина жилищного фонда, приходящегося в среднем на одного жителя региона (ЖФ ДН);
– ожидаемая продолжительность жизни населения региона (ОПЖ).

Нормативное упорядочивание темпов изменений $t_{\text{ВРП ДН}}$ ($t^{\text{Н}}_{1.\text{Соц}}$), $t_{\text{СДД}}$ ($t^{\text{Н}}_{2.\text{Соц}}$), $t_{\text{ЖФ ДН}}$ ($t^{\text{Н}}_{3.\text{Соц}}$), $t_{\text{РКП}}$ ($t^{\text{Н}}_{4.\text{Соц}}$), $t_{\text{ЧН}}$ ($t^{\text{Н}}_{5.\text{Соц}}$), $t_{\text{ИРЧП}}$ ($t^{\text{Н}}_{6.\text{Соц}}$), $t_{\text{ОПЖ}}$ ($t^{\text{Н}}_{7.\text{Соц}}$), $t_{\text{ЧН ДНПМ}}$ ($t^{\text{Н}}_{8.\text{Соц}}$), $t_{\text{ЧЗП}}$ ($t^{\text{Н}}_{9.\text{Соц}}$), $t_{\text{КД}}$ ($t^{\text{Н}}_{10.\text{Соц}}$), $t_{\text{КОЗ}}$ ($t^{\text{Н}}_{11.\text{Соц}}$), $t_{\text{ЧБ}}$ ($t^{\text{Н}}_{12.\text{Соц}}$) перечисленных выше показателей для социальной подсистемы РСЭС приведено на рис. 2 [10–13].

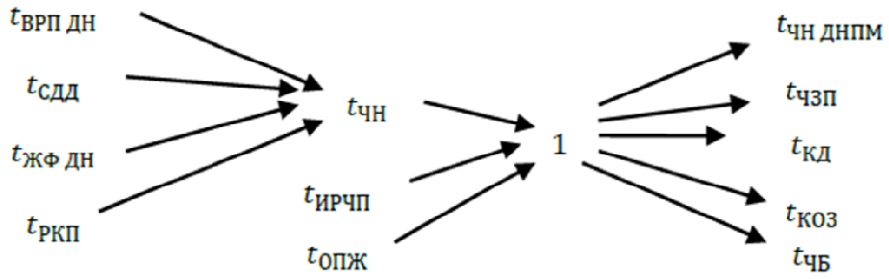


Рис. 2. Графическое представление нормативного упорядочивания темпов изменения показателей $\text{ДН}_{\text{Соц}}$ социальной подсистемы РСЭС, характеризующего ее устойчивое развитие

В динамический норматив экологической подсистемы РСЭС ($\text{ДН}_{\text{Экол}}$) включаются следующие показатели [10–13]:
– объем использования и обезвреживания отходов производства и потребления (ИООПП);
– объем уловленных и обезвреженных загрязняющих атмосферу веществ (УОЗАВ);
– текущие затраты региона на охрану окружающей среды (ТЗООС);
– объемы лесовосстановления в регионе (ЛВ);
– объем сброса загрязненных сточных вод в регионе (СЗСВ);
– объем выбросов в атмосферу загрязняющих веществ в регионе (ВАЗВ);
– объем образования отходов производства и потребления в регионе (ООПП);
– объем оборотной и последовательно используемой воды в регионе (ООиПИВ).

Нормативное упорядочивание темпов изменений $t_{\text{ИООПП}}$ ($t^{\text{Н}}_{1.\text{Экол}}$), $t_{\text{УОЗАВ}}$ ($t^{\text{Н}}_{2.\text{Экол}}$), $t_{\text{ЛВ}}$ ($t^{\text{Н}}_{3.\text{Экол}}$), $t_{\text{ТЗООС}}$ ($t^{\text{Н}}_{4.\text{Экол}}$), $t_{\text{ООиПИВ}}$ ($t^{\text{Н}}_{5.\text{Экол}}$), $t_{\text{СЗСВ}}$ ($t^{\text{Н}}_{6.\text{Экол}}$), $t_{\text{ВАЗВ}}$ ($t^{\text{Н}}_{7.\text{Экол}}$), $t_{\text{ООПП}}$ ($t^{\text{Н}}_{8.\text{Экол}}$) перечисленных выше показателей для экологической подсистемы РСЭС приведено на рис. 3 [10–13].

Рис. 3. Графическое представление нормативного упорядочивания темпов изменения показателей $\text{ДН}_{\text{Экол}}$ экологической подсистемы РСЭС, характеризующего ее устойчивое развитие

Матрицы эталонного упорядочивания показателей социальной $М_{Соц}$ [ЭП] ($n_{Соц} = 12$) и экологической $М_{Экол}$ [ЭП] ($n_{Экол} = 8$) подсистем формируются аналогично (1).

Фактические значения показателей, включенных в $ДН_{Экон}$, $ДН_{Соц}$ и $ДН_{Экол}$ подсистем рассматриваемой РСЭС, рассчитывались по данным официальной статистической отчетности, представляемой Федеральной службой государственной статистики в региональном разрезе. На основании полученных расчетных значений показателей формировались матрицы $М_{Экон}$[ФП], $М_{Соц}$[ФП], $М_{Экол}$[ФП] для соответствующих подсистем рассматриваемой РСЭС по следующему правилу [10–13] (индексация приведена для $М_{Экон}$[ФП]):

$$М_{Экон}[ФП] = \{\eta_{ij}\},\ \eta_{ij} = \begin{cases} 1, \text{если } t^{Ф}_{i.Экон} > t^{Ф}_{j.Экон}, \text{ в том числе и для } i = j, \\ -1, \text{если } t^{Ф}_{i.Экон} < t^{Ф}_{j.Экон}, \\ 0, \text{если нормативное упорядочивание} \\ \text{между } t^{Ф}_{i.Экон} \text{ и } t^{Ф}_{j.Экон} \text{ не установлено.} \end{cases} \quad (2)$$

Здесь $М_{Экон}$ [ФП] – матрица фактического упорядочения показателей $ДН_{Экон}$ для экономической подсистемы рассматриваемой РСЭС; η_{ij} – элемент матрицы $М_{Экон}$ [ФП]; i, j – номера показателей $ДН_{Экон}$ ($i = 1, \ldots, n_{Экон}$; $j = 1, \ldots, n_{Экон}$; $n_{Экон} = 11$); $t^{Ф}_{i.Экон}$, $t^{Ф}_{j.Экон}$ – фактические темпы изменения показателей i, j $ДН_{Экон}$.

Для оценки «меры/степени сходства» матриц М[ЭП] и М[ФП] используется величина S, которая характеризует число совпадений ненулевых значений в указанных матрицах к общему числу ненулевых значений μ_{ij} в матрице М[ЭП] [1, 5, 7, 10–13]. Зависимость для расчета S имеет следующий вид:

$$S_{Экон} = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{n_{Экон}} \sum_{j=1}^{n_{Экон}} |\mu_{ij} - \eta_{ij}|}{2 \cdot K_{Экон}} \right), \quad (3)$$

где K – количество ненулевых μ_{ij} в $М_{Экон}$ [ЭП] без учета значений μ_{ii}.

Очевидно, что величина $S_{Экон}$ нормирована, т. е. $0 \le S \le 1$. Это означает, что при $S_{Экон} = 0$ сходство между $М_{Экон}$ [ЭП] и $М_{Экон}$ [ФП] отсутствует, а при $S_{Экон} = 1$ имеет место быть полное совпадение между $М_{Экон}$ [ЭП] и $М_{Экон}$ [ФП]. Аналогично (3) рассчитываются значения $S_{Соц}$ и $S_{Экол}$ для социальной и экологической подсистем рассматриваемой РСЭС.

2. Комплексный показатель устойчивого развития региональной социально-экономической системы

В качестве комплексного показателя, характеризующего устойчивость развития региональной социально-экономической системы, авторами работ по данной проблематике предлагается использовать следующие величины.

Коэффициент устойчивости развития РСЭС [10], представляющий собой коэффициенты вариации значений величин $S_{Экон}$, $S_{Соц}$ и $S_{Экол}$ (3), определяемые выражением

$$K_S = \frac{\sigma_S}{\overline{S}}, \quad (4)$$

где σ_S, $\overline{S}$ – среднеквадратическое отклонение и среднее значение S подсистем РСЭС за рассматриваемый период времени.

Интегральный индекс устойчивого развития РСЭС [11–13]:

$$I_S = \sqrt[n]{\prod_{J=1}^{n} G_J};\ G_J = \frac{\sum_{i=1}^{N} X_{Ni}}{n}. \quad (5)$$

Здесь X_{Ni} – нормированные значения показателей, включенных в J-й динамический норматив: $J = 1$ – экономическая подсистема; $J = 2$ – социальная подсистема; $J = 3$ – экологическая подсистема.

Расчет X_{Ni} осуществляется согласно следующим зависимостям [11–13]:

$$X_{Ni} = \frac{X_i}{\max X_i}; \tag{6}$$

$$X_{Ni} = \frac{\min X_i}{X_i}. \tag{7}$$

Зависимость (6) рекомендуется использовать для нормирования показателей ДН, рост значений которых оказывает положительное влияние на развитие РСЭС, а зависимость (7) рекомендуется использовать для тех показателей ДН, которые оказывают отрицательное влияние на устойчивость развития региона.

Скалярный показатель ($K_{\text{разв}}$), характеризующий устойчивость развития рассматриваемой РСЭС [6, 18, 19]:

$$K_{\text{разв}} = \frac{\left(1 + K_{\text{СП}}\right)\left(1 + K_{\text{Кен}}\right)}{4}. \tag{8}$$

Здесь $K_{\text{СП}}$ и $K_{\text{Кен}}$ – коэффициенты ранговой корреляции Спирмена и Кендалла [21] соответственно, определяемые следующими выражениями [6, 18, 19]:

– коэффициент Спирмена:

$$K_{\text{СП}} = 1 - \frac{6}{n\left(n^2 - 1\right)} \sum_{i=1}^{n} \left(i - R_i\right)^2, \tag{9}$$

где n – общее количество показателей, включенных в динамический норматив; i – фактические ранги показателей ДН; R_i – ранги тех же показателей для их эталонного упорядочения в ДН;

– коэффициент Кендалла:

$$K_{\text{Кен}} = \frac{2\left(P - Q\right)}{n\left(n - 1\right)}, \tag{10}$$

где n – общее число показателей, включенных в динамический норматив; P – число верных (положительных) соотношений между рангами показателей ДН; Q – число неверных (отрицательных) соотношений между рангами показателей ДН.

По мнению авторов данной статьи, использование перечисленных выше показателей K_S (4), I_S (5), $K_{\text{разв}}$ (8), $K_{\text{СП}}$ (9), $K_{\text{Кен}}$ (10) для комплексной оценки устойчивого развития РСЭС не в полной мере обосновано.

1. Коэффициент устойчивости развития РСЭС K_S (4), рассчитываемый для каждой из ее подсистем, будет характеризовать «колебательность» значений S относительно ее среднего значения $\overline{S}$ для каждой из подсистем. Очевидно, что чем меньше значение K_S для каждой их них, тем более устойчивым будет функционирование подсистем РСЭС за рассматриваемый период времени. Утверждать, что минимальные значения K_S будут означать устойчивость развития РСЭС в целом, достаточно сложно, так как остается открытым вопрос о количественных оценках $\overline{S}$, которые бы этому соответствовали. Отсутствуют также и обоснованные количественные оценки K_S, которые можно считать удовлетворительными с точки зрения «устойчивости развития» РСЭС.

2. Интегральный индекс устойчивого развития РСЭС I_S представляет собой среднюю геометрическую трех величин, каждая из которых является средней арифметической фиксированного набора показателей (темпов изменения) ДН каждой из выделенных подсистем РСЭС. Однако среднюю геометрическую, как правило, используют в тех случаях, когда индивидуальные значения определенного наблюдаемого признака представляют собой относительные величины динамики, построенные в виде цепных величин, как отношение к предыдущему уровню каждого уровня в ряду динамики, т. е. характеризуют средний уровень роста. Динамические же нормативы по своей структуре не в полной мере являются рядами динамики определенного признака,

поэтому использование интегрального индекса развития РСЭС в данном случае не совсем корректно.

3. Коэффициенты $K_{СП}$ (8) и $K_{Кен}$ (9) представляют собой два варианта оценки ранговой корреляции (наличие и теснота связи) между двумя рядами ранжированных значений сопоставляемых показателей [21], как правило, характеризующих разные признаки. Расчетное значение коэффициента $K_{Кен}$ при прочих равных условиях всегда будет несколько больше, чем расчетное значение $K_{СП}$. Поэтому не совсем понятно, что характеризует фактически произведение этих коэффициентов друг на друга в зависимости (8). Не совсем ясно также, почему для оценки $K_{разв}$ используется именно 25 % от произведения числителя зависимости (8). Вследствие этого авторы данной статьи считают, что применение для комплексной оценки устойчивости развития РСЭС зависимости (8) недостаточно обосновано.

В качестве альтернативного варианта для комплексной оценки устойчивости развития РСЭС авторами предлагается использовать величину U, значение которой определяется выражением следующего вида:

$$U = \sqrt{\left(S_{Экон}\right)^2 + \left(S_{Соц}\right)^2 + \left(S_{Экол}\right)^2}\ , \qquad (11)$$

где $S_{Экон}$, $S_{Соц}$, $S_{Экол}$ – величины, рассчитываемые согласно (3) для каждой из выделенных подсистем РСЭС.

Величина U рассчитывается для каждого года из рассматриваемого временного интервала функционирования РСЭС.

Выражение (11) представляет собой декартово расстояние в трехмерном пространстве, в котором нормированные величины $S_{Экон}$, $S_{Соц}$, $S_{Экол}$ образуют оси координат. Точка с координатами (0, 0, 0), т. е. начало координат данного пространства, для каждой из указанных нормированных величин характеризует наименьшую «меру/степень сходства» матриц М[ЭП] и М[ФП], соответствующих подсистемам РСЭС. Таким образом, чем дальше от начала координат и ближе к точке (1, 1, 1) будет находиться точка с координатами ($S_{Экон}$, $S_{Соц}$, $S_{Экол}$), т. е. чем больше будет расчетное значение величины U, тем более устойчивым будет функционирование рассматриваемой РСЭС в году T.

3. Оценка устойчивого развития РСЭС ХМАО-Югра с использованием динамического норматива

Данные официальной статистической отчетности, представляемой в региональном разрезе (справочники Федеральной службы государственной статистики «Регионы России. Социально-экономические показатели» http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1138623506156), которые необходимы для расчета темпов изменений показателей, включенных в динамические нормативы экономической, социальной и экологической подсистем РСЭС ХМАО-Югра за период с 2001 по 2015 г., в данной статье не приводятся из-за ограничений по её объему. По той же причине авторы не приводят матричные формы $М_{Экон}$[ЭП], $М_{Соц}$[ЭП], $М_{Экол}$[ЭП] (1), $ДН_{Экон}$, $ДН_{Соц}$, $ДН_{Экол}$ и соответствующие $М_{Экон}$[ФП], $М_{Соц}$[ФП], $М_{Экол}$[ФП] (2).

Для обеспечения корректности сопоставления темпов изменений показателей ДН ($ДН_{Экон}$, $ДН_{Соц}$, $ДН_{Экол}$) их значения были приведены к индексному виду и пересчитаны в ряды базисных индексов относительно 2001 г. Это, по мнению авторов, необходимо, так как показатели указанных динамических нормативов в официальной статистической отчетности представлены как в виде цепных индексов, так и в виде относительных и абсолютных величин, имеющих различную размерность.

В табл. 1 приведены для рассматриваемого временного периода расчетные значения следующих величин:

– показателей $S_{Экон}$, $S_{Соц}$ и $S_{Экол}$ (3);

– показателя U (11), представляющего комплексную характеристику степени устойчивого развития рассматриваемой региональной экономической системы ХМАО-Югра.

Таблица 1

Расчетные значения показателей, характеризующих устойчивое развитие РСЭС ХМАО-Югра за период 2001–2015 гг.

№	Обозначение показателя	Отчетный год/Базисный год						
		2002/2001	2003/2002	2004/2003	2005/2004	2006/2005	2007/2006	2008/2007
1	$S_{Экон}$	0,38	0,38	0,42	0,29	0,64	0,69	0,69
2	$S_{Соц}$	0,73	0,5	0,62	0,71	0,7	0,72	0,84
3	$S_{Экол}$	0,58	0,54	0,66	0,75	0,75	0,58	0,66
4	U	1,0068	0,8283	0,9982	1,0727	1,2092	1,1536	1,2717
№	Обозначение показателя	Отчетный год/Базисный год						
		2009/2008	2010/2009	2011/2010	2012/2011	2013/2012	2014/2013	2015/2014
1	$S_{Экон}$	0,62	0,55	0,62	0,69	0,67	0,55	0,51
2	$S_{Соц}$	0,81	0,76	0,8	0,82	0,79	0,81	0,8
3	$S_{Экол}$	0,54	0,42	0,5	0,5	0,42	0,42	0,42
4	U	1,1542	1,0279	1,1289	1,1826	1,1178	1,0654	1,0375

На рис. 4 проиллюстрирована динамика показателей $S_{Экон}$, $S_{Соц}$ и $S_{Экол}$ (см. табл. 1).

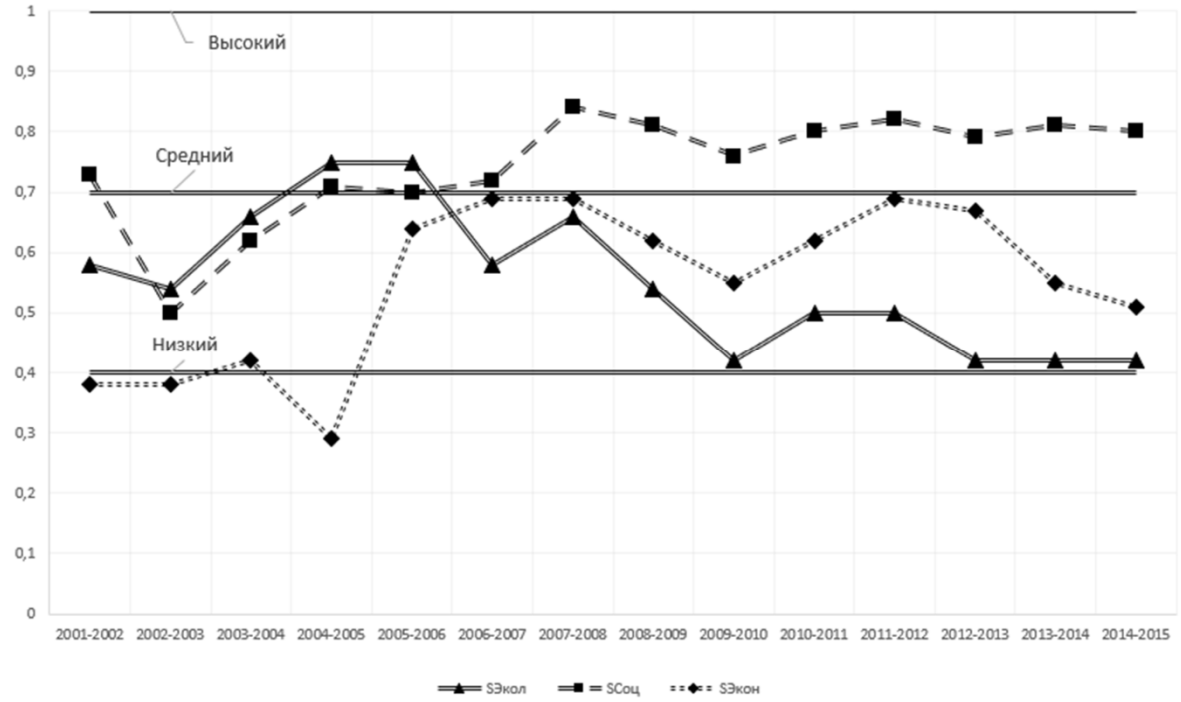


Рис. 4. Динамика показателей $S_{Экон}$, $S_{Соц}$ и $S_{Экол}$ за период 2001–2015 гг.

В табл. 2 приводятся шкала уровней динамической сбалансированности для групповых индикаторов устойчивого развития региона, предложенная в работах [3–5].

Таблица 2

Шкала уровней динамической сбалансированности групповых индикаторов устойчивого развития РСЭС ($S_{Экон}$, $S_{Соц}$ и $S_{Экол}$)

Значение меры сходства матриц М[ЭП] и М[ФП] (3)	Уровень сбалансированности динамики групповых индикаторов подсистем РСЭС
От 0,00 до 0,40	Низкий
От 0,41 до 0,70	Средний
От 0,71 до 1,00	Высокий

Сопоставление значений $S_{Экон}$ и $S_{Экол}$ (см. табл. 1) позволяет сделать заключение о том, что развитие соответствующих подсистем находится в противофазе друг к другу, что объясняется спецификой структуры экономики РСЭС ХМАО-Югра. Несмотря на принимаемые меры подсистемой управления РСЭС ХМАО-Югра по развитию экологической подсистемы и ряду достигнутых положительных результатов в этой области, например, уровень переработки попутного газа за указанный период превысил 90 %, уровень устойчивости развития данной подсистемы можно оценить как «средний» с негативной тенденцией. В 2011–2015 гг. на фоне стагнации устойчивости развития экономической подсистемы ожидаемого роста устойчивости экологической подсистемы не наблюдается (см. табл. 1). По мнению авторов, это объясняется негативным влиянием достаточно высокого уровня устойчивости развития социальной подсистемы, что, как правило, сопровождается ростом факторов, негативно влияющих на экологию региона, таких как, например, увеличение парка эксплуатируемых автомобилей его жителями, увеличение объемов твердых бытовых отходов из-за роста уровня личного потребления и т. п. Устойчивость развития социальной подсистемы РСЭС ХМАО-Югра за исключением 2002–2005 гг. (см. табл. 1) оценивается как «высокая» (см. табл. 2). Кризисные явления в экономике страны, нашедшие свое отражение в значениях $S_{Экон}$, не оказали существенного влияния на значения $S_{Соц}$. Это, по мнению авторов, обусловлено тем, что в течение всего рассматриваемого периода подсистема управления данной РСЭС в целом достаточно успешно планирует и реализует мероприятия по развитию социальной сферы округа.

Шкала уровней динамической сбалансированности групповых индикаторов устойчивого развития региона (см. табл. 2) [3–5] была адаптирована применительно к показателю U (11) (табл. 3).

Таблица 3

Шкала уровней агрегированного показателя *U*, характеризующего степень устойчивого развития РСЭС

Диапазоны значений показателя U	Уровень сбалансированности динамики агрегированного показателя U
От 0,00 до 0,69	Низкий
От 0,7 до 1,21	Средний
От 1,22 до 1,73	Высокий

На рис. 5 представлены изменения значений агрегированного показателя U, характеризующего степень устойчивого развития РСЭС ХМАО-Югра за рассматриваемый период времени.

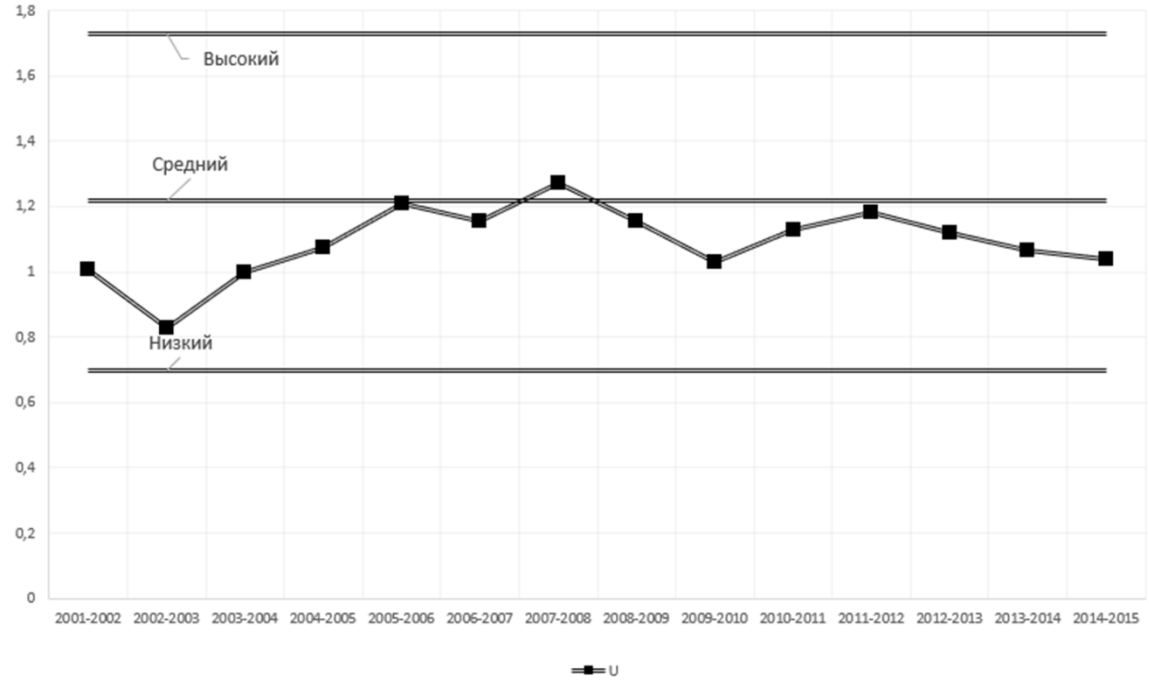


Рис. 5. Динамика показателя *U* за период 2001–2015 гг.

Согласно введенной шкале уровней показателя U можно констатировать, что устойчивость развития РСЭС ХМАО-Югра за рассматриваемый период времени можно охарактеризовать как «среднюю». Это обусловлено тем, что значения двух групповых индикаторов устойчивого развития региона $S_{Экон}$ и $S_{Экол}$ в данный период соответствовали уровню «средний» (см. табл. 1, 2), причем значение $S_{Экол}$ находится вблизи нижней границы соответствующего диапазона (см. табл. 2).

Заключение и выводы

На основании полученных в работе результатов можно констатировать, что динамический норматив, предназначенный для оценки устойчивости развития РСЭС и представляющий собой совокупность динамических нормативов ее экономической, социальной и экологической подсистем, в целом достаточно хорошо отражает их реакцию на изменения как внешнего окружения, так и параметров выделенных ключевых компонентов данной системы. Это указывает на то, что выбор набора показателей и формирование на их основе динамических нормативов, характеризующих устойчивое развитие указанных подсистем и РСЭС, в целом корректен.

Анализ динамики значений показателей $S_{Экон}$, $S_{Соц}$ и $S_{Экол}$ позволяет не только согласно введенным шкалам осуществлять градацию устойчивости их развития, но и получать дополнительную, пусть и качественную, информацию о характере их взаимного влияния друг на друга с учетом изменений внешнего окружения РСЭС. Так, применительно к РСЭС ХМАО-Югра, например, изменения значений показателей устойчивости развития экономической $S_{Экон}$ и экологической $S_{Экол}$ подсистем, как отмечалось ранее, находятся в противофазе, что обуславливается спецификой структуры региональной экономики. А стабильно «высокий» уровень устойчивости развития социальной подсистемы негативно сказывается на уровне устойчивости экологической подсистемы, нивелируя положительное влияния от снижения устойчивости экономической системы в период с 2012 г. по 2015 г.

Наряду с оценкой устойчивости развития РСЭС использовавшийся ДН позволяет, по мнению авторов, получать косвенные качественные оценки эффективности функционирования ее подсистемы управления (органов административной и законодательной власти региона). Примером, подтверждающим данное заключение, может служить «высокий» уровень устойчивости развития социальной подсистемы РСЭС ХМАО-Югра в течение практически всего анализируемого периода времени. Поскольку данная подсистема очень чувствительна к управляющим воздействиям указанных органов управления, то такой уровень устойчивости ее развития косвенно отражает эффективность их работы в социальной сфере. Аналогичным примером является и «низкий» уровень устойчивости развития экологической подсистемы, так как экономическая подсистема РСЭС ХМАО-Югра полностью является частной, то и степень непосредственного влияния подсистемы управления РСЭС крайне ограничена, что и отражается на таком уровне устойчивости, несмотря на имеющиеся положительные результаты в данной области (доля переработки попутного газа за анализируемый период превысила 90 %).

Показатель U, характеризующий степень устойчивости развития РСЭС в целом, в основе своей является аддитивным показателем, что в определенной мере нивелирует степень взаимного влияния друг на друга выделенных подсистем РСЭС. Вместе с тем расчетные значения показателя U также согласуются с изменениями внешних и внутренних факторов, влияющих на функционирование и развитие рассматриваемой системы.

Таким образом, на наш взгляд, динамический норматив, характеризующий степень устойчивости развития РСЭС, целесообразно использовать как инструмент диагностики в рамках процедуры мониторинга ее развития.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ и Правительства ХМАО-Югра на реализацию научного проекта № 18-47-860016 «Компьютерное моделирование динамики социально-экономической системы ресурсодобывающего региона севера России с использованием теории роста, агентного подхода и ГИС-технологий».

Литература

1. Тонких, А.С. Моделирование результативного управления корпоративными финансами: моногр. / А.С. Тонких. – Екатеринбург; Ижевск: Изд-во УрО РАН, 2006. – 200 с.

2. Баканов, М.И. Теория экономического анализа: учеб. / М.И. Баканов, А.Д. Шеремет. – 4-е изд., доп. и перераб. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 416 с.

3. Савицкая, Г.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия: учеб. пособие / Г.В. Савицкая. – 7-е изд., испр. – Минск: Новое знание, 2002. – 704 с.

4. Сыроежин, И.М. Совершенствование системы показателей эффективности и качества / И.М. Сыроежин. – М.: Экономика, 1980. – 192 с.

5. Погостинская, Н.Н. Системный подход в экономико-математическом моделировании: учеб. пособие / Н.Н. Погостинская, Ю.А. Погостинский. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ. 1999. – 74 с.

6. Рукин, Б.П. Диагностика устойчивого развития организаций с использованием динамических нормативов и непараметрической статистики / Б.П. Рукин, Г.В. Шуршикова, Л.В. Свиридова // Региональная экономика: теория и практика. – 2009. – № 7 (100). – С. 16–21.

7. Третьякова, Е.А. Совершенствование методического инструментария оценки устойчивого развития промышленных предприятий / Е.А. Третьякова, Т.В. Алферова // Экономический анализ: теория и практика. – 2016. – № 9. – С. 88–96.

8. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: Справочник: учеб. пособие / под ред. В.Н. Волковой и А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 848 с.

9. Золотарев, С.В. Измерение устойчивости развития экономики региона методом динамических нормативов / С.В. Золотарев, И.А. Козьева // Известия Курского государственного технического университета. – 2010. – № 3 (32). – С. 71–76.

10. Трегубова, Ю.С. Динамический анализ устойчивости развития субъектов Российской Федерации / Ю.С. Трегубова // Наука и современность. – 2015. – № 1 (3). – С. 29–34.

11. Осипова, М.Ю. Исследование устойчивого развития региона на основе метода динамических нормативов, на примере Пермского края / М.Ю. Осипова // Экономика и предпринимательство. – 2015. – № 11 (2). – С. 248–256.

12. Третьякова, Е.А. Сочетание статистического и динамического подходов в оценке устойчивого развития региональных социально-экономических систем / Е.А. Третьякова, М.Ю. Осипова // Вестник Пермского университета. Сер. «Экономика». – 2016. – № 2 (29). – С. 79–92. DOI: 10.17072/1994-9960-2016-2-79-92

13. Третьякова, Е.А. Оценка показателей устойчивого развития регионов России / Е.А. Третьякова, М.Ю. Осипова // Проблемы прогнозирования. – 2018. – № 2 (167). – С. 24–35.

14. Мальцева, А.А. Научно-теоретический анализ современных подходов к оценке устойчивости территорий как социально-экономических систем / А.А. Мальцева, Т.Г. Малкова // Инно-Центр. – 2015. – № 3 (8). – С. 35–51.

15. Озина, А.М. Концептуальные аспекты обоснования индикаторов устойчивого развития территории / А.М. Озина, Ю.В. Сергеева // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2015. – № 10. – С. 22–31.

16. Светуньков, С.Г. Комплекснозначный анализ и моделирование неравномерности социально-экономического развития регионов России / С.Г. Светуньков, А.В. Заграновская, И.С. Светуньков. – СПб., 2012. – 129 с.

17. Петрина, О.А. К вопросу об устойчивом развитии социально-экономических систем / О.А. Петрина, Е.В. Савкина // Вестник Университета (Государственный университет управления). – 2017. – № 2. – С. 37–41.

18. Ускова, Т.В. Оценка реализации стратегии развития региона / Т.В. Ускова, Р.Ю. Селименков, В.Я. Асанович // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2015. – № 1 (37). – С. 30–42. DOI: 10.15838/esc/2015.1.37.2

19. Кормановская, И.Р. Скалярная оценка рисков устойчивого развития региона на основе непараметрических методов / И.Р. Кормановская, Л.И. Бернасовская // Теория и практика общественного развития. – 2016. – № 9. – С. 34–40.

20. Паньшин, И.В. Методологические аспекты ресурсного моделирования процессов развития российских регионов на основе ранжированных рядов ускорений роста / И.В. Паньшин, О.Б. Яресь, И.А. Глуховская // Вопросы региональной экономики. – 2013. – № 4 (17). – С. 48–56.

21. Елисеева, И.И. Общая теория статистики: учеб. / И.И. Елисеева, М.М. Юзбашев; под ред. чл.-корр. РАН И.И. Елисеевой. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 480 с.

Кутышкин Андрей Валентинович, д-р техн. наук, профессор, Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск; avk_200761@mail.ru.

Орлова Дарья Сергеевна, магистрант, Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск; ods1531b@gmail.com.

Поступила в редакцию 16 февраля 2019 г.

DOI: 10.14529/ctcr190209

DIAGNOSTICS OF THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF REGIONAL SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS ON THE EXAMPLE OF THE KHANTY-MANSIYSK AUTONOMOUS OKRUG – YUGRA

***A.V. Kutyshkin**, avk_200761@mail.ru,*
***D.S. Orlova**, ods1531b@gmail.com*
Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russian Federation

The article presents the results of diagnostics of the sustainability of the development of the regional socio-economic system (RSES) of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra for the period from 2001 to 2015, according to official statistical reporting, presented in a regional context. The diagnostics was carried out using the methodology of a dynamic standard, which allows us to assess deviations in the development of the regional socio-economic system under consideration from the standard set for it – sustainable development. The dynamic standard used is a complex of dynamic standards characterizing, in turn, deviations from the sustainable development of the three key subsystems of this system – economic, social and environmental. These dynamic standards included and streamlined the rate of change of indicators that most fully characterized the development of these subsystems. Before calculating the rates of change, the values of these indicators were reduced to basic indices relative to 2001. The work provided a critical analysis of a number of dependencies, most often used at present for calculating the indicator of a comprehensive assessment of the sustainability of development of systems of this type, according to the results of which the original method of calculating this indicator was proposed. The analysis of the results of assessing the sustainability of the development of the regional socio-economic system of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra over a specified period allowed the classification of this characteristic for the system under consideration according to the corresponding scale adopted to date. In addition, assessments were made of the mutual influence of the development of the above subsystems considered by RSES, as well as indirect qualitative assessments of the functioning of its management subsystem – the administrative and legislative authorities of the region.

Keywords: sustainable development, diagnostics of sustainable development regional socio-economic system, dynamic standard method, integrated assessment of sustainable development, Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra.

References

1. Tonkich A.S. *Modelirovanie rezul'tativnogo upravleniya korporativnymi finansami* [Modeling of Effective Corporate Finance Management: Monograph]. Ekaterinburg, Izhevsk, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2006. 200 p.

2. Bakanov M.I., Sheremet A.D. *Teoriya ekonomicheskogo analiza* [Theory of Economic Analysis: Textbook]. Moscow, Finance and Statistics Publ., 2001. 416 p.

3. Savitskaya G.V. *Analiz khozyaystvennoj deyatel'nosti predpriyatiya* [Analysis of the Economic Activity of the Enterprise: Tutorial]. Minsk, New Knowledge Publ., 2002. 704 p.

4. Syroezhin I.M. *Sovershenstvovanie sistemy pokazateley effektivnosti i kachestva* [Improving of the System of Effectiveness and Quality Indicators]. Moscow, Economy Publ., 1980. 192 p.

5. Pogostinskaya N.N., Pogostinskiy Yu.A. *Sistemnyy podkhod v ekonomiko-matematicheskom modelirovanii* [Systems Approach in Economic and Mathematical Modeling: Tutorial]. St. Petersburg, St. Petersburg State University of Economics and Finance Publ., 1999. 74 p.

6. Rukin B.P., Shurshikova G.V., Sviridov L.V. [Diagnostics of Sustainable Development of Organizations Using Dynamic Standards and Non-parametric Statistics]. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika* [Regional Economics: Theory and Practice], 2009. vol. 100, no. 7, pp. 16–21. (in Russ.)

7. Tretyakova E.A., Alferova T.V. [Improving of the Methodological Tools for Assessing the Sustainable Development of Industrial Enterprises]. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 2016, no. 9, pp. 88–96. (in Russ.)

8. *Teoriya sistem i sistemnyy analiz v upravlenii organizatsiyami* [Theory of Systems and Systems Analysis in the Management of Organizations: Handbook]. Moscow, Finance and Statistics Publ., 2006. 848 p.

9. Zolotarev S.V., Kozieva I.A. [Measuring of the Sustainability of the Development of the Regional Economy by the Method of Dynamic Standards]. *News of the Kursk State Technical University*, 2010, vol. 32, no. 3, pp. 71–76. (in Russ.)

10. Tregubova Yu.S. [Dynamic Analysis of the Sustainability of the Development of Subjects of the Russian Federation]. *Science and Modernity*, 2015, vol. 3, no. 1, pp. 29–34. (in Russ.)

11. Osipova M.Yu. [Study of Sustainable Development of the Region Based on the Method of Dynamic Standards, on the Example of the Perm Territory]. *Economy and Entrepreneurship*, 2015, vol. 2, no. 11, pp. 248–256. (in Russ.)

12. Tretyakova E.A., Osipova M.Yu. [The Combination of Statistical and Dynamic Approaches in Assessing the Sustainable Development of Regional Socio-Economic Systems]. *Perm University Bulletin. Ser. Economy*, 2016, vol. 29, no. 2, pp. 79–92. (in Russ.) DOI: 10.17072/1994-9960-2016-2-79-92

13. Tretyakova E.A., Osipova M.Yu. [Evaluation of Indicators of Sustainable Development of Russian Regions]. *Problems of Forecasting*, 2018, vol. 167, no. 2, pp. 24–35. (in Russ.)

14. Maltseva A.A., Malkova T.G. [Scientific-Theoretical Analysis of Modern Approaches to Assessing of the Sustainability of Territories as Socio-Economic Systems]. *InnoCentre*, 2015, vol. 8, no. 3, pp. 35–51. (in Russ.)

15. Ozina A.M., Sergeeva Yu.V. [Conceptual Aspects of the Justification of Indicators of Sustainable Development of the Territory]. *Regional Problems of Economic Transformation*, 2015, no. 10, pp. 22–31. (in Russ.)

16. Svetunkov S.G., Zagranovskaya A.V., Svetunkov I.S. *Kompleksnoznachnyy analiz i modelirovanie neravnomernosti sotsial'no-ehkonomicheskogo razvitiya regionov Rossii* [Complex Analysis and Modeling of the Uneven Socio-Economic Development of Russian Regions]. St. Petersburg, 2012. 129 p.

17. Petrina O.A., Savkina E.V. [On the Issue of Sustainable Development of Socio-Economic Systems]. *Bulletin of the State University of Management*, 2017, no. 2, pp. 37–41. (in Russ.)

18. Uskova T.V., Selimenkov R.Yu., Asanovich V.Ya. [Evaluation of the Implementation of the Regional Development Strategy]. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 2015, vol. 37, no. 1, pp. 30–42. (in Russ.) DOI: 10.15838/esc/2015.1.37.2

19. Kormanovskaya I.R., Bernasovskaya L.I. [Scalar Risk Assessment of the Region's Sustainable Development Based on Non-Parametric Methods]. *Theory and Practice of Social Development*, 2016, no. 9, pp. 34–40. (in Russ.)

20. Panshin I.V., Yares, OB, Glukhovskaya, I.A. [Methodological Aspects of Resource Modeling of the Development Processes of the Russian Regions Based on the Ranked Series of Growth Accelerations]. *Questions of the Regional Economy*, 2013, vol. 17, no. 4, pp. 48–56. (in Russ.)

21. Eliseeva I.I., Yuzbashev M.M. *Obshchaya teoriya statistiki* [General Theory of Statistics: Textbook]. Moscow, Finance and Statistics Publ., 2001. 480 p.

Received 16 February 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Кутышкин, А.В. Диагностика устойчивости развития региональных социально-экономических систем на примере Ханты-Мансийского автономного округа – Югры / А.В. Кутышкин, Д.С. Орлова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 103–116. DOI: 10.14529/ctcr190209

FOR CITATION

Kutyshkin A.V., Orlova D.S. Diagnostics of the Sustainable Development of Regional Socio-Economic Systems on the Example of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 103–116. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr190209

УДК 334.012 + 338.22 DOI: 10.14529/ctcr190210

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В РЕГИОНЕ

Т.А. Аверина, А.А. Бартенева, О.С. Перевалова

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

Социальные услуги отличаются от услуг, которые оказывают предприятия и организации в других отраслях непроизводственной части экономики, потому что создаются и распространяются в интересах всех членов общества. Для построения грамотного механизма управления и развития социального предпринимательства необходима разработка ряда мер. В работе представлен подход к организации социального предпринимательства в регионе, особенностью которого является комплексное развитие с позиций различных заинтересованных сторон, в частности, государства, крупного бизнеса, малого бизнеса и общества. Отмечено, что в настоящее время эффективным механизмом развития социального предпринимательства является реализация ГЧП-проектов, так как при небольших затратах со стороны государства позволяет повысить объемы предоставляемых социальных услуг. Эффективным инструментов в развитии социального предпринимательства является корпоративная социальная ответственность. Благодаря созданию Центров социальных инноваций, Школ социального предпринимательства, Институтов наставничества, Клубов резидентов, Партнерских программ, привлечению малых социальных предприятий в мероприятия Ивент-менеджмента крупные компании могут способствовать развитию социального предпринимательства в регионах. Выявлено, что перспективным механизмом развития социального предпринимательства является распространение социальных франшиз уже состоявшихся предпринимателей. Для этого необходима реализация следующих мероприятий: организация клуба по бенчмаркингу для социальных предпринимателей, создание единого электронного каталога социальных франшиз по региону (округу, стране), популяризация информации об их деятельности по средствам СМИ, проведение обучающих семинаров и вебинаров. Определена необходимость учета «Теории поколений» при развитии и реализации социального предпринимательства. В частности, необходима разработка программ развития социального предпринимательства с учетом необходимости вовлечения большего количества представителей поколения Z в данную сферу. Кроме того, в работе акцентировано внимание на оценке социальной эффективности проектов соцсферы. В этих целях рассматривается подход, позволяющий определить стоимостное выражение социальной эффективности проектов, и определены направления использования этого показателя.

Ключевые слова: социальное предпринимательство, развитие, управление, инвестиции, социальный эффект.

Введение

Социальные услуги отличаются от услуг, которые оказывают предприятия и организации в других отраслях непроизводственной части экономики, потому что создаются и распространяются в интересах всех членов общества.

Рассмотрим некоторые особенности реализации проектов именно в социальной сфере. Социальная сфера с экономической точки зрения охватывает комплекс рынков услуг, в совокупности обеспечивающих достойную жизнь граждан (рис. 1).

Все социальные услуги имеют раздвоенный характер: с одной стороны, они выступают потреблением благ, а с другой – инвестированием в человеческий капитал. Их создание и потребление определяется не только спросом каждого потребителя, но и интересами всего общества.

Именно поэтому социальная сфера нуждается в особенно активном регулировании со стороны государственных органов [1].

Ольга Епифанова, вице-спикер Госдумы, отмечает, что именно социальные предприятия становятся инновационными элементами в решении наиболее острых социальных проблем – от безработицы до восстановления целых деревень и промыслов, от обеспечения доступной среды для

маломобильных групп до новых видов социальных услуг для социально незащищенных категорий граждан [2].

Рис. 1. Основные составляющие социальной сферы

Важнейшим результатом социального предпринимательства является увеличение социальной добавленной стоимости инноваций – повышение качества жизни населения за счет следующих моментов (рис. 2):

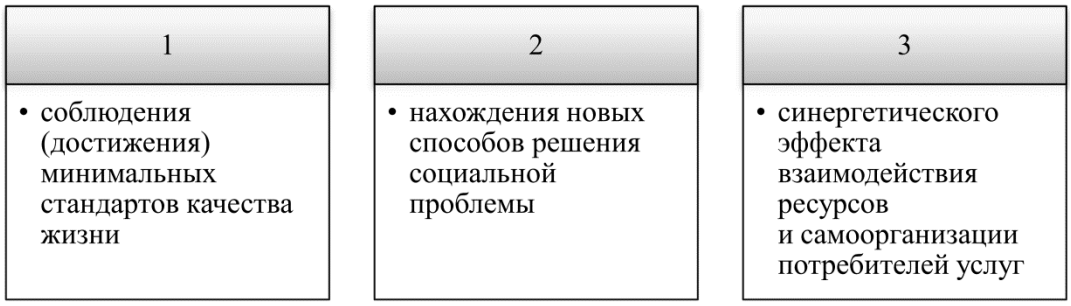


Рис. 2. Результаты социального предпринимательства

Предпосылками развития социального предпринимательства в России являются [3]:

- низкая эффективность решения социальных проблем государства через различные его социальные и благотворительные фонды;
- создание конкурентной среды для повышения качества услуг;
- возможность смягчения острых проблем общества, ускорения их решения за счет увеличения числа заинтересованных сторон;
- возможность создания систем, которые управляют и компенсируют разницу между возможностями и благосостоянием людей в различных сферах общества через организации социального предпринимательства;
- необходимость повышения осведомленности, чувства ответственности людей, интеграции их в сферу деятельности посредством действий общественных организаций на коммерческой основе.

Таким образом, для построения грамотного механизма управления и развития социального предпринимательства необходима разработка ряда мер.

С этой точки зрения актуальным будет выявление четких подходов к организации социального предпринимательства (нормативно-правовой аспект в работе не рассматривается) и оценка эффективности их проектов для реализации возможности привлечения инвестиций.

1. Подход к организации социального предпринимательства

Рассмотрим следующий подход к организации социального предпринимательства, особенностью которого является комплексное развитие с позиций различных заинтересованных сторон, в частности, государства, крупного бизнеса, малого бизнеса и общества (рис. 3).

Рис. 3. Основные направления развития социального предпринимательства

Рассмотрим каждое направление подробнее.

1.1. Государственно-частное партнерство (ГЧП)

В настоящее время такая форма взаимодействия государства и бизнеса активно развивается.

Для государства проекты ГЧП в социальной сфере – это возможность решить проблему повышения качества и разнообразия предоставляемых гражданам благ и услуг при одновременной экономии бюджетных средств [1].

В то же время для «частных партнеров» социальная сфера «проигрывает» другим – например, транспортной и ресурсодобывающей – в связи с более низкой рентабельностью, длительными сроками окупаемости и неизбежным «повышенным» контролем со стороны государства.

Именно эти особенности объясняют тот факт, что в нашей стране социальная сфера не сразу стала рассматриваться государством как перспективная область для внедрения проектов ГЧП.

Только в последние десять лет идет активное развитие проектов ГЧП в разных областях социальной сферы, которая в настоящее время занимает третье место (после транспортной и коммунально-энергетической) по объемам инвестированных средств.

В то же время, несмотря на значительное количество проектов, ГЧП в социальной сфере развивается стихийно, соглашения носят локальный характер.

Вопрос становится еще более актуальным, учитывая, что согласно [4, 5] в 2019 году ожидается значительное недофинансирование проектов в социальной сфере – 200 млрд руб.

Очевидно, что передача даже части полномочий по предоставлению населению исключительно общественных благ невозможна, в то время как социальные блага, близкие к стандартным рыночным товарам – образование, здравоохранение, обеспечение доступа к спортивныи объектам и т. д., становятся объектами соответствующего солашения о ГЧП.

Стоит отметить, что концессия в РФ занимает первое место из форм реализации проектов ГЧП. Соглашения о ГЧП / муниципально-частном партнерстве (МЧП) в большинстве случаев используются для организации проектов в социальной сфере (здравоохранение, образование).

Заметим, что на региональном и муниципальном уровне реализуется ряд проектов (всего 176) в аналоговых формах ГЧП, заключенных в рамках иных организационно-правовых форм, например (рис. 4):

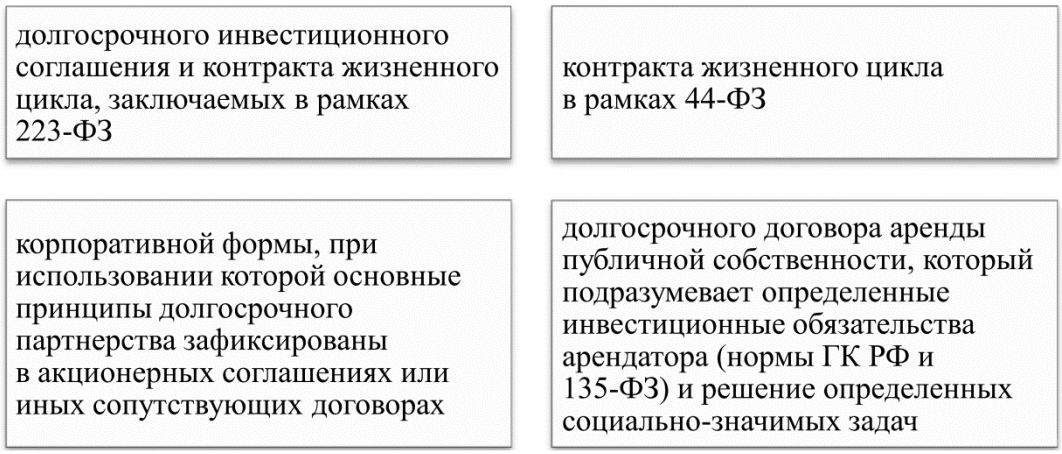


Рис. 4. Аналоговые формы ГЧП

Исходя из сказанного выше, можно заключить, что в РФ имеется опыт реализации ГЧП проектов в социальной сфере, существует необходимость и потенциал для его расширения, выявлены определенные выгоды как для «публичного», так и для «частного партнера». Но должна проводиться более активная информационная компания, прежде всего со стороны «публичного партнера», для привлечения социальных предпринимателей.

1.2. Корпоративная социальная ответственность (КСО)

Социальная ответственность бизнеса становится одним из ключевых вопросов, с которым сталкивается частный и государственный сектор, общество, люди, формирующие общественное мнение, и др. Основные причины возросшей значимости социальной ответственности бизнеса заключаются в следующем: возросшая роль бизнеса; глобализация; усиление конкуренции; сложность и изменчивость внешней среды бизнеса; рост инноваций; рост гражданской самоорганизации.

Происхождение КСО можно достаточно четко идентифицировать по следующим направлениям [6, 7] (рис. 5):

Рис. 5. Сущность КСО

КСО как система может быть представлена ее важнейшими элементами, внутренними и внешними связями, образующими ее основу и обеспечивающими возможность управления ею.

В наиболее общем виде система КСО включает в себя:

- элементарную базу, состоящую из самой компании и стейкхолдеров;
- принципы взаимодействия;
- сферы и уровни ответственности.

Современная теория и практика чаще всего выделяют три сферы КСО в соответствии с концепцией устойчивого развития: экономическая, социальная, экологическая [7].

Ярким примером повышения уровня КСО выступает тандем ОК «РУСАЛ» и Агентства стратегических инициатив, силами которых был создан Центр инноваций в социальной сфере (ЦИСС) – некоммерческая организация, которая занимается развитием социального предпринимательства [8].

Стоит отметить, что Центр – площадка для взаимодействия бизнес-сообщества, социальных предпринимателей и власти. Именно на этой площадке участниками идентифицируются «проблемные места» и «точки роста» для выстраивания эффективной стратегии развития социальной сферы в регионе.

Проект получил поддержку многих крупных компаний и государственных структур.

Главная цель ЦИСС – это обеспечение социально незащищенных категорий населения доступом к жизненно важным услугам и при необходимости вовлечение их в различные виды деятельности, тем самым обеспечивая занятость.

В целях содействия потенциальным социальным предпринимателям ЦИСС работает по следующим направлениям (рис. 6):

Рис. 6. Направления работы ЦИСС

Подобного рода опыт может быть заимствован другими крупными компаниями для решения социальных проблем в регионах.

1.3. Социальный франчайзинг

Социальный франчайзинг – один из способов тиражирования лучших практик социального предпринимательства.

В его основе – известные принципы франчайзинга с некоторыми специфическими особенностями.

Основным отличием социального франчайзинга (СФ) является, как правило, отсутствие комиссионных и роялти. СФ обязан предоставлять социальные товары или услуги на согласованном в договоре уровне цены и качества. Бывают социальные франшизы, по условиям которых платит франчайзер или же франчайзиат обязуется произвести/реализовать определенный объем продукции/услуг.

Выделим основные пути работы по франшизе [9] (рис. 7):

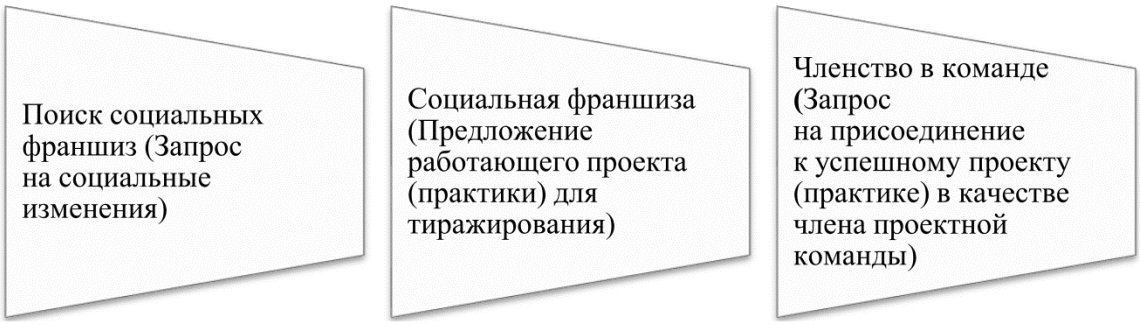


Рис. 7. Основные направления работы с франшизой

Разумеется, что для успешного распространения социальных франшиз должна быть обеспечена соответствующая информационная поддержка данного направления, в частности (рис. 8):

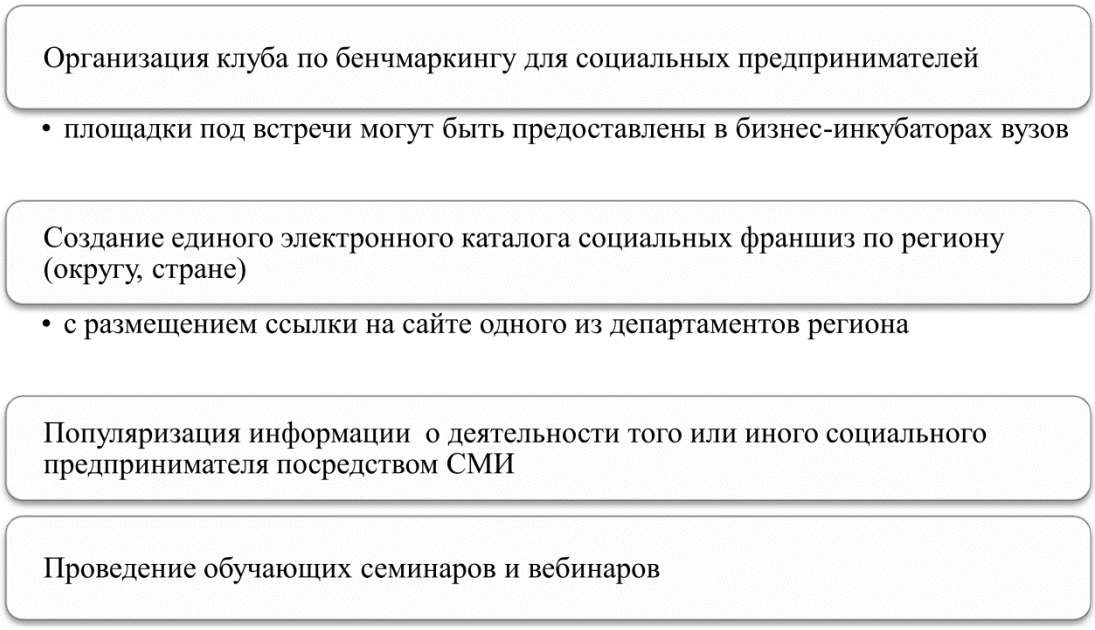


Рис. 8. Мероприятия по развитию социального франчайзинга

Кроме того, крупные компании при реализации мероприятий ивент-менеджмента (Event management (от англ. event – «событие») – это комплекс мероприятий по созданию корпоративных и массовых событий) могут приглашать по несколько социальных предпринимателей для представления их деятельности с целью привлечения внимания к их нуждам в регионах.

1.4. Учет теории поколений

Для каждого предпринимателя важно понимание своей аудитории. К каждому возрасту нужен свой подход, и здесь ключом к выстраиванию перспективных взаимоотношений может послужить «Теория поколений», которая была предложена в 1991 году американскими исследователями Нейлом Хоувом (Neil Howe) и Вильямом Штраусом (William Strauss) [10].

Смоделируем (см. таблицу), кто может заняться решением социальных проблем каждого конкретного направления (темно-серый цвет) и чьи потребности при этом будут удовлетворяться (светло-серый цвет) в контексте «Теории поколений».

При этом стоит отметить, что, безусловно, поколения «победителей» и «молчаливых» нуждаются в постоянном внимании и заботе, но при этом лишь немногие из них уже могут участвовать в реализации социального предпринимательства. Поэтому в таблице данные поколения не представлены.

Сопоставление потребностей и активности в области социального предпринимательства различных поколений

Направления социального предпринимательства [11]	Поколение «Беби-бумеров»		Поколение X		Поколение Y		Поколение Z	
Помощь людям в социально опасном положении								
Инклюзивные проекты и проекты для инвалидов и людей с ограниченными возможностями здоровья								
Культура и арт								
Национальная и межэтническая сфера								
Спорт и здоровый образ жизни								
Патриотическое воспитание								
Молодежное самоуправление и молодежная политика								
Неформальное образование и карьера								
Научные и технические инновации								
Медицина и решение актуальных проблем по оказанию медицинской помощи населению								
ЖКХ. Анализ проблемных мест сервисной модели управляющих компаний и основных потребностей жителей многоквартирных домов								
Упрощение и повышение доступности финансовых операций в городе и общественных учреждениях								
Оптимизация управления территориями. Проекты по повышению качества управления и контроля в государственном аппарате, в работе чиновников								
Благоустройство территорий								

Из таблицы видно, что наибольший потенциал в реализации социального предпринимательства имеют поколения X и Y, а потребителями услуг социального предпринимательства являются поколения «Беби-бумеров» и Y.

Соответственно актуальной является разработка программ развития социального предпринимательства с учетом необходимости вовлечения большего количества представителей поколения Z в данную сферу.

2. Оценка социально-экономической эффективности проектов в сфере социального предпринимательства

Рассмотренные выше мероприятия по развитию социального предпринимательства позволяют наладить эффективную организацию данного вида деятельности. Но стоит обратить внимание на следующий момент, о котором уже говорилось выше. Это его непопулярность в нашей стране. С этой точки зрения актуальным будет формирование инструмента для оценки результатов таких проектов для наглядного представления потенциальным предпринимателям данной сферы их эффективности.

Необходимость этой демонстрации обусловлена тем, что социальное предпринимательство – в любом случае деятельность, первоочередной целью которой является получение прибыли.

Здесь стоит отметить, что эффективность социального предпринимательства нельзя рассчитывать обычными способами, т. е. с точки зрения только финансового результата. Поэтому предлагается воспользоваться механизмом, предложенным в [12].

Его суть состоит в необходимости дать стоимостное определение социальной составляющей проекта. Для этого предлагается использовать комплексный показатель социальной эффективности (СЭ) проекта:

$$E_S = C_{SE} \cdot C_{RU}, \quad (1)$$

где C_{SE} – коэффициент СЭ;

C_{RU} – коэффициент региональной полезности.

В рамках представленного механизма проект рассматривается как инвестиционный и для него необходимо просчитать величину чистого дисконтированного дохода (*NPV*).

Оценка социальной эффективности осуществляется с помощью системы показателей социальной эффективности проекта.

Коэффициент СЭ проекта рассчитывается как

$$C_{SE} = \sum_{i=0}^{P} \left(ISE_i \times W_i \right), \quad (2)$$

где ISE_i – показатель СЭ (рис. 9), % (определяется экспертным путем);

W_i – вес – это значимость показателя, % (определяется экспертным путем);

P – количество показателей;

i – номер показателя.

Стоит отметить, что в качестве экспертов чаще всего выступают инвесторы, также это могут быть и другие заинтересованные лица.

Коэффициент региональной полезности определяется как

$$C_{RU} = (P_S + P_I + L_P) / 3, \quad (3)$$

где P_S – соотношение уровней обеспеченности услугами, оказываемыми в ходе реализации проекта, в расчете на душу населения (РФ к региону);

P_I – соотношение уровней обеспеченности инвестициями в основной капитал в расчете на душу населения (РФ к региону);

L_P – соотношение среднегодовых уровней цен на услуги, оказываемые в ходе реализации проекта, в расчете на 1 услугу (регион к РФ).

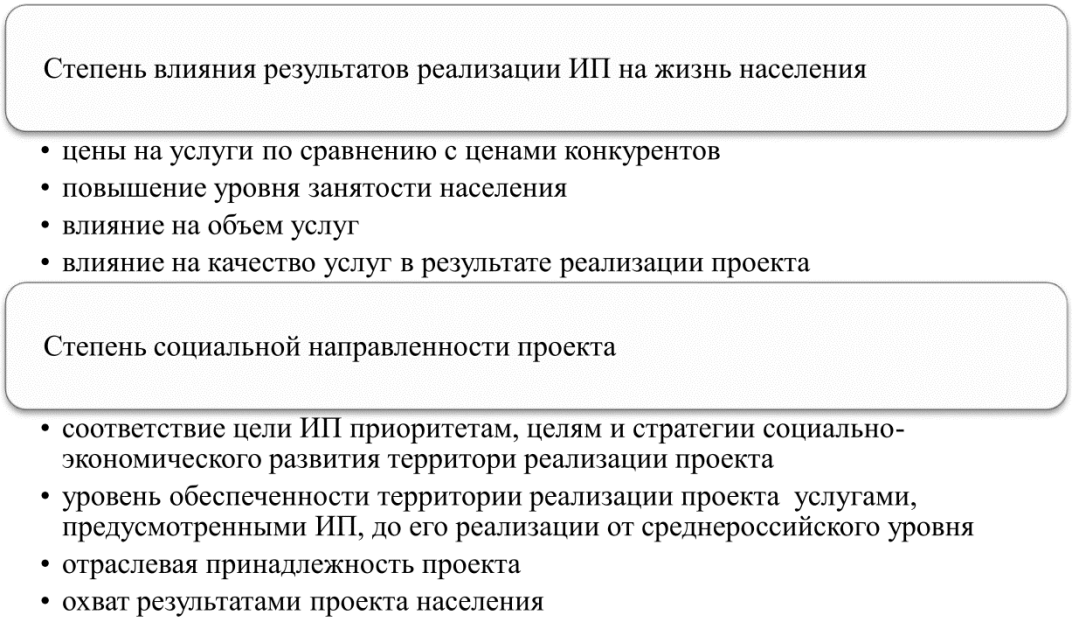


Рис. 9. Возможные варианты показателей СЭ

Теперь, используя величину E_S, рассчитаем размер чистого дисконтированного дохода с учетом социально-экономического эффекта (СЭЭ). Таким образом, получим новую величину, которая отражает СЭЭ проекта и представляет собой его увеличенный чистый дисконтированный доход с учетом социальной эффективности:

$$NPV_{soc} = E_S \times NPV \,. \quad (4)$$

Рассчитаем дополнительную ценность,

$$\Delta = \left(NPV_{soc} - NPV \right), \quad (5)$$

которая отражает добавочную полезность конкретного проекта для экономики региона и населения, т. е. абстрактную величину СЭ.

Рассчитанные по (4) и (5) показатели могут быть использованы для различных целей:

- выбор наиболее эффективного проекта сферы социального предпринимательства из некоторой совокупности таких проектов [13];
- построение рейтинга проектов социального предпринимательства [14];
- определения доли СЭ в общей стоимости проекта Δ / NPV, которая будет отражать деловую репутацию проекта [12], что будет полезным для определения его социальной значимости и инвестиционной привлекательности в рамках сферы социального предпринимательства и др.

Заключение

Таким образом, в рамках предлагаемого комплексного подхода к развитию социального предпринимательства рекомендовано акцентировать внимание на работе сразу по нескольким направлениям:

- государство – обеспечение реализации большего количества проектов ГЧП в социальной сфере;
- крупный бизнес – повышение уровня КСО, в частности путем вовлечения в социальное предпринимательство;
- малый бизнес – тиражирование успешных практик социального франчайзинга, обучение по соответствующему направлению;
- общество – учет «Теории поколений» при разработке программ социального предпринимательства;
- применение комплексной методики оценки социальных проектов, учитывающей не только экономический, но и социальный эффект.

Литература

1. Баркалов, С.А. ГЧП в социальной сфере: проблема выбора эффективной модели / С.А. Баркалов, Л.А. Мажарова // Экономика и менеджмент систем управления. – 2018. – Т. 30, № 4. – С. 4–11.

2. Ведомости. Официальный сайт. – https://www.vedomosti.ru/partner/articles/2018/10/05/782341-nuzhno-razvitiya.

3. Баринова, В. Зарубежный опыт развития социального предпринимательства и возможность его применения в России / В. Баринова. – М.: Изд-во Ин-та Гайдара, 2018. – 100 с. – (Научные труды / Ин-т экономической политики имени Е.Т. Гайдара; № 174Р).

4. Центр развития государственно-частного партнерства. Официальный сайт. – http://pppcenter.ru/.

5. VEGAS LEX. Официальный сайт. – https://www.vegaslex.ru/.

6. Авдеева, Е.А. Корпоративная культура, её типология и особенности управления / Е.А. Авдеева, Т.А. Аверина / Экономика и менеджмент систем управления. – 2013. – Т. 7, № 1-1. – С. 124–134.

7. Корпоративное управление: учеб. пособие / сост.: Т.А. Аверина, С.А. Баркалов, Е.В. Баутина, А.С. Скогорева; Воронежский ГАСУ. – Воронеж: Издательство РИТМ, 2016. – 394 с.

8. Центр социальных программ РУСАЛ. Официальный сайт. – https://fcsp.ru/program/ business_people/sostav/.

9. Социальное предпринимательство России. Официальный сайт. – http://soindex.ru/companies/categories.

10. Howe, Neil; Strauss, William 1991: Generations: The History of America's Future, 1584 to 2069. – New York: William Morrow and Company.

11. Ярмарка социальных франшиз. Официальный сайт. – http://соцфраншиза.рф.

12. Богданова, А.С. Оценка эффективности инвестиционных проектов, имеющих социальную направленность / А.С. Богданова // IV Международная студенческая электронная научная конференция «Студенческий научный форум» (15 февраля – 31 марта 2012 года) / https://www.rae.ru/forum2012/21/2460.

13. Баркалов, С.А. Модель определения последовательности выполнения проектов инвестиционной программы, дающей максимальную социально-экономическую результативность / С.А. Баркалов, О.С. Перевалова, Н.В. Санина / Экономика и менеджмент систем управления. – 2017. – Т. 24, № 2-2. – С. 243–248.

14. Перевалова, О.С. О социальной значимости инвестиционных проектов / О.С. Перевалова // Управление строительством. – 2017. – № 1 (9). – С. 68–73.

Аверина Татьяна Александровна, канд техн. наук, доцент кафедры управления строительством, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж; ta_averina@mail.ru.

Бартенева Алена Андреевна, магистрант кафедры управления строительством, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж.

Перевалова Ольга Сергеевна, канд техн. наук, доцент кафедры управления строительством, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж.

Поступила в редакцию 10 марта 2019 г.

DOI: 10.14529/ctcr190210

DIRECTIONS OF SOCIAL ENTREPRENEURSHIP DEVELOPMENT IN THE REGION

T.A. Averina*[*], *A.A. Barteneva*, *O.S. Perevalova

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation

[*] *ta_averina@mail.ru*

Social services are different from services provided by enterprises and organizations in other sectors of the non-productive part of the economy, because they are created and distributed in the interests of all members of society. To create a competent management mechanism of social entrepreneurship development, it is necessary to implement a number of activities. The paper presents an approach to the organization of social entrepreneurship in the region, a feature of which is integrated development from the standpoint of various stakeholders, in particular, the state, large business, small business and society. It is noted that at present, an effective mechanism for the development of social entrepreneurship is the implementation of PPP projects, since, at low cost on the part of the state, it can increase the volume of provided social services. Effective tool in the development of social entrepreneurship is corporate social responsibility. Thanks to the creation of Social Innovation Centers, Social Entrepreneurship Schools, Mentoring Institutions, Resident Clubs, Partnership Programs, the involvement of small social enterprises in Event Management, large companies can contribute to the development of social entrepreneurship in the regions. It has been revealed that a promising mechanism for the development of social entrepreneurship is the spread of social franchises of already established entrepreneurs. This requires the implementation of the following activities:

organizing a benchmarking club for social entrepreneurs, creating a single electronic directory of social franchises in the region (district, country), popularizing information about their activities through the media, conducting training seminars and webinars. The necessity of taking into account the «Theory of Generations» in the development and implementation of social entrepreneurship has been determined. Accordingly, it is necessary to create programmes for the development of social entrepreneurship, taking into account the need to involve more representatives of generation Z. In addition, the work focuses on assessing the social efficiency of social sphere projects. For these purposes, an approach which allows determining the cost expression of projects social efficiency is considered, and the directions for using this indicator are identified.

Keywords: social entrepreneurship, development, management, investment, social effect.

References

1. Barkalov S.A., Mazharova L.A. [PPP in the Social Sphere: the Problem of Choosing an Effective Model]. *Economics and Management of Control Systems*, 2018, vol. 30, no. 4, pp. 4–11. (in Russ.)

2. *Vedomosti. Ofitsial'nyy sayt* [Vedomosti. Official Site]. Available at: https://www.vedomosti.ru/partner/articles/2018/10/05/782341-nuzhno-razvitiya.

3. Barinova V. *Zarubezhnyy opyt razvitija social'nogo predprinimatel'stva i vozmozhnost' ego primenenija v Rossii* [Foreign Experience in the Development of Social Entrepreneurship and the Possibility of its Use in Russia]. Moscow, Publishing House of Univ. Gaidar, 2018. 100 p.

4. *Tsentr razvitiya gosudarstvenno-chastnogo partnerstva. Ofitsial'nyy sayt* [Center for the Development of Public-Private Partnerships. Official Site]. Available at: http://pppcenter.ru/.

5. *VEGAS LEX. Ofitsial'nyy sayt* [VEGAS LEX. Official Site]. Available at: https://www.vegaslex.ru/.

6. Avdeeva E.A., Averina T.A. [Corporate Culture, Its Typology and Management Features]. *Economics and Management of Control Systems*, 2013, vol. 7, no. 1-1, pp. 124–134. (in Russ.)

7. Averina T.A., Barkalov S.A., Bautina E.V., Skogareva A.S. *Korporativnoe upravlenie: ucheb. posobie* [Corporate Management: Studies Manual]. Voronezh, "RITM Publishing House", 2016. 394 p.

8. *Tsentr sotsial'nykh programm RUSAL. Ofitsial'nyy sayt* [Center for Social Programs RUSAL. Official Site]. Available at: https://fcsp.ru/program/business_people/sostav/.

9. *Sotsial'noye predprinimatel'stvo Rossii. Ofitsial'nyy sayt* [Social Entrepreneurship in Russia. Official Site]: Available at: http://soindex.ru/companies/categories.

10. Howe N., Strauss W. Generations: The History of America's Future, 1584 to 2069. New York, William Morrow & Company, 1991.

11. *Yarmarka sotsial'nykh franshiz. Ofitsial'nyy sayt* [Social Franchise Fair. Official Site]. Available at: http://соцфраншиза.рф.

12. Bogdanova A.S. [Evaluation of the Effectiveness of Investment Projects with a Social Orientation]. *IV Mezhdunarodnaya studencheskaja elektronnaya nauchnaja konferentsiya "Studencheskiy nauchnyy forum" (15 fevralya – 31 marta 2012 goda)* [IV International Student Electronic Scientific Conference "Student Scientific Forum" (February 15 – March 31, 2012)]. Available at https://www.rae.ru/forum2012/21/2460.

13. Barkalov S.A., Perevalova O.S., Sanina N.V. [Model of Determining the Sequence of Implementation of Projects of the Investment Program, Which Gives the Maximum Socio-Economic Performance]. *Economics and Management of Control Systems*, 2017, vol. 24, no. 2-2, pp. 243–248. (in Russ.)

14. Perevalova O.S. [On the Social Significance of Investment Projects]. *Construction Management*, 2017, no. 1 (9), pp. 68–73. (in Russ.)

Received 10 March 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Аверина, Т.А. Направления развития социального предпринимательства в регионе / Т.А. Аверина, А.А. Бартенева, О.С. Перевалова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 117–127. DOI: 10.14529/ctcr190210

FOR CITATION

Averina T.A., Barteneva A.A., Perevalova O.S. Directions of Social Entrepreneurship Development in the Region. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 117–127. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr190210

Автоматизированные системы управления технологическими процессами

УДК 681.51.011 **DOI: 10.14529/ctcr190211**

ВЫБОР РЕШЕНИЙ ПРИ ОПЕРАТИВНОМ НЕЙРОУПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССОМ ПОМОЛА ШИХТЫ В ЦЕМЕНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Л.С. Казаринов, Дж.Р. Хасанов

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Предлагается метод нейроуправления технологическим процессом помола шихты в цементном производстве с целью повышения его энергоэффективности. Необходимость применения нейроуправления вызвано тем, что качество помола и потребление ресурсов зависит от многих факторов, которые представляют большие трудности их измерения и прогнозирования показателей эффективностей. Достоверное измерение влияющих факторов необходимо для решения задачи определения наилучшего сочетания объема шаровой нагрузки помола и необходимого количества твердых веществ для оптимизации показателя уменьшения размера частиц шихты при минимальном удельном расходе энергии. Нейроуправление строится на основе обучения нейронной сети с учителем, в роли которого выступает опытный оператор мельницы, реализующий эффективное управление процессом помола. Контроллер, построенный на основе нейронных сети, должен работать в реальном времени и отражать текущее состояние процесса помола. Выбор решений при решении задачи оперативного управления с использованием нейронной сети относится к классу многокритериальных задач. В работе предложен метод принятия решений, исходя из множества допустимых технических условий, накладываемых на процесс помола. Подобная постановка задачи в общем случае является противоречивой. В работе предложен подход к решению данной задачи на основе определения максимального числа совместных взвешенных условий, налагаемых на процесс. Подобный подход позволяет организовать интерактивную процедуру выбора допустимого решения при оперативном управлении процессом помола. Предложена оперативная компьютерная модель процесса помола клинкера при производстве цемента.

Ключевые слова: цемент, клинкер, нейронный сеть, шихта, процесс помола, оперативное управление, выбор решений в противоречивой постановке.

Введение

Технологический процесс помола относится к энергоемким производствам. Вопросы, связанные с уменьшением энергопотребления, повышением качества и оптимизацией технологического процесса помола, являются актуальным.

На эффективность процесса измельчения влияет как скорость размола, так и скорость транспортировки шихты через мельницу, которые, в свою очередь, зависят от конструктивных и эксплуатационных факторов, таких как профиль гильзы, объем груза, свойства суспензии и скорость вращения мельницы [1–3]. Известно, что на станках с переменной скоростью, характерных для обычных шаровых мельниц, свойства суспензии и объем загрузки являются наиболее влиятельными рабочими факторами [4, 5].

Клинкер транспортируется к мельнице, чтобы быть измельченным в мелкий порошок – цемент. Для контроля заданных свойств получаемого цемента добавляется небольшое количество гипса во время измельчения. Весьма типично добавлять определенное количество воды и небольшие количества органических шлифовальных добавок для контроля температуры мельницы и облегчения процесса измельчения. Смешанные цементы и кладочные цементы могут включать большие добавки (до 40 %) [6]. Наиболее распространенным оборудованием для измельчения цемента является шаровая мельница, заполненная стальными шарами. Материал, подаваемый через мельницу, измельчается при ударе и при истирании между шарами. Для повышения эффек-

тивности системы замкнутого цикла широко используется при измельчении цемента материал, выходящий из шаровой мельницы, который направляется в сепаратор и разделяется на крупную и мелкую фракции. Грубая фракция направляется на вход мельницы для повторного измельчения, а мелкая фракция становится цементом. Скорость начальной реакции цемента и воды прямо пропорциональна удельной поверхности цемента [7], поэтому процесс измельчения тщательно контролируется для получения продукта с желаемыми характеристиками тонкости.

С другой стороны, уровень заполнения мельницы (объем нагрузки) определяет режим движения нагрузки внутри мельницы и интенсивность помола. Эти события в значительной степени влияют на потребление энергии и скорость сокращения размеров. Понимание основных эффектов взаимодействия двух рабочих факторов производительности мельницы имеет важное значение для установления оптимальных параметров для эффективного помола.

При производстве цемента невозможно измерить все параметры помола, поэтому является перспективным применение современных интеллектуальных технологий на основе нейронных сетей. Применение нейронных сетей вызывает определенную сложность, так как требуется статистика за длительный период. Поскольку параметры исходных материалов могут достаточно быстро изменяться, то актуальной задачей здесь является оперативная настройка сети.

1. Нейроуправление процессом помола шихты в цементном производстве

Нейронные сети обладает целым рядом свойств, привлекательных с точки зрения их практического использования на процессах измельчения и классификации:

- высокое быстродействие за счёт использования параллелизма обработки информации;
- толерантность к ошибкам: работоспособность сохраняется при повреждении значительного числа нейронов;
- способность к обучению, программирование вычислительной системы заменяется обучением.

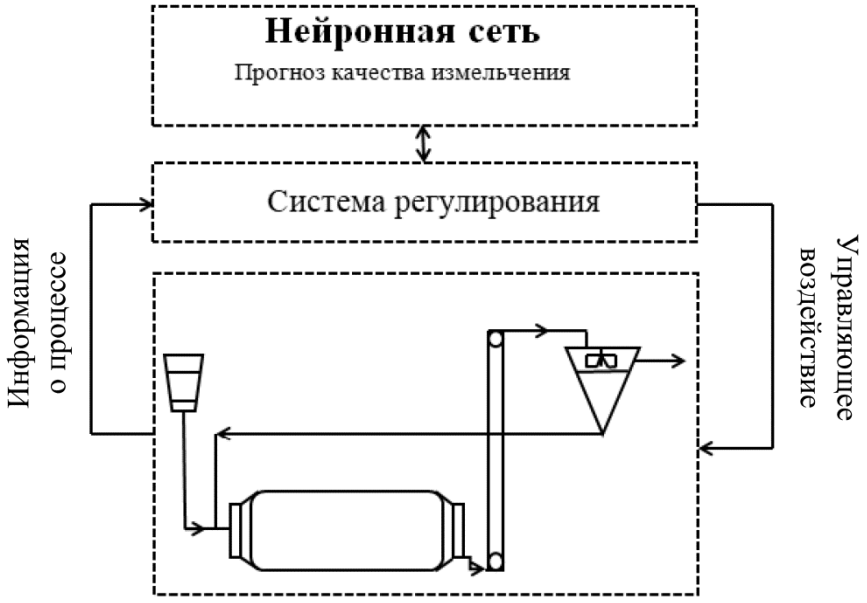


Рис. 1. Структура системы управления процессом помола замкнутого цикла

Эффективное управление процессом (рис. 1) имеет большое значение для увеличения пропускной способности контура измельчения и качества конечного продукта, а также для значительного сокращения производственных затрат, особенно в отношении потребления энергии, составляющего высокий процент таких затрат [6]. В качестве метода управления применяется нейронная сеть, на основе которой осуществляется прогнозирование поведения объекта управления при различных входных воздействиях. Обратная связь в таких системах управления используется для корректировки неточностей, связанных с внешними помехами и неточностью математической

модели объекта управления. Регулятор полагается на эмпирическую модель процесса для того, чтобы предсказать дальнейшее его поведение, основываясь на предыдущих значениях переменных состояния [6, 7].

2. Замкнутый цикл измельчения

При измельчении в замкнутом цикле измельченный в мельнице материал поступает в сепаратор, отделяющий готовый продукт от класса крупной «крупки», которая возвращается в мельницу для измельчения (рис. 2). Крупка циркулирует в системе сепаратора, пока не будет измельчена до требуемой крупности [8–15].

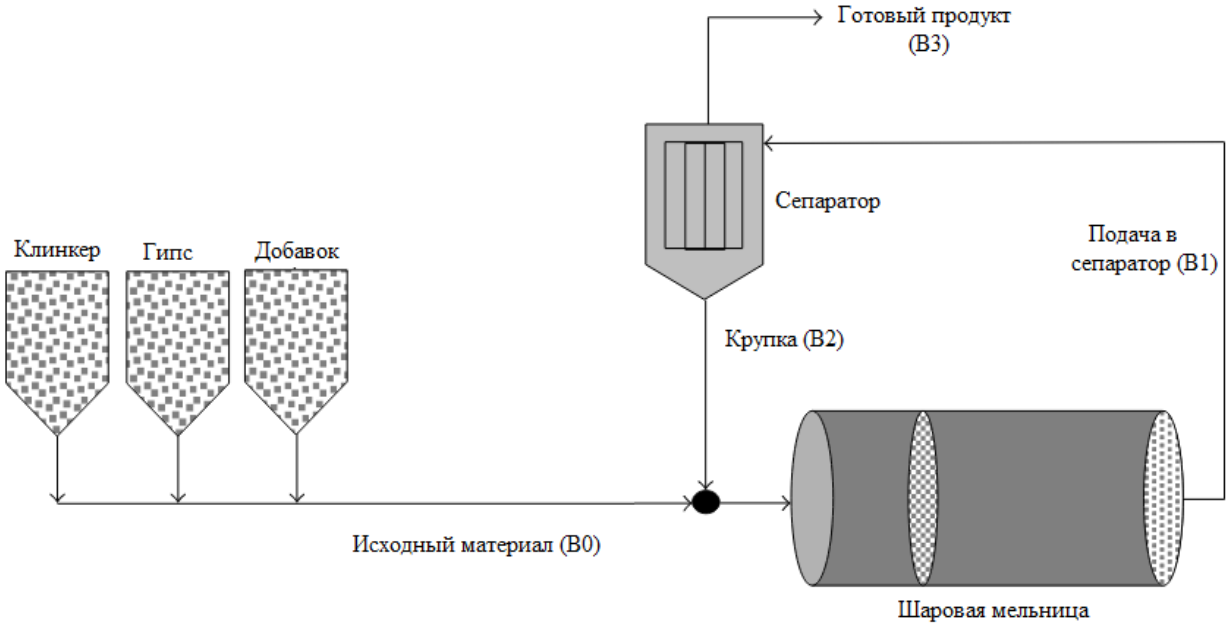


Рис. 2. Измельчение с замкнутым контуром

Исходный материал (B0) (клинкер, гипс и добавок) поступает в мельницу. После измельчения элеватор передает весь измельченный материал (B1) в роторный сепаратор, где он разделяется на две фракции. Грубая фракция представляет собой отбраковку (крупка) сепаратора (B2), которая отправляется обратно на мельницу для дополнительного цикла измельчения, тогда как мелкая фракция становится конечным продуктом (B3).

Конструктивные параметры промышленной трубной мельницы и роторного сепаратора приведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные параметры трубной шаровой мельницы и сепаратора

Трубная шаровая мельница	Отделение		Роторный сепаратор	
	1	2		
Внутренний диаметр, м	3,6	3,7	Диаметр ротора, м	2
Внутренняя длина, м	3,6	8,4	Высота ротора, м	1,6
Степень наполнения, %	29,5	34	Мощность мотора, кВт	110
Вес загрузки, т	43	138	Скорость ротора, об/мин	260
Размер шаров, мм	20–50	15–20	Мощность вентилятора, кВт	280
Мощность двигателя мельницы, кВт	3200		Расход воздуха, $м^3$/мин	1500
Скорость мельницы, об/мин	17		–	–
Мощность двигателя вентилятора, кВт	150		–	–
Производительность, т/ч	90		–	–

Рабочие условия мельницы, работающей в замкнутом контуре с сепараторам, могут быть выражены следующими основными уравнениями:

$$B1a = B3b + B2c;$$

$$B1 = B3 + B2 = B0 + B2,$$

где $B0$ – количество исходного материала, поступающего в мельницу;

$B1$ – количество материала, поступающего в сепаратор;

$B2$ – количество «крупки»;

$B3$ – количество готовой продукции;

a, b, c – количество мелкой фракции, проходящей через контрольное сито, соответственно, в материале, поступающем в сепаратор; в готовом продукте – крупке, %.

При измельчении в замкнутом цикле количество готового продукта всегда равно количеству исходного материала, при повторном входе в измельчение циркулирующие зерна могут быть в несколько раз больше исходного материала. Циркулирующего материала (крупки) может быть в несколько раз больше, чем исходного материала.

Стационарное количество циркулирующего зерна называется циркулирующей нагрузкой, которая может быть выражена относительным значением А, т. е. отношением количества крупки, возвращаемой в сепаратор, к количеству готовых продуктов или исходного материала:

$$A = \frac{B2}{B3} \text{ или } A = \frac{B2}{B0}.$$

При замкнутом цикле на мельницу подается комбинированная нагрузка, состоящая из исходного материала и циркулирующей крупки; ее относительная величина называется кратностью циркуляции:

$$C_{\text{ц}} = \frac{B1}{B3} \text{ или } C_{\text{ц}} = \frac{B1}{B0}.$$

Кратность циркуляции можно определить по результатам просева на ситах по формуле

$$C_{\text{ц}} = \frac{bc}{a-c}.$$

Производительность сепаратора характеризуется значением КПД, т. е. отношение количества мелких фракций в готовом продукте к количеству их в материале, поступающем в сепаратор:

$$\text{КПД} = \frac{bB3}{aB1}.$$

КПД может быть определен по результатам просева на ситах:

$$\text{КПД} = \frac{b}{a} \cdot \frac{a-c}{b-c}.$$

При замкнутом цикле измельчения производительность мельницы с тем же энергопотреблением возрастает с увеличением коэффициента циркуляции. Чем больше коэффициент циркуляции, тем больше загрузка материала в мельницу. Поскольку количество материалов в мельнице остается практически постоянным, увеличение количества загружаемого материала в мельнице влияет только на скорость прохождения материала через мельницу.

Увеличение скорости прохождения материала через мельницу с увеличением кратности циркуляции способствует повышению эффективности работы шаров, что в свою очередь также вызывает увеличение производительности мельницы.

Следовательно, для каждого измельчаемого материала должна быть выбрана его собственная оптимальная кратность циркуляции в зависимости от его физико-механических свойств.

С.Е. Андреевым и рядом других исследователей [16] установлено, что отрицательное влияние низкой эффективности сепаратора на производительность мельницы влияет больше при малых значениях кратности циркуляции, чем при высоких значениях. Одним из условий нормальной работы центробежных сепараторов является их постоянная равномерная загрузка материала. Неравномерность подачи материала в сепаратор приведет к снижению качества сепарации и приведет к увеличению содержания готовой мелкой фракции в крупках, возвращаемых на мельницу, и в грубых материалах в готовом продукте.

3. Потребность в энергии для производства цемента

Производство цемента является энергоемким процессом. Типичное энергопотребление современного цементного завода составляет около 110–120 кВт·ч на тонну производимого цемента [17]. В то время как постоянно растущий мировой спрос на цемент растет, спрос на энергию на заводе также растет. Несмотря на технологические инновации последних десятилетий, нацеленные на повышение эффективности производственного процесса (сухой процесс по сравнению с мокрым; использование подогревателей, предварительных кальцинаторов, высокоэффективных динамических сепараторов и т. д.), цементный завод сегодня имеет постоянно увеличивающееся общее потребление энергии благодаря более высоким производственным показателям, возврату к углю, повышению тонкости цемента и более строгим требованиям по защите окружающей среды [17].

Распределение общей энергии, потребляемой цементным заводом, между этапами производственного процесса показано на рис. 3.

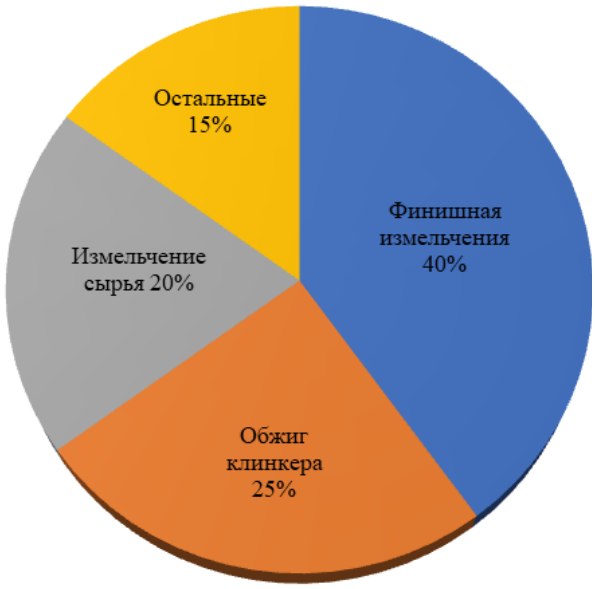


Рис. 3. Распределение энергии среди оборудования для производства цемента

Несмотря на то, что печь является крупнейшей движущейся частью оборудования на цементном заводе, она использует только 25 % энергии завода. Наиболее энергоемким процессом производства цемента является финишный помол, который потребляет в среднем 40 % всей энергии, необходимой для производства тонны цемента [17]. Такое высокое значение может быть оправдано тем фактом, что значительное количество энергии, подаваемой двигателем мельницы, выделяется в виде тепла, создаваемого трением в измельчающей среде. Кроме того, потребность в энергии измельчения гиперболически возрастает с увеличением крупности частиц цемента [6].

В реальных условиях эксплуатации мельницы параметры процесса помола могут изменяться, в этом случае стоят задачи оперативной перенастройки нейронной сети. Эту задачу во многих случаях решить сложно, так как текущие данные эксплуатации могут не содержать достаточно информации о параметрах процесса.

В работе предлагается метод принятия решения по выбору управляющих факторов с учетом заданных технико-экономических ограничений, который позволяет оператору выбрать оптимальные параметры для загрузки мельницы, чтобы получить качественный продукт при минимизации потребляемых ресурсов.

4. Решение задачи рационального выбора параметров загрузки мельницы

Особенность задачи выбора рационального выбора параметров загрузки мельницы состоит в том, что число управляющих факторов невелико, а количество ограничений значительно превышает число управляющих факторов.

Действительно, в качестве управляющих факторов мы будем рассматривать величину загрузки мельницы x_1 – клинкер, x_2 – гипс и x_3 – добавки. Выходными параметрами являются множество показателей $\{y_i\}$ согласно табл. 2. Ограничения на показатели:

$$a_i \le y_i \le b_i . \quad (1)$$

На основе построения эмпирических зависимостей с использованием метода наименьших квадратов и нейронных сетей можно получить

$$y_i = h_i(x_1, x_2, x_3) . \quad (2)$$

С учетом (1) и (2) можно получить

$$a_i \le h_i(x_1, x_2, x_3) \le b_i ; \; i = 1, 2, 3\ldots \quad (3)$$

Таблица 2

Данные, собранные с течением времени во время промышленного измельчения за день

День/ время, ч:мин	Подача ($B0$), т/ч	Отклонено (крупка) ($B2$), т/ч	Удельный расход электроэнергии кВт·ч/т	Блейн, $см^2/г$	Звук мельницы, дБ	Мощность двигателя мельницы, %	Роторный мотор, кВт	Расход воздуха, $м^3/мин$	Циркулирующая нагрузка
1/8:00	25,5	12,9	28	3820	82	79,3	108,4	1366	1,43
1/9:00	26	11	28,1	3840	83,3	79,1	105,6	1380	1,45
1/10:00	25,5	12,7	28,3	3885	81,9	79,3	108	1365	1,43
1/11:00	26,5	12,3	28	3850	82,7	79,3	108,3	1294	1,43
1/12:30	32,6	15	28,1	3660	86,1	74	113,5	1310	1,56
1/13:00	34	17	29	3835	85	75,9	113,8	1406	1,73
1/14:00	35,6	18	29,4	4105	85,7	76,1	122	1415	1,69
1/15:00	38,1	17,3	30	3860	81,3	78,5	121	1303	1,62
1/16:00	38,6	19,1	32	3825	80,7	78,8	128,1	1304	1,58
1/17:00	32,6	11,8	28,9	3660	86,1	74	113,5	1310	1,56
1/18:00	34	16,5	28,1	3835	85	75,9	113,8	1406	1,73
1/19:00	35,6	16,8	28,3	4105	85,7	76,1	122	1415	1,69
1/20:00	38,1	19,2	29,2	3860	81,3	78,5	121	1303	1,62

В итоге рациональный выбор параметров загрузки мельницы состоит в формальном решении системы неравенств (3).

Для решения система неравенств приводится к канонической форме:

$$h_i\left(x_1, x_2, x_3\right) - b_i \le 0; \tag{4а}$$

$$a_i - h_i\left(x_1, x_2, x_3\right) \le 0. \tag{4б}$$

Формально неравенство (4) можно писать в следующем виде:

$$f_i\left(x_1, x_2, x_3\right) \le 0. \tag{5}$$

В общем случае система неравенств (5) является несовместной. Поэтому решение задачи рационального выбора параметров загрузки мельницы математически сводится к решению системы несовместных неравенств:

$$f_i\left(x\right) \le 0, \ \ i \in I_{\text{нер}}. \tag{6}$$

Здесь $I_{\text{нер}}$ – множество значений индексов неравенств соответственно; x – вектор искомых параметров; $f_i(x)$ – монотонные, непрерывные и дифференцируемые функции. Необходимо определить максимально совместную подсистему уравнений и неравенств (6) по критерию

$$\max_{(x)} C\left(x\right), \ \ C\left(x\right) = \Phi\left(\mu\left(x\right)\right), \tag{7}$$

где μ – вектор, составленный из характеристических функций μ_i неравенств ($\mu_i = 1$, если i-е неравенство выполняется, в противном случае $\mu_i = 0$); $\Phi(\mu)$ – монотонная положительно определенная числовая функция булевых переменных μ.

В частном случае критерий (7) имеет вид

$$C\left(x\right) = \sum_{j=1}^{m} \alpha_j \mu_j\left(x\right), \tag{8}$$

где α_j – весовые коэффициенты, удовлетворяющие условиям

$$\forall_j \alpha_j \ge \sum_{j=1}^{m} \alpha_j = 1.$$

Решение системы неравенств (6) по критерию (8) позволяет выделить среди всех максимально совместных подсистем системы (6) такую подсистему, которая обладает максимальным суммарным весом. Другими словами, в данном случае выделяется максимально совместная подсис-

тема, наиболее важная с точки зрения решаемой предметной задачи. При равенстве весов решение задачи (6), (8) выделяет максимально совместную подсистему с максимальным числом неравенств. В общем случае, когда рассматривается задача (6), (7), соответствующее решение позволяет выделить максимально совместную структуру неравенств, оптимальную по обобщенному критерию (6).

Содержательная интерпретация рассмотренного выше алгоритма поиска оптимальных решений в противоречивых условиях состоит в следующем.

На начальном этапе лицо, принимающее решения (ЛПР), формулирует набор условий, которым должно удовлетворять искомое решение. Понимая, что не все желательные условия могут быть выполнены, ЛПР формулирует предпочтения, определяющие желательность выполнения отдельных условий, а также общую целевую функцию, которая количественно выражает степень выполнения поставленных условий в целом.

С математической точки зрения целевая функция представляет собой отображение

$$\mu \xrightarrow{\phi_1} C,\ \mu = (\mu_1, \mu_2, \ldots \mu_n)^T,$$

где

$$\mu_j = \begin{cases} 1, \text{ если } \gamma_j \in D_j; \\ 0, \text{ если } \gamma_j \notin D_j; \ j = 1, 2, \ldots, n. \end{cases}$$

Здесь каждое *j*-е условие описывается вектором своих параметров γ_j. Само условие представляется в виде области допустимых значений параметров D_j. Характеристическая функция условия μ_j определяет факт принадлежности вектора параметров γ_j соответствующей области допустимых значений D_j.

Далее, основываясь на рассмотренном выше методе ветвей и границ, ЛПР осуществляет глобальный поиск оптимального решения поставленной задачи согласно приведенному выше алгоритму. Однако полученное решение в общем случае может не оправдывать ожидания ЛПР. Часть поставленных условий при этом не будут выполнены и реальное значение целевой функции $C^{\text{р}}(\ell_n)$ будет меньше ожидаемого $C^{\text{ож}}_{\max}$. Поэтому полученное решение x_1^{opt} будет являться частным.

Дальнейшее развитие процесса решения задачи может осуществляться на основе двух подходов.

Первый подход основывается на переводе недостигнутых ограничений в разряд частных целевых функций. В результате может быть поставлена задача оптимизации, в которой ограничениями выступают выполненные ограничения, а в качестве целевой функции используется обобщенная целевая функция, составленная из частных целевых функций недостигнутых ограничений. В результате решения подобной задачи оптимизации будут определены величины ограничений, необходимые для непротиворечивой постановки задачи выбора решений.

Необходимо отметить, что в общем случае каждое ограничение отражает определенный аспект рассмотрения реального объекта оптимизации, за которым стоят специальные теории и технические решения. Поэтому постановка задачи снятия частных ограничений приводит к соответствующим задачам специальных научно-практических исследований.

Второй подход основывается на следующем.

После получения частного решения ЛПР стремится достичь невыполненные ограничения в том виде, в каком они были поставлены, и сосредоточит на этой цели свое внимание. В результате изменится структура предпочтений ЛПР, соответственно изменится и целевая функция задачи:

$$\mu \xrightarrow{\phi_2} C.$$

Решение поставленной задачи с измененной структурой целевой функции позволит получить следующее оптимальное решение x_2^{opt}, для которого уже будут выполняться ранее не выполнившиеся условия. Однако и это решение в общем случае также будет частным, так как не все условия поставленной задачи будут выполняться.

Процесс изменения структуры целевой функции и повторные решения задачи могут итеративно повторяться до тех пор, пока на совокупности полученных частных решений $\{x_1^{opt}, x_2^{opt}, \ldots\}$ не будут выполнены все поставленные условия. Дальнейшее движение вперед основывается на неформальном содержательном изучении данной совокупности частных решений с целью исследования возможности их логического объединения в целостную систему. В общем случае полученные частные решения противоречат друг другу, характеризуются несовместимыми свойствами. Поэтому объединить их можно лишь на абстрактном уровне путем отвлечения от несовместимых свойств и выдвижения на этой основе общей объединяющей идеи. Последующая разработка выдвинутой идеи должна опираться на всю совокупность знаний в рассматриваемой предметной области и представлять собой сложную интеллектуальную операцию синтеза конкретного решения. В результате подобной интерактивной процедуры можно прийти к синтетическому решению, логически объединяющему свойства, которые вначале были несовместимыми.

На рис. 4 представлена оперативная компьютерная модель процесса помола клинкера при производстве цемента.

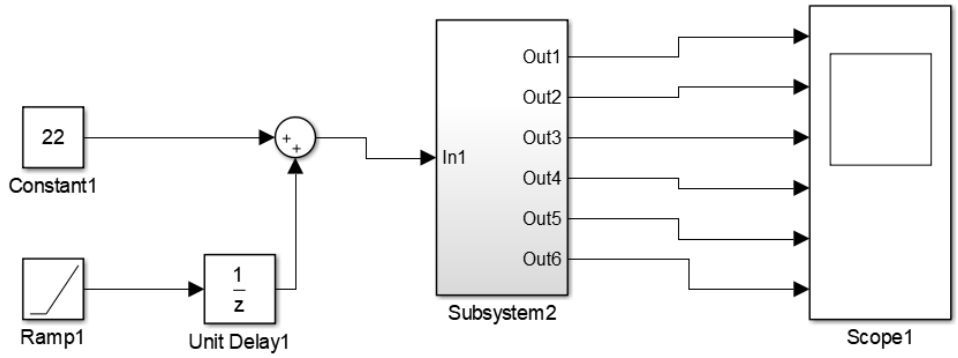


Рис. 4. Оперативная компьютерная модель процесса помола клинкера при производстве цемента

Результаты компьютерного моделирования процесса помола клинкера при производстве цемента представлены на рис. 5.

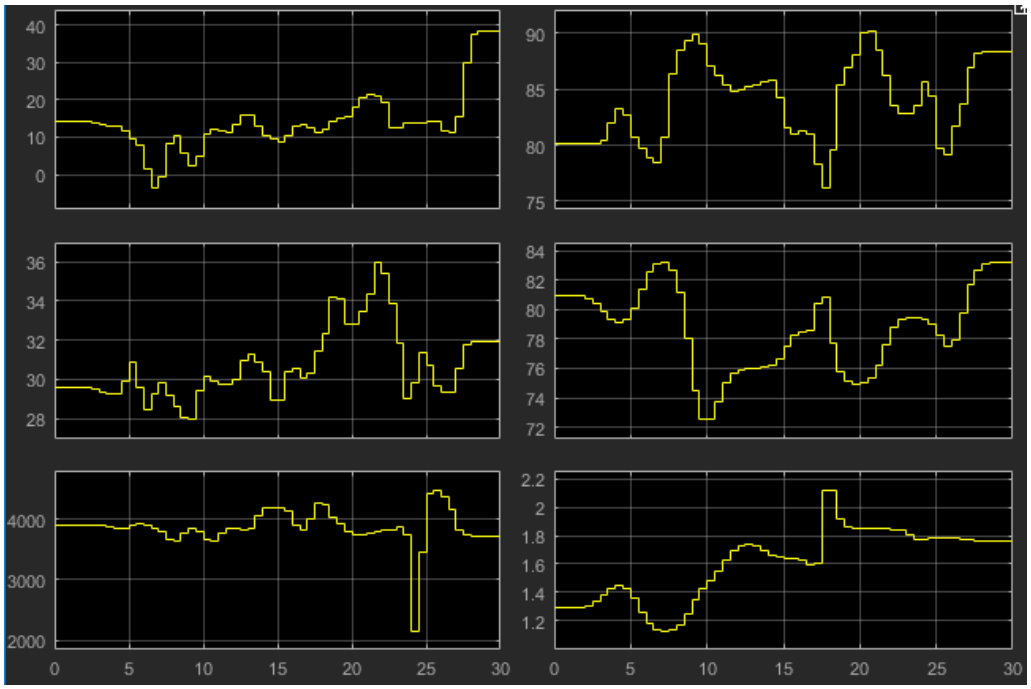


Рис. 5. Изменения крупки на повторном помоле (scope1); удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т (scope2); тонкость помола по Блейну, см^2/г (scope3); роторный мотор, кВт (scope4); мощность двигателя мельницы, кВт (%) (scope5) и циркулирующая нагрузка (scope6)

Таким образом, в результате исследования, проведенного на компьютерной модели процесса, выявлены конкретные технологические режимы проведения процесса помола клинкера при производстве цемента.

Заключение

Для повышения эффективности помола шихты в цементном производстве перспективным является использование нейронных сетей. Настройка нейронной сети, как правило, производится на основе статистики данных эксплуатации технологического процесса помола. Выбор решений при решении задачи оперативного управления с использованием нейронной сети относится к классу многокритериальных задач. В работе предложен метод принятия решений, исходя из множества допустимых технических условий, накладываемых на процесс помола. Подобная постановка задачи в общем случае является противоречивой. В работе предложен подход к решению данной задачи на основе определения максимального числа совместных взвешенных условий, налагаемых на процесс. Подобный подход позволяет организовать интерактивную процедуру выбора допустимого решения при оперативном управлении процессом помола.

Литература

1. Austin, L.G. Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling / L.G. Austin, R.R. Klimpel, P.T. Luckie. – New York: SME/AIME, 1984.

2. Songfack, P. Hold-up studies in a pilot scale continuous ball mill: Dynamic variations due to changes in operating variables / P. Songfack, R. Rajamani // International Journal of Mineral Processing. – 1999. – Vol. 57. – P. 105–123. DOI: 10.1016/S0301-7516(99)00010-1

3. Measurement of shear rates in a laboratory tumbling mill / I. Govender, N. Mangesana, A.N. Mainza, J.-P. Franzidis // Minerals Engineering. – 2011. – Vol. 24. – P. 225–229. DOI: 10.1016/j.mineng.2010.08.009

4. Makokha, A.B. Characterizing slurry hydrodynamic transport in a large overflow tubular ball mill by an improved mixing cell model based on tracer response data / A.B. Makokha, M.H. Moys // Powder technology. – 2011. – Vol. 211. – P. 207–214. DOI: 10.1016/j.powtec.2011.04.019

5. Optimisation of the secondary ball mill using an on-line ball and pulp load sensor – The Sensomag / P. Keshav, B. de Haas, B. Clermont et al. // Minerals Engineering. – 2011. – Vol. 24 (3). – P. 325–334. DOI: 10.1016/j.mineng.2010.10.011

6. Bhatty, J. Innovations in Portland Cement Manufacturing / J. Bhatty, F. Miller, S. Kosmatka. – Skokie, Ill, USA: Portland Cement Association, 2004. CD-ROM: SP400.

7. Mehta P.K. Concrete: structure, properties, and materials. – Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1986. 450 p.

8. Михелева, М.В. Управление асинхронным двигателем с изменяющейся нагрузкой при технологическом процессе помола клинкера: дис. ...канд. техн. наук / М.В. Михелева. – Белгород, 2010. – 140 с.

9. Чохонелидзе, А.Н. Разработка системы автоматизированного управления для замкнутой цепью измельчения с использованием метода управления с прогнозирующими моделями / А.Н. Чохонелидзе, Ф. Лемпого, В.Б. Аквей // Интернет-журнал «Науковедение». – 2014. – № 6 (25). – DOI: 10.15862/131TVN614

10. Аквей, В.Б. Разработка матричной модели замкнутой схемы измельчения / В.Б. Аквей, А.Н. Чохонелидзе, Ф. Лемпого // Интернет-журнал «Науковедение». – 2014. – № 3 (22).

11. Клюев, А.С. Техника чтения схем автоматического управления и техническою контроля / А.С. Клюев, Б.В. Глазов, М.Б. Миндин. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 420 с.

12. Кочетов, В.С. Автоматизациия производственных процессов и АСУП промышленности строительных материалов / В.С. Кочетов, А.А. Марченко, Л.Р. Немировский. – Л.: Стройиздат, 1981. – 417 с.

13. Пироцкий. В.З. Технологические системы измельчения (ТСИ) клинкера: характеристики и энергоэффективность / В.З. Пироцкий, В.С. Богданов // Цемент и его применение. – 1998. – № 6. – С. 12–16.

14. Голиков, В.М. Снижение энергозатрат при производстве цемента с применением вибрационных машин / В.М. Голиков, С.В. Репин, А.И. Сапожников // Вестник Тувинского государственного университета. Технические и физико-математические науки. – 2016. – № 3. – С. 105–113.

15. Потапов, Ф.П. Повышение эффективности размола / Ф.П. Потапов // Международная научно-техническая конференция молодых ученых: сб. науч. тр. науч.-практ. конф. – Белгород: БГТУ, 2009. – С. 97–109.

16. Андреев, С.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / С.Е. Андреев, В.В. Зверевич, В.А. Перов. – М.: Госгортехиздат, 1961. – 384 с.

17. Alsop P. Cement plant operations handbook for dry process plants / P. Alsop. – Tradeship Publications Ltd., Portsmouth, United Kingdom, 2001. – 159 p.

Казаринов Лев Сергеевич, д-р техн. наук, заведующий кафедрой автоматики и управления, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; kazarinovls@susu.ru.

Хасанов Джасурджон Рустамджонович, аспирант, кафедра автоматики и управления, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; jacur@mail.ru.

Поступила в редакцию 1 марта 2019 г.

DOI: 10.14529/ctcr190211

SELECTION OF SOLUTIONS FOR THE OPERATIONAL NEUROCONTROL OF THE MIXTURE GRINDING PROCESS IN CEMENT PRODUCTION

***L.S. Kazarinov**, kazarinovls@susu.ru,*
***Dzh.R. Khasanov**, jacur@mail.ru*
South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The article proposes a method of neurocontrol by the technological process of grinding the mixture in cement production in order to increase its energy efficiency. The need to use neural control is caused by the fact that the quality of grinding and the consumption of resources depend on many factors that present great difficulties in their measurement and prediction of performance indicators. Reliable measurement of influencing factors is necessary to solve the problem of determining the best combination of the volume of the ball load of grinding and the required amount of solids to optimize the rate of reduction of the particle size of the charge with a minimum specific energy consumption. Neurocontrol is based on the training of a neural network with a teacher, which is played by an experienced mill operator, who realizes the effective control of the grinding process. The controller, built on the basis of the neural network, should work in real time and reflect the current state of the grinding process. The choice of solutions for solving operational control problems using a neural network belongs to the class of multi-criteria tasks. The paper proposes a decision-making method based on the set of permissible technical conditions imposed on the grinding process. Such a formulation of the problem is generally contradictory. The paper proposes an approach to solving this problem on the basis of determining the maximum number of joint weighted conditions imposed on the process. This approach allows you to organize an interactive procedure for selecting a feasible solution for the operational control of the grinding process. An operative computer model of the clinker grinding process in cement production is proposed.

Keywords: cement, clinker, neural network, charge, grinding process, operational control, choice of solutions in a contradictory formulation.

References

1. Austin L.G., Klimpel, R.R., Luckie, P.T. *Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling*. New York, SME/AIME, 1984. 561 p.

2. Songfack P., Rajamani R. Hold-up Studies in a Pilot Scale Continuous Ball Mill: Dynamic Varia-

tions Due to Changes in Operating Variables. *International Journal of Mineral Processing*, 1999, vol. 57, pp. 105–123. DOI: 10.1016/S0301-7516(99)00010-1

3. Govender I., Mangesana N., Mainza A.N., Franzidis J.-P. Measurement of Shear Rates in a Laboratory Tumbling Mill. *Minerals Engineering*, 2011, vol. 24, pp. 225–229. DOI: 10.1016/j.mineng.2010.08.009

4. Makokha A.B., Moys M.H. Characterizing Slurry Hydrodynamic Transport in a Large Overflow Tubular Ball Mill by an Improved Mixing Cell Model Based on Tracer Response Data. *Powder Technology*, 2011, vol. 211, pp. 207–214. DOI: 10.1016/j.powtec.2011.04.019

5. Keshav P., de Haas B., Clermont B., Mainza A., Moys M.H. Optimisation of the Secondary Ball Mill Using an On-line Ball and Pulp Load Sensor – The Sensomag. *Minerals Engineering*, 2011, Vol. 24 (3), pp. 325–334. DOI: 10.1016/j.mineng.2010.10.011

6. Bhatty J., Miller F., Kosmatka S. *Innovations in Portland Cement Manufacturing*. Skokie, Ill, USA: Portland Cement Association, 2004. CD-ROM: SP400. 155 p.

7. Mehta P.K. *Concrete: Structure, Properties and Materials*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, *NJ.*, 1986. 450 p.

8. Miheleva M.V. *Upravlenie asinkhronnym dvigatelem s izmenyajushheysya nagruzkoy pri tehnologicheskom processe pomola klinkera: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Control of an Asynchronous Motor with Varying Load during the Clinker Grinding Process. Cand. Sci. Diss.]. Belgorod, 2010. 140 p.

9. Chohonelidze A.N., Lempogo F., Akvej V.B. Development of an Automated Control System for a Closed Grinding Circuit Using a Control Method with Predictive Models. *Internet-Journal "Science Studies"*, 2014, iss. 6 (25). Available at: http://naukovedenie.ru. DOI: 10.15862/131TVN614

10. Akvej V.B., Chohonelidze.N., Lempogo F. Development of a Matrix Model of a Closed Grinding Scheme. *Internet-Journal "Science Studies"*, 2015, iss. 3 (22). Available at: http://naukovedenie.ru.

11. Klyuev A.S., Glazov B.V., Mindin M.B. *Tekhnika chteniya skhem avtomaticheskogo upravleniya i tekhnicheskoju kontrolya* [Technique of Reading Automatic Control and Technical Control Circuits]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983. 420 p.

12. Kochetov VS., Marchenko A.A., Nemirovskiy L.R. *Avtomatizatsiiya proizvodstvennykh protsessov i ASUP promyshlennosti stroitel'nykh materialov* [Automation of Production Processes and ASUP of the Building Materials Industry]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1981. 417 p.

13. Pirotskiy V.Z., Bogdanov V.S. [Technological Grinding Systems (TSI) Clinker: Characteristics and Energy Efficiency]. *Cement and Its Application*, 1998, no. 6, pp. 12–16. (in Russ.)

14. Golikov V.M., Repin S.V., Sapozhnikov A.I. [Reducing Energy Consumption in the Production of Cement with the use of Vibrating Machines]. *Bulletin of the Tuva State University. Technical and Physical and Mathematical Sciences*, 2016, no. 3, pp. 105–113. (in Russ.)

15. Potapov F.P. [Increase Grinding Efficiency]. *Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh*: *sb. nauch. tr., nauch.-prakt. konf*. [International Scientific and Technical Conference of Young Scientists: Collection of Scientific Papers of the Scientific-Practical Conference]. Belgorod, BGTU, 2009, pp. 97–109.

16. Andreev S.E., Zverevich V.V., Perov V.A. *Drobleniye, izmel'cheniye i grokhocheniye poleznykh iskopayemykh* [Crushing, Grinding and Screening of Minerals]. Moscow, Gorgokhtekhizdat, 1961. 384 p.

17. Alsop P. *Cement Plant Operations Handbook for Dry Process Plants*. Tradeship Publications Ltd., Portsmouth, United Kingdom, 2001. 159 p.

Received 1 March 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Казаринов, Л.С. Выбор решений при оперативном нейроуправлении процессом помола шихты в цементном производстве / Л.С. Казаринов, Дж.Р. Хасанов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 128–138. DOI: 10.14529/ctcr190211

FOR CITATION

Kazarinov L.S., Khasanov Dzh.R. Selection of Solutions for the Operational Neurocontrol of the Mixture Grinding Process in Cement Production. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 128–138. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr190211

Краткие сообщения

DOI: 10.14529/ctcr190212

FORMATION OF MODERN ALGORITHM OF TERRITORIAL DEVELOPMENT MANAGEMENT

***M.O. Klepikov**, klepikovmichael174@gmail.com*
South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Management of modern territorial development is carried out using a wide range of different procedures for the preparation and adoption of management decisions in various fields of activity. Only correct decisions and actions that stimulate the socio-economic development of territories can ensure sustainable and balanced development of the economy of the Russian Federation. Consequently, a significant part of the procedures for the preparation and adoption of management decisions in territorial administration requires the mandatory accounting of information about the object of management in order to achieve the most effective management potential.

Unfortunately, today in the Russian Federation, the legislation does not define specific methods and models to ensure sustainable planning and management of populated areas and to conduct a set of measures aimed at the socio-economic development of territories.

This work is the continuation of work on the creation of a modern methodology for managing the development of territories and is devoted to a brief description of the generated algorithm for managing the development of territories. The study of the developed algorithm was carried out with the help of the analysis of the emerging situations of territorial management. The set of normative documents and scientific research on the territorial and socio-economic development of territories is considered. A modern algorithm of territorial development management and the block diagram of its implementation in managing the development of territories within the framework of a constituent entity of the Russian Federation are demonstrated. A brief description of the flowcharts for each block is given. The conclusions are presented on the results of the analysis of the considered algorithm for managing territorial development. The result of this study will be a set of measures to ensure the sustainable implementation of the goals of socio-economic development of the territory.

Keywords: methods of management, condition assessment, socio-economic development, the development of areas, effective management, territories rating.

In modern conditions of international instability and various kinds of sanctions imposed by the United States of America and their satellites, that hit the most important spheres of life of the population, it is extremely important for the state and society to find ways to improve the socio-economic situation of the country. Among the main measures to improve the situation, in the management of regions, is the effective management of the development of the constituent entities of the Russian Federation.

Territorial development is managed through a wide range of different processes, with the help of which regional authorities together with municipal authorities stimulate economic development of the territory, form new and expand old opportunities for economic activity, create new jobs for the population, and create and implement new competitive advantages.

In modern conditions of doing business, the complexity of managing such objects as a district, city or region is continuously increasing. [1] But, unfortunately, in the Russian Federation legislation does not define specific methodologies, optimization and dynamic models, which capable of ensuring systematic, methodologically holistic planning and management of populated areas that would allow for a set of activities aimed at the socio-economic development of territories.

Thus, based on the analysis of the evolving situations on territory management, as well as a set of regulatory documents [2–8] and scientific research [1, 9, 10–17], an actual algorithm and a flowchart of its implementation in managing the development of territories within the subjects of Russia Federation was created. The flowchart of this algorithm is shown in Fig. 1.

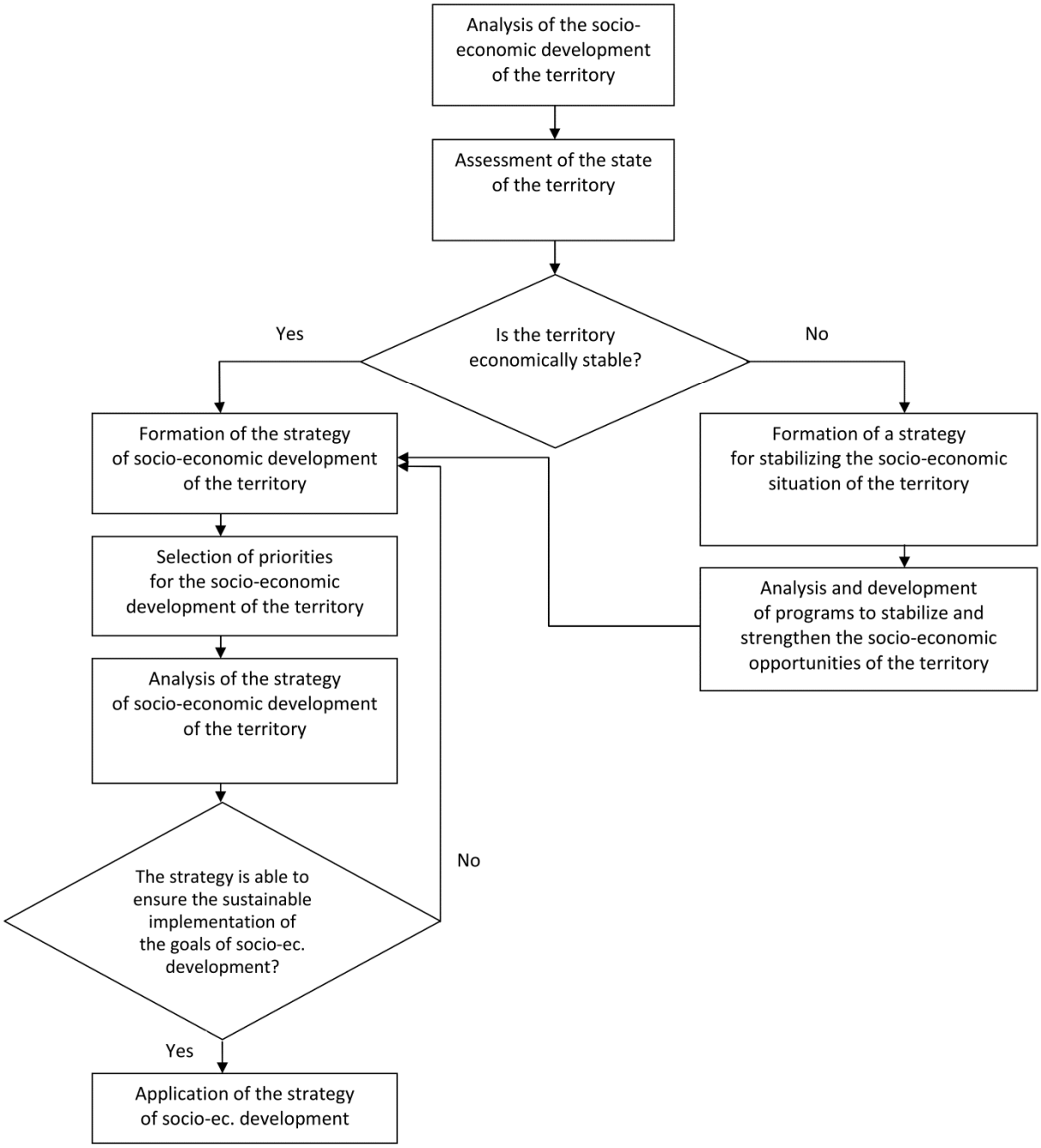


Fig. 1. Flowchart of the territorial development management algorithm

The following is a description of the flowchart of the algorithm:

In block 1, a description of the socio-economic state of the development of the territories is carried out, the main directions and priorities of the development of the territories and the quantitative and qualitative characteristics of the development of the territories are formed. In the future, the analysis will be the basis for making high-quality and reasonable management decisions by territorial administration bodies.

In block 2, an assessment of the socio-economic status of the territory and their economic sustainability is made, which is a combination of natural, human and economic resources involved in territorial development.

Block 3 is designed to test the economic sustainability of the territory, which allows determining, whether the territory has enough resource potential for development or whether it is necessary to take measures to stabilize the socio-economic situation of the territory.

In block 4, on the basis of an assessment of the state of the territories obtained in block 2, the variants of strategies for the socio-economic development of the territory are formed.

In block 5, the selection criteria are evaluated, priorities for the socio-economic development of the territory are determined, both in the sectoral and territorial context. And on this basis, the definition of options for the strategy carried out in the block.

In block 6, the formed strategy of the socio-economic development of the territory is analyzed. Taking into account the allocated resources, the conditions for achieving the goals and objectives set by the strategy, in a timely manner based on expert assessments are checked.

Block 7 is designed to determine the degree of the strategy's ability to ensure the sustainable implementation of socio-economic development goals. If the strategy is not able to ensure sustainable and consistent achievement of the goals and objectives set, then the strategy is adjusted by returning to block 4.

Block 8 is intended for carrying out a set of measures for the implementation of a socio-economic development strategy.

In block 9, the formation of a territory development strategy, with the economically unstable position of the territory, is carried out.

In block 10, the strategy is analyzed and programs are developed to stabilize and strengthen the socio-economic opportunities of the territory. After the development of programs to stabilize the socio-economic sustainability of the territories, a strategy is being formed for the socio-economic development of the territories through the transition to block 4.

The result of the above flowchart will be a set of measures that take into account economic sustainability, resource potential and development priorities of the territories, which will ensure the sustainable implementation of the objectives of socio-economic territorial development.

References

1. Gel'rud Y.D., Loginovskiy O.V. *Upravlenie proektami: metody, modeli, sistemy: monogr.* [Project Management: Methods, Models, Systems: Monograph]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2015. 330 p.

2. *Federal'nyy zakon ot 20.07.95 N 115-FZ "O gosudarstvennom prognozirovanii i programmakh sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii".* [Federal Law of 20.07.95 No. 115-fz "On State Forecasting and Programs for the Socio-Economic Development of the Russian Federation"]. Available at: https://zakonbase.ru/content/base/14538 (accessed 23 February 2019).

3. *Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 28 aprelya 2008 goda № 607 "Ob otsenke effektivnosti deyatel'nosti organov mestnogo samoupravleniya gorodskikh okrugov i munitsipal'nykh rayonov" (s izmeneniyami ot 14.10.2012 g.).* [Decree of the President of the Russian Federation of April 28, 2008 No. 607 "On the Evaluation of the Effectiveness of Local Self-Government Bodies of Urban Districts and Municipal Areas" (amended on 14.10.2012)]. Available at: http://base.garant.ru/193208/ (accessed 23 February 2019).

4. *Postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 17.12.2012 g. № 1317 "O merakh po realizatsii Ukaza Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 28 aprelya 2008 g. № 607 "Ob otsenke effektivnosti deyatel'nosti organov mestnogo samoupravleniya gorodskikh okrugov i munitsipal'nykh rayonov" i podpunkta "i" punkta 2 Ukaza Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 7 maya 2012 g. № 601 "Ob osnovnykh napravleniyakh sovershenstvovaniya sistemy gosudarstvennogo upravleniya".* [Decree of the Government of the Russian Federation No. 1317 of December 17, 2012 "Of Measures to Implement the Decree of the President of the Russian Federation of April 28, 2008 N 607 "On the Evaluation of the Effectiveness of Local Self-government Bodies of Urban Districts and Municipal Areas" and Subparagraph "i" Paragraph 2, Decree of the President of the Russian Federation of May 7, 2012 No. 601 "On the Main Directions of Improving the System of Public Administration."]. Available at: http://docs.cntd.ru/document/902388099 (accessed 1 March 2019).

5. *Postanovlenie Gubernatora Chelyabinskoy oblasti "O merakh po realizatsii Ukaza Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 28 aprelya 2008 goda № 607 "Ob otsenke effektivnosti deyatel'nosti organov mestnogo samoupravleniya gorodskikh okrugov i munitsipal'nykh rayonov".* [Decree of the Governor of the Chelyabinsk Region "Of measures to implement the Decree of the President of the Russian Federa-

tion of April 28, 2008, No. 607 “On the Evaluation of the Effectiveness of Local Self-Government Bodies of Urban Districts and Municipal Areas”]. Available at: http://docs.cntd.ru/document/499508848 (accessed 1 March 2019).

6. *Postanovlenie Pravitel'stva Nizhegorodskoy oblasti “Ob utverzhdenii metodiki otsenki urovnya sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya munitsipal'nykh rayonov i gorodskikh okrugov Nizhegorodskoy oblasti” ot 1 marta 2006 g. № 60 (v red. postanovleniy Pravitel'stva Nizhegorodskoy oblasti ot 25.05.2017 N 347).* [Decree of the Government of the Nizhny Novgorod region “On the Approval of the Methodology for Assessing the Level of Social and Economic Development of Municipal Districts and Urban Districts of the Nizhny Novgorod Region” Dated March 1, 2006, No. 60 (as Amended by the Government of Nizhny Novgorod Oblast from 25.05.2017 N 347)]. Available at: http://docs.cntd.ru/document/465534829 (accessed 3 March 2019).

7. *Metodicheskie rekomendatsii po provedeniyu monitoringa effektivnosti deyatel'nosti organov mestnogo samoupravleniya munitsipal'nykh obrazovaniy Chelyabinskoy oblasti.* [Methodological Recommendations for Monitoring of the Effectiveness of Local Ggovernment Bodies of Municipalities in the Chelyabinsk Region]. Available at: http://docs.cntd.ru/document/428673633 (accessed 7 March 2019).

8. *Metodika otsenki urovnya sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya munitsipal'nykh rayonov i gorodskikh okrugov Nizhegorodskoy oblasti.* [Methodology for Assessing of the Level of Social and Economic Development of Municipal Districts and Urban Areas in the Nizhny Novgorod Region]. Available at: https://minec.government-nnov.ru/?id=1450 (accessed 7 March 2019).

9. Burak P.I. et al. *Ekonomicheskiy rost i innovatsionnoe razvitie v regionakh RF: instrumenty aktivizatsii* [Economic Growth and Innovative Development in the Regions of the Russian Federation: Instruments of Activation]. Moscow, Scientific Consultant, 2016. 310 p.

10. Loginovskiy O.V., Kozlov A.S. *Informatsionnye sistemy v gosudarstvennom upravlenii: monografiya* [Information Systems in Public Administration: Monograph]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2013. 456 p.

11. Loginovsky O.V. *Upravlenie i strategii: uchebnoe posobie* [Management and Strategy: Tutorial]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2001. 704 p.

12. Loginovsky O.V., Bolodurina I.P. *Gosudarstvennoe upravlenie promyshlennost'yu v regionakh RF* [State Management of Industry in the Regions of the Russian Federation]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2003. 368 p.

13. Loginovskiy O.V. *Dinamika global'nogo mira.* [The Dynamics of Global Peace]. Moscow, Mashinostroenie-1 Publ., 2011. 1152 p.

14. Loginovskiy O.V., Maximov A.A. [Strategic Management of the Regions: from the Existing Approaches to the Accounting of Modern Realities]. *Problems of Management*, 2017, no. 6, pp. 19–31. (in Russ.)

15. Loginovskiy O.V., Kozlov A.S. *Matematicheskie modeli v gosudarstvennom upravlenii i issledovanii stranovoy i tsivilizatsionnoy dinamiki: monografiya* [Mathematical Models in Public Administration and the Study of Country and Civilizational Dynamics: Monograph]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2012. 324 p.

16. Valinurova L.S., Akhtarieva L.G., Mazur N.Z. *Upravleniye territorial’nym razvitiyem: ucheb. posobiye* [Territorial Development Management: Tutorial]. Ufa, 2012. 116 p.

17. Yashina N.I., Bogomolov S.V., Shiryaeva Y.S. [Methodology for Assessing the Fiscal Sustainability of a Territory]. *Bulletin of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod. Series: Social Sciences,* 2015, no. 3 (39), pp. 29–34. (in Russ.)

Received 9 March 2019

УДК 005.8:332 + 338.001.36 + 353.2 **DOI: 10.14529/ctcr190212**

ФОРМИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫМ РАЗВИТИЕМ

М.О. Клепиков

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Управление современным территориальным развитием осуществляется с помощью широкого спектра различных процедур по подготовке и принятию управленческих решений в различных сферах деятельности. Только корректные решения и действия, стимулирующие социально-экономическое развитие территорий, могут обеспечить устойчивое и сбалансированное развитие экономики Российской Федерации.

Следовательно, значительная часть процедур по подготовке и принятию управленческих решений в территориальном управлении требует обязательного учета информации об объекте управления для достижения наиболее эффективного управленческого потенциала. К сожалению, сегодня в Российской Федерации законодательством не определены конкретные методы и модели, позволяющие обеспечить устойчивое планирование и управление населенными местами и провести комплекс мероприятий, направленных на социально-экономическое развитие территорий.

Данная работа является продолжением работы по созданию современной методики управления развитием территорий и посвящена краткому описанию сформированного алгоритма управления развитием территорий. Исследование разработанного алгоритма проводилось с помощью анализа складывающихся ситуаций по управлению территориями. Рассмотрен набор нормативных документов и научных исследований о территориальном и социально-экономическом развитии территорий. Демонстрируется современный алгоритм управления территориальным развитием и блок-схема его реализации при управлении развитием территорий в рамках субъекта РФ. Приведено краткое описание блок-схем алгоритма по каждому блоку. Представлены выводы по результатам анализа рассмотренного алгоритма управления территориальным развитием. Результатом данного исследования станет комплекс мер обеспечивающих устойчивую реализацию целей социально-экономического развития территории.

Ключевые слова: методы управления, оценка состояния, социально-экономическое развитие, развитие территорий, эффективный менеджмент, рейтинг территорий.

Литература

1. Гельруд, Я.Д. Управление проектами: методы, модели, системы: моногр. / Я.Д. Гельруд, О.В. Логиновский; под ред. д-ра техн. наук, проф. А.Л. Шестакова. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2015. – 330 с.

2. Федеральный закон от 20.07.95 N 115-ФЗ «О государственном прогнозировании и программах социально-экономического развития Российской Федерации». – https://zakonbase.ru/content/base/14538.

3. Указ Президента Российской Федерации от 28 апреля 2008 года № 607 «Об оценке эффективности деятельности органов местного самоуправления городских округов и муниципальных районов» (с изменениями от 14.10.2012 г.). – http://base.garant.ru/193208/.

4. Постановление Правительства Российской Федерации от 17.12.2012 г. № 1317 «О мерах по реализации Указа Президента Российской Федерации от 28 апреля 2008 г. № 607 «Об оценке эффективности деятельности органов местного самоуправления городских округов и муниципальных районов» и подпункта «и» пункта 2 Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 г. № 601 «Об основных направлениях совершенствования системы государственного управления». – http://docs.cntd.ru/document/902388099.

5. Постановление Губернатора Челябинской области «О мерах по реализации Указа Президента Российской Федерации от 28 апреля 2008 года № 607 «Об оценке эффективности деятельности органов местного самоуправления городских округов и муниципальных районов». – http://docs.cntd.ru/document/499508848.

6. Постановление Правительства Нижегородской области «Об утверждении методики оценки уровня социально-экономического развития муниципальных районов и городских округов Нижегородской области» от 1 марта 2006 г. № 60 (в ред. постановлений Правительства Нижегородской области от 25.05.2017 N 347). – http://docs.cntd.ru/document/465534829.

7. Методические рекомендации по проведению мониторинга эффективности деятельности органов местного самоуправления муниципальных образований Челябинской области. – http://docs.cntd.ru/document/428673633.

8. Методика оценки уровня социально-экономического развития муниципальных районов и городских округов Нижегородской области. – https://minec.government-nnov.ru/?id=1450.

9. Экономический рост и инновационное развитие в регионах РФ: инструменты активизации / П.И. Бурак, В.Г. Ростанец, А.Ю. Манюшис и др. – М.: Научный консультант, 2016. – 310 с.

10. Логиновский, О.В. Информационные системы в государственном управлении: моногр. / О.В. Логиновский, А.С. Козлов; под ред. д-ра техн. наук, проф. А.Л. Шестакова. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2013. – 456 с.

11. Логиновский, О.В. Управление и стратегии: учеб. пособие / О.В. Логиновский. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. – 704 с.

12. Логиновский, О.В. Государственное управление промышленностью в регионах РФ / О.В. Логиновский, И.П. Болодурина. – М.: Машиностроение, 2003. – 368 с.

13. Логиновский, О.В. Динамика глобального мира / О.В. Логиновский. – М.: Машиностроение-1, 2011. – 1152 с.

14. Логиновский, О.С. Стратегическое управление регионами: от сложившихся подходов к учету современных реалий / О.С. Логиновский, А.А. Максимов // Проблемы управления. – 2017. – № 6. – С. 19–31.

15. Логиновский, О.В. Математические модели в государственном управлении и исследовании страновой и цивилизационной динамики: моногр. / О.В. Логиновский, А.С. Козлов; под ред. д-ра техн. наук, проф. А.Л. Шестакова. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2012. – 324 с.

16. Валинурова, Л.С. Управление территориальным развитием: учеб. пособие / Л.С. Валинурова, Л.Г. Ахтариева, Н.З. Мазур. – Уфа: БАГСУ, 2012. – 116 с.

17. Яшина, Н.И. Методика оценки бюджетной устойчивости территории / Н.И. Яшина, С.В. Богомолов, Ю.С. Ширяева // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Социальные науки. – 2015. – № 3 (39). – С. 29–34.

Клепиков Михаил Олегович, аспирант кафедры информационно-аналитического обеспечения управления, Высшая школа электроники и компьютерных наук, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; klepikovmichael174@gmail.com.

Поступила в редакцию 9 марта 2019 г.

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Klepikov, M.O. Formation of Modern Algorithm of Territorial Development Management / M.O. Klepikov // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 139–144. DOI: 10.14529/ctcr190212

FOR CITATION

Klepikov M.O. Formation of Modern Algorithm of Territorial Development Management. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 139–144. DOI: 10.14529/ctcr190212

УДК 629.7.067.8 DOI: 10.14529/ctcr190213

СИСТЕМНАЯ МОДЕЛЬ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Г.Г. Куликов, Б.Р. Кулбаев

Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа, Россия

Проблема пожарной защиты летательного аппарата, где наиболее энергонапряженным объектом является силовая установка, существует давно и продолжает быть актуальной и в настоящее время ввиду катастрофических последствий возникновения пожара на борту. В статье рассматриваются основные элементы системы пожарной защиты силовой установки в составе летательного аппарата. Описываются структурно-логическая модель работы блока пожарной защиты и принцип работы сигнализатора пожара пневматического типа, которые являются ключевыми элементами системы обеспечения безопасности эксплуатации летательного аппарата.

Предлагается проводить системное моделирование процесса перехода силовой установки из нормального состояния в критическое состояние – пожар – на основе анализа законов сохранения и перехода различных видов энергии при пожаре. Отмечается, что разработаны и находят широкое применение методы и модели процессов горения различных материалов, реализованных в виде пакетов прикладных программ. Однако необходимым условием применения указанных пакетов является формализация предметной постановки задачи и задание ее исходных условий. Приводится методика построения структуры нестационарной модели пожара в отсеке силовой установки.

Представлен эффективный инструмент при проведении испытаний системы пожарной защиты – комплексный стенд контроля и диагностики, который позволяет моделировать в квазистатическом режиме как процессы нормального функционирования системы, так и отказные ситуации. Приводятся результаты анализа процессов, полученных при испытаниях системы пожарной защиты силовой установки на комплексном полунатурном стенде.

Среди преимуществ применения полунатурного стенда авторы выделяют значительное сокращение объема и стоимости натурных испытаний вновь разрабатываемых систем. Результаты работы могут быть использованы для разработки бортовой динамической модели распространения пожара в отсеке силовой установки для перспективной интеллектуальной системы пожаротушения.

Ключевые слова: система пожарной защиты, пожар силовой установки, сигнализатор пожара, методология IDEF0, модель пожара, стенд контроля и диагностики.

Введение

Система пожарной защиты летательного аппарата является одной из наиболее ответственных в части обеспечения безопасности полета, так как возникновение пожара на летательном аппарате представляет исключительную опасность и при непринятии мер может иметь катастрофические последствия. Анализ статистических данных показывает, что, несмотря на относительно небольшое количество катастроф, вызванных огнем, пожар занимает пятое место среди причин гибели пассажиров и экипажа [1]. Таким образом, задача своевременного обнаружения пожара и его ликвидация является актуальной.

Стационарная система пожарной защиты летательного аппарата предназначена для обнаружения и ликвидации пожара в наиболее пожароопасных местах. В зависимости от типа летательного аппарата и его назначения пожароопасными местами являются: мотогондолы маршевых и вспомогательных двигателей, сами двигатели, места расположения топливных баков, багажно-грузовые отсеки и другие зоны [2, 3]. На многодвигательных самолетах комплекс пожаротушения может состоять из двух и более автоматических систем пожарной сигнализации с общим пультом управления.

Применение методов моделирования к проблеме выявления опасного состояния силовой установки, такого как пожар, позволит на уровне изменений параметров исследовать характеристики надежности, живучести, отказоустойчивости системы.

1. Рассмотрение принципов работы системы пожарной защиты

В состав системы пожарной защиты двухдвигательного самолета входит блок пожарной защиты, пульт управления, сигнализаторы пожара силовых установок, огнетушители (ОТ1–ОТ5), трубопроводы подачи огнетушащего средства (рис. 1). Пульт управления СПЗ, расположенный в кабине пилотов, служит для индикации состояния защищаемых отсеков и включения пожаротушения.

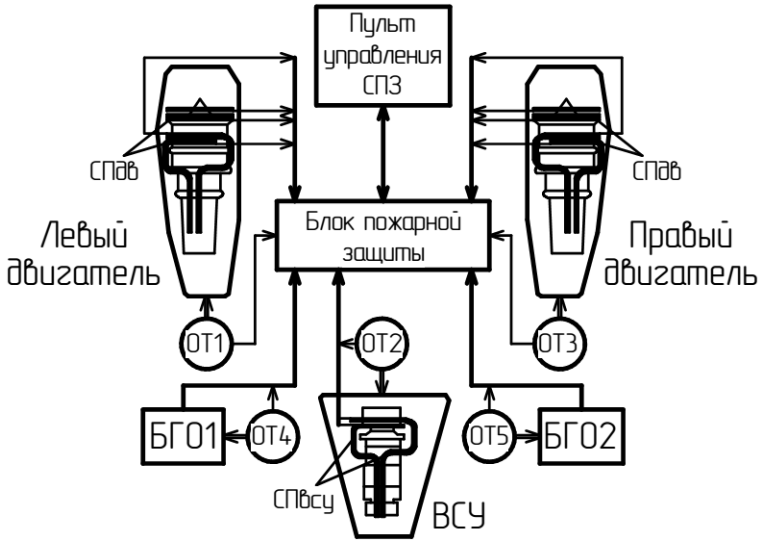


Рис. 1. Состав системы пожарной защиты двухдвигательного самолета

Сигнализаторы пожара (наиболее распространенными в настоящее время становятся сигнализаторы пожара-перегрева) представляют собой устройства, преобразующие физико-химические факторы пожара в изменение электрических параметров для дальнейшей обработки и выдачи сигнала о пожаре. Наиболее распространенными сигнализаторами пожара являются линейные сигнализаторы пневматического типа, работа которых основана на повышении давления газа с повышением его температуры. Конструктивно сигнализатор представляет собой центральный проводник 2 из водорода, окруженный газообразным гелием 3 и помещенный в металлический корпус 1, и наматывается на корпус силовой установки (рис. 2) [4]. Газообразный гелий увеличивает свое давление при увеличении температуры вокруг корпуса датчика в соответствии с уравнением газового состояния за счет выделения газа из центрального проводника, и выдается сигнал тревоги. При этом выделяющийся газ отличается от гелия, с ним не смешивается, химически не взаимодействует и поглощается проводником, как только нагретый участок датчика охлаждается ниже критической температуры. Поскольку процесс выделения и поглощения газа из проводника обратим, датчик может быть использован многократно.

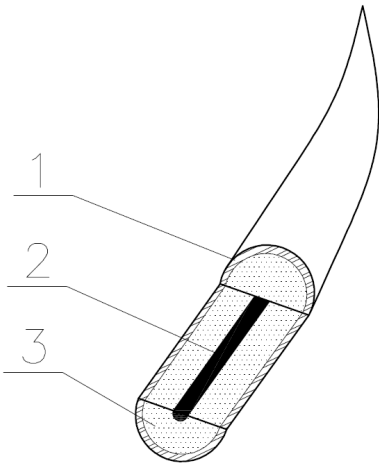


Рис. 2. Линейный сигнализатор пневматического типа

Блок пожарной защиты, являясь важнейшим элементом наряду с сигнализатором пожара, предназначен для обработки информации от систем обнаружения и ликвидации пожара, формирования аварийных и предупреждающих сигналов на пульте управления, проверки исправности компонентов систем.

Структурно-логическая модель работы блока пожарной защиты, разработанная с помощью методологии IDEF0, представлена на рис. 3. Для блока входной информацией являются темпе-

ратура силовых установок, сигналы о состоянии багажно-грузовых отделений (БГО), сигналы подсистемы пожаротушения. Выходной информацией, которую получает пульт управления, являются состояние силовых установок, состояние БГО, срабатывание подсистемы пожаротушения.

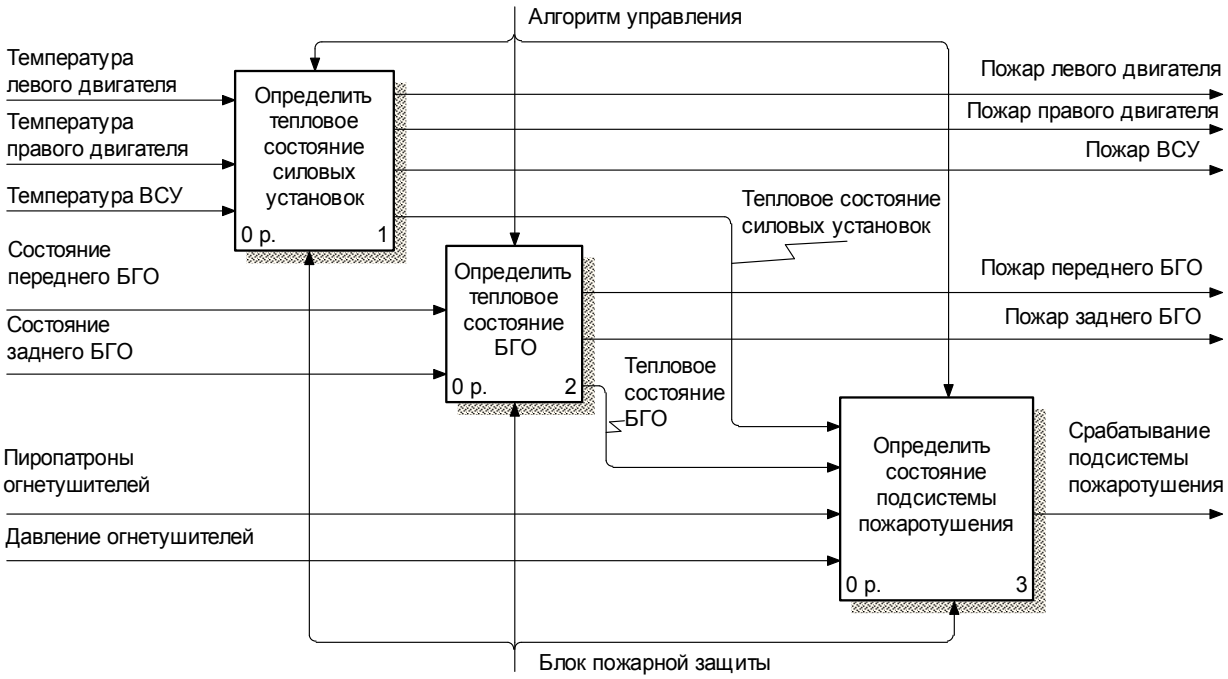


Рис. 3. Структурно-логическая модель работы блока пожарной защиты

2. Модель пожара в отсеке силовой установки

Аварии двигателей вследствие причин нелокализованного разрушения ротора, как правило, практически всегда сопровождаются пожаром в двигательном отсеке. Под нелокализованным разрушением ротора понимается любое разрушение, приводящее к выбросу из двигателя обломков ротора, которые могут привести к опасным последствиям для самолета [5].

При этом на каждом двигателе имеются топливная, масляная, гидравлическая системы, имеющие большую протяженность и многочисленные механические соединения. При разрушении трубопроводов этих систем возможно появление течи топлива, масла. При контакте авиационных жидкостей с поверхностями, имеющими высокие температуры, или в результате искрения разрядов статического электричества в отсеке силовой установки может возникнуть пожар. Например, большинство применяемого авиационного топлива имеет температуру горения порядка 220 °С, когда поверхность силовой установки в зоне расположения камер сгорания имеет температуру в области 350–500 °С.

Таким образом, можно выделить следующие прецеденты, приводящие к пожару в отсеке силовой установки:

- нарушение герметичности топливных, масляных трубопроводов;
- контакты авиационных жидкостей с нагретыми поверхностями;
- нелокализованное разрушение ротора;
- искрение проводов, как следствие – пожар электропроводки.

На основании данных причин сигнализаторы пожара в большинстве случаев размещают на силовой установке в следующих зонах:

- вентилятора;
- маслобака и коробки приводов;
- камеры сгорания.

Анализ прецедентов показывает, что во время пожара силовой установки могут выделяться следующие виды энергий.

1. Энергия горения топлива W_1 на максимальной производительности топливного насоса:

$$W_1 = f_1(G_T, N_C, V, P_{BX}), \quad (1)$$

где G_T – производительность топливного насоса; N_C – полнота сгорания топлива; V – скорость обдуваемого воздуха; P_{BX} – давление воздуха на входе двигателя.

Энергия горения топлива W_1 в силовой установке будет определяться газодинамическими параметрами обдуваемого воздуха, производительностью топливного насоса и полнотой сгорания топлива.

2. Электромеханические запасы энергии W_2:

$$W_2 = f_2(Q), \quad (2)$$

где Q – переменная, определяющая механическую мощность.

При нелокализованном разрушении ротора по закону сохранения энергии механическая мощность неисправных агрегатов может преобразоваться в тепловую мощность, которая приведет к возникновению пожара. К примеру инцидент, произошедший 22 августа 2018 г. с самолетом Ту-204, выполнявшим рейс по маршруту Уфа – Сочи, привел к возникновению титанового пожара по причине разрушения лопаток компрессора, которые попали в зазор между ротором и статором силовой установки [6].

3. Энергия распределенного горения W_3, зависящая частично от энергии горения топлива W_1, частично от электромеханической мощности W_2.

$$W_3 = f_3(W_1, W_2). \quad (3)$$

Указанные виды энергий при пожаре силовой установки можно оценить с помощью прикладных пакетов программ, которые являются универсальным инструментом моделирования физических процессов при пожаре [7, 8].

На рис. 4 показана модель распространения пожара в отсеке силовой установки. Возникновение пожара происходит из-за разрыва топливного трубопровода, через который проходит расход 0,05 кг/с керосина, объем подкапотного свободного пространства составляет 1,94 м^3.

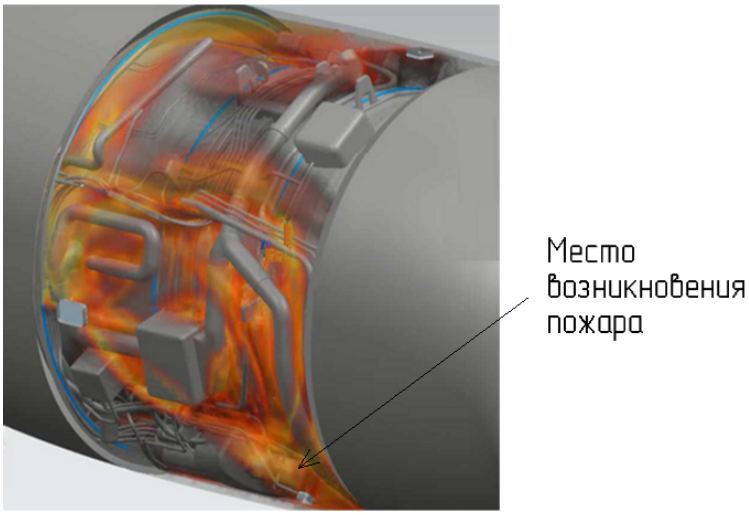


Рис. 4. Модель распространения пожара в отсеке силовой установки

3. Проверка функционирования системы

В настоящее время широко используются стенды, позволяющие на уровне изменений параметров исследовать указанные характеристики надежности и живучести системы [9]. Проверка функционирования системы проходит по схеме стенда, изображенного на рис. 5.

В состав стенда входит исследуемая система пожарной защиты и комплексный пульт контроля и диагностики. Комплексный пульт включает в себя элементы индикации, имитаторы исполнительных механизмов тушения, имитаторы теплового состояния силовых установок. Имитаторы исполнительных механизмов тушения используются для подмены пиропатронов огнетушителей, которые срабатывают по сигналам системы пожарной защиты, при этом огнетушащее средство, хранящееся под высоким давлением в баллоне, поступает по трубопроводам в отсек

силовой установки. Имитаторы теплового состояния силовых установок характеризуют состояние объекта в соответствии с моделированием необходимой ситуации как в штатных режимах работы, так и при различных отказах объекта.

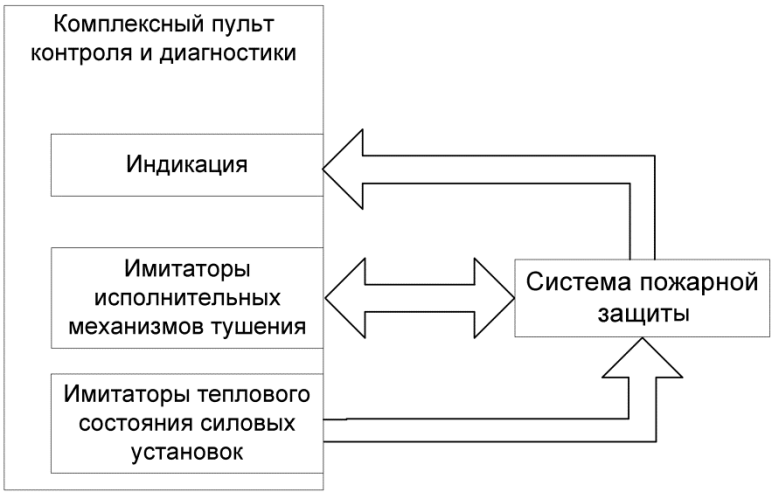


Рис. 5. Схема стенда для проведения испытаний

Рис. 6. Комплексный пульт контроля и диагностики

Для проведения испытаний системы пожарной защиты был разработан комплексный пульт (рис. 6). Данный комплексный пульт позволяет проводить проверку при следующих состояниях:

• штатное функционирование системы;

• отказные ситуации (имитация отказов реализует обрывы и короткие замыкания внешних электрических цепей);

• реконфигурация проверяемой системы в случаях отказов и повторного пожара.

С использованием данного комплексного пульта были получены результаты проверок при штатном функционировании системы пожаротушения силовой установки (рис. 7). Объем подкапотного свободного пространства составляет 1,94 м^3, огнетушащее средство – хладон, сигнализаторы пожара – линейный сигнализатор пневматического типа. Срабатывание сигнализаторов составляет не более 8 с, достижение пожаротушащей концентрации – 16,2 с.

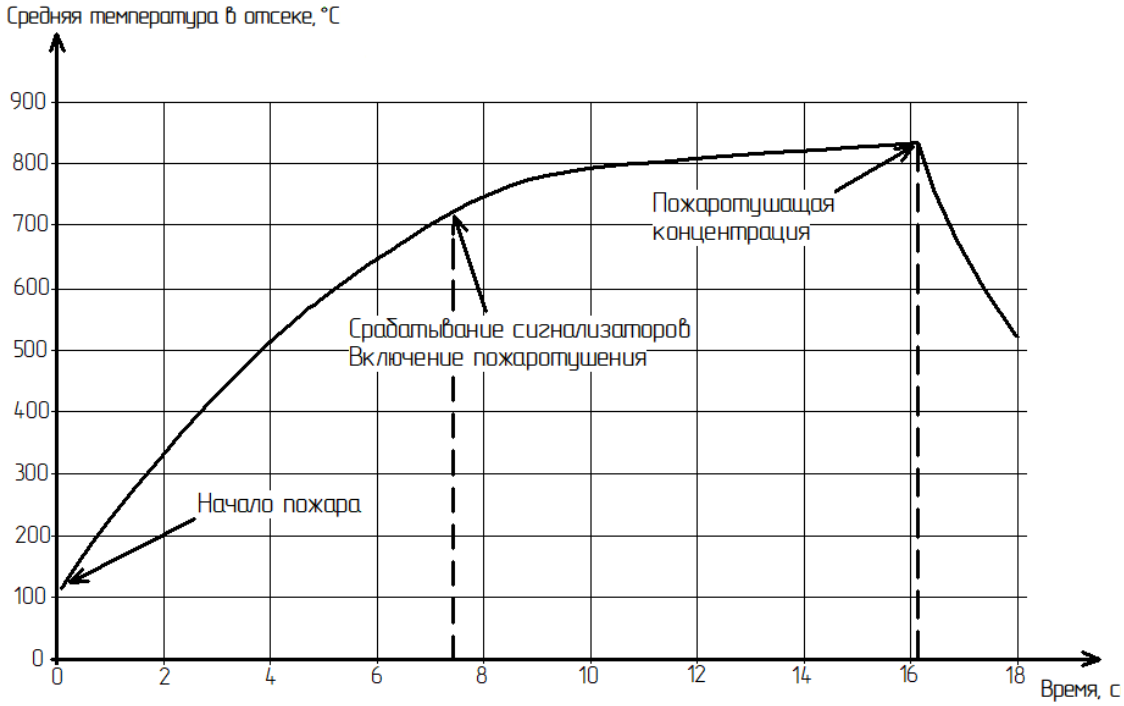


Рис. 7. График работы системы пожаротушения силовой установки

Выводы

Разработан технический стенд, включающий в себя исследуемую систему пожаротушения и комплексный пульт контроля и диагностики. Совместные испытания системы пожарной защиты с комплексным пультом позволяют на уровне изменений параметров исследовать технические характеристики системы в широком диапазоне, также позволяют значительно сократить стоимость и объем натурных испытаний вновь разрабатываемых систем.

Литература

1. Кулбаев, Б.Р. Структурно-функциональная модель системы пожарной защиты силовой установки летательного аппарата / Б.Р. Кулбаев, Г.Г. Куликов // Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации – 2017: X научно-практическая конференция студентов и аспирантов. Иркутск, 5–7 дек. 2017: тр. конф. – Иркутск: Иркутский филиал МГТУ ГА. – 2017. – Т. 1. – С. 180–184.

2. Мещерякова, Т.П. Проектирование систем защиты самолетов и вертолетов: учеб. пособие / Т.П. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1977. – 232 с.

3. Кулбаев, Б.Р. Системная модель пожарной защиты силовой установки летательного аппарата и ее испытания / Б.Р. Кулбаев, Г.Г. Куликов // Молодежный Вестник УГАТУ. – 2018. – № 2 (19). – С. 73–76.

4. Hillman, Thomas C. Aircraft Fire Detection and Suppression / Thomas C. Hillman, Steven W. Hill, Martin J. Sturla. – Kidde Aerospace & Defense. Technical Paper, Kidde plc, USA, 2002. – 30 p.

5. Рекомендательный циркуляр № РЦ-АП25-903(d)(1)/АП23-903(b)(1). Конструктивные меры по минимизации опасности, вызываемой нелокализованным разрушением ротора газотурбинного маршевого двигателя и вспомогательного двигателя. АР МАК. 1999.

6. http://www.bashinform.ru/news/1201329-v-samolete-tu-204-ufa-sochi-proizoshel-titanovyy-pozhar-rosaviatsiya/ (дата обращения: 14.03.2019).

7. Малышев, К.С. Математическое моделирование типовых очагов горения в начальной стадии при помощи программы FDS (Fire Dynamics Simulator) / К.С. Малышев // Молодой ученый. – 2011. – Т. 1, № 10. – С. 54–57.

8. Численное моделирование пожара в вагоне метрополитена / А.И. Данилов, В.А. Маслак, А.В. Вагин, И.А. Сиваков // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. – 2017. – Т. 26, № 10. – С. 27–35.

9. Методология полунатурного комплексного функционального моделирования ГТД и его систем / Г.Г. Куликов, В.Ю. Арьков, В.С. Фатиков, Г.И. Погорелов // Вестник УГАТУ. – 2009. – Т. 13, № 2 (35). – С. 88–95.

Куликов Геннадий Григорьевич, д-р техн. наук, профессор, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа; gennadyg_98@yahoo.com.

Кулбаев Булат Русланович, аспирант, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа; bulat-kulbaev@rambler.ru.

Поступила в редакцию 25 февраля 2019 г.

DOI: 10.14529/ctcr190213

SYSTEM MODEL OF MONITORING AND DIAGNOSTICS FIRE PROTECTION OF AIRCRAFT POWERPLANT

***G.G. Kulikov**, gennadyg_98@yahoo.com,*
***B.R. Kulbaev**, bulat-kulbaev@rambler.ru*
Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation

The problem of fire protection of aircraft, where the power plant is the most energy-intensive object, has existed for a long time and continues to be relevant in the present day due to the disastrous consequences of a fire on board. The article discusses the main elements of the fire protection system of the power plant as part of the aircraft. It describes the structural and logical model of the fire protection unit and the principle of operation of the pneumatic type fire detector, which are key elements of the safety system of the aircraft.

It is proposed to carry out system modeling of the process of transition of a power plant from a normal state to a critical state – a fire, based on an analysis of the laws of conservation and transition of various types of energy during a fire. It is noted that the methods and models of the combustion processes of various materials, implemented in the form of application software packages, have been developed and are widely used. However, a necessary condition for the application of these packages is the formalization of the objective formulation of the problem and the setting of its initial conditions. A method for constructing the structure of a non-stationary model of a fire in a power plant compartment is given.

An effective tool for testing the fire protection system is presented – a comprehensive monitoring and diagnostics bench, which allows simulating both processes of normal system operation and failure situations in a quasistatic mode. The results of the analysis of the processes obtained during testing of the fire protection system of a power plant on a complex semi-natural stand are presented.

Among the advantages of using a semi-natural stand, the authors distinguish a significant reduction in the volume and cost of field tests of newly developed systems. The results of the work can be

used to develop an on-board dynamic model of the spread of fire in the power plant compartment for a promising intelligent fire extinguishing system.

Keywords: fire protection system, power plant fire, fire detector, IDEF0 methodology, fire model, monitoring and diagnostics stand.

References

1. Kulbaev B.R., Kulikov G.G. [Structurally Functional Model of Fire Protection System of an Engine Installation of the Aircraft]. *Aktual'nye problemy razvitiya aviatsionnoy tekhniki i metodov ee ekspluatatsii – 2017: X nauchno-prakticheskaya konferentsiya studentov i aspirantov. Irkutsk, 5–7 dek. 2017* [Current Problems of Development of the Aircraft Equipment and Methods of its Operation – 2017: X Scientific and Practical Conference of Students and Graduate Students. Irkutsk, 5–7 Dec. 2017]. Irkutsk, 2017, vol. 1, pp. 180–184. (in Russ.)

2. Meshcheryakova T.P. *Proektirovanie sistem zashchity samoletov i vertoletov. Uchebnoe posobie*. [Projection of Systems of Protection of Planes and Helicopters. Manual]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1977. 232 p.

3. Kulbayev B.R., Kulikov G.G. [Systemic Model of Fire Protection of an Engine Installation of the Aircraft and its Test]. *Youth Bulletin of USATU*, 2018, no. 2 (19), pp. 73–76. (in Russ.)

4. Hillman Thomas C., Hill Steven W., Sturla Martin J. *Aircraft Fire Detection and Suppression*. Kiddle Aerospace & Defense. Technical Paper, Kidde plc, USA, 2002. 30 p.

5. *Rekomendatel'nyy tsirkulyar № RTS-AP25-903(d)(1)/AP23-903(b)(1). Konstruktivnye mery po minimizatsii opasnosti, vyzyvaemoy nelokalizovannym razrusheniem rotora gazoturbinnogo marshevogo dvigatelya i vspomogatel'nogo dvigatelya. AR MAK* [Recommendatory Circular No. RTs-AP25-903(D)(1)/AP23-903(B)(1). Constructive Measures for Minimization of the Danger Caused by the Non-local Destruction of a Rotor of the Gas-Turbine Mid-Flight Engine and Auxiliary Engine]. 1999.

6. Available at: http://www.bashinform.ru/news/1201329-v-samolete-tu-204-ufa-sochi-proizoshel-titanovyy-pozhar-rosaviatsiya/ (accessed 14.02.2019).

7. Malyshev K.S. [Mathematical Model Operation of the Standard Centers of Combustion in an Incipient State by Means of the FDS Program (Fire Dynamics Simulator)]. *Young Scientist*, 2011, vol. 1, no. 10, pp. 54–57. (in Russ.)

8. Danilov A.I., Maslak V. A., Vagin A.V., Sivakov I.A. [Numerical Model Operation of the Fire in the Car of the Subway]. *Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 10, pp. 27–35. (in Russ.)

9. Kulikov G.G., Ar'kov V.Yu., Fatikov V.S., Pogorelov G.I. [Methodology of Semi-Natural Complex Functional Model Operation of GTE and its Systems]. *Bulletin of USATU*, 2009, vol. 13, no. 2 (35), pp. 88–95. (in Russ.)

Received 25 February 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Куликов, Г.Г. Системная модель контроля и диагностики пожарной защиты силовой установки летательного аппарата / Г.Г. Куликов, Б.Р. Кулбаев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 145–152. DOI: 10.14529/ctcr190213

FOR CITATION

Kulikov G.G., Kulbaev B.R. System Model of Monitoring and Diagnostics Fire Protection of Aircraft Powerplant. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 145–152. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr190213

DOI: 10.14529/ctcr190214

NEED OF DEVELOPING INFORMATION SYSTEMS OF MANAGING A TECHNOLOGY LIFECYCLE OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

A.V. Hollay, *alexander@hollay.ru*
South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The following article is aimed at justifying the need of developing new information systems of managing a lifecycle of technologies in order to increase the efficiency of industrial enterprise performance. This necessity was caused by the objective processes happening in the world, specifically globalization of the world economy and further specialization of labour which led to segregation of production facilities from R&D centers developing new types of products and doing market research. In this regard, the competitiveness of industrial enterprises is now primarily to be defined by the efficiency of the technologies used in the production process. However, nowadays the vast majority of information systems are aimed not at managing technologies, but at managing products.

The author shows the common ground and differences between the management systems of a product lifecycle and management systems of a technology lifecycle as well as what competitive advantages industrial enterprises will get implementing management systems of a technology lifecycle. At the same time, the transition into such system should not have a revolutionary nature. It can be implemented due to the improvement of the available information systems, with shifting the focus on improving the existing technologies and creating new ones. Upon such transition, industrial enterprises will keep the available competences in developing new types of products and will receive an additional impulse of development due to the increase in efficiency of the technologies used.

Keywords: information systems, technologies, management, industry, enterprise management, technology lifecycle management of technology lifecycle.

Introduction

Now due to globalization of the world economy, there is a stiffer competition among industrial enterprises [1]. One of the ways to increase the performance efficiency is to implement information systems allowing the management to make justified managerial decisions [2]. However, the introduction of modern information systems does not guarantee the success of the enterprise in the market yet. To ensure the efficiency of their implementation, it is necessary to carefully approach the choice of software products, to consider specific nature of tasks solved and to devise a strategy of informatization of the enterprise.

Product lifecycle

The concept of a lifecycle (of enterprises, goods, technologies, etc.) is widely used to describe the phenomena occurring in social and economic systems [3]. The largest set of models is presented by the models of an enterprise lifecycle [4]. Next, there are the models of a product lifecycle [5], and models of information systems lifecycles are described the best in this category [6]. The models of a technology lifecycle are least worked through [7].

The common feature of all of them is that they begin with a ‘birth’ stage and finish with a ‘death’ stage which suggests that there is a certain objective regularity inherent in all the objects of the material world.

A Product Lifecycle is a set of processes associated with a certain product from the moment of recognizing the need in the society to its utilization (Fig. 1).

Currently the information systems of a product lifecycle management (PLM – Product Lifecycle Management) [8, 9] are widely used and aimed at considering the features of all the stages of a product

lifecycle. The PLM systems promote reducing the time of developing a product, accelerating its marketing and improving the quality and reliability of products. These are parts of PLM [10]:

- Product Data Management, PDM;
- Computer Aided Design, CAD;
- Computer Aided Engineering, CAE;
- Computer Aided Manufacturing, CAM;
- Computer Aided Production Planning, CAPP;
- Manufacturing Process Management, MPM;
- Digital Manufacturing, DM;
- Maintenance, Repair and Operations or Overhaul, MRO.

Although PLM solutions also include systems of production planning (Computer Aided Production Planning) and a production management systems (Manufacturing Process Management), such systems are a part of a product lifecycle management system, i.e. a production process is merely a secondary process of product development.

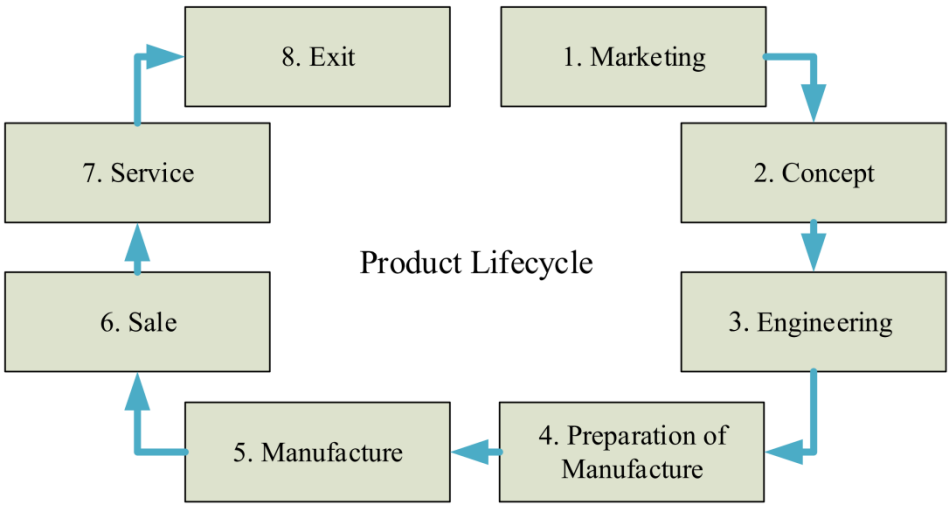


Fig. 1. Product lifecycle

Let us consider the following sequence: “Need – Product – Technology”. The emergence of a new need in the market leads to the aspiration of the companies to develop new products satisfying this need and aiding making a profit. A need to make new products can cause the necessity of change in the production technology if such products cannot be made within old technological processes. The strategy of searching for new needs – developing new products – production change is convenient for the companies which are the leaders in placing new products on the market. Most often such companies are leaders in producing new types of products and own large R&D divisions which are engaged in the analysis of the markets. At the same time, in many cases they have no own production divisions. This is usually caused by the further division of labour in the modern world and transferring production facilities to areas with cheaper labour, lower taxes, etc. At the same time, production companies have turned into production sites now and take production orders from product developers. If a new product is impossible to make with old production facilities, the developers most often just find another production company capable to fulfil this order. Thus, building a management system of an industrial enterprise only based on the concept of product lifecycle management can result in noncompetitiveness at a radical change of products.

Let us address the “Need – Product – Technology” sequence once again. It is objectively possible to say that neither the need nor the product or technology remain constant as they change over time. Three strategies of behaviour are possible, depending on what management of the company is focused on (Table 1).

Table 1

Possible behaviour strategies

No.	Focus	Actions	Notes	Production expenses	
				Advantages	Disadvantages
1	Need	Market research	As a result of a market research, we define the needs to satisfy which new products and technologies of their production are developed	An opportunity to develop new desired products	High costs of a market research, the overstated cost of the product made
2	Product	Developing new kinds of products	Revolutionary products often appear not as a result of a market research, as in society there are no needs they can satisfy yet, but as a result of scientific researches. Only then new products form new needs for society	Possibility of creating a new market and its monopolization in case of success of a revolutionary product	High costs of developing products, overestimated cost of the product made. Risks connected with impossibility of production of a revolutionary product using old technological facilities
3	Technology	Improving technologies	Improvement of technologies allows us to reduce the production cost of the existing products. Significant changes in technologies make it possible to produce new products whose production was impossible using old technologies	Improvement of the operating technologies, reducing the cost of the products made. High competitiveness is reached by the production companies which master advanced technologies first	Lack of opportunity to compete due to unique goods

Thus, it is obvious that the needs, product and technology are interconnected and interdependent. And it is the distinctive nature of company activities which defines the focus. In particular, production of standard products is a characteristic of industrial enterprises, so the need for producing revolutionary products arises quite seldom. The competitiveness of manufacturing enterprises is generally defined by the ability to offer low production cost due to the best possible processes (technologies).

A technology lifecycle

Summing up, modern industrial enterprises which produce standard products or fulfil orders of product developers do not have considerable advantages by implementing strategies focused on needs or products. Focusing on technologies is what improves the existing technological processes.

The interrelation of lifecycles of a need, a product and technology is presented in Fig. 2.

As it was shown earlier, the concept of a lifecycle can be also applied to technologies. Most often by the stages of a technology lifecycle they mean a certain degree of maturity of technological processes: the latest technology, the advanced technology, the modern technology, the older technology, the outdated technology [11]. Dividing technologies according to this principle does not set accurate requirements to information systems of managing a technology lifecycle. Therefore we shall define the stages of technology lifecycles in a similar way to a product lifecycle (Table 2). It is clear from Table 2 that at the moment information systems in the field of engineering design of new technologies are well implemented as these systems were developed within management systems of a product lifecycle. While the systems connected with supporting the stages of technological forecasting, enhancing, replacement and exit of technology require further improvement. It should be noted that now the systems of improvement of technologies based on process approach – Business Process Management (BPM) are being massively developed [12, 13]. The interrelation of lifecycles of a need, a product and technology is presented in Fig. 2.

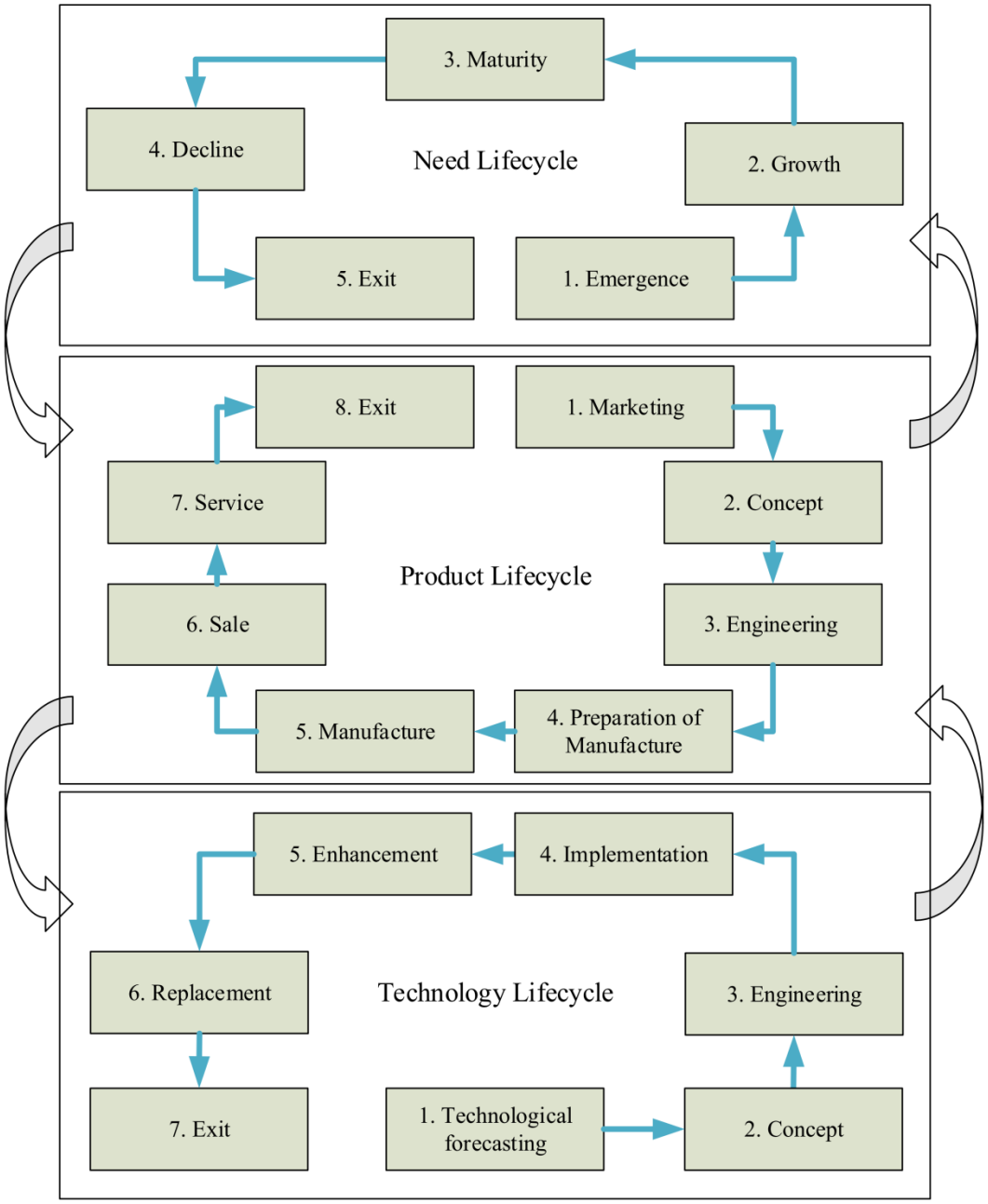


Fig. 2. Interrelation between a lifecycle of a need, a product and technology

Table 2

Stages of a technology lifecycle

Stage	Content
1. Technological forecasting	Forecasting of changes in technical characteristics and forecasting of developing technologies
2. Concept	Development of concepts of new technologies
3. Engineering	Design of a new technology in order to implement it in a certain enterprise
4. Implementation	Implementation of a new technology
5. Enhancement	Any technology requires improvement and enhancement as a result of which production costs decrease
6. Replacement	Replacement of one technology by another one is often followed by a set of structural changes in the company
7. Exit	Terminate utilizing a technology

One more drawback of aiming information systems at a product (managing a product lifecycle) is that some processes in the enterprise are not directly connected with a new product release, such as logistics, accounts department, HR, etc. Thus, these processes are often out of sight of the management and are not improved at the same time as a product. Many industrial companies failed not because they could not develop and produce new products but because the production of these products on the basis of inefficient technologies did not allow them to be competitive. Development of the information systems allowing the industrial companies to be focused on technologies will result in gaining competitive advantages.

Earlier the author [14] showed that a term 'technology' has a broad meaning and is not limited to production technologies. Development and implementation of management systems of technology lifecycles will allow us to get the effective management of all the processes of the enterprise back on track.

Conclusion

The following article the need of developing a new class of information systems, namely, management systems of a technology lifecycle which can become the basis for improving competitiveness of the enterprises is shown. Transition from management systems of a product lifecycle to management systems of a technology lifecycle is objectively necessary for further development of the industrial enterprises.

Management systems of a technology lifecycle have to include both the systems which are already available and connected with managing a product lifecycle, and the new systems necessary for improving the available technologies and developing new ones.

References

1. Loginovskiy O.V., Burkov V.N., Burkova I.V., Gelrud Ya.D., Korennaya K.A., Maksimov A.A. *Upravleniye promyshlennymi predpriyatiyami: strategii, mekhanizmy, sistemy: monografiya* [Management of Industrial Enterprises: Strategies, Mechanisms, Systems: Monograph]. Moscow, INFRA-M Publ., 2018. 410 p.

2. Loginovskiy O.V., Korennaya K.A. [Increasing the Efficiency of the Enterprise on the Basis of Modern Management Technologies and Information and Analytical Systems]. *Avtomatizatsiya i upravlenie promyshlennymi predpriyatiyami: dokl. nauch.-tekhn. konf. vseros. foruma "Informatsionnoe obshchestvo-2015: vyzovy i zadachi"* [Automation and Management of Industrial Enterprises: Dokl. of Scientific-Techn. Conf. All-Russia. Forum "Information Society 2015: Challenges and Tasks"]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2015, pp. 4–38. (in Russ.)

3. Novikov D.A. *Teoriya upravleniya organizatsionnymi sistemami* [Theory of Management of Organizational Systems]. Moscow, Publ. of Phys. and Math. Lit., 2012. 604 p.

4. Scherbakova E.A. *Sistemnyy podkhod k upravleniyu zhiznennym tsiklom organizatsii* [A Systematic Approach to Managing the Lifecycle of an Organization]. *Production Manager*, 2013, no. 3 (58), pp. 28–30. (in Russ.)

5. Pavlov N.V. *Upravleniye zhiznennym tsiklom produkta* [Product Lifecycle Management]. St. Petersburg, St. Petersburg Polytechnic University of Peter the Great Publ., 2014. 219 p.

6. Zaramenskikh E.P. *Upravleniye zhiznennym tsiklom informatsionnykh sistem: monografiya* [Information Systems Lifecycle Management: Monograph]. Novosibirsk, CRNS Publ., 2014. 270 p.

7. Kononov V.N., Zambrgitckaya E.S., Dema R.R., Kharchenko M.V. [Industrial Technology Lifecycle Management]. *Bulletin of Omsk University. Series "Economics"*, 2018, no. 1 (61), pp. 76–87. (in Russ.) DOI: 10.25513/1812-3988.2018.1.76-87

8. Kolchin A.F., Ovsyannikov M.V., Strekalov A.F., Sumarokov S.V. *Upravleniye zhiznennym tsiklom produktsii* [Product Lifecycle Management]. Moscow, Anakharsis Publ., 2002. 304 p.

9. Kulga K.S. *Avtomatizatsiya tekhnicheskoy podgotovki i upravleniya proizvodstvom na osnove PLM-sistemy* [Automation of Technical Training and Production Management Based on PLM-Systems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2008. 275 p.

10. Saaksvuori A., Immonen A. *Product Lifecycle Management*. Berlin, Springer, 2008. 254 p. DOI: 10.1007/978-3-540-78172-1

11. Martynov O.Yu. [The Lifecycle of Technology in the Production of High-tech Products]. *Vector of Science of Togliatti State University*, 2012, no. 1, pp. 69–72. (in Russ.)

12. Benedict T., Bilodeau N., Vitkus P., Powell E., Morrisa D. et al. BPM CBOK Version 3.0: Guide to the Business Process Management Common Body Of Knowledge. *Create Space Independent Publishing Platform*, 2013. 446 p.

13. Dumas M., Rosa M., Mendling J., Reijers H. *Fundamentals of Business Process Management*. Berlin, Springer, 2018. 527 p. DOI: 10.1007/978-3-662-56509-4

14. Hollay A.V. [The Genesis of the Concept of "Technological Development"]. *Management in Modern Systems*, 2018, no. 3 (19), pp. 20–24. (in Russ.)

Received 22 February 2019

УДК 005.7 **DOI: 10.14529/ctcr190214**

НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А.В. Голлай

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Настоящая работа направлена на обоснование необходимости разработки новых информационных систем управления жизненным циклом технологий с целью повышения эффективности деятельности промышленных предприятий. Эта необходимость была вызвана объективными процессами, происходящими в мире, а именно: глобализацией мировой экономики и дальнейшей специализацией труда, которые привели к обособлению производственных мощностей от центров по разработке новых видов продукции и исследованию рынков. В этой связи конкурентоспособность промышленных предприятий стала определяться в первую очередь эффективностью технологий, используемых в процессе производства. Однако подавляющее большинство информационных систем в настоящее время нацелено не на управление технологиями, а на управление продуктами.

Автор показывает общность и различия между системами управления жизненным циклом продукции и системами управления жизненным циклом технологии, какие конкурентные преимущества получат промышленные компании с переходом на системы управления жизненным циклом технологии. При этом данный переход не должен носить революционный характер, он может быть реализован за счет совершенствования имеющихся информационных систем, с переносом фокуса на совершенствование имеющихся и создание новых технологий. При таком переходе промышленные предприятия сохранят имеющиеся компетенции в области разработки новых видов продукции и получат дополнительный импульс развития за счет повышения эффективности используемых технологий.

Ключевые слова: информационные системы, технологии, управление, промышленность, управление предприятием, жизненный цикл технологий, управление жизненным циклом технологий.

Литература

1. Управление промышленными предприятиями: стратегии, механизмы, системы: моногр. / О.В. Логиновский, В.Н. Бурков, И.В. Буркова и др.; под ред. О.В. Логиновского. – М.: ИНФРА-М, 2018 – 410 с.

2. Логиновский, О.В. Повышение эффективности работы предприятия на основе современных управленческих технологий и информационно-аналитических систем / О.В. Логиновский,

К.А. Коренная // Автоматизация и управление промышленными предприятиями: докл. науч.-техн. конф. всерос. форума «Информационное общество-2015: вызовы и задачи». – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2015. – С. 4–38.

3. Новиков, Д.А. Теория управления организационными системами / Д.А. Новиков. – М.: Изд-во физ.-мат. лит., 2012. – 604 с.

4. Щербакова, Е.А. Системный подход к управлению жизненным циклом организации / Е.А. Щербакова // Организатор производства. – 2013. – № 3 (58). – С. 28–30.

5. Павлов, Н.В. Управление жизненным циклом продукта / Н.В. Павлов – СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2014. – 219 с.

6. Зараменских, Е.П. Управление жизненным циклом информационных систем: моногр. / Е.П. Зараменских. – Новосибирск: Изд-во ЦРНС, 2014. – 270 с.

7. Управление жизненными циклами промышленных технологий / В.Н. Кононов, Е.С. Замбржицкая, Р.Р. Дема, М.В. Харченко // Вестник Омского ун-та. Сер. «Экономика». – 2018. – № 1 (61). – С. 76–87. DOI: 10.25513/1812-3988.2018.1.76-87

8. Управление жизненным циклом продукции / А.Ф. Колчин, М.В. Овсянников, А.Ф. Стрекалов, С.В. Сумароков. – М.: Анахарсис, 2002. – 304 с.

9. Кульга, К.С. Автоматизация технической подготовки и управления производством на основе PLM-системы / К.С. Кульга. – М.: Машиностроение, 2008. – 275 с.

10. Saaksvuori, A. Product Lifecycle Management / A. Saaksvuori, A. Immonen. – Berlin: Springer, 2008. – 254 p. DOI: 10.1007/978-3-540-78172-1

11. Мартынов, О.Ю. Жизненный цикл технологий в производстве наукоемкой продукции / О.Ю. Мартынов // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2012. – № 1. – С. 69–72.

12. BPM CBOK Version 3.0: Guide to the Business Process Management Common Body of Knowledge / T. Benedict, N. Bilodeau, P. Vitkus et al. – Create Space Independent Publishing Platform, 2013. – 446 p.

13. Fundamentals of Business Process Management / M. Dumas, M. Rosa, J. Mendling, H. Reijers. – Berlin: Springer, 2018. – 527 p. DOI: 10.1007/978-3-662-56509-4

14. Голлай, А.В. Генезис понятия «технологическое развитие» / А.В. Голлай // Управление в современных системах. – 2018. – № 3 (19). – С. 20–24.

Голлай Александр Владимирович, канд. хим. наук, доцент кафедры информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; alexander@hollay.ru.

Поступила в редакцию 22 февраля 2019 г.

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Hollay, A.V. Need of Developing Information Systems of Managing a Technology Lifecycle of Industrial Enterprises / A.V. Hollay // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 153–159. DOI: 10.14529/ctcr190214

FOR CITATION

Hollay A.V. Need of Developing Information Systems of Managing a Technology Lifecycle of Industrial Enterprises. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 153–159. DOI: 10.14529/ctcr190214

DOI: 10.14529/ctcr190215

EXPERIENCE OF MULTI-LAYER NEURAL NETWORK APPLICATION FOR EMPIRICAL REGULARITIES IDENTIFICATION

Vl.D. Mazurov[1, 2], *vldmazurov@gmail.com,*
E.Yu. Polyakova[2], *ekaterina.y.polyakova@gmail.com*

[1] *N.N. Krasovskii Institute of Mathematics and Mechanics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation,*
[2] *Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation*

In this article, the recognition method is applied to the comparison of industrial enterprises. At the same time, we had to consider the methods of taking into account non-formalized factors. The method can be used for objective ranking of enterprises. While researching the topic, a neural expert system was developed, and it was used by specialists of the regional government to predict the dynamics of industry.

In view of the complexity of relations, conflicting non-equality systems were arising. We were resolving them by means of committee method.

The effect of managing the situation by varying the values of factors by tracking them on a computer model, made it possible to adjust the model as a means of parallelizing the committee constructions. They act directly in multi-layer neural networks.

Keywords: neural network, prediction, control, comparison, enterprise, features, representation, recognition, contradictory.

Introduction

In 1962 I graduated from Mathematics and Mechanics Faculty and luckily I got a position in Sverdlovsk Department of Institute of Mathematics of Academy of Sciences in USSR. My teachers S.N. Chernikov and I.I. Eremin provided me with the topic “Linear inequalities and linear programming”. At the same time Yu.P. Vasiliev began his work in Sverdlovsk Department of Institute of Mathematics of Academy of Sciences in USSR who was looking for his mission on algebra and in translation tasks. He asked me to write an essay on translation theory to Zbl fuer Math & ihre Grenzgebiete, the task was fulfilled. After that I had not touched mathematical linguistics till 2010 but then I came across the articles by a prominent linguist I.A. Melchuk. Besides linear inequalities and linear programming I got acquainted to the topic of factor analysis and an idea came to study factor nomination. I was engaged in the topic with a linguist E.Yu. Polyakova and we published several articles in English about it. They awoke the interest of O.V. Loginovsky who published some of them in the journal “Bulletin of South Ural State University” and we are very thankful for that.

The given article will cover, beside the factor names, the model identification.

Experience of multi-layer neural network application for empirical regularities identification

By means of learning multi-layer neural networks we have found empirical regularities for certain performance indicators of industrial enterprises. The data on the performance of the enterprise of the Sverdlovsk Region provided by the Regional Statistics Department were used as the material of cases. Moreover we refer to our discussion with a physicist A.P. Kenin. These algorithms are applied to predict some performance indicators of the enterprises. The work was approved by Ministry of Industry for Sverdlovsk region where we handed over the relevant neural system of prediction and control.

The application of image recognition methods or corresponding neural network methods enables to solve some urgent problems of economic and statistic modeling, increase the adequacy of mathematical models, bring them closer to economic reality [1–3]. The use of image recognition in combination with regression analysis led to the new types of models: classification and piecewise linear ones. Finding hidden relations in databases is the basis of the tasks of modeling and knowledge processing, including those for an object with hard-to-formalize regularities [4]. Specific calculations have shown that when

expanding the set of features characterizing the performance of enterprises, a more accurate prediction is obtained, and the same effect is achieved when increasing the interval during which the data on enterprises are recorded [5–6].

The problem of comparing the enterprises can be understood either as that of ranking the enterprises, or as that of choosing the most preferable object out of a certain set [7]. Practice has shown that the methods based on the use of a priori weights of factors and the search for an object that meets the maximum weighted sum of factors lead to biased results. Weights represent the value that must be determined, this is the problem. The sets of weights are local – each of them is suitable only for the specific problem and the given group of the enterprises.

Consider the problem of choosing the best company in detail. Suppose there is a certain set of objects M the activities of which are aimed at achieving a certain goal. The operation of each object is characterized by the values of n features, that is, there exists a representation ϕ: $M \to R^n$. Therefore, our starting point is the vector of the state of the economic object: $x = [x_1, \ldots, x_n]$. Indicators of the operation quality of the economic object: $f_0(x), f_1(x), \ldots, f_m(x)$. These indicators should stay within certain limits, and some of them we aspire to make either minimum or maximum. Such a general formulation can be contradictory, and it is necessary to use the apparatus for resolving contradictions and bringing the formulation of the problem to a correct form consistent with economic meaning. We order the objects in terms of some criterial function, but the criterion is usually poorly defined, blurred, and possibly contradictory.

We are considering the problem of modeling empirical regularities with a small number of experimental and observational data. A mathematical model can be a regression equation or a diagnostic rule, or a prediction rule. With a small sample the recognition methods are more effective. In this case the influence of factor management is taken into account by means of variation of the values of factors when they are substituted into the equation of regularity or in the decisive rule of diagnostics and prediction. In addition, we apply the selection of essential features and the generation of useful attributes (secondary parameters). This mathematical apparatus is necessary for predicting and diagnosing the states of economic objects.

We consider the neural network in terms of the theory of committee constructions as a collective of neurons (individuals), and the neural network is a mechanism for coordinating the work of neurons in collective solutions, this is a way of harmonizing individual opinions, when the collective opinion is the right reaction to input, that is, the desired empirical relation.

Therefore, now we will consider the application of committee constructions in the problems of choice and diagnostics. The idea implies searching for a collective of decisive rules instead of one decisive rule, this collective develops a collective decision under the procedure that processes the individual decisions of the collective members. The models of choice and diagnostics as a rule lead to inconsistent systems of inequalities, when solution concept generalizations are to be searched for instead of solutions. A collective decision represents such a generalization.

For example, the committee of an inequality system is such a set of elements where each inequality is satisfied by most of the elements of this set. Committee constructions are a certain class of solution concept generalizations for the problems that can be either consistent or inconsistent. This is a class of discrete approximations for contradictory problems, they can also be correlated with fuzzy solutions. The method of committees now determines one of the directions of analysis and solving problems of efficient choice of variants, optimization, diagnostics and classification. Let us give the definition of one of the basic committee constructions as an example, namely: for $0 < p < 1$: p, the committee of the inclusion system is a set of elements such that each inclusion is satisfied by more than the p-th part of this set.

Committee constructions can also be considered as a certain class of solution concept generalizations in the case of inconsistent systems of equations, inequalities and inclusions, and as a means of parallelization in solving problems of choice, diagnostics and prediction. As the concept generalization of problem solving, committee constructions are sets of elements that have some (but not all as a rule) properties of a solution, it is a kind of fuzzy solutions.

Committee constructions act as a means of parallelization directly in multi-layer neural networks. Namely, we have shown that for training a neural network the exact solution of the classification problem, the method of constructing a committee of a certain system of affine inequalities can be applied.

Proceeding from what has been said, it can be concluded that the committee method is connected with one of the important directions of research and numerical solution of both the problems of diagnostics and choice of variants and those of setting neural networks to obtain the required response to input information on a particular problem of the person making decisions.

When using the method of committees, its important features for application problems were found out such as heuristics, interpretability, flexibility: the possibility of further training and reconfiguration, the possibility of using the most natural class of functions – piecewise affine. When setting the problem of classification, diagnostics and prediction only correctness is required, that is the same object is not to be assigned to different classes.

The other side of the issue of committee constructions is related to the concept of coalitions in the development of collective solutions, and the situations differ sharply in the case of collective preferences (there are many "pitfalls") and in the case of collective classification rules, in which case the procedures can be rigorously justified and they have more opportunities. Therefore, it is important to be able to reduce decision-making problems and prediction ones to classification ones.

When diagnosing and predicting enterprises, factor weights are often used, which are given by experts, and then the experts' opinions are voted on. However, such procedures may be incorrect, and there exists an apparatus for constructing the correct procedures. Let us explain this. Consider the problem of diagnosing objects by collectives of experts, using coalitions in collective preference problems. Let X be the set of variants from which we need to choose – by some criteria – a certain variant of x. Let the set of experts or decision-makers, set C, engage in the problem of such choice. In the case when the choice is made on the basis of preferences, each member f of C set is in fact a binary relation of preference $r(f)$. This means that for some x, y from X, the statement $x\ r(f)\ y$ can occur, this means that for f, x is preferable to y. The collective preference $r = r(C)$ can be considered as a certain function of individual preferences: $r = \phi\ (r(f)$: f runs through the set $C)$. At first glance, this assumption seems natural, but it is the source of further contradictions. It turned out that the collective preference can not be a universal rule, it depends on the specific variants of x, y and on the preferences $r(f)$. In other words, the rule ϕ can not be universal, it must be local.

We have shown that when the problem is reduced to the classification one, it is possible to develop teams of experts (committees) that properly solve the problem of diagnostics of the methods of teaching neural networks in two layers, and then the committee method has enabled to obtain accurate results and justified training procedures that enable to solve a wide class of problems reducible to the separation of finite sets with the only requirement of nonemptiness of their intersection.

One important area is related to voting procedures when assessing the state of objects. In the sphere of voting, the situation is extremely difficult, and here at every step there are paradoxes. We have shown that contradictions can be avoided in the case when the solution of the choice problem is reduced to a series of classification problems, in which case the committee method gives good results. The three-layer neural network corresponds to the method of committees, and from the theorems of the committees existence it follows that such a network can be trained by means of precedents to solve any problem whose solution can be expressed by a word in some finite alphabet.

Here are the arguments in favor of reducing decision-making to a series of classification problems. The procedure of collective solutions, close to multi-criteria optimization, is the most important in the problems of variants choice. The problem of making concerted decisions by a collective of people or a collective of decisive rules arises constantly in the prediction problems. However, it turned out that the most effective voting procedure can not be offered a priori. It always depends on the specific situation and, in fact, with a competent approach, turns into a process of congruence of the interests of the parties – a process that requires great care so as not to fall into one of the many formal traps. This is important for the diagnostics by the collectives of experts. In fact, this is a game of several people, where wins the one who counts well and uses the slightest mistakes of partners. The study of the problem of congruence of the individual opinions of experts and decision-makers has passed to a qualitatively new mathematical level.

The solution of almost any problem can be represented in the form of a scheme:

The problem $Z \rightarrow$ parametrizer $S \rightarrow x = [x_1, \ldots, x_n] \rightarrow$ solver $\rightarrow \arg Z = f(x)$. Solver is a computer of this or that type. Instead of talking about the algorithm for solving the problem Z from the class Z, we

will talk about an algorithm that enables us to reconstruct from a sequence (code) x from X by means of a program Π the sequence (code) $y = \arg Z$, y – from Y.

Strictly speaking, this range of questions is connected with the idea of splitting a complex problem into a network of simple ones. This idea is implemented in different sections of mathematics under different names: the modular principle in software packages (N.N. Yanenko), the splitting principle in mathematical physics (G.I. Marchuk), the decomposition method in optimization, the finite element method in computational physics etc. The question is whether it is possible to synthesize the solution of a large complex problem from the set of solutions of subproblems.

Thus, let us solve the following specific problem.

It is required from the observation data (object / feature table) to reveal the regularities of the form $y = f(x)$, where y is the target indicator, and x is a vector of input features (factors). Based on this information, the prediction of the enterprise activity parameters is to be made. The relation is to be obtained in a neural network form.

The problem of feature control is connected with the approach. This problem is divided into several stages: feature selection, feature transformation (development of rectifying space), evaluation of specific features and their aggregates, evaluation of feature variation effect on the result of classification.

Setting of the neural network to simulate the relation $y = f(x)$ is reduced to discriminant analysis.

Thus, to simulate empirical regularities, we consider the problem of discriminant analysis – that of constructing a function f from a function class F that separates precedent sets A and B. We denote this problem as $DA(A, B, F)$: to find f from F: $f(x) > 0$ for x from A, $f(x) < 0$ for x from B.

The separating committee: $C = [f_1, \ldots, f_q]$, each inequality in our problem being satisfied by more than half of the elements in C.

These problems are solved on the basis of accumulated observations on the dynamics of indicators. Image recognition and regression analysis are used to find the empirical relations between the indicators. Then on this basis, the assessment of features and their systems, selection of useful features and their selection are considered. Namely, let $f = \arg DA(A, B, F)$, that is, f is a separating function for the sets A and B. If there is an object state vector: $x = [x_1, \ldots, x_n]$, which we want to transfer to the class A, then we solve the problem of feature control: to find $y = [y_1, \ldots, y_n]$ such that $f(x + y) > 0$. In a more general model, u is the control operator acting on the state vector x so that x could be transferred to the appropriate class.

This is related to the evaluation of factors: the value of the factor (input indicator) x_i is the elasticity of the criterion (objective) functions $f_1, \ldots, f_p$ with respect to the factor x_i, val (x) = the matrix composed of the vectors grad$f_j(x)$.

To detail the substantive scheme of simulating the work of an industrial enterprise, we must take into account the fact that the construction of an adequate mathematical model of economic indicators requires the development of a substantial concept of the economic and production process at an industrial facility and its formalization. The result is the selection of input and output indicators.

Conclusion

1. In many (but not all) situations, the neural network expert system has proven to be more efficient than the Ivakhnenko system [5], but it deserves attention as a supplement to the committee method.

2. In combination with regression analysis, the committee neural network shows greater reliability.

References

1. Mazurov Vl.D. *Komitetnye resheniya zadach planirovaniya. V kn.: Metody approksimatsii nesobstvennykh zadach matematicheskogo programmirovaniya* [Committee Problem Solving of Scheduling. In the Book "Methods of Approximation of the Improper Problems of Mathematical Programming"]. Sverdlovsk, TSC AS USSR, 1984, pp. 21–25.

2. Mazurov Vl.D. *Metod komitetov v zadachakh optimizatsii i klassifikatsii* [Method of Committees in Problems of Optimization and Classification]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 248 p.

3. Khachay M.Yu., Mazurov Vl. D., Rybin A.I. Committee Constructions for Solving Problems of Selection, Diagnostings, and Prediction. *Proceedings of the Steklov Institute of Math.*, 2002, Suppl. 1, pp. 66–102.

4. Vasil'ev V.I. *Raspoznayushchie sistemy. Spravochnik* [Distinguishing Systems. Reference Book]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1990. 305 p.

5. Ivakhnenko A.G. *Nepreryvnost' i diskretnost'. Perebornye metody modelirovaniya i klasterizatsii*. [Continuity and Discretization. Reboric Methods of Model Operation and Clustering]. Kiev, Naukova dumka Publ.,1990. 392 p.

6. Lapko A.V., Chentsov S.V., Krokhov S.I., Fel'dman L.A. *Obuchayushchiesya sistemy obrabotki informatsii i prinyatiya resheniy* [The Studying Data Reduction Systems and Decision Makings]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1996. 270 p.

7. Mazurov Vl.D., Popkov V.V. et al. *O primenenii obuchayushchikhsya algoritmov pri reshenii zadachi sravnitel'noy otsenki deyatel'nosti predpriyatiy* [About Application of the Studying Algorithms at the Solution of a Problem of Comparative Assessment of Activity of the Enterprises]. Works IMM UB RAS, 1998, pp. 61–75.

Received 1 December 2018

УДК 004.021 **DOI: 10.14529/ctcr190215**

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЛОИСТЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ

Вл.Д. Мазуров[1, 2], Е.Ю. Полякова[2]

[1] Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия,
[2] Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

В данной статье метод распознавания применяется к сравнению промышленных предприятий. При этом пришлось рассмотреть приёмы учёта неформализованных факторов. Эту методику можно использовать для объективного ранжирования предприятий. По мере работы над этой темой была разработана нейронная экспертная система, и она применялась специалистами областного правительства для прогнозирования динамики промышленности.

Ввиду сложности зависимостей возникали противоречивые системы неравенств. Мы разрешали их с помощью метода комитетов.

Влияние управления ситуацией с помощью варьирования значений факторов с отслеживанием на компьютерной модели позволяло корректировать модель как средство распараллеливания комитетных конструкций. Они непосредственно выступают в многослойных нейронных сетях.

Ключевые слова: нейронная сеть, прогнозирование, управление, сравнение, предприятие, признаки, представление, распознавание, несовместимый.

Литература

1. Мазуров, Вл.Д. Комитетные решения задач планирования / Вл.Д. Мазуров // Методы аппроксимации несобственных задач математического программирования. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. – С. 21–25.

2. Мазуров, Вл.Д. Метод комитетов в задачах оптимизации и классификации / Вл.Д. Мазуров. – М.: Наука, 1990. – 248 с.

3. Khachay, M.Yu. Committee constructions for solving problems of selection, diagnostings, and prediction / M.Yu. Khachay, Vl.D. Mazurov, A.I. Rybin // Proceedings of the Steklov Institute of Math., Suppl. 1 – 2002. – P. 66–102.

4. Васильев, В.И. Распознающие системы. Справочник / В.И. Васильев. – Киев: Наукова думка, 1983. – 305 с.

5. Ивахненко, А.Г. Непрерывность и дискретность. Переборные методы моделирования и кластеризации / А.Г. Ивахненко. – Киев: Наукова думка, 1990. – 392 с.

6. Обучающиеся системы обработки информации и принятия решений / А.В. Лапко, С.В. Ченцов, С.И. Крохов и др.– Новосибирск: Наука, 1996. – 270 с.

7. О применении обучающихся алгоритмов при решении задачи сравнительной оценки деятельности предприятий / Вл.Д. Мазуров, В.В. Попков и др. // Труды ИММ УрО РАН. – 1998. – С. 61–75.

Мазуров Владимир Данилович, ведущий научный сотрудник, Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского Уральского отделения Российской академии наук; профессор, кафедра эконометрики и статистики Высшей школы экономики и менеджмента, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина; г. Екатеринбург; vldmazurov@gmail.com.

Полякова Екатерина Юрьевна, старший преподаватель, кафедра издательского дела Уральского гуманитарного института, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург; ekaterina.y.polyakova@gmail.com.

Поступила в редакцию 1 декабря 2018 г.

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Mazurov, Vl.D. Experience of Multi-Layer Neural Network Application for Empirical Regularities Identification / Vl.D. Mazurov, E.Yu. Polyakova // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 160–165. DOI: 10.14529/ctcr190215

FOR CITATION

Mazurov Vl.D., Polyakova E.Yu. Experience of Multi-Layer Neural Network Application for Empirical Regularities Identification. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 160–165. DOI: 10.14529/ctcr190215

УДК 622.6:004.03 DOI: 10.14529/ctcr190216

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ГОРНО-ВЫРАБОТОЧНОЙ МАШИНЫ

А.В. Затонский, П.В. Михалев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал, г. Березники, Пермский край, Россия

Определена важность решения научной задачи идентификации уклонений горно-выработочной машины при добыче калийной руды и других руд. Показана невозможность непосредственного применения для этого как существующих систем позиционирования внутри зданий, так и предлагаемых на рынке систем подземного позиционирования. Причиной являются сложные условия в ходе выработки и высокая вибрация. Предложено определять уклонение горно-выработочной машины по показаниям установленных на бортах датчиков расстояния до стенки забоя. В качестве идентифицирующей подсистемы в дальнейшем будет использоваться нейронная сеть. Для ее обучения необходима модель, позволяющая имитировать данные с датчиков при наперед заданном уклонении. Предложено определять показания датчиков простым геометрическим способом путем трассировки внутри пиксельного следа, оставляемого на экране монитора отрезком режущей кромки горно-выработочной машины. Создана имитационная модель двумерного подземного движения горно-выработочной машины, позволяющая задавать уклонения разных видов и имитировать показания датчиков расстояния при этом. Расчеты базируются на определении точки вращения горно-выработочной машины в ходе малого уклонения от прямолинейного курса движения. Далее явным методом определяется следующее положение машины и пиксели, закрашиваемые отрезком режущей кромки при перемещении. Количество пикселей между датчиком и не закрашенной областью в направлении, перпендикулярном оси горно-выработочной машины, переводится через масштаб в расстояние до стенки забоя. При этом имитируется также погрешность датчиков с заданным наперед разбросом и его статистическим распределением. Показана возможность качественной идентификации уклонения по показаниям четырех датчиков, а также возможность использования модели для обучения нейронной сети.

Ключевые слова: калийная руда, шахта, горно-выработочная машина, позиционирование, уклонение, модель.

Калийные удобрения весьма важны для мирового сельского хозяйства. Для России они являются важной экспортной статьей, источником поступления валюты. Выручка ПАО «Уралкалий», единственного в России производителя калийных солей, за первое полугодие 2018 г. составила 83,8 млрд руб., на 4,2 % больше по сравнению с результатом за аналогичный период 2017 г.

Важнейшим этапом производства является добыча калийной руды (сильвинита). Она производится подземной горно-выработочной машиной (ГВМ, называемой в просторечии «комбайном»), как и добыча других полезных ископаемых – угля, полиметаллических руд и т. д. Поскольку угольных шахт в России несоизмеримо больше (на 2017 г. – 165 угледобывающих предприятий), то разработке именно угольных месторождений посвящено значительно больше научных работ. Однако в любых шахтах имеется ряд схожих проблем, среди которых идентификация уклонения от курса ГВМ. В условиях запыленности забоя и высокой вибрации ни гироскопические средства, ни лазерные или ультразвуковые способы построения и контроля оси движения ГВМ не пригодны.

При добыче именно калийной руды возникает дополнительная проблема. Используемые комбайны (наиболее распространенные модели Урал-20Р, Урал-61 и др.) сопряжены с бункерами-перегружателями (БП), служащими буфером между ГВМ и самоходным вагоном, отвозящим руду в транспортную систему рудника. БП сцеплен с ГВМ не жестко, система крепления допускает его осевое отклонение относительно комбайна. Поэтому фиксация отклонения БП, например, при помощи лазера еще не означает уклонение ГВМ от курса (рис. 1).

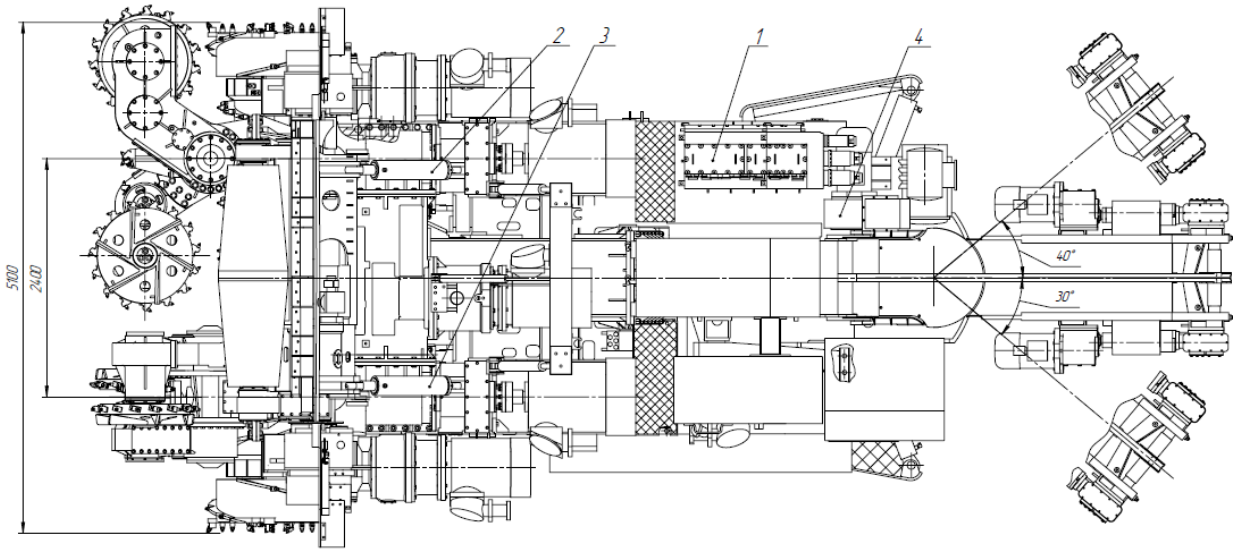


Рис. 1. ГВМ Урал-20Р с бункером-перегружателем, вид сверху

Единственным надежным методом контроля остается визуальный контроль маркшейдера, производящийся периодически. Однако это занимает существенное время, кроме того, привлекается высококвалифицированный специалист (маркшейдер). Поэтому задача создания системы, автоматически контролирующей уклонение ГВМ влево или вправо по горизонтали, является актуальной для любых шахтных выработок.

Вопросы навигации внутри замкнутых помещений интенсивно поднимаются в последнее время, однако по большей части касаются зданий [1, 2] и использования сетей Wi-Fi, в традиционном формате не приемлемых для подземных выработок. Акустические методы контроля положения [3] и комбинации электроволновых и ультразвуковых методов [4] не обеспечивают необходимой точности (порядка 0,1 м и менее). Сочетание существующих гироскопических транспортных курсоуказателей (ТКУ) [5, 6] затруднено вибрацией и большим временем гирокомпасирования (даже при отсутствии вибрации). Коррекция ТКУ по картам электромагнитных полей либо с использованием спутников, очевидно, в данном случае невозможна.

Иностранные решения наподобие [7, 8], во-первых, достаточно дороги, во-вторых, требуют консольного крепления модуля uGPS на оси ГВМ, что неосуществимо. Кроме того, компания-производитель гарантирует работу модуля uGPS на скорости от 1 км/ч и выше, тогда как скорость комбайна значительно меньше.

В связи с этим специалистами ПАО «Уралкалий» было предложено определять курсовое уклонение по показателям четырех датчиков уровня, расположенных на боковой поверхности ГВМ (рис. 2).

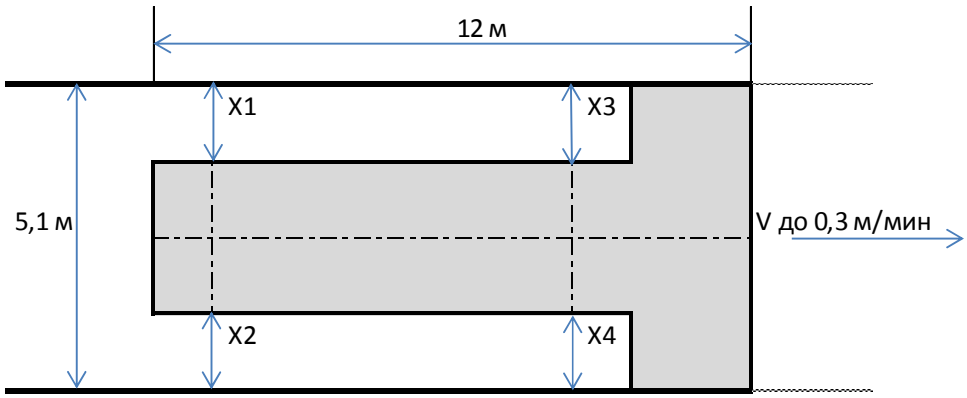


Рис. 2. Расположение датчиков уровня на комбайне. Вид сверху

Для практического использования необходимо каким-то образом по показаниям датчика идентифицировать моменты начала и окончания уклонения. Показания датчиков из-за вибрации ГВМ и неровности поверхности стенки выработки при этом поступают зашумленные.

Опосредованная идентификация отклонений и вообще особых ситуаций по данным каких-либо вспомогательных измерений широко распространена. Одним из приемлемых считается метод дискретизированной подачи показаний датчика с некоторым шагом по времени на вход нейронной сети (НС) [9]. При этом собственно идентификация ситуации возможна как по выходу прогноза НС за пределы допустимого коридора [10], так и непосредственно. В последнем случае при обучении необходимо имитировать не только сигналы датчиков, но и заранее известный результат (направление уклонения или его величину).

Таким образом, целью данной работы является разработка имитационной модели двумерного движения ГВМ, позволяющей получать данные с виртуальных датчиков уровня, также воспроизведенным в модели. Модель в дальнейшем будет использоваться для обучения и тестирования нейронной сети.

На входе модель (и реализующее ее программное обеспечение) получает список параметров моделирования: размеры комбайна, скорость, степень отклонения, погрешность датчиков и другие параметры [11, 12]. Результатом моделирования является изображение с траекторией движения комбайна, графики с показаниями каждого датчика и общий график отклонения от прямолинейного движения.

В программе модель представлена в виде материальной точки центра поворота, вокруг которой вырисовывается упрощенная геометрия комбайна (рис. 3).

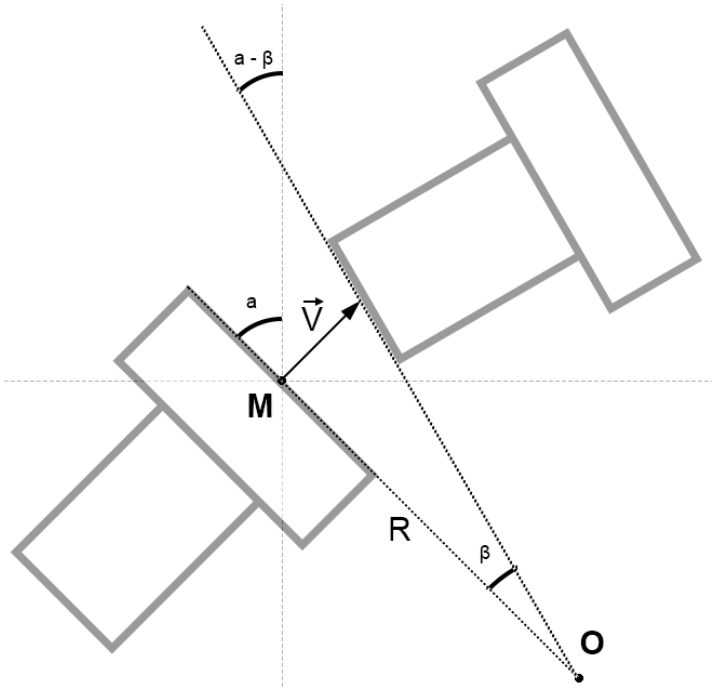


Рис. 3. Движение и отклонение комбайна. *M* – материальная точка комбайна, *O* – центр поворота, $\vec{v}$ – вектор скорости комбайна, a – угол направления комбайна, β – угол отклонения комбайна, *R* – расстояние до центра поворота

В каждый момент итерации модель изменяет свое местоположение на основе скорости движения и угла направления. В случае прямолинейного движения расчет следующей позиции комбайна в данной системе координат выполняется по формулам:

$$x_{\text{н}} = x + |\vec{v}| \cdot \Delta t \cdot \cos a;$$

$$y_{\text{н}} = y + |\vec{v}| \cdot \Delta t \cdot \sin a,$$

где $x_{\text{н}}$, $y_{\text{н}}$ – новые координаты комбайна; x и y – текущие координаты комбайна; $\vec{v}$ – вектор скорости комбайна; Δt – единица времени; a – угол направления.

Для моделирования отклонения комбайна на заданный угол прежде всего рассчитывается центр поворота, относительно которого должна повернуться материальная точка модели комбайна. С учетом некоторых допущений можно вычислить центр вращения с помощью формул:

$$x_{\text{o}} = x - R \cdot \sin a;$$

$$y_{\text{o}} = y + R \cdot \cos a,$$

где $x_{\text{o}}, y_{\text{o}}$ – координаты центра поворота; $|R|$ – расстояние до центра поворота. Значение R можно вычислить исходя из заданного наперед угла уклонения β и расстояния, пройденного комбайном без учета смещения за единицу времени $|\vec{v}| \cdot \Delta t$. В результате центр поворота вычисляется так:

$$x_{\text{o}} = x - \frac{|\vec{v}| \cdot \Delta t}{\tan \beta} \cdot \sin a;$$

$$y_{\text{o}} = y + \frac{|\vec{v}| \cdot \Delta t}{\tan \beta} \cdot \cos a.$$

При вычислении по координате x вычитание происходит из-за особенности системы координат, где при $0 < a < \pi$ и $0 < \beta < \pi$ координата x комбайна будет всегда уменьшаться. Угол считается положительным относительно системы координат, если поворот комбайна будет произведен против часовой стрелки. В зависимости от разных комбинаций угла направления и угла отклонения знак будет меняться. Это позволяет учесть то, с какой стороны борта комбайна будет располагаться центр поворота (рис. 4).

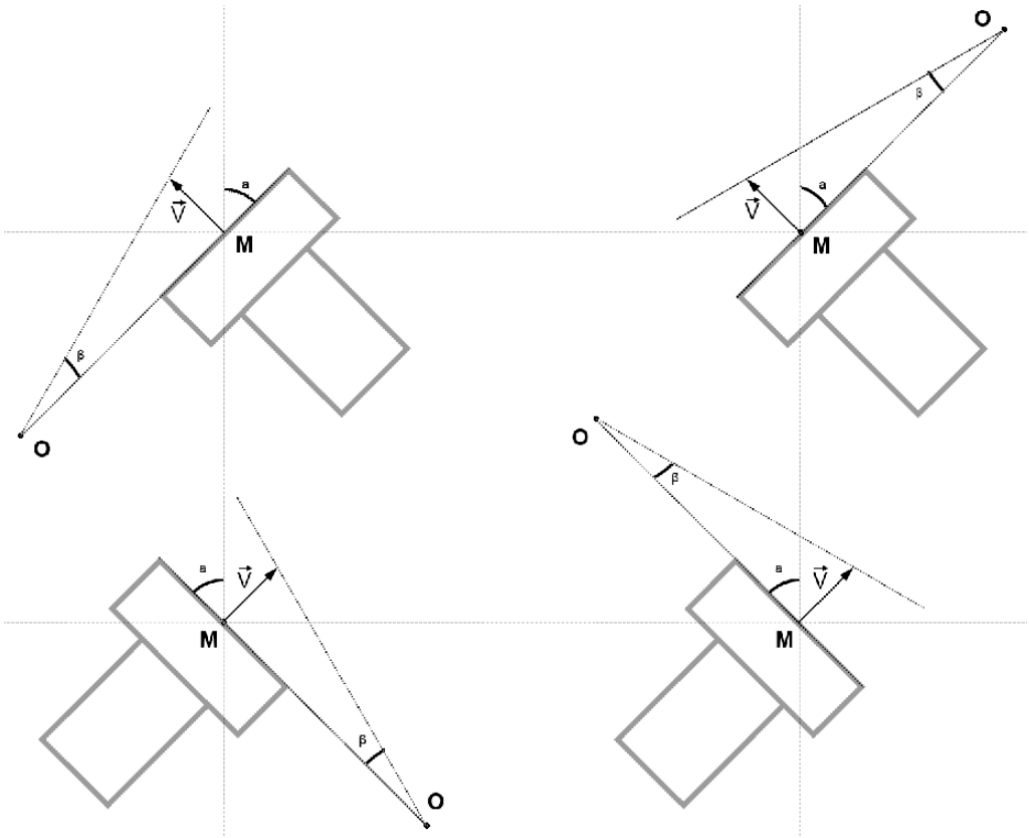


Рис. 4. Варианты расположения центра поворота в зависимости от угла направления и отклонения

Новая позиция точки комбайна $(x_{\text{p}}, y_{\text{p}})$ в результате поворота на угол β вокруг точки вращения $x_{\text{o}}, y_{\text{o}}$ вычисляется следующим образом:

$$x_{\text{p}} = x_{\text{o}} + (x - x_{\text{o}}) \cdot \cos \beta - (y - y_{\text{o}}) \cdot \sin \beta;$$

$$y_{\text{p}} = y_{\text{o}} + (x - x_{\text{o}}) \cdot \sin \beta + (y - y_{\text{o}}) \cdot \cos \beta.$$

После осуществления поворота к углу направления движения комбайна a прибавляется угол уклонения β, и модель комбайна продолжает моделировать движение или дальнейшее отклонение, исходя из этого значения.

Датчики считаются установленными перпендикулярно оси комбайна. Погрешность, возможная вследствие отклонения от перпендикуляра, будет в дальнейшем одним из направлений исследования робастности системы в целом. Для каждого датчика можно указать его расстояние от режущей кромки ГВМ в пределах технически возможных значений. Произвольное размещение датчиков невозможно из-за конструктивных особенностей комбайна (см. рис. 1, [13]). В направлении оси датчика модель подсчитывает темные пикселы, закрашенные при имитации перемещения режущей кромки ГВМ, таким образом, формируя показания виртуальных датчиков уровня.

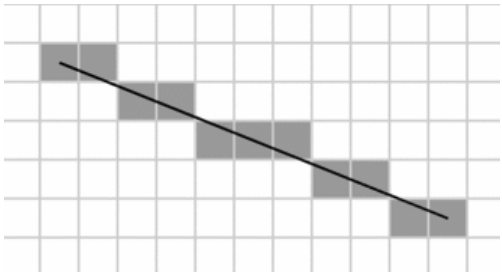


Рис. 5. Алгоритм Брезенхэма

Подсчет пикселей происходит с помощью алгоритма Брезенхэма [14]. Обычно с его помощью определяют, какие точки двумерного растра нужно закрасить, чтобы получить близкое приближение прямой линии между двумя заданными точками (рис. 5).

В нашем случае он не закрашивает пиксели, а считывает их в направлении оси датчика до тех пор, пока не достигнет стенки выработанного тоннеля (в программе это белые пиксели фона) или пока не достигнет предела указанной дальности датчика. Иными словами, алгоритму указываются две точки, между которыми нужно в направлении прямой считывать пиксели: точка расположения датчика и точка, расположенная на перпендикуляре от расположения датчика относительно борта ГВМ на расстоянии, определяющем дальность работы датчика, которое заведомо больше, чем расстояние до стенки выработки.

Внешний вид программы представлен на рис. 6, на котором показано главное окно настройки параметров моделирования движения комбайна.

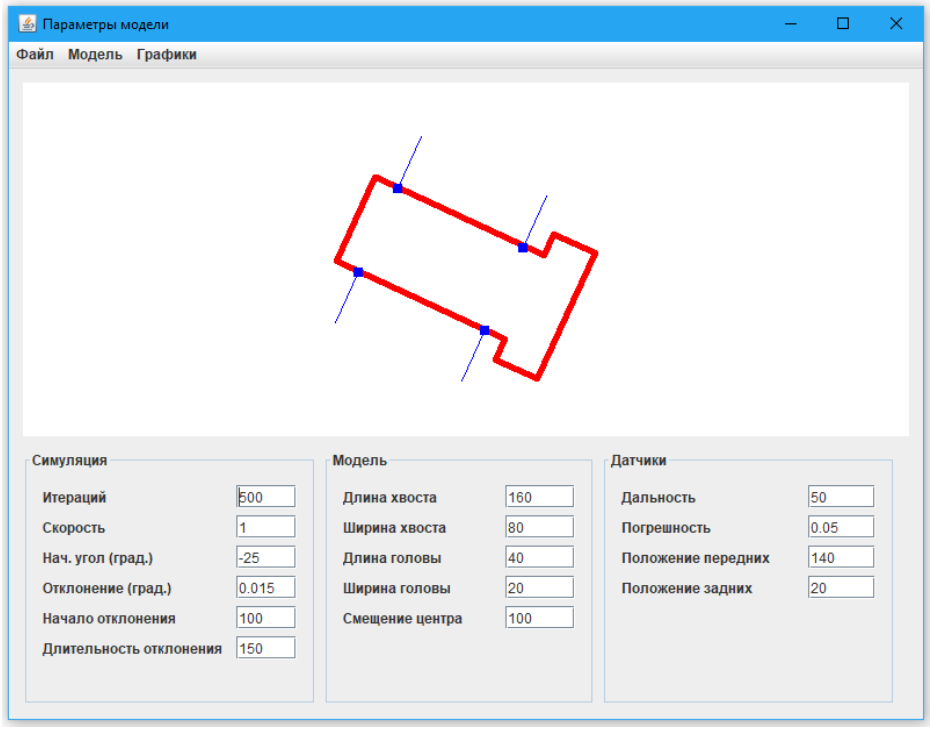


Рис. 6. Внешний вид окна параметров моделирования

Задав нужные параметры, можно посмотреть результат моделирования в виде траектории движения комбайна и получившегося тоннеля (рис. 7).

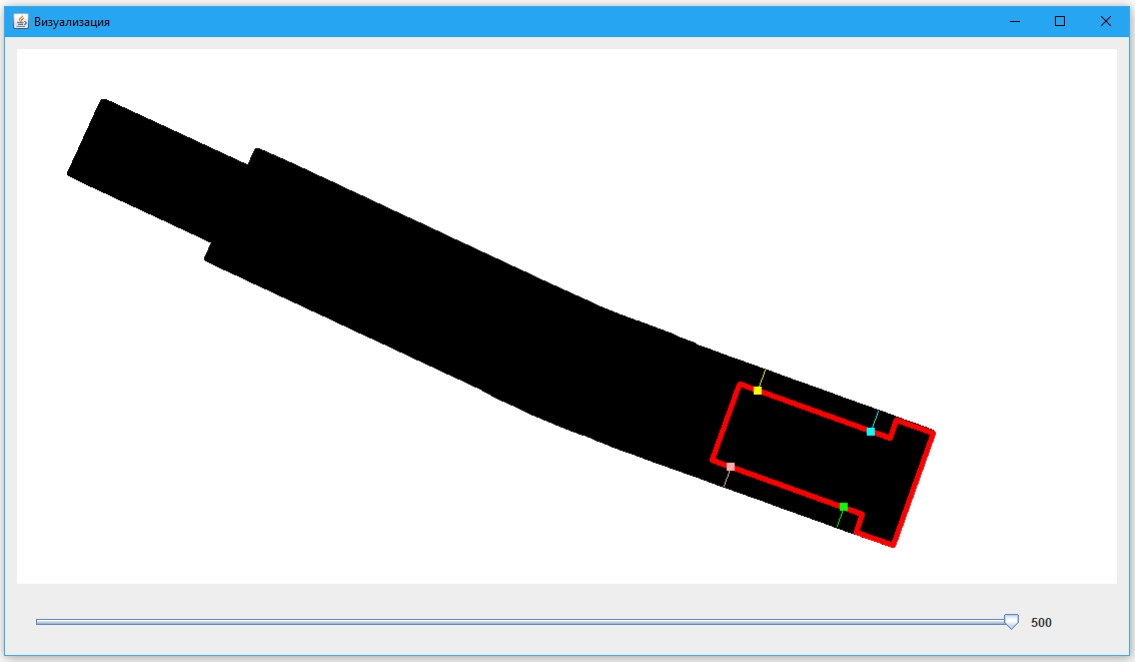


Рис. 7. Результат моделирования

Программа также позволяет выводить графики с показаниями датчиков на протяжении всего движения комбайна (рис. 8) и график отклонения от первоначального направления (рис. 9).

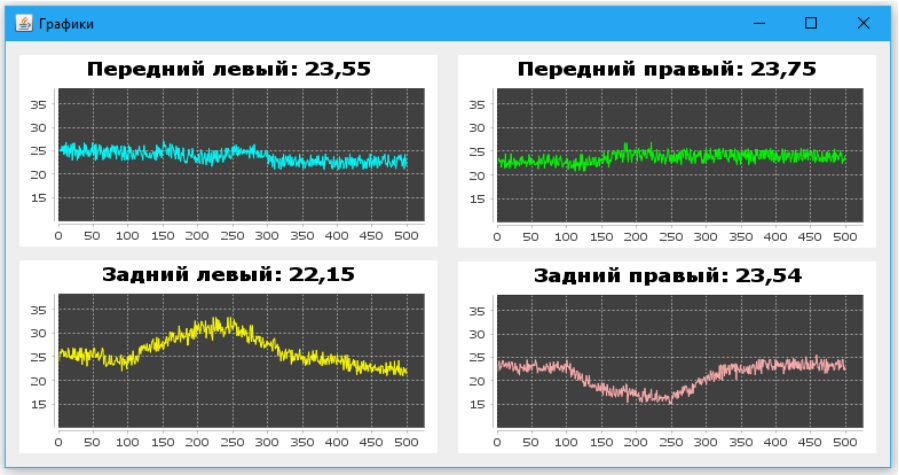


Рис. 8. Графики показаний датчиков

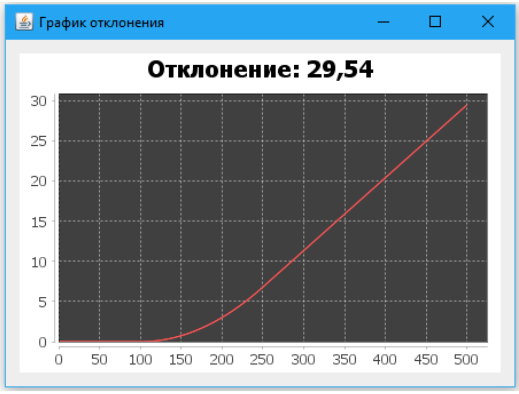


Рис. 9. График отклонения

В результате данной работы удалось разработать имитационную модель движения комбайна с возможностью его отклонения от прямолинейного движения. Программа позволит собирать наборы данных с датчиков для разных ситуаций во время движения комбайна. При обучении нейронной сети, определяющей наличие отклонения, ей на вход будут подаваться значения с датчиков, а на выход – известные значения уклонения [15]. Дальнейшие направления исследований с помощью модели – это исследование зависимости ее погрешности от погрешности каждого датчика, от статистического распределения погрешности датчиков, от расположения датчиков и от типа уклонения.

Литература

1. A hybrid indoor positioning algorithm based on WiFi fingerprinting and pedestrian dead reckoning / Q. Lu, X. Liao, S. Xu, W. Zhu // EEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. – 2016. – PIMRC, 7794982. DOI: 10.1109/PIMRC.2016.7794982

2. Щекотов, М.С. Анализ подходов к позиционированию внутри помещений с использованием трилатерации сигналов Wi-Fi / М.С. Щекотов // Труды СПИИРАН. – 2014. – № 5 (36). – С. 206–215. DOI: 10.15622/sp.36.13

3. Robust Acoustic Positioning for Safety Applications in Underground Mining / R. Pfeil, M. Pichler, S. Schuster, F. Hammer // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2015. – No. 64 (11). – P. 2876–2888. DOI: 10.1109/TIM.2015.2433631

4. Flinn, J.A. A next generation mining machine guidance and control system / J.A. Flinn, D.G. Fileccia // Mining Engineering. – 2006. – No. 58 (12). – P. 30–34.

5. Ганагина, И.Г. Выбор ГНСС аппаратуры для реализации точного позиционирования подвижных объектов / И.Г. Ганагина, Н.С. Косарев, Р.Ф. Темирбулатов // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2014. – Т. 1, № 2. – С. 118–122.

6. Moving objects control under uncertainty / I.S. Kobersy, D.V. Shkurkin, A.V. Zatonskiy et al. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – No. 5. – P. 2830–2834.

7. SightPower: TUNEL PRO_VISION. – http://sight-power.com/ru/about-us/documents.

8. Tunnel Surveying Solutions from Mobile Mapping Experts. – https://ugpsrapidmapper.com.

9. Влияние нестационарности объекта управления на параметры установившихся автоколебаний / М.Н. Ерыпалова, В.Ф. Беккер, А.В. Затонский, Ю.П. Кирин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2008. – № 4 (8). – С. 50–57.

10. Kravets, O.Ja. Forecast of tax revenues based on discrete processes dynamics neural network simulation / O.Ja. Kravets, I.N. Kryuchkova // American Journal of Economics and Control Systems Management. – 2013. – No. 2. – P. 3–10.

11. Технология подземной разработки калийных руд / В.Г Зильбершмидт, К.Г. Синопальников, Г.Д. Полянина и др. – М.: Недра, 1977. – 287 с.

12. Методическое руководство по ведению горных работ на рудниках Верхнекамского калийного месторождения / Уральский филиал ВНИИГ. – М.: Недра, 1992. – 468 с.

13. Соловьев, В.А. Разработка калийных месторождений: практикум / В.А.Соловьев, А.И. Секунцов. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. – 265 с.

14. Использование видеографической информации для уточнения динамической стохастической модели процесса флотации калийной руды / А.В. Затонский, С.А. Варламова, А.В. Малышева, А.А. Мясников // Интернет-журнал Науковедение. – 2017. – Т. 9, № 2. – С. 87.

15. Затонский, А.В. Программные средства глобальной оптимизации систем автоматического регулирования / А.В. Затонский. – М.: Инфра-М, 2013. – 136 с. – (Сер. Научная мысль).

Затонский Андрей Владимирович, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой автоматизации технологических процессов, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал, г. Березники, Пермский край; zxenon@narod.ru.

Михалев Павел Владимирович, аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал, г. Березники, Пермский край; pavelmi@list.ru.

Поступила в редакцию 16 февраля 2019 г.

DOI: 10.14529/ctcr190216

DESIGN OF IMITATING MODEL OF MINING MASHINE

***A.V. Zatonskiy**, zxenon@narod.ru,*
***P.V. Mikhalev**, pavelmi@list.ru*
Perm National Research Politechnic University, Berezniki branch, Berezniki, Perm region, Russian Federation

An importance of solving the scientific problem of identifying deviations of a mining machine in the extraction of potash ore and other ores is determined. The impossibility of direct application of both existing positioning systems inside buildings and underground positioning systems offered on the market for this purposes is shown. That is why difficult conditions during the mining and high vibration. It is proposed to determine the deviation of the mining machine by indications of the distance to the mine wall sensors installed on the sides. The neural network could be used as an identification subsystem in the future. For the learning, a model is needed for simulate data from sensors according with a predetermined deviation. Indications of the sensors is imitated by a simple geometrical way inside the pixel on the monitor screen trailed by a segment of the cutting edge of the mining machine. A simulation model of a two-dimensional underground movement of a mining machine is created. It allows to set deviations of different types and to simulate the indications of distance sensors at the same time. These calculations are based on determining the point of rotation of the mining machine during a small deviation from a straight course of movement. Further, the next position of the machine and the pixels painted by the cutting edge during the movement are determined by an explicit method. The number of pixels between the sensor and the non-shaded area in the direction perpendicular to the axis of the mining machine is evaluated through the scale into the distance to the bottom wall. The error of sensors with a predetermined spread and its statistical distribution is also simulated. The possibility of qualitative identification of evasion by the indications of four sensors and possibility of using the model for learning a neural network are shown.

Keywords: potassium ore, mine, mining machine, positioning, deviation, model.

References

1. Lu Q., Liao X., Xu S., Zhu W. A Hybrid Indoor Positioning Algorithm Based on WiFi Fingerprinting and Pedestrian Dead Reckoning. *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, 2016, PIMRC, 7794982. DOI: 10.1109/PIMRC.2016.7794982

2. Shchekotov M.S. [Analysis of Approaches to Indoor Positioning Using Trilateration of Wi-Fi Signals]. *Works of SPIIRAN*, 2014, no. 5 (36), pp. 206–215. (in Russ.) DOI: 10.15622/sp.36.13

3. Pfeil R., Pichler M., Schuster S., Hammer F. Robust Acoustic Positioning for Safety Applications in Underground Mining. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2015, no. 64 (11), pp. 2876–2888. DOI: 10.1109/TIM.2015.2433631

4. Flinn J.A., Fileccia D.G. A Next Generation Mining Machine Guidance and Control System. *Mining Engineering*, 2006, no. 58 (12), pp. 30–34.

5. Ganagina I.G., Kosarev N.S., Temirbulatov R.F. [Selection of GNSS Equipment for Accurate Positioning of Moving Objects]. *Interekspo Geo-Sibir'*, 2014, vol. 1, no. 2, pp. 118–122. (in Russ.)

6. Kobersy I.S., Shkurkin D.V., Zatonskiy A.V., Volodina J.I., Safyanova T.V. Moving Objects Control under Uncertainty. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2016, no. 5, pp. 2830–2834.

7. SightPower: TUNEL PRO_VISION. Available at: http://sight-power.com/ru/about-us/documents.

8. Tunnel Surveying Solutions from Mobile Mapping Experts. Available at: https://ugpsrapidmapper.com.

9. Erypalova M.N., Bekker V.F., Zatonskiy A.V., Kirin Yu.P. [Influence of Unsteadiness of the Control Object on the Parameters of Steady-State Oscillations]. *News of Higher Educational Institutions. Volga Region. Technical Science*, 2008, no. 4 (8), pp. 50–57. (in Russ.)

10. Kravets O.Ja., Kryuchkova I.N. Forecast of Tax Revenues Based on Discrete Processes Dynamics Neural Network Simulation. *American Journal of Economics and Control Systems Management*, 2013, no. 2, pp. 3–10.

11. Zil'bershmidt V.G., Sinopal'nikov K.G., Polyanina G.D. et al. *Tekhnologiya podzemnoy razrabotki kaliynykh rud* [Technology of Underground Mining of Potash Ores]. Moscow, Nedra Publ., 1977, 287 p.

12. *Metodicheskoe rukovodstvo po vedeniyu gornykh rabot na rudnikakh Verkhnekamskogo kaliynogo mestorozhdeniya* [Methodological Guidelines for Mining Operations in the Mines of the Verkhnekamskoye Potash Deposit]. Moscow, Nedra Publ., 1992. 468 p.

13. Solov'ev V.A., Sekuntsov A.I. *Razrabotka kaliynykh mestorozhdeniy: praktikum* [The Development of Potash Deposits: a Workshop]. Perm', Perm National Res. Polytechn. Univ. Publ., 2013. 265 p.

14. Zatonskiy A.V., Varlamova S.A., Malysheva A.V., Myasnikov A.A. [The Use of Videographic Information to Clarify the Dynamic Stochastic Model of the Process of Flotation of Potash Ore]. *Online Journal Science of Science*, 2017, vol. 9, no. 2, p. 87. (in Russ.)

15. Zatonskiy A.V. *Programmnye sredstva global'noy optimizatsii sistem avtomaticheskogo regulirovaniya* [Software for Global Optimization of Automatic Control Systems]. Moscow, Infra-M Publ., 2013. 136 p.

Received 16 February 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Затонский, А.В. Разработка имитационной модели движения горно-выработочной машины / А.В. Затонский, П.В. Михалев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 166–174. DOI: 10.14529/ctcr190216

FOR CITATION

Zatonskiy A.V., Mikhalev P.V. Design of Imitating Model of Mining Mashine. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 166–174. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr190216

DOI: 10.14529/ctcr190217

TASKS SOLVED IN THE ANALYSIS OF THE ENTERPRISE'S LABOR RESOURCES

***V.V. Zakharov**, metkol@yandex.ru*
South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The enterprise, as an economic system, is the main primary link, where there is a direct solution to the main economic problem of efficient allocation and management of resources.

In the light of constantly growing requirements to optimization of economic activity of the enterprise and for implementation of its principles and strategy it is necessary to estimate and consider financial and economic condition of the enterprise, including in the field of manpower, as the most important component of administrative activity.

The production potential of the enterprise is formed from the availability, as well as the effectiveness and efficiency of the use of both means of labor, objects of labor, and the actual labor resources, in accordance with this, and the analysis is conducted. The vector for evaluation and decision-making in the field of human resources is the analysis of human resources of the enterprise and the efficiency of their use. It should be noted that with the transition to a market economy, the analysis of labour relations becomes increasingly important, since the labour force is valued and competitive in the labour market. This extends the boundaries of analytical research, the criteria for optimizing labor relations have not only economic but also social parameters. Economic and social security of labor, on the one hand, and special working conditions, on the other, form the sphere of in-depth analytical studies of the enterprise's potential. It is also important to give a correct assessment of the use of resources of the organization with the help of the main indicators of the enterprise. This article discusses the analysis of labor resources as one of the components of the formation and use of the production potential of the enterprise.

Keywords: analysis of labor resources, personnel management.

Introduction

There are various ways to analyze the financial and economic condition of the enterprise [1–5]. However, some areas of analysis of the state of the enterprise are the most common [6–8]. Let us consider in more detail the analysis of labor resources as a component of the formation and use of the production potential of the enterprise.

To the analysis of labor resources

In the analysis of labor resources the following tasks are solved [9]:

- assessment of staffing levels;
- analysis of staff composition, structure and movement;
- evaluation of the effectiveness of working time;
- analysis of the effectiveness using of labor resources, identification and calculation of reserves of efficiency growth.

For the enterprise, both the deficit and the surplus of labor resources are disadvantageous. The deficit, as a rule, has the following negative consequences: the growth of overtime work and the associated overspending of the wage fund; non-rhythmic production; failure to plan production; reduced product quality. All these factors lead to an increase in production costs, penalties and, consequently, to lower profits. Surplus labor with a constant volume of production leads to a decrease in labor productivity, which also leads to an increase in production costs [10–12].

Movement analysis is performed in absolute and relative terms by categories of personnel. The most important category for the analysis are the workers of the main production, since it is they who produce the additional product and the cost of paying for their labor is direct, that is, they are directly transferred to the cost of products. In addition to this category, employees of auxiliary and service industries, employees, etc., are also distinguished. In addition to the categories, personnel analysis can be made on other factors: gender and age, education, marital status, etc. [9, 13–15].

Analysis of the movement of personnel is assessed using absolute indicators, and using coefficients:

$$Acceptance\ turnover\ ratio = \frac{Number\ of\ applicants}{Average\ number}, \quad (1)$$

$$Turnover\ rate\ for\ retirement = \frac{Number\ of\ departures}{Average\ number}, \quad (2)$$

$$Staff\ turnover\ rate = \frac{The\ number\ of\ dismissed\ (of\ their\ own\ free\ will\ and\ for\ violation\ of\ the\ discipline)}{Average\ number}. \quad (3)$$

However, analyzing only the availability of labor resources is not enough; it is important to evaluate the effectiveness of their use. Two factors are considered: the use of working time (extensive factor) and labor productivity (intensive factor).

For the analysis of working time calculated funds time (calendar, nominee, person helpful, and so on) that are mapped to the dynamics of the actual funds previous periods. The influence of factors on the change of temporary funds is studied by the balance sheet method.

Labor productivity refers to the indicators of local efficiency, that is, it compares the result and the expended resource. In practice, several indicators of labor productivity are used:

– production per person [monetary unit]:

$$PT_1 = \frac{Output\ in\ value\ terms}{Number} \quad (4)$$

characterizes the cost of products produced by one person per month;

– production output [piece/person-hour]:

$$PT_2 = \frac{Output\ in\ natural\ terms}{Cost\ of\ working\ time} \quad (5)$$

characterizes the amount of products produced per unit of time;

– labor intensity:

$$T_{ins} = \frac{Costs\ (person{-}hours)}{Output\ in\ value\ terms} \quad (6)$$

characterizes the complexity of the monetary unit of production;

– specific labor intensity:

$$T_{ins.spec} = \frac{Costs\ (man{-}hours)}{Output\ in\ physical\ terms} \quad (7)$$

characterizes the complexity of manufacturing a unit of production.

Factor analysis of labor productivity is carried out by the method of chain substitutions, by the method of differences or by the integral method. Factors affecting productivity are:

- number of working days;
- the average duration of the working day;
- the average hourly production of workers, which depends on the product range, the technical level of production, changes in the specific labor intensity of products.

The generalized indicators of the efficiency of use of labor resources include the indicator of relative savings (overspending) of costs, as well as the ratio of growth rates of labor productivity and wages:

$$Overspending\ labor\ costs = C_1 - C_0 \cdot K_{growth}, \quad (8)$$

where C_1 – actual labor costs of the current period;

C_0 – planned labour costs;

K_{growth} – growth rate of output calculated as:

$$K = \frac{Growth\ rate\ of\ labor\ productivity}{Growth\ rate\ of\ average\ wage}. \quad (9)$$

The values of this coefficient more than 1 shows that the use of labor resources in the enterprise is quite effective.

Conclusion

The labor resources in an enterprise is the object of constant management attention. The volume and timeliness of all work, the degree of use of equipment and, consequently, the volume of production, its

cost, profit and a number of other economic indicators depend on the security of the enterprise with labor resources and the efficiency of their use, in this regard, it is necessary to analyze the labor resources of the enterprise.

References

1. Vasiliev D.K., Zalozhnev A.Yu., Novikov D.A. *Tipovyye resheniya v upravlenii proyektami* [Typical Solutions in Project Management]. Moscow, ICS RAS Publ., 2003. 84 p.

2. Monakhov A.V. *Matematicheskiye metody analiza ekonomiki* [Mathematical Methods of Economic Analysis]. St. Petersburg, Piter Publ., 2002. 176 p.

3. Novikov D.A. *Stimulirovaniye v organizatsionnykh sistemakh* [Stimulation in Organizational Systems]. Moscow, Sinteg Publ., 2003. 305 p.

4. Korennaya K.A. [Approach, Methods and Models of Labor Resources Management as the Most Important Components of the Modern Concept of Industrial Enterprise Management]. *News of Higher Educational Institutions. Ural Region*, 2012, no 3, pp. 47–61. (in Russ.)

5. Korennaya K.A., Loginovsky O.V., Maksimov A.A. *Upravlenie promyshlennymi predpriyatiyami v usloviyakh global'noy nestabil'nosti* [Industrial Enterprises Management in Conditions of Global Instability]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2013. 403 p.

6. Loginovskiy O.V., Bolodurina I.P. *Gosudarstvennoye upravleniye promyshlennost'yu v regionakh RF* [State Management of Industry in the Regions of the Russian Federation]. Moscow, Mechanical Engineering, 2003. 75 p.

7. Loginovskiy O.V., Burkov V.N., Burkova I.V., Gel'rud Ya.D., Korennaya K.A., Maksimov A.A., Shestakov A.L. *Upravleniye promyshlennymi predpriyatiyami: strategii, mekhanizmy, sistemy* [Management of Industrial Enterprises: Strategies, Mechanisms, Systems]. Moscow, INFRA-M Publ., 2018. 410 p.

8. Loginovskiy O.V., Maksimov A.A. *Upravlenie: teorija i praktika. T. 1: Upravleniye promyshlennym predpriyatiyem* [Management: Theory and Practice. Vol. 1: Industrial Enterprise Management]. Moscow, Mechanical Engineering-1 Publ., 2006. 576 p.

9. Loginovskiy O.V., Maksimov A.A. *Upravlenie: teorija i praktika. T. 2: Korporativnoye upravleniye* [Management: Theory and Practice. Vol. 2: Corporate Governance]. Moscow, Mechanical Engineering-1 Publ., 2007. 624 p.

10. Novikov D.A. *Teoriya upravleniya organizatsionnymi sistemami* [Theory of Management of Organizational Systems]. Moscow, Publ. House of Physical and Mathematical Literature, 2012. 604 p.

11. Rayzberg B.A. *Kurs upravleniya ekonomikoy* [Economics Management Course]. St. Petersburg, Piter Publ., 2003. 528 p.

12. Druri K. *Upravlencheskiy uchet dlya biznes-resheniy* [Management Accounting for Business Decisions]. Moscow, UNITY-DANA Publ., 2003. 665 p.

13. Fidel'man G.N., Dedikov S.V., Adler Yu.P. *Al'ternativnyy menedzhment: put' k global'noy konkurentosposobnosti* [Alternative Management: The Path to Global Competitiveness]. Moscow, Al'pina Publ., 2005. 186 p.

14. Alekseenko V.B., Ivanova T.B. *Kak dostich' effektivnosti v upravlenii biznesom* [How to Achieve Efficiency in Business Management]. Moscow, RUDN Univ. Publ., 2010. 214 p.

15. Egorshin A.P. *Upravleniye personalom* [Human Resource Management]. N. Novgorod, NIMB Publ., 1999. 214 p.

Received 28 January 2019

Краткие сообщения

УДК 658.3.07 **DOI: 10.14529/ctcr190217**

ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ ПРИ АНАЛИЗЕ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ ПРЕДПРИЯТИЯ

В.В. Захаров

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Предприятие как экономическая система является главным первичным звеном, где происходит непосредственное решение основной экономической проблемы эффективного распределения ресурсов и управления ими.

В свете постоянно растущих требований к оптимизации хозяйственной деятельности предприятия и для реализации его принципов и стратегии необходимо оценивать и учитывать финансово-экономическое состояние предприятия, в том числе в области трудовых ресурсов, как важнейшей составляющей управленческой деятельности.

Производственный потенциал предприятия формируется из наличия, а также результативности и эффективности использования как средств труда, предметов труда, так и собственно трудовых ресурсов, в соответствии с этим и ведется анализ. Вектором для оценки и принятия решений в области трудовых ресурсов является анализ трудовых ресурсов предприятия и эффективности их использования. Следует отметить, что с переходом к рыночной экономике анализ трудовых отношений становится все более важным, поскольку рабочая сила имеет оценку и является конкурентоспособной на рынке труда. Это расширяет границы аналитических исследований, критерии оптимизации трудовых отношений имеют не только экономические, но и социальные параметры. Экономическое и социальное обеспечение труда, с одной стороны, и особые условия труда, с другой, формируют сферу углубленных аналитических исследований потенциала предприятия. Также важно дать правильную оценку использованию ресурсов организации с помощью основных показателей предприятия. В данной статье рассматривается анализ трудовых ресурсов как один из составляющих компонентов формирования и использования производственного потенциала предприятия.

Ключевые слова: анализ трудовых ресурсов, управление персоналом.

Литература

1. Типовые решения в управлении проектами / Д.К. Васильев, А.Ю. Заложнев, Д.А. Новиков и др. – М.: ИПУ РАН, 2003. – 84 с.

2. Монахов, А.В. Математические методы анализа экономики / А.В. Монахов. – СПб.: Питер, 2002. – 176 с.

3. Новиков, Д.А. Стимулирование в организационных системах / Д.А. Новиков. – М.: Синтег, 2003. – 305 с.

4. Коренная, К.А. Подход, методы и модели управления трудовыми ресурсами как важнейшие составляющие современной концепции управления промышленным предприятием / К.А. Коренная // Известия высших учебных заведений. Уральский регион. –2012. – № 3. – С. 47–61.

5. Коренная, К.А. Управление промышленными предприятиями в условиях глобальной нестабильности: монография / К.А. Коренная, О.В. Логиновский, А.А. Максимов; под ред. д-ра техн. наук проф. А.Л. Шестакова // – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2013. – 403 с.

6. Логиновский, О.В. Государственное управление промышленностью в регионах РФ / О.В. Логиновский, И.П. Болодурина. – М.: Машиностроение, 2003. – 75 с.

7. Управление промышленными предприятиями: стратегии, механизмы, системы: моногр. / О.В. Логиновский, В.Н. Бурков, И.В. Буркова и др. – М.: ИНФРА-М, 2018. – 410 с.

8. Логиновский, О.В. Управление: теория и практика. Т. 1: Управление промышленным предприятием / О.В. Логиновский, А.А. Максимов. – М.: Машиностроение, 2006. – 576 с.

9. Логиновский, О.В. Управление: теория и практика. Т. 2: Корпоративное управление / О.В. Логиновский, А.А. Максимов. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 624 с.

10. Новиков, Д.А. Теория управления организационными системами / Д.А. Новиков. – 3-е изд. – М.: Изд-во физ.-мат. лит., 2012. – 604 с.

11. Райзберг, Б.А. Курс управления экономикой / Б.А. Райзберг. – СПб.: Питер, 2003. – 528 с.

12. Друри, К. Управленческий учет для бизнес-решений / К. Друри. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 665 с.

13. Фидельман, Г.Н. Альтернативный менеджмент: путь к глобальной конкурентоспособности / Г.Н. Фидельман, С.В. Дедиков, Ю.П. Адлер. – М.: Альпина, 2005. – 186 с.

14. Алексеенко, В.Б. Как достичь эффективности в управлении бизнесом / В.Б. Алексеенко, Т.Б. Иванова – М.: Изд-во РУДН, 2010. – 214 с.

15. Егоршин, А.П. Управление персоналом / А.П. Егоршин. – Н. Новгород: НИМБ, 1999. – 214 с.

Захаров Вадим Владимирович, аспирант кафедры информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; metkol@yandex.ru.

Поступила в редакцию 28 января 2019 г.

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Zakharov, V.V. Tasks Solved in the Analysis of the Enterprise's Labor Resources / V.V. Zakharov // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 175–179. DOI: 10.14529/ctcr190217

FOR CITATION

Zakharov V.V. Tasks Solved in the Analysis of the Enterprise's Labor Resources. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 175–179. DOI: 10.14529/ctcr190217

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

1. **Тематика.** В журнале публикуются статьи по следующим научным направлениям: управление в различных отраслях техники, а также в административной, коммерческой и финансовой сферах; математическое, алгоритмическое, программное и аппаратурное обеспечение компьютерных технологий, в том числе компьютерных комплексов, систем и сетей; измерительные системы, приборостроение, радиоэлектроника и связь.

2. **Структура статьи.** Статья содержит УДК, название (не более 12–15 слов), список авторов, аннотацию (100–250 слов), список ключевых слов, введение, основной текст (структурированный по разделам), заключение (обсуждение результатов), литературу (в порядке цитирования, по ГОСТ 7.1–2003). В конце статьи следуют элементы на английском языке: название, аннотация, список ключевых слов, литература (references). Бумажная версия статьи подписывается всеми авторами.

3. **Параметры набора.** Размеры полей: левое – 3 см, правое – 3 см, верхнее и нижнее – по 3 см. Текст статьи набирать шрифтом Times New Roman размером 14 пт. Выравнивание абзацев – по ширине. Отступ первой строки абзаца – 0,7 см. Междустрочный интервал – полуторный. Включить режим автоматического переноса слов. Все кавычки должны быть угловыми («»). Все символы «тире» должны быть среднего размера («–», а не «-»). Ключевые элементы статьи – шапка, заголовки разделов – следует выделять полужирным. Знак разделения целой и десятичной части числа – запятая. Между числом и единицей измерения должен стоять неразрывный пробел (Ctrl + Shift + Пробел).

4. **Формулы.** Набираются в редакторе формул MathType либо Microsoft Equation с отступом 0,7 см от левого края. Размер обычных символов – 11 пт, размеры индексов первого порядка – 71 %, индексов второго порядка – 58 %. Номер формулы размещается за пределами формулы, непосредственно после нее, в круглых скобках.

5. **Рисунки и таблицы.** Рисунки имеют разрешение не менее 300 dpi. Рисунки нумеруются и имеют названия (Рис. 1. Здесь следует название рисунка). Таблицы нумеруются и имеют названия (Таблица 1. Здесь следует название таблицы).

6. **Адрес редакционной коллегии.** 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76, корп. 3б, 4-й этаж – дирекция Высшей школы электроники и компьютерных наук, отв. секретарю к.т.н., доц. Плотниковой Н.В. Адрес электронной почты ответственного секретаря журнала: plotnikovanv@susu.ru.

7. **Подробные требования к оформлению.** Полную версию требований к оформлению статей и пример оформления можно загрузить с сайта журнала http://vestnik.susu.ru/ctcr.

8. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗДАНИИ

Журнал «Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника» основан в 2001 году.

Учредитель – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Главный редактор – д.т.н., проф. Шестаков Александр Леонидович.

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-57366 выдано 24 марта 2014 г. Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ. Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory».

Решением Президиума Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации журнал включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» по следующим научным специальностям и соответствующим им отраслям науки: 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям) (технические науки); 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям) (технические науки); 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах (технические науки).

Подписной индекс 29008 в объединенном каталоге «Пресса России».

Периодичность выхода – 4 номера в год.

Адрес редакции, издателя: 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76, Издательский центр ЮУрГУ, каб. 32.

ВЕСТНИК
ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
Серия
«КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ,
УПРАВЛЕНИЕ, РАДИОЭЛЕКТРОНИКА»
2019. Том 19, № 2

16+

Редакторы: *С.И. Уварова, Е.В. Фёдорова*
Компьютерная верстка *С.В. Буновой*

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 29.04.2019. Дата выхода в свет 13.05.2019. Формат 60×84 1/8. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 21,39. Тираж 500 экз. Заказ 110/238. Цена свободная.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.
454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76.