

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Том 26

2020

№ 12

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРИКЛАДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

САПР

КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА

МЕТОДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

ОПЕРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И СРЕДЫ

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

НЕЙРОСЕТИ И
НЕЙРОКОМПЬЮТЕРЫ

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

ПРИКЛАДНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ
СИСТЕМЫ

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

ОПТИМИЗАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

ИТ В ОБРАЗОВАНИИ

ГИС

Рисунки к статье В. В. Курейчика, Вл. Вл. Курейчика

«РАЗБИЕНИЕ ГРАФОВ НА ЧАСТИ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННОГО ПОДХОДА»

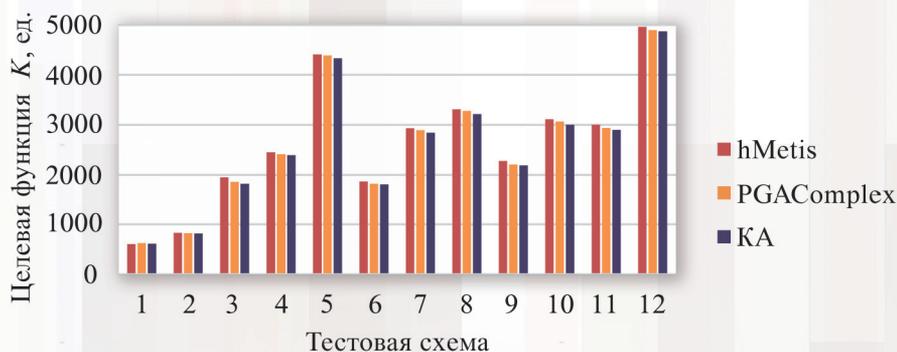


Рис. 4. Гистограмма сравнения значений целевой функции алгоритмов разбиения в зависимости от тестовых схем IBM

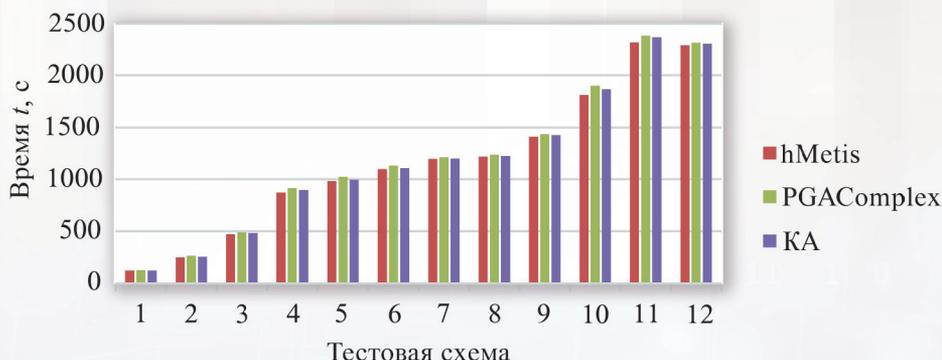


Рис. 5. Гистограмма сравнения времени работы алгоритмов разбиения в зависимости от тестовых схем IBM

Рисунки к статье В. И. Беловицкого

«КОНЦЕПЦИЯ ОБЛАЧНОГО СЕРВИСА RECEIPTS & PROMOTIONS: НОВЫЙ УРОВЕНЬ КОММУНИКАЦИИ МЕЖДУ БАНКОМ, МАГАЗИНОМ И ПОКУПАТЕЛЕМ»



Схема процесса покупки с использованием сервиса R&P:

1 – предъявление покупателем покупок и штрихкода с бонусным предложением; 2 – запрос кассы в облако «Мир» для подтверждения наличия данных бонусных предложений в настоящий момент и получение ответа; 3 – отображение обновленной суммы покупки на дисплее кассы; 4 – передача обновленной суммы покупки от кассы к POS-терминалу; 5 – получение POS-терминалом информации от карты «Мир»; 6 – отправка запроса эквайеру по транзакции и получение ответа; 7 – отправка информации о результате транзакции от POS-терминала к кассе, формирование чека в фискальном накопителе; 8 – отправка данных чека от кассы в ОФД, получение фискального идентификатора чека; 9 – отправка электронного чека о совершенной покупке от кассы в облако «Мир»; 10 – отправка данных чека из облака «Мир» в мобильное приложение «Привет, Мир!»

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Том 26
2020
№ 12

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРИКЛАДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с ноября 1995 г.

DOI 10.17587/issn.1684-6400

УЧРЕДИТЕЛЬ

Издательство "Новые технологии"

СОДЕРЖАНИЕ

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ

Курейчик В. В., Курейчик Вл. Вл. Разбиение графов на части на основе комбинированного подхода 667

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Вайнилович Ю. В. Метод повышения эффективности управления IT-проектами с использованием генетического алгоритма 673

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Букалов Г. К., Бурьгин А. О., Панин И. Г., Торцев А. В. Модификация метода полностью связанных сверточных сетей (FCN) для поиска редко встречающихся дефектов на больших площадях 683

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОНОМИКЕ

Усманов М. Р., Фоменков Д. А., Шушкин М. А. Анализ цифровизации инжиниринговых проектов на примере нефтегазового сектора 688

Беловицкий В. И. Концепция облачного сервиса Receipts & Promotions: новый уровень коммуникации между банком, магазином и покупателем 697

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В БИОМЕДИЦИНСКИХ СИСТЕМАХ

Lakman I., Akhmetvaleev R., Enikeev D., Khaziakhmetov R., Chernenko O. Similarity Learning Algorithm Selection for Chronic Renal Failure Patients Treatment Strategy Optimization 701

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

Янукович С. П., Борисов В. В., Захарченков К. В. Концепция повышения эффективности управления образовательными системами на основе адаптивных алгоритмов роевого интеллекта 706

Указатель статей, опубликованных в журнале "Информационные технологии" в 2020 г. 717

Информация о журнале доступна по сети Internet по адресу <http://novtex.ru/IT>.
Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования и базу данных RSCI на платформе Web of Science.
Журнал входит в Перечень научных журналов, в которых по рекомендации ВАК РФ должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

Главный редактор:

СТЕМПКОВСКИЙ А. Л.,
акад. РАН, д. т. н., проф.

Зам. главного редактора:

ИВАННИКОВ А. Д., д. т. н., проф.
ФИЛИМОНОВ Н. Б., д. т. н., с.н.с.

Редакционный совет:

БЫЧКОВ И. В., акад. РАН, д. т. н.

ЖУРАВЛЕВ Ю. И.,

акад. РАН, д. ф.-м. н., проф.

КУЛЕШОВ А. П.,

акад. РАН, д. т. н., проф.

ПОПКОВ Ю. С.,

акад. РАН, д. т. н., проф.

РУСАКОВ С. Г.,

чл.-корр. РАН, д. т. н., проф.

РЯБОВ Г. Г.,

чл.-корр. РАН, д. т. н., проф.

СОЙФЕР В. А.,

акад. РАН, д. т. н., проф.

СОКОЛОВ И. А.,

акад. РАН, д. т. н., проф.

СУЕТИН Н. В., д. ф.-м. н., проф.

ЧАПЛЫГИН Ю. А.,

акад. РАН, д. т. н., проф.

ШАХНОВ В. А.,

чл.-корр. РАН, д. т. н., проф.

ШОКИН Ю. И.,

акад. РАН, д. т. н., проф.

ЮСУПОВ Р. М.,

чл.-корр. РАН, д. т. н., проф.

Редакционная коллегия:

АВДОШИН С. М., к. т. н., доц.

АНТОНОВ Б. И.

БАРСКИЙ А. Б., д. т. н., проф.

ВАСЕНИН В. А., д. ф.-м. н., проф.

ВАСИЛЬЕВ В. и., д. т. н., проф.

ВИШНЕКОВ А. В., д. т. н., проф.

ДИМИТРИЕНКО Ю. И., д. ф.-м. н., проф.

ДОМРАЧЕВ В. Г., д. т. н., проф.

ЗАБОРОВСКИЙ В. С., д. т. н., проф.

ЗАРУБИН В. С., д. т. н., проф.

КАРПЕНКО А. П., д. ф.-м. н., проф.

КОЛИН К. К., д. т. н., проф.

КУЛАГИН В. П., д. т. н., проф.

КУРЕЙЧИК В. В., д. т. н., проф.

ЛЬВОВИЧ Я. Е., д. т. н., проф.

МАРТЫНОВ В. В., д. т. н., проф.

МИХАЙЛОВ Б. М., д. т. н., проф.

НЕЧАЕВ В. В., к. т. н., проф.

ПОЛЕШУК О. М., д. т. н., проф.

ПРОХОРОВ С. А., д. т. н., проф.

САКСОНОВ Е. А., д. т. н., проф.

СОКОЛОВ Б. В., д. т. н., проф.

СОЛОВЬЕВ Р. А., д. т. н., в. н. с.

ТИМОНИНА Е. Е., д. т. н., проф.

УСКОВ В. Л., к. т. н. (США)

ФОМИЧЕВ В. А., д. т. н., проф.

ШИЛОВ В. В., к. т. н., доц.

Редакция:

БЕЗМЕНОВА М. Ю.

INFORMATION TECHNOLOGIES

INFORMACIONNYYE TEHNOLOGII

Vol. 26
2020
No. 12

THEORETICAL AND APPLIED SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Published since November 1995

DOI 10.17587/issn.1684-6400

ISSN 1684-6400

CONTENTS

MODELING AND OPTIMIZATION

- Kureichik V. V., Kureichik VI. VI.** Graph Partitioning Based on the Combined Approach 667

INTELLIGENT SYSTEMS AND TECHNOLOGIES

- Vaynilovich Yu. V.** Method for Improving the Efficiency of IT Project Management Using a Genetic Algorithm 673

NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES

- Bukalov G. K., Burygin A. O., Panin I. G., Tortsev A. B.** Defect Detection Using FCN Modification for Finding Rare Defects on Large Areas 683

INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE ECONOMY

- Usmanov M. R., Fomenkov D. A., Shushkin M. A.** Digitalization Analysis of Engineering Projects Using the Oil and Gas Sector as an Example 688

- Belovitskiy V. I.** The Concept of the Receipts & Promotions Cloud Service: a New Level of Communication between Bank, Store, and Customer 697

INFORMATION TECHNOLOGIES IN BIOMEDICAL SYSTEMS

- Lakman I., Akhmetvaleev R., Enikeev D., Khuziakhmetov R., Chernenko O.** Similarity Learning Algorithm Selection for Chronic Renal Failure Patients Treatment Strategy Optimization 701

INFORMATION TECHNOLOGIES IN EDUCATION

- Yanukovich S. P., Borisov B. B., Zakharchankov K. V.** The Concept of Improving the Efficiency of Managing of Educational Systems Based on Adaptive Algorithms of Swarm Intelligence 706

Editor-in-Chief:

Stempkovsky A. L., Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.

Deputy Editor-in-Chief:

Ivannikov A. D., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Filimonov N. B., Dr. Sci. (Tech.), Prof.

Chairman:

Bychkov I. V., Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Zhuravljov Yu. I., Member of RAS,
Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
Kuleshov A. P., Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Popkov Yu. S., Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Rusakov S. G., Corresp. Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Ryabov G. G., Corresp. Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Soifer V. A., Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Sokolov I. A., Member of RAS,
Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
Suetin N. V.,
Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
Chaplygin Yu. A., Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Shakhnov V. A., Corresp. Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Shokin Yu. I., Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Yusupov R. M., Corresp. Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.

Editorial Board Members:

Avdoshin S. M., Cand. Sci. (Tech.), Ass. Prof.
Antonov B. I.
Barsky A. B., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Vasenin V. A., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
Vasiliev V. I., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Vishnekov A. V., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Dimitrienko Yu. I., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
Domrachev V. G., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Zaborovsky V. S., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Zarubin V. S., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Karpenko A. P., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
Kolin K. K., Dr. Sci. (Tech.)
Kulagin V. P., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Kureichik V. V., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Ljvovich Ya. E., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Martynov V. V., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Mikhailov B. M., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Nechaev V. V., Cand. Sci. (Tech.), Ass. Prof.
Poleschuk O. M., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Prokhorov S. A., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Saksonov E. A., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Sokolov B. V., Dr. Sci. (Tech.)
Solovyev R. A., Dr. Sci. (Tech.)
Timonina E. E., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Uskov V. L. (USA), Dr. Sci. (Tech.)
Fomichev V. A., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Shilov V. V., Cand. Sci. (Tech.), Ass. Prof.

Editors:

Bezmenova M. Yu.

Complete Internet version of the journal at site: <http://novtex.ru/IT>.

According to the decision of the Higher Certifying Commission of the Ministry of Education of Russian Federation, the journal is inscribed in "The List of the Leading Scientific Journals and Editions wherein Main Scientific Results of Theses for Doctor's or Candidate's Degrees Should Be Published"

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ MODELING AND OPTIMIZATION

УДК 004.896

DOI: 10.17587/it.26.667-672

В. В. Курейчик, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой САПР, e-mail: vkur@sfedu.ru,
Южный федеральный университет

Вл. Вл. Курейчик, канд. техн. наук, ведущий инженер, e-mail: kureichik@yandex.ru,
ООО "Газпром подземремонт Уренгой"

Разбиение графов на части на основе комбинированного подхода¹

Рассмотрена одна из важных комбинаторных задач оптимизации — задача разбиения графов на части. Она относится к классу NP-трудных задач оптимизации. Приведена постановка задачи разбиения графов на части. В связи со сложностью данной задачи для ее решения предлагается новая стратегия поиска, основанная на комбинированном подходе, который заключается в разделении процесса поиска решений на два уровня. На первом уровне для быстрого получения подобластей с высоким значением целевой функции применяется метод пчелиной оптимизации, а на втором уровне для улучшения полученных решений используется эволюционный алгоритм. Для реализации данного подхода авторами разработан комбинированный алгоритм, позволяющий получать наборы квазиоптимальных решений за полиномиальное время и в то же время избегать заикливания в локальных областях. Разработан программный модуль и реализованы на ЭВМ алгоритмы разбиения графов на части. Проведен вычислительный эксперимент при разбиении на восемь частей тестовых схем (бенчмарков) фирмы IBM.

Анализ экспериментальных исследований показал, что разработанный комбинированный алгоритм в среднем на 5 % превосходит результаты разбиения, полученные с использованием известных алгоритмов hMetis, PGAScomplex при сопоставимом времени решения, что говорит об эффективности предложенного подхода. Временная сложность разработанного комбинированного алгоритма ориентировочно составляет $O(n^2)$.

Ключевые слова: разбиение графов на части, комбинированный подход, комбинированный алгоритм, метод пчелиной оптимизации, эволюционный алгоритм

Введение

Основателем теории графов является математик Леонард Эйлер, решивший в 1736 г. известную в то время задачу о кенигсбергских мостах. В настоящее время теория графов находит широкое применение в компьютерных науках и информационных технологиях, а также является одним из самых востребованных инструментов при создании искусственного интеллекта. Сейчас достижения, полученные при решении многих задач из теории графов, используются в экономике, социологии, биохимии, психологии, инженерных науках и т. д.

Одной из основных комбинаторно-логических оптимизационных задач является разбиение

графа на заданное или произвольное число частей [1, 2]. Задача разбиения графа на части имеет много практических применений. Она используется при проектировании устройств автоматики и вычислительной техники, при создании систем управления, компьютерных и инженерных сетей, а также при решении различных задач искусственного интеллекта. Отметим, что разработка различных методов и алгоритмов ее решения осуществляется на протяжении ряда лет, являясь, по-прежнему, актуальной проблемой. Это связано, в первую очередь, с тем, что задача разбиения графа относится к классу NP-трудных проблем оптимизации, и не существуют оптимальные алгоритмы ее решения за полиномиальное время [3]. В связи с этим появляется необходимость в разработке новых подходов, методов и алгоритмов решения данного класса задач. Одним из таких подходов является раз-

¹Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-01-00059.

работка новых и модифицированных методов, использующих стратегии эволюционного моделирования и принципы природных механизмов принятия решений, а также их комбинирование и гибридизация [4—11].

1. Постановка задачи разбиения графов

Оптимизационная задача разбиения графа на части состоит в отыскании такого разбиения из множества возможных разбиений некоторого графа, при котором минимизируется число внешних ребер графа между частями разбиения или максимизируется число внутренних ребер в частях разбиения, и при этом учитываются все поставленные в задаче ограничения. Разбиение графа (гиперграфа) на части относится к задачам дискретной условной оптимизации из-за прерывности ее целевой функции и наличия множества ограничений на переменные. Поэтому, ее выделяют в особый класс комбинаторных задач.

Постановка задачи разбиения графа $G = (X, U)$ на части $G_i = (X_i, U_i)$, $X_i \subseteq X$, $U_i \subseteq U$, $i \in I = \{1, 2, \dots, l\}$, где l — число частей, на которое разбивается граф, широко представлена в литературе [12, 13]. Другими словами, совокупность частей $S(G) = \{G_1, G_2, G_i, \dots, G_l\}$ является разбиением графа G , если любая часть из этой совокупности не пустая, если для любых двух частей из $S(G)$ пересечение множества вершин является пустым, пересечение множества ребер при этом может быть не пустым (подразумеваются пересечения по тем ребрам, которые инцидентны вершинам из разных частей разбиения), а также если объединение всех частей l равно графу G . В работе [12] введено обозначение $|U_{i,j}| = K_{i,j}$ — число соединительных ребер частей G_i и G_j графа G . Число соединительных ребер всех частей графа записывается в виде

$$K = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n K_{i,j}, \quad i \neq j. \quad (1)$$

Задача разбиения графа $G = (X, U)$ заключается в нахождении такой совокупности частей, чтобы число соединительных ребер графа G удовлетворяло заданному критерию оптимальности. Обычно за критерий разбиения принимают величину K (1). Тогда целью оптимизации является условие $K \rightarrow \min$.

2. Комбинированный подход для решения задачи разбиения графов

Задача разбиения графа на части является NP-трудной задачей комбинаторной оптимизации, т.е. не существуют методы ее оптимального решения за полиномиальное время (сложность и размерность данной задачи очень велика, что не позволяет ее решать за приемлемое время на современных ЭВМ). В связи с этим возникает проблема практической разрешимости этой задачи, т.е. нахождения практически реализуемого и эффективного метода ее решения. В настоящее время выделяют два подхода к решению данных задач. Первый подход — это упрощение алгоритмов, т.е. снижение их вычислительной сложности. Второй подход — это упрощение решаемых задач за счет уменьшения их размерности или их декомпозиции [14].

На основе этих двух подходов в работе предлагается стратегия поиска эффективных решений в задаче разбиения графа на части. Это последовательная стратегия "биоинспирированный поиск—эволюция" (рис. 1).

Данная стратегия позволяет реализовывать различные методы на разных уровнях поиска: на первом уровне сокращать размерность поиска решаемой задачи, а на втором уровне выполнять эффективную оптимизацию на основе эволюционных процедур поиска.

Для реализации предложенной последовательной стратегии авторы предлагают комбинированную архитектуру поиска, основанную на методах эволюционного моделирования и роевого интеллекта, приведенную на рис. 2 [10, 13, 15, 16].

Опишем работу каждого блока архитектуры более подробно. На вход блока биоинспирированного поиска (БП) поступают исходные данные задачи разбиения, такие как: число вершин, число ребер, число блоков разбиения. В каче-

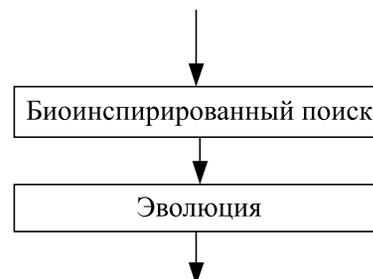


Рис. 1. Последовательная стратегия "биоинспирированный поиск-эволюция"

3. Комбинированный алгоритм

На основе приведенной и описанной стратегии и архитектуры поиска авторы предлагают укрупненную схему комбинированного алгоритма разбиения графа на части (рис. 3).

Рассмотрим приведенную структурную схему и опишем назначение каждого ее блока более подробно.

В данной схеме процесс поиска реализуется на двух уровнях. Сначала на предварительном этапе осуществляется ввод исходных данных решаемой задачи, таких как графовая модель, число вершин, число связей и число частей, на которое необходимо разбить граф. Далее для решения задачи разбиения графа на части на первом уровне применяется метод пчелиной

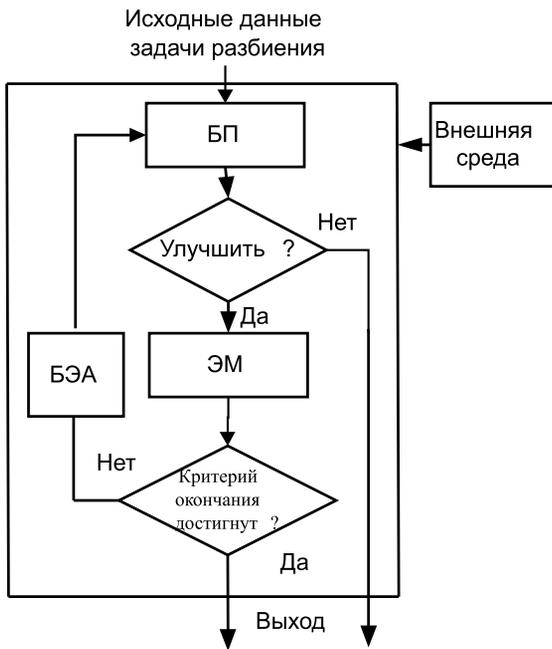


Рис. 2. Комбинированная архитектура поиска

стве БП применяется модифицированный роевой метод пчелиной оптимизации (МПО). Данный метод позволяет достаточно быстро разбивать поисковое пространство на подобласти с высоким значением целевой функции (ЦФ), что существенно сокращает время его работы. Далее проверяется условие, необходимо ли улучшение ЦФ. Если улучшение не требуется, то следует выход, если требуется, то результаты после выполнения МПО передаются в блок эволюционного моделирования (ЭМ). Здесь реализуется быстрый модифицированный эволюционный алгоритм. Данный алгоритм основан на выполнении только одного оператора — мутации и его различных модификаций.

Данный метод позволяет достаточно быстро получать наборы квазиоптимальных решений за полиномиальное время. Еще одной модификацией является введение в комбинированную архитектуру блока эволюционной адаптации (БЭА). Данный блок работает как фильтр. Он позволяет избавляться от решений с низким значением ЦФ. Заметим, что значение данной границы целевой функции будет динамически изменяться на каждой последующей итерации поиска, причем значение этой величины зависит от качества предыдущих решений. Это позволяет ускорить процесс получения результата за счет обработки только областей с высоким значением ЦФ.

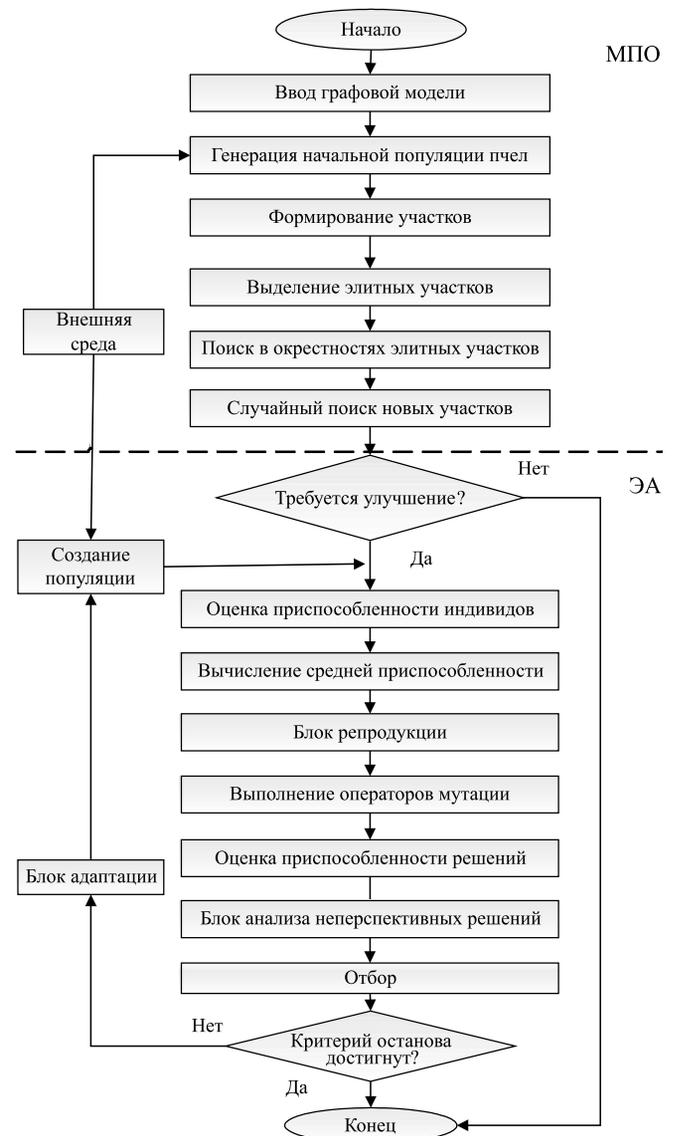


Рис. 3. Укрупненная схема комбинированного алгоритма

оптимизации (МПО) [17, 18]. Здесь сначала на основе известных принципов [4, 5] генерируется начальная популяция пчел. Далее формируются подобласти поиска (элитные участки) с высоким значением ЦФ. После этого проводится анализ элитных участков и их окрестностей, что позволяет увеличить эффективность поиска. Затем реализуется случайный поиск новых областей, который дает возможность избежать попадания алгоритма в локальные оптимумы. И наконец, выполняется оценка полученных решений, если требуется улучшение, то следует переход на второй уровень поиска и выполнение быстрого эволюционного алгоритма, в противном случае завершение поиска.

На втором уровне поиска осуществляется ввод параметров эволюционного алгоритма, а именно: применяемая модель эволюции и селекции; виды и вероятности операторов мутации; выбор критерия останова поиска. Затем на основе известных принципов [4, 5] создается начальная популяция альтернативных решений решаемой задачи разбиения. Данная популяция эволюционирует с учетом модели Ж. Б. Ламарка [19]. Далее выбирается ЦФ, и на ее основе проводится оценка начальной популяции. На следующем этапе реализуется оператор репродукции (селекции). После этого формируются новые решения за счет выполнения различных операторов мутации, и проводится их оценка [4, 5]. Данные, полученные после реализации операторов и их оценок, передаются в блок анализа неперспективных решений. Здесь каждому решению присваивается определенная метка (перспективное, неперспективное, тривиальное и др.). Заметим, что такое ранжирование решений за счет структуризации и проведения операции отбора позволяет учитывать все имеющиеся решения при проведении эволюционного поиска и повышает эффективность работы комбинированного алгоритма в целом. Затем выполняется оценка достижения критерия останова, и если он не достигнут, то далее результаты передаются в БЭА. Данный блок оказывает непосредственное влияние на процесс перестройки текущей популяции и создания на ее основе новой популяции альтернативных решений. Блок внешней среды позволяет проводить выбор используемой на данном этапе модели эволюции и управлять всеми изменяемыми параметрами поиска. Отметим, что поиск продолжается итерационно до получения набора квазиоптимальных решений решаемой задачи.

Процесс работы заканчивается при достижении определенного критерия окончания работы алгоритма. Таким критерием может быть время, число заданных генераций или получение набора квазиоптимальных решений.

4. Вычислительный эксперимент

Чтобы продемонстрировать эффективность, а также вычислительные характеристики предложенного алгоритма, создана программная среда с использованием языка программирования C#. Был проведен вычислительный эксперимент при разбиении тестовых схем IBM [20] на восемь частей известными алгоритмами hMetis [21], PGACOMplex и разработанным авторами комбинированным алгоритмом (КА). Приведем зависимости качества и времени работы данных алгоритмов от разбиваемых на восемь частей тестовых схем. Представим полученные результаты вычислительного эксперимента в виде таблицы и рис. 4, 5 (см. вторую сторону обложки).

В результате анализа представленной таблицы и гистограмм можно сделать вывод, что разработанный комбинированный алгоритм

Сравнение результатов разбиения тестовых схем IBM алгоритмами hMetis, PGACOMplex и разработанным авторами комбинированным алгоритмом (КА)

Схема	hMetis		PGACOMplex		КА	
	<i>K</i> , ед.	<i>t</i> , с	<i>K</i> , ед.	<i>t</i> , с	<i>K</i> , ед.	<i>t</i> , с
ibm01	598	124	621	127	608	125
ibm02	823	249	820	266	815	258
ibm03	1947	472	1853	487	1820	481
ibm04	2446	872	2409	915	2390	894
ibm05	4405	981	4386	1023	4327	993
ibm06	1859	1096	1817	1133	1797	1105
ibm07	2930	1198	2893	1214	2842	1201
ibm08	3306	1219	3272	1237	3207	1225
ibm09	2277	1411	2205	1434	2185	1427
ibm10	3108	1810	3064	1898	3004	1865
ibm11	3001	2315	2935	2380	2895	2365
ibm12	4966	2287	4901	2312	4876	2301

Здесь *K* — целевая функция (число ребер графа, попавших в разрез), *t* — время

в среднем на 5 % превосходит результаты разбиения, полученные с использованием известных алгоритмов hMetis, PGASComplex при сопоставимом времени решения, что говорит об эффективности предложенного подхода.

Заключение

В работе описана одна из важных задач комбинаторной оптимизации — задача разбиения графов на части. Для ее эффективного решения предложена новая стратегия, основанная на комбинированном подходе. Отличительной особенностью данного подхода является разделение поиска решений на два уровня. На первом уровне на основе метода пчелиной оптимизации выделяются подобласти с высоким значением целевой функции, а на втором проводится улучшение полученных решений на основе эволюционного алгоритма. Для реализации этого подхода разработан комбинированный алгоритм, позволяющий получать наборы квазиоптимальных решений за полиномиальное время и избегать заикливания в локальных областях. Разработан программный модуль на языке C#. Проведен вычислительный эксперимент на тестовых примерах (бенчмарках) фирмы IBM. Проведенные экспериментальные исследования показали преимущество использования разработанного комбинированного подхода для решения задач разбиения графов на части большой размерности по сравнению с известными методами.

Качество разбиения, полученное, на основе разработанного комбинированного алгоритма, в среднем на 5 % превосходит результаты разбиения, полученные с использованием известных алгоритмов hMetis, PGASComplex при сопоставимом времени решения, что говорит об эффективности предложенного подхода. Временная сложность разработанного комбинированного алгоритма ориентировочно составляет $O(n^2)$.

Список литературы

1. Мелихов А. Н., Берштейн Л. С., Курейчик В. М. Применение графов для проектирования дискретных устройств: учебник. М.: Наука, 1974. 304 с.
2. Курицкий Б. Я. Оптимизация вокруг нас: учебник. СПб.: Машиностроение, 1989. 145 с.
3. Кормен Т., Лейзерсон И., Ривест Р. Алгоритмы: построения и анализ. М.: МЦМО, 2000. 960 с.

4. Holland John H. Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Application to Biology, Control, and Artificial Intelligence. USA: University of Michigan, 1975. 183 p.

5. De Jong K. Evolutionary Computation: Recent Development and Open Issues // Proceedings 1st International conf., Evolutionary Computation and Its Application. Moscow, 1996. P. 7—18.

6. Карпенко А. П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой: Учеб. пособ. М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. 446 с.

7. Abraham A., Ramos V., Grosan G. Swarm Intelligence in Data Mining. Berlin. Heidelberg: Springer Verlag, 2007. P. 100—113.

8. Hassanien E., Emary E. Swarm Intelligence. Principles Advances and Applications. CRC Press, 2015. 228 p.

9. Родзин С. И., Курейчик В. В. Состояние, проблемы и перспективы развития биоэвристик // Программные системы и вычислительные методы. 2016. № 2. С. 158—172.

10. Курейчик В. В., Курейчик Вл.Вл., Бова В. В. Комбинированный поиск при проектировании // Образовательные ресурсы и технологии. 2014. № 2 (5). С. 90—94.

11. Курейчик В. В., Курейчик Вл. Вл. Биоинспирированный поиск при проектировании и управлении // Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. № 11 (136). С. 178—183.

12. Курейчик В. М., Курейчик В. В. Генетический алгоритм разбиения графа // Известия АН. Теория и системы управления 1999. № 5. С. 79—87.

13. Kureichik V., Zaruba D., Kureichik VI. Hybrid approach for graph partitioning // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2017. 573. P. 64—73.

14. Базилович Р. П. Декомпозиционные и топологические методы автоматизированного конструирования электронных устройств: монография. Львов: Вишашкола, 1981. 81 с.

15. Hendrickson B., Leland R. A Multilevel Algorithm for Partitioning Graphs // Proceedings of the 1995 ACM/IEEE conference on Super computing. P. 626-657.

16. Kureichik V., Kureichik VI., Bova V. Placement of VLSI fragments based on a multilayered approach // Advances in Intelligent Systems and Computing. 464. 2016. P. 181—190.

17. Karaboga D. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization // Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department. 2005. 110 p.

18. Курейчик В. В., Запорожец Д. Ю. Роевой алгоритм в задачах оптимизации // Известия ЮФУ. Технические науки. 2010. № 7 (108). С. 28—32.

19. Курейчик В. В., Курейчик В. М., Сороколетов П. В. Анализ и обзор моделей эволюции // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2007. № 5. С. 114—126.

20. Alpert C. J. The ISPD-98 Circuit Benchmark Suite. // In Proc. ACM/IEEE International Symposium on Physical Design, April 1998. P. 80—85.

21. Karypis G., Kumar V. METIS: A Software Package for Partitioning Unstructured Graphs, Partitioning Meshes, and Computing Fill—Reducing Orderings of Sparse Matrices Version 5.1.0: Department of Computer Science and Engineering University of Minnesota Minneapolis, MN. 2013.

V. V. Kureichik, Dr. Tech. Sci., Professor, Head of CAD Department, e-mail: vkur@sfedu.ru, Southern Federal University, Rostov-on-don, 344006, Russian Federation,
VI. VI. Kureichik, Ph.D., Principal Engineer, e-mail: kureichik@yandex.ru,
"Gazprom subterranean repair Urengoy" LLC, Saint-Petersburg, 190000, Russian Federation

Graph Partitioning Based on the Combined Approach

The article considers one of the most important combinatorial optimization problems — the problem of graph partitioning. It belongs to the class of NP-complex optimization problems. The article presents the partitioning problem statement. Due to the complexity of this task, the article proposes a new search strategy based on a combined approach. The combined approach is to divide the decision-making process into two levels. At the first level, the bee optimization method is used to quickly obtain subdomains with a high value of the objective function, and at the second level, an evolutionary algorithm is used to improve obtained solutions. To implement this approach, the authors developed a combined algorithm that can obtain sets of quasi-optimal solutions in polynomial time and avoid looping in local regions at the same time. A software module is developed and algorithms for partitioning graphs into parts are implemented. A computational experiment has been carried out when dividing into 8 parts of test circuits (benchmarks) by IBM. An analysis of experimental studies showed that the developed combined algorithm is on average 5 % higher than the partition results obtained by well-known hMetis, PGACOMPLEX algorithms with comparable solution time, which indicates the effectiveness of the proposed approach. The time complexity of the developed combined algorithm is approximately $O(n^2)$.

Keywords: graph partitioning, combined approach, combined algorithm, bee colony optimization, evolutionary algorithm

DOI: 10.17587/it.26.667-672

References

1. Melikhov A. N., Bershtein L. S., Kureychik V. M. Usus graphs enim consilium discreta cogitationes: textbook, Moscow, Nauka, 1974, 304 p. (in Russian).
2. Kuritzky B. Y. Optimization around us: textbook, SPb., Mechanics engineering, 1989, 145 p. (in Russian).
3. Kormen T., Leiserson I., Rivest R. L. Algorithms: construction and analysis, Moscow, MCMO, 2000, 960 p. (in Russian).
4. Holland John H. Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Application to Biology, Control, and Artificial Intelligence, USA, University of Michigan, 1975, 183 p.
5. De Jong K. Evolutionary Computation: Recent Development and Open Issues, *Proceedings 1st International conf., Evolutionary Computation and Its Application*, Moscow, 1996, pp. 7–18.
6. Karpenko F. P. Modern search engine optimization algorithms. Algorithms inspired by nature: textbook, Moscow, Publishing house of MGTU im. N. Je. Bauman, 2014, 446 p. (in Russian).
7. Abraham A., Ramos V., Grosan G. Swarm Intelligence in Data Mining. Berlin, Heidelberg, Springer Verlag, 2007, pp. 100–113.
8. Hassanien E., Emary E. Swarm Intelligence. Principles Advances, and Applications, CRC Press, 2015, 228 p.
9. Rodzin S. I., Kurejchik V. V. State problems and prospects of development of bio-heuristics, *Programmnye Sistemy i Vychislitel'nye Metody*, 2016, no. 2, pp. 158–172 (in Russian).
10. Kurejchik V. V., Kurejchik VI. VI., Bova V. V. Combined search in design, *Educational Resources et Technology*, 2014, no. 2 (5), pp. 90–94 (in Russian).
11. Kurejchik V. V., Kurejchik VI. VI. Bioinspiratum quaerere in consilio et administratione, *Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki*, 2012, no. 11 (136), pp. 178–183.
12. Курейчик В. М., Курейчик В. В. Genetic algorithm for graph splitting, *Fama Academiae Scientiarum, Theoria, et imperium ratio*, 1999, no. 5, pp. 79–87.
13. Kureichik V., Zaruba D., Kureichik VI. Hybrid approach for graph partitioning, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2017, no. 573, pp. 64–73.
14. Bazelevich R. P. Decomposition and topological methods of automated design of electronic devices, Lviv, Widescale, 1981, 81 p. (in Russian).
15. Hendrickson B., Leland R. A Multilevel Algorithm for Partitioning Graphs, *Proceedings of the 1995 ACM/IEEE conference on Super computing*, pp. 626–657.
16. Kureichik V., Kureichik VI., Bova V. Placement of VLSI fragments based on a multilayered approach, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2016, no. 464, pp. 181–190.
17. Karaboga D. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, 2005, 110 p.
18. Kureichik V., Zaporozhets D. Yu. Swarming algorithm in optimization problems, *Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki*, 2010, no. № 7 (108), pp. 28–32.
19. Kureychik V. V., Kureychik V. M., Sorokoletov P. V. Analysis and review of evolution models, *Fama Academiae Scientiarum, Theoria, et imperium ratio*, 2007, no. 5, pp. 114–126 (in Russian).
20. Alpert C. J. The ISPD-98 Circuit Benchmark Suit, *In Proc. ACM/IEEE International Symposium on Physical Design*, April 1998, pp. 80–85.
21. Karypis G., Kumar V. METIS: A Software Package for Partitioning Unstructured Graphs, Partitioning Meshes, and Computing Fill—Reducing Orderings of Sparse Matrices Version 5.1.0: Department of Computer Science and Engineering University of Minnesota Minneapolis, MN. 2013.

Ю. В. Вайнилович, старший преподаватель, e-mail: Ylia.v@tut.by,
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
"Белорусско-Российский университет", г. Могилев, Республика Беларусь

Метод повышения эффективности управления IT-проектами с использованием генетического алгоритма

Рассматривается проблема повышения эффективности управления IT-проектами. Предлагается метод управления IT-проектами с использованием генетического алгоритма. Предложенный метод отличается от существующих подходом к формированию проектных команд и распределением участников команды на задачи проекта.

Ключевые слова: управление IT-проектами, проектная команда, генетический алгоритм

Введение

Бурное развитие новых технологий, возрастающая конкуренция на рынке программных продуктов дают заказчикам возможность предъявлять все более высокие требования как к качеству программных продуктов, так и к сокращению бюджетов и сроков на разработку. Эта тенденция обусловила потребность в новых методах управления.

Д. А. Новиков, Е. В. Коновальчук занимались разработкой и исследованием методов управления проектами в процессе их реализации с учетом изменившихся условий [1, 2]. Темой исследований В. Н. Буркова является специфика человека как объекта и субъекта управления [3]. Научные исследования в области управления проектами проводились В. И. Воропаевым (разработаны обобщенные сетевые модели) [4], Б. П. Титаренко (создание робастной технологии) [5], В. М. Аньшиным (формирование и управление портфелем проектов) [6].

Наиболее распространенными методами управления IT-проектом являются методология Agile, проектное управление с использованием метода критической цепи, Critical Path Method (CPM) — метод критического пути, XP-методы, Scrum, Kanban, поточный метод планирования (водопадная модель) [1].

При использовании перечисленных методов управления проектами менеджеры сталкиваются с проблемой подбора членов проектных команд, распределения задач по исполнителям,

планирования выполнения проекта после его начала при внесении корректировок в первоначальный план.

Отсутствие необходимых методик и инструментов не позволяет менеджеру проектов адекватно оценить компетенции и навыки участника проектов, его личностные качества и факторы мотивации, что приводит к превышению сроков выполнения проекта, сдаче проекта, в котором часть требований заказчика не была реализована.

В связи с этим актуальной является задача повышения эффективности управления IT-проектами.

В данной статье предложен метод повышения эффективности управления IT-проектом, позволяющий снизить трудоемкость решения задач и уменьшить время выполнения проекта. Расчет трудоемкости и времени выполнения проекта осуществляется по методике СОСОМО II (подробнее об этой методике см. в работе [7]):

$$PM = \sum_{k=1}^N \left(PM_k^B \cdot \prod_{i=1}^6 EM_i \right) \rightarrow \min,$$

где PM — трудоемкость проекта; EM_i — множители трудоемкости ($i = 1, \dots, 6$); PM_k^B — базовая трудоемкость k -й задачи проекта в чел.мес; N — число задач проекта;

$$TDEV = C(PM_{NS})^{D+0,2 \cdot 0,01 \cdot \sum_{j=1}^5 SF_j} \cdot \frac{SCED}{100} \rightarrow \min,$$

где $TDEV$ — длительность проекта; C, D — коэффициенты, определенные разработчиками модели, калибруемые по статистическим данным, по калибровке 2000 г. $C = 3,67, D = 0,28$; PM_{NS} — трудоемкость проекта без учета множителя $SCED$, определяющего сжатие расписания; SF_j — факторы масштаба ($j = 1, \dots, 5$).

Исходными данными для решения задачи являются компоненты ИТ-проектов — проектная команда, множество задач, приоритет проектов, трудоемкость проекта, длительность проекта:

$$IT = \langle Team, Task, Priority, PM, TDEV \rangle, \quad (1)$$

где $Team$ — проектная команда; $Task$ — множество задач; $Priority$ — приоритет проекта.

Каждый участник проектов характеризуется определенным набором параметров:

$$TP = \langle PPQ, Tech, LTech, Ex \rangle, \quad (2)$$

где PPQ — набор параметров, характеризующих личностно-психологические качества участников проектов; $Tech$ — перечень технологий, которыми владеет участник проектов; $LTech$ — уровень владения технологиями; Ex — опыт участия в проектах с использованием технологии.

Каждая задача проекта из множества $Task$ задается набором характеристик:

$$Task = \langle T, Type, TTech, Priority \rangle, \quad (3)$$

где T — время выполнения задачи; $Type$ — тип задачи; $TTech$ — применяемая технология; $Priority$ — приоритет задачи.

Отличительной особенностью предложенного метода является использование генетического алгоритма [8—10], который при построении проектной команды и планировании выполнения проекта учитывает личностно-психологические качества, уровень владения технологиями, опыт работы с технологиями, сработанность участников проектной команды.

Разработанный метод позволяет сократить время выполнения проекта за счет более качественного подбора проектной команды и планирования выполнения проекта при динамически изменяющихся требованиях и целях.

Метод состоит из следующих шагов, описанных ниже:

- 1) оценка участников проектов;
- 2) формирование проектной команды;
- 3) планирование выполнения проекта.

Шаг 1. Оценка участников проектов

В результате этого шага определяется набор параметров, характеризующих личностно-психологические качества участников проектов, предпочитаемую роль в команде [11, 12], уровень владения технологиями, опыт применения технологий при реализации проектов.

Исследование личностно-психологических особенностей участников проектов. Исследование проводится на основе автоматизированных тестов. Набор тестов включает тесты Лири, Белбина, Майерс—Бриггс, Томаса, Хони—Мамфорда. Результаты тестов позволяют определить тип личности, стиль поведения людей в конфликтных ситуациях, склонность к виду деятельности [13—17], стиль обучения [18], командные роли, которые может исполнять участник проектов.

Каждый тест описывается набором признаков, состоящих из множества вопросов тестовых заданий, множества ответов объекта исследования, множества результатов обработки ответов, интерпретации результатов теста.

Оценка взаимосвязи показателей, полученных в результате тестирования, проводится методом кластерного анализа k -средних на этапе формирования команды для выполнения проекта. В результате все претенденты на включение в проектную команду должны быть разделены на кластеры (группы) с учетом их интеллектуально-личностного потенциала.

Оценка уровня владения технологиями и инструментами и опыта работы с технологиями и инструментами. Оценка формируется на основании результатов участия в предыдущих проектах.

Перечень технологий $Tech$, которыми владеет участник проектной группы, формируется из множества T технологий и инструментов.

Множество T содержит перечень всех технологий и инструментов, применяемых для разработки ИТ-проектов.

Для каждой технологии из множества T оценивается уровень владения и опыт разработок участника проектов:

$$LTech = \langle LT, Ex \rangle,$$

где LT — оценка уровня владения технологией; Ex — опыт участия в проектах с использованием данной технологии.

Для системных аналитиков, проектировщиков баз данных, программистов уровень владения технологией вычисляется для каждого завершенного проекта по формуле

Оценка опыта работы с технологиями и инструментами

Супернизкий	Очень низкий	Низкий	Нормальный	Высокий	Очень высокий	Супервысокий
Менее 1500	1500...3000	3001...4500	4501...6000	6001...7500	7501...9000	10000 и более

$$LT = \frac{\sum_{i=1}^{N\text{Tasks}} \text{quality}_i + \sum_{i=1}^{N\text{Tasks}} \text{speed}_i}{N\text{Tasks}} \cdot \text{complexity}.$$

Здесь quality_i — качество решения i -й задачи проекта, которое находится по формуле

$$\text{quality} = 1 - \frac{\text{ConfirmedErrors}}{\text{FindErrors}},$$

где ConfirmedErrors — число подтвержденных ошибок; FindErrors — число найденных ошибок; speed — скорость решения задачи проекта, которая находится как отношение планового срока решения задачи к фактическому сроку решения:

$$\text{speed} = \frac{T\text{Planned}}{T\text{Actual}},$$

где $T\text{Planned}$ — плановое время решения задачи; $T\text{Actual}$ — фактическое время решения задачи; $N\text{tasks}$ — число задач проекта, решенных участником; complexity — сложность задачи.

Сложность задачи определяется по табл. 1 отраслевого стандарта 4.071.030 "Создание системы. Нормативы трудоемкости" [19].

Для тестировщиков уровень владения технологиями оценивается по формуле

$$\text{quality} = 1 - \frac{\text{NoErrors}}{\text{FindErrors}},$$

где NoErrors — число неподтвержденных ошибок.

Опыт работы с технологиями и инструментами участника проектов Experience определяется по правилу 10 000 часов [20]. Для этого находится суммарная длительность всех проектов с использованием оцениваемой технологии и в соответствии с табл. 1 определяется уровень владения.

Таким образом, в результате прохождения первого этапа каждый участник проектов характеризуется набором параметров (2).

Шаг 2. Формирование команд

Предварительная оценка трудоемкости проекта. Предварительная оценка трудоемкости и

длительности проекта осуществляется менеджером проекта по методике COCOMO II [7].

Для оценки трудоемкости проекта SCRUM-мастер разбивает проект на задачи и оценивает объем программного кода каждой задачи в тысячах строк исходного текста.

На данном шаге все значения множителей трудоемкости оцениваются как "нормальный", значения факторов масштаба — как "средний".

Распределение участников проектов в проектные команды. IT-проект состоит из компонентов (1).

Компонент Team имеет сложную структуру. Его можно декомпозировать следующим образом:

$$\text{Team} = \langle \text{Role}, \text{TP} \rangle,$$

где Role — множество командных ролей; TP — множество участников проектной команды.

Задача формирования команды проекта состоит в том, чтобы найти такой вариант распределения, при котором трудоемкость проекта и срок выполнения проекта минимизируются. При этом выполняются следующие условия:

- в одной команде окажутся психологически совместимые участники;
- на каждую командную роль будет назначен участник с предпочитаемой ролью;
- уровень владения требуемыми технологиями участниками проектной команды — максимальный.

Таким образом, сформулирована задача оптимизации: сформировать такую проектную команду Team из множества возможных разбиений, при которой

$$\begin{aligned} PM(\text{Team}) &\rightarrow \min; \\ TDEV(\text{Team}) &\rightarrow \min. \end{aligned}$$

Для решения задачи применим генетический алгоритм [21, 22].

Шаг 1. Первоначальное создание группы проектных команд. задается population_{\max} — максимальное число проектных команд, существующих одновременно; N_{step} — число шагов, $i = 1$ — номер итерации; m — число команд, формируемых на первом шаге.

Каждая проектная команда формируется в соответствии с определенными правилами

Уровни множителя трудоемкости PERS по методике СОСОМОИ

Супернизкий	Очень низкий	Низкий	Нормальный	Высокий	Очень высокий
≤ 0,143	0,144...0,286	0,287...0,429	0,430...0,571	0,572...0,714	0,715...0,857

ми. На каждую командную роль выбирается участник проектов из числа нераспределенных, у которого

- данная роль является предпочитаемой;
- если участники с предпочитаемой ролью отсутствуют, то выбирается участник, у которого роль является поддерживающей;
- психологически совместим с ранее выбранными участниками команды;
- владеет хотя бы одной, требуемой для реализации проекта, технологией.

Создание первоначального набора проектных команд завершается в следующих случаях:

- все участники проектов распределены по командам;
- отсутствуют участники с предпочитаемыми и поддерживающими ролями для назначения на командную роль.

Далее вычисляется функция приспособленности для каждой команды — длительность и время выполнения проекта.

Рассчитывается уровень множителя трудоемкости PERS — квалификация команды. Для этого проводится нормирование уровня владения технологиями каждого участника проектной команды

$$LTech_{team}^{norm} = \frac{LTech_{team}}{LTech_{max}}.$$

Уровень владения технологиями командой определяется по формуле

$$LTech_{general} = \frac{\sum LTech_{team}^{norm}}{N},$$

где N — число участников проектной команды.

Уровень множителя трудоемкости PERS выбирается в соответствии с табл. 2.

Рассчитывается уровень множителя PREX — опыт персонала — как среднее значение по команде.

Рассчитывается уровень факторов масштаба PREC — наличие опыта аналогичных разработок.

Рассчитывается уровень фактора масштаба TEAM — сработанность команды. Для этого вычисляется наибольший процент членов команды, принимавших участие в разработке

Таблица 3

Уровни фактора масштаба TEAM по методике СОСОМОИ

Очень низкий	Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий	Критический
20 %	40 %	60 %	75 %	90 %	100 %

одного проекта. Уровень фактора выбирается в соответствии с табл. 3.

Рассчитываются PM — трудоемкость проекта и $TDEV$ — длительность выполнения проекта для каждой проектной команды.

Шаг 2. Селекция — отбор проектных команд для формирования на их основе новых команд. Будем использовать селективный отбор, при котором следует выбирать только те команды, значения функции приспособленности которых не больше пороговой величины — среднего значения приспособленности по всем командам

$$PM_{it}^k \leq \frac{\sum_{k=1}^m PM_{it}^k}{m}.$$

Результатом этого шага будут две команды s^1 и s^2 .

Шаг 3. Скрещивание. Для формирования новых команд используется одноточечное скрещивание — выбирается точка разрыва, обе команды делятся на две части по этой точке и меняются соответствующими частями.

Точка разрыва показывает, сколько членов команды окажутся в первом сегменте, сколько — во втором. Точка разрыва выбирается случайным образом из промежутка $[1, N]$ (где N — число участников проектной команды).

Результатом шага 3 являются две новые команды s^{ch1} и s^{ch2} , полученные путем применения оператора скрещивания к исходным командам s^1 и s^2 .

Шаг 4. Мутация — изменение структуры команды, случайно меняющее одного (или несколько) ее участников. Мутация в рамках решаемой задачи заключается в изменении ролей для двух участников команды.

Варианты обмена:

1. В одной команде имеется участник, назначенный на предпочитаемую для него роль X и имеющий поддерживающую роль Y , во вто-

рой команде имеется участник, назначенный на роль Y , которая является для него поддерживающей и имеющий предпочитаемую роль X — эти участники обмениваются ролями.

2. В команде имеется участник, назначенный на неподходящую для него роль X и имеющий предпочитаемую (или поддерживающую) роль Y , во второй команде имеется участник, назначенный на предпочитаемую (или поддерживающую) для него роль Y — эти участники могут обмениваться ролями (например, если уровень владения технологиями второго участника в данной роли выше, чем у первого).

Результатом шага 4 являются две новые команды s^{M1} и s^{M2} , полученные путем применения оператора мутации к исходным командам s^1 и s^2 , либо к командам, полученным на шаге 3 s^{ch1} и s^{ch2} .

Шаг 5. Сокращение промежуточного числа проектных команд. Применяется стратегия элитарного отбора. Создается промежуточный набор команд, который включает как исходные команды, так и команды, полученные в результате селекции и мутации. Для всех команд вычисляется функция приспособленности, а затем из них выбираются $population_{max}$ самых лучших.

Проверяются условия:

- если $i < N_{step}$, то полагаем $i = i + 1$ и переходим к шагу 2;
- если $i = N_{step}$, то переходим к шагу 6.

Шаг 6. Окончание работы генетического алгоритма. В качестве решения задачи выбирается проектная команда с наилучшим значением функции приспособленности.

Шаг 3. Планирование выполнения проекта

Как было показано выше, каждая задача проекта (3) характеризуется следующими параметрами: трудоемкость, тип, используемая технология, приоритет

$$Task = \langle T, Type, Tech, Priority \rangle.$$

Трудоемкость каждой задачи проекта определена на этапе формирования команды.

Тип и используемая технология определяют на этапе формирования списка задач проекта.

Приоритет задачам присваивает владелец программного продукта.

На первом этапе планирования каким-либо методом, например методом сетевого планирования, формируется первоначальный план выполнения проекта.

Далее формируется выборка задач, которые имеют наивысший приоритет, могут выполняться одновременно и не зависят от завершения других задач:

$$SelectingTask = \{Task_1, Task_2, \dots, Task_n\}.$$

Затем на каждую задачу должен быть назначен исполнитель из числа участников проектной команды:

$$SelectingTeam = \{Team_1, Team_1, \dots, Team_n\}.$$

Оптимальным будет считаться такое распределение исполнителей, при котором для сформированной выборки задач проекта

$$PM_{SelectingTask}(SelectingTeam) \rightarrow \min;$$

$$TDEV_{SelectingTask}(SelectingTeam) \rightarrow \min.$$

Если объем выборки оказался больше числа членов проектной команды, то к исполнению проекта можно привлечь свободных исполнителей или участников других проектов с недостаточной загрузкой. Если привлечь дополнительных исполнителей нет возможности, то следует сократить выборку задач до числа участников проектной команды.

Для назначения исполнителей на задачи применим генетический алгоритм [21, 22].

Шаг 1. Первоначальное распределение исполнителей на задачи. Задается $population_{max}$ — максимальное число вариантов распределения, существующих одновременно; N_{step} — число шагов; $i = 1$ — номер итерации; m — число вариантов распределения, формируемых на первом шаге. Варианты распределения формируются случайным образом с учетом следующих ограничений:

- каждый вариант распределения содержит число исполнителей, равное числу задач;
- один и тот же исполнитель может присутствовать в нескольких вариантах распределения;
- один и тот же исполнитель не может присутствовать в одном варианте распределения более одного раза;
- варианты распределения, отличающиеся только порядком следования исполнителей, считаются различными.

Будем считать, что исполнитель, стоящий в варианте распределения на первом месте, назначен на исполнение первой задачи в выборке задач и т. д.

Далее вычисляется функция приспособленности для каждого варианта распределения.

Рассчитывается уровень множителя трудоемкости PERS — квалификация команды как среднее арифметическое показателей каждого участника команды.

При этом для каждого участника команды учитывается уровень владения только той технологией, которая необходима для решения задачи, на которую он назначен.

Определение показателей остальных уровней и факторов масштаба, а также расчет трудоемкости и длительности выполнения выборки задач проекта осуществляется в соответствии с методикой распределения участников проектов по проектным командам.

Шаг 2. Селекция — отбор вариантов распределения для формирования новых вариантов. Будем использовать селективный отбор, при котором следует выбирать только те варианты распределения, значение функции приспособленности которых не больше пороговой величины — среднего значения приспособленности по всем вариантам

$$PM_{it}^k \leq \frac{\sum_{k=1}^m PM_{it}^k}{m}.$$

Результатом этого шага будут два варианта распределения s^1 и s^2 .

Шаг 3. Скрещивание. Для получения нового варианта распределения будем использовать однородный кроссинговер. Его суть состоит в том, что каждый исполнитель варианта распределения-потомка создается путем копирования соответствующего исполнителя из первого или второго варианта распределения-родителя. Для этого случайным образом генерируется двоичная маска кроссинговера той же длины (с тем числом битов), что и у вариантов распределения-родителей. Четность бита маски показывает родителя, из которого копируется исполнитель потомка (например, 1 соответствует первому родителю, а 0 — второму).

Новый вариант распределения, полученный по маске, должен удовлетворять ограничениям, перечисленным в шаге 1. Если какое-либо ограничение нарушается, следует сгенерировать новую двоичную маску.

Результатом шага 3 являются два варианта распределения-потомка s^{ch1} и s^{ch2} , полученные путем применения оператора скрещивания к вариантам распределения-родителям s^1 и s^2 .

Шаг 4. Мутация — изменение структуры варианта распределения. Мутация в рамках решаемой задачи заключается в изменении для

двух исполнителей варианта распределения решаемой задачи.

Результатом шага 4 являются новые варианты распределения s^{Mi} , полученные путем применения оператора мутации к участникам вариантов распределения s^{chi} .

Шаг 5. Сокращение промежуточной популяции вариантов распределения. Применяется стратегия элитарного отбора. Создается промежуточный набор вариантов распределения, который включает как исходные варианты распределения, так и варианты распределения, полученные в результате селекции и мутации. Для всех вариантов распределения высчитывается функция приспособленности, а затем из них выбираются $population_{max}$ самых лучших.

Проверяются условия:

- если $i < N_{step}$, то полагаем $i = i + 1$ и переходим к шагу 2;
- если $i = N_{step}$, то переходим к шагу 6.

Шаг 6. Окончание работы генетического алгоритма. В качестве решения задачи выбирается вариант распределения исполнителей на задачи с наилучшим значением функции приспособленности из последней популяции.

Апробация методики

Для апробации предложенного метода управления ИТ-проектами разработано программное обеспечение [23, 24].

Апробация проводилась в рамках учебной практики в группе студентов по специальности "Программная инженерия" Белорусско-Российского университета, которая состоит из пятнадцати человек ($P1, \dots, P15$), с уровнем владения требуемыми технологиями и опытом работы, представленными в табл. 4.

Для реализации был выбран проект со следующими характеристиками:

- требуется использовать пять технологий $T1, T2, T3, T4, T5$;
- объем программного кода по предварительным оценкам 8 тысяч строк.

Из группы студентов формировали три проектные команды, которым был предложен для реализации один и тот же проект.

Первая группа формировалась с помощью предложенного алгоритма, две другие — по желанию студентов.

По предварительной оценке трудоемкости и длительности проекта по методике СОСОМО II $PM = 24,12$ чел./мес, $TDEV = 0,10$ мес.

Шаг 1. Первоначальное создание группы проектных команд. Максимальное число про-

Таблица 4

Характеристики участников проекта

Участники проектов	Уровень владения технологиями					Опыт персонала				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
P1	0,12	0,64	0,13	0,81	0,06	7	2	2	7	3
P2	0,00	0,63	0,41	0,95	0,36	0	2	7	6	5
P3	0,93	0,06	0,37	0,56	0,39	4	1	2	1	5
P4	0,61	0,21	0,89	0,23	0,09	6	3	6	2	5
P5	0,71	1,00	0,51	0,35	0,90	6	6	1	4	1
P6	0,45	0,44	0,07	0,83	0,26	2	1	1	1	2
P7	0,37	0,50	0,62	0,21	0,35	1	6	5	5	6
P8	0,05	0,00	0,16	0,35	0,33	2	0	1	1	3
P9	0,69	0,65	0,60	0,94	0,30	3	4	7	1	6
P10	0,35	0,94	0,03	0,00	0,00	1	4	1	0	0
P11	0,53	0,08	0,26	0,00	0,61	6	7	1	0	2
P12	0,65	0,78	0,44	0,76	0,49	2	6	3	4	2
P13	0,43	0,50	0,70	0,24	0,61	2	5	3	6	4
P14	0,85	0,00	0,46	0,69	0,79	4	0	3	6	4
P15	0,44	0,93	0,38	0,80	0,01	6	6	7	4	2

ектных команд, существующих одновременно $population_{max} = 3$. Число шагов алгоритма $N_{step} = 3$. Считается, что все требования к формированию проектных команд выполнены. На первом шаге формируется три команды ($m = 3$)

$$Team1 = \{P1, P2, P3, P4, P5\};$$

$$Team2 = \{P10, P6, P7, P8, P9\};$$

$$Team3 = \{P11, P12, P13, P14, P15\}.$$

Рассчитывается трудоемкость и длительность выполнения проекта для каждой проектной команды:

$$PM_{team1} = 24,12; TDEV_{team1} = 0,10;$$

$$PM_{team2} = 30,88; TDEV_{team2} = 0,11;$$

$$PM_{team3} = 19,51; TDEV_{team3} = 0,09.$$

Шаг 2 (итерация 1). Селекция. Рассчитывается среднее значение приспособленности по всем командам

$$\frac{\sum_{k=1}^3 PM_{team}^k}{3} = 24,84.$$

Значения функции приспособленности не больше пороговой величины у команд *Team1* и *Team3*. Следовательно, эти команды будут участвовать в формировании новых команд.

Шаг 3 (итерация 1). Скрещивание. Случайным образом выбирается точка разрыва из диапазона [1, 5]. Пусть точка разрыва $BreakPoint = 3$. Проектные команды обмениваются частями, стоящими после точки разрыва и образуют две новые команды:

$$Team4 = \{P1, P2, P3, P14, P15\};$$

$$Team5 = \{P11, P12, P13, P4, P5\}.$$

Шаг 4 (итерация 1). Мутация. Изменяются структуры команд *Team1* и *Team3* путем обмена участниками *P3* и *P15*:

$$Team6 = \{P1, P2, P15, P4, P5\};$$

$$Team7 = \{P11, P12, P13, P14, P3\}.$$

Шаг 5 (итерация 1). Сокращение промежуточного числа проектных команд. Рассчитываются трудоемкость и длительность выполнения проекта для проектных команд, полученных на шагах 3 и 4:

$$PM_{team4} = 23,50; TDEV_{team4} = 0,10;$$

$$PM_{team5} = 24,67; TDEV_{team5} = 0,10;$$

$$PM_{team6} = 23,57; TDEV_{team6} = 0,10;$$

$$PM_{team7} = 28,67; TDEV_{team7} = 0,11.$$

Из сформированных команд выбирается три ($population_{max} = 3$) с наилучшими показателями функции приспособленности — *Team3*, *Team4* и *Team6*.

Осуществляется переход к шагу 2 (итерация 2).

Результаты шагов итерации 2 представлены в табл. 5.

Шаг 6. Окончание работы генетического алгоритма. По результатам шага 5 итерации 3 лучшей командой является $Team10 = \{P3, P12, P13, P14, P15\}$.

Таким образом, для реализации проекта были сформированы следующие три команды:

- по результатам работы генетического алгоритма

$$Team10 = \{P3, P12, P13, P14, P15\};$$

- по желанию студентов

$$Team13 = \{P11, P12, P13, P14, P15\},$$

$$Team14 = \{P11, P2, P4, P1, P5\}.$$

Таблица 5

Результаты работы генетического алгоритма

Номер итерации	Шаг	Команда	PM_{teami}	$TDEV_{teami}$
2	2	$Team3 = \{P11, P12, P13, P14, P15\}$	19,51	0,09
		$Team4 = \{P1, P2, P3, P14, P15\}$	23,50	0,10
2	3	$Team8 = \{P1, P12, P13, P14, P15\}$	19,59	0,09
		$Team9 = \{P11, P2, P3, P14, P15\}$	23,36	0,10
2	4	$Team10 = \{P3, P12, P13, P14, P15\}$	19,49	0,09
		$Team11 = \{P11, P2, P1, P14, P15\}$	23,31	0,10
2	5	$Team3 = \{P11, P12, P13, P14, P15\}$	19,51	0,09
		$Team10 = \{P3, P12, P13, P14, P15\}$	19,49	0,09
		$Team11 = \{P11, P2, P1, P14, P15\}$	23,31	0,10
3	2	$Team3 = \{P11, P12, P13, P14, P15\}$	19,51	0,09
		$Team10 = \{P3, P12, P13, P14, P15\}$	19,49	0,09
3	3	$Team12 = \{P3, P12, P13, P14, P15\}$	19,49	0,09
		$Team13 = \{P11, P12, P13, P14, P15\}$	19,51	0,09
3	4	—	—	—
3	5	$Team10 = \{P3, P12, P13, P14, P15\}$	19,49	0,09
		$Team12 = \{P3, P12, P13, P14, P15\}$	19,49	0,09
		$Team3 = \{P11, P12, P13, P14, P15\}$	19,51	0,09

Далее планирование выполнения IT-проекта и назначение исполнителей на работы для проектной команды $Team10$ выполнялось в соответствии с разработанной методикой. Команды $Team13$ и $Team14$ планировали выполнение проекта самостоятельно.

Предположим, что требуется назначить исполнителей из числа членов проектной команды $Team10$ на задачи проекта с характеристиками, представленными в табл. 6.

Шаг 1. Первоначальное распределение исполнителей на задачи. Число шагов алгоритма $N_{step} = 3$. Формируются $m = 3$ варианта распределения участников проектной команды:

$$\begin{aligned} SelectingTeam1 &= \{P3, P12, P13\}; \\ SelectingTeam2 &= \{P3, P14, P15\}; \\ SelectingTeam3 &= \{P12, P14, P13\}. \end{aligned}$$

Таблица 6

Характеристики задач проекта

Задачи	$Task1$	$Task2$	$Task3$
Требуемая технология	$T1$	$T4$	$T2$
Тыс. строк программного кода	2,1	1,4	1,5

Рассчитываются трудоемкость и длительность выполнения задач для каждого варианта назначения исполнителей:

$$\begin{aligned} PM_{SelectionTeam1} &= 10,18; TDEV_{SelectionTeam1} = 0,08; \\ PM_{SelectionTeam2} &= 8,99; TDEV_{SelectionTeam2} = 0,07; \\ PM_{SelectionTeam3} &= 8,90; TDEV_{SelectionTeam3} = 0,07. \end{aligned}$$

Шаг 2 (итерация 1). Селекция. Рассчитывается среднее значение приспособленности по всем вариантам распределения

$$\frac{\sum_{k=1}^3 PM_{it}^k}{3} = 9,36.$$

Значения функции приспособленности не больше пороговой величины у вариантов распределения $SelectionTeam2$ и $SelectionTeam3$. Следовательно, эти варианты распределения будут участвовать в формировании новых команд.

Шаг 3 (итерация 1). Скрещивание. Пусть двоичная маска кроссинговера имеет вид $Mask = \{1,0,0\}$. Получаем новые варианты распределения:

$$\begin{aligned} SelectingTeam4 &= \{P12, P14, P15\}; \\ SelectingTeam5 &= \{P3, P14, P13\}. \end{aligned}$$

Шаг 4 (итерация 1). Мутация. Проводится замена исполнителей задач внутри вариантов распределения $SelectionTeam2$ и $SelectionTeam3$:

$$\begin{aligned} SelectingTeam6 &= \{P15, P14, P3\}; \\ SelectingTeam7 &= \{P14, P12, P13\}. \end{aligned}$$

Шаг 5 (итерация 1). Сокращение промежуточной популяции вариантов распределения. Рассчитываются трудоемкость и длительность выполнения проекта для каждой проектной команды:

$$\begin{aligned} PM_{Selectionteam4} &= 7,88; TDEV_{Selectionteam1} = 0,07; \\ PM_{Selectionteam5} &= 10,20; TDEV_{Selectionteam2} = 0,08; \\ PM_{Selectionteam6} &= 13,65; TDEV_{Selectionteam3} = 0,08; \\ PM_{Selectionteam7} &= 11,73; TDEV_{Selectionteam3} = 0,08. \end{aligned}$$

Из исходных и сформированных вариантов распределения выбираются три ($population_{max} = 3$) с наилучшими показателями функции приспособленности — $SelectionTeam2$, $SelectionTeam3$ и $SelectionTeam4$.

Аналогичным образом проходятся итерации 2 и 3.

Шаг 6. Окончание работы генетического алгоритма. В качестве решения был выбран вариант распределения *SelectionTeam4*, так как он имеет наилучшее значение функции приспособленности.

Теоретический расчет на основе предложенного метода показал сокращение трудоемкости выполнения проекта с 24,12 чел./мес до 19,49 чел./мес. Эксперимент в образовательном процессе Белорусско-Российского университета подтвердил соответствие результатов теоретического расчета результатам, полученным на практике.

Заключение

В статье предложен метод повышения эффективности управления IT-проектами.

Предложенный метод отличается формированием проектных команд и распределением участников проектных команд для выполнения задач проекта на основе генетического алгоритма с учетом уровня владения технологиями, опыта работы с технологиями, сработанности участников проектной команды, опыта аналогичных разработок, личностно-психологических качеств участников проектов.

Критерием эффективности является минимизация трудоемкости и длительности выполнения проекта. В результате применения разработанного метода при проведении учебной практики студентов специальности "Программная инженерия" в Белорусско-Российском университете трудоемкость проекта сократилась на 19 %.

По результатам апробации разработанного метода выявлено следующее ограничение: для того чтобы оценить трудоемкость проекта, необходимо знать размер программного продукта в тысячах строк исходного кода, который неизвестен до окончания проекта. Следовательно, метод может иметь большую погрешность из-за неточности оценки размера программного продукта. Существенное влияние на результат применения метода оказывает человеческий фактор: психологическое состояние участников проекта, самочувствие.

Список литературы

1. Новиков Д. А. Управление проектами: организационные механизмы. М.: ПМСОФТ, 2007. 140 с.
2. Коновальчук Е. В., Новиков Д. А. Модели и методы оперативного управления проектами. М.: ИПУ РАН, 2004. 63 с.
3. Бурков В. Н., Коргин Н. А., Новиков Д. А. Как управлять проектами. М.: Либроком, 2009. 264 с.
4. Баркалов С. А., Воропаев В. И., Секлетова Г. И. и др. Математические основы управления проектами: учеб. пособие / Под ред. В. Н. Буркова. М.: Высшая школа, 2005.
5. Титаренко Б. П. Робастные технологии управления в ситуации неопределенности // Вестник МГАДА. Сер. Экономика. 2012. № 6. С. 119—121.
6. Аньшин В. М., Ильина О. Н. Исследование методологии оценки и анализ зрелости управления портфелями проектов в российских компаниях. М.: ИНФРА-М, 2018. 200 с.
7. Boehm V. et al. Software cost estimation with COCOMO II. Englewood Cliffs, NJ: Prentice—Hall, 2000.
8. Barricelli N. A. Symbiogenetic evolution processes realized by artificial methods // *Methodos*. 1957. N. 9 (35—36). P. 143—182.
9. Barricelli N. A. Numerical testing of evolution theories. Part II. Preliminary tests of performance, symbiogenesis and terrestrial life // *Acta Biotheoretica*. 1963. N. 16. P. 99—126.
10. Melanie Mitchell. An Introduction to Genetic Algorithms. MIT Press, 1998. P. 167—226.
11. Белбин Р. М. Типы ролей в командах менеджеров / Пер. с англ. М.: НИРО, 2003. 232 с.
12. Белбин Р. М. Команды менеджеров. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2009. 238 с.
12. Адакин Е. Е., Скрипникова Г. В. Оценка профессиональных квалификаций работников // *Фундаментальные исследования*. 2016. № 7-2. С. 282—286.
14. Бодров В. А. Психология профессиональной деятельности. М.: Институт психологии СО РАН, 2006. 623 с.
15. Ильин Е. П. Психология индивидуальных различий. СПб: Питер, 2011. 512 с.
16. Пряжников Н. С. Профессиональное самоопределение: теория и практика. М.: Академия, 2008. 320 с.
17. Шадриков В. Д. Профессиональные способности. М.: Университетская книга, 2010. 320 с.
18. Кудрявцев В. Т. Теория и практика учебной деятельности: традиции и инновации // *Психологическая наука и образование*. 2015. Т. 20, № 3. С. 197—218.
19. Отраслевой стандарт 4.071.030 "Создание систем. Нормативы трудоемкости". URL: <http://www.it-gost.ru/content/view/67/41> (дата обращения 25.03.2020).
20. Гладуэлл М. Гении и аутсайдеры: Почему одним все, а другим ничего? / Пер. с англ. О. Галкин. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2016. 224 с.
21. Саймон Д. Алгоритмы эволюционной оптимизации. М.: ДМК Пресс, 2020. 940 с.
22. Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Генетические алгоритмы: Учеб. пособ. М.: Физматлит, 2006. 320 с.
23. Захарченков К. В., Вайнилович Ю. В. Методика многоуровневого управления учебными IT-проектами // *Энергетика, информатика, инновации — 2018 (инновационные технологии и оборудование в промышленности, управление инновациями, экономика и менеджмент, научные исследования в области физической культуры, спорта и общественных наук): сб. трудов VIII междунар. науч.-техн. конф.* Смоленск: "Универсум", 2018. Т. 3. С. 18—21.
24. Вайнилович Ю. В. Программный комплекс многоуровневого управления IT-проектами // *Инновации*. 2019. № 8(250). С. 88—96.

Method for Improving the Efficiency of IT Project Management Using a Genetic Algorithm

The article is devoted to solving the current problem of improving the efficiency of IT project management processes. When managing IT projects, managers are faced with the problem of formation teams and distributing tasks among project participants in the face of the need to minimize costs and completion dates of an IT project. The lack of necessary methods and software doesn't allow the IT project Manager to adequately assess competences and skills of participants, their personal qualities, which leads to a decrease in the effectiveness of project management. The article proposes a method of improving the efficiency of IT project management, which differs by using a genetic algorithm to form project commands and assign team participants to project tasks. The efficiency criterion is the complexity and duration of the project and individual tasks using the COCOMO II method. When forming project teams, takes into account the level of technologies proficiency, experience with technologies, the coherence of the project team members, and the experience of similar developments of project participants. The level of technologies proficiency affects the level of labor input multiplier, experience with technologies — at the level of the multiplier, the coherence of the project team members — on the level of scale factor, the experience of similar development — on the level of the scale factors of the COCOMO II methodology. Taking into account the personal and psychological qualities of project participants reduces the risk of interpersonal conflicts within the team, which also reduces the duration of projects and the labor input of solving tasks. Research of personal and psychological qualities is carried out on the basis of automated tests. The test suite includes Rosenzweig, Belbin, Myers-Briggs, Thomas and Honey-Mumford tests. The developed method is implemented in a software complex for multi-level IT project management. Testing of the method and software complex was carried out within the framework of the students' learning practice of the specialty "Software engineering" of the Belarusian-Russian University. The use of the proposed method allowed to reduce the labor input of solving the tasks of training projects by 19.2 %, to reduce the project realization term by 10 %.

Keywords: IT project management, project team, genetic algorithm

DOI: 10.17587/it.26.673-682

References

1. **Novikov D. A.** Project management: organizational mechanisms, Moscow, PMSOFT, 2007, 140 p. (in Russian).
2. **Konoval'chuk E. V., Novikov D. A.** Models and methods of operational project management, Moscow, IPU RAN, 2004, 63 p. (in Russian).
3. **Burkov V. N., Korgin N. A., Novikov D. A.** How to manage projects, Moscow, Librokom, 2009, 264 p. (in Russian).
4. **Barkalov S. A., Voropaev V. I., Sekletova G. I.** et al. Mathematical foundations of project management, Moscow, Vysshaya shkola, 2005, 423 p.
5. **Titarenko B. P.** Robust management technologies in a situation of uncertainty, *Vestnik MGADA, Seriya Ekonomika*, 2012, no. 6, pp. 119—121 (in Russian).
6. **An'shin V. M., Il'ina O. N.** Research of the assessment methodology and analysis of the maturity of project portfolios management in Russian companies, Moscow, INFRA-M, 2018, 200 p. (in Russian).
7. **Boehm B.** et al. "Software cost estimation with COCOMO II", Englewood Cliffs, NJ, Prentice—Hall, 2000.
8. **Barricelli N. A.** Symbiogenetic evolution processes realized by artificial methods, *Methodos*, 1957, no. 9(35—36), pp. 143—182.
9. **Barricelli N. A.** Numerical testing of evolution theories. Part II. Preliminary tests of performance, symbiogenesis and terrestrial life, *Acta Biotheoretica*, 1963, no. 16, pp. 99—126.
10. **Melanie Mitchell.** An Introduction to Genetic Algorithms, MIT Press, 1998, pp. 167—226.
11. **Belbin R. M.** Types of roles in management teams, Moscow, HIPPO, 2003, 232 p. (in Russian).
12. **Belbin R. M.** Management Teams, Moscow, Mann, Ivanov i Ferber, 2009, 238 p. (in Russian).
13. **Adakin E. E., Skripnikova G. V.** Assessment of professional qualifications of employees, *Fundamental'nye Issledovaniya*, 2016, no. 7-2, pp. 282—286 (in Russian).
14. **Bodrov V. A.** Psychology of professional activity, Moscow, Institut psikhologii SO RAN, 2006, 623 p. (in Russian).
15. **Il'in E. P.** Psychology of individual differences, Saint Petersburg, Piter, 2011, 512 p. (in Russian).
16. **Pryazhnikov N. S.** Professional self-determination: theory and practice. Moscow, Akademiya, 2008, 320 p. (in Russian).
17. **Shadrikov V. D.** Professional abilities, Moscow, Universitetskaya kniga. 2010, 320 p. (in Russian).
18. **Kudryavtsev V. T.** Theory and practice of educational activity: traditions and innovations, *Psikhologicheskaya Nauka i Obrazovanie*, 2015, vol. 20, no. 3, pp. 197—218 (in Russian).
19. **Industry** standard 4.071.030 "Creating a system. Labor intensity standards", available at: <http://www.it-gost.ru/content/view/67/41> (accessed March 25, 2020) (in Russian).
20. **Gladuell M.** Geniuses and outsiders: Why is everything for one and nothing for the other?, Moscow, Mann, Ivanov i Ferber, 2016, 224 p. (in Russian).
21. **Saymon D.** Evolutionary optimization algorithms, Moscow, DMK Press, 2020, 940 p. (in Russian).
22. **Gladkov L. A., Kureychik V. V., Kureychik V. M.** Genetic algorithms, Moscow, Fizmatlit, 2006. 320 p. (in Russian).
23. **Zakharchenkov K. V., Vaynilovich Yu. V.** Method for multi-level management of educational IT projects, *Energetika, informatika, innovatsii* — 2018 (innovatsionnye tekhnologii i oborudovanie v promyshlennosti, upravlenie innovatsiyami, ekonomika i menedzhment, nauchnye issledovaniya v oblasti fizicheskoy kul'tury, sporta i obshchestvennykh nauk): sb. trudov VIII mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., Smolensk, Universum, 2018, vol 3, pp. 18—21 (in Russian).
24. **Vaynilovich Yu. V.** Program complex of multilevel IT project management, *Innovatsii*, 2019, no. 8 (250), pp. 88—96 (in Russian).

Г. К. Букалов, д-р техн. наук, проф., e-mail: gk.bukalov44@yandex.ru,
А. О. Бурыгин, аспирант, e-mail: g.t.m.p@yandex.ru,
И. Г. Панин, д-р техн. наук, проф., e-mail: igpanin@list.ru,
А. В. Торцев, аспирант, e-mail: fullfulk47458@gmail.com,
Костромской государственной университет

Модификация метода полносвязных сверточных сетей (FCN) для поиска редко встречающихся дефектов на больших площадях

Рассматривается задача нахождения дефектов на изображениях большой площади, для чего изображение проходит несколько этапов: создание сверточной сети U-Net, извлечение признаков U-Net, классификация алгоритмом Random Forest и выявление дефектных областей. С помощью классификатора на основе Random Forest проводится сегментация частей входного изображения. Проведены вычислительные эксперименты, направленные на исследование эффективности предложенного метода в сравнении с существующими методиками.

Ключевые слова: стропа, изображение, CNN, U-Net, MSER, Random Forest

Введение

У объектов большой площади могут возникать дефекты различного рода. В качестве примера таких объектов можно взять текстильные стропы, дефекты которых могут быть получены как при их производстве, так и во время эксплуатации. Дефекты любого типа значительно сокращают срок службы строп, потенциально приводя к отказам и авариям, поэтому задача их постоянной проверки является актуальной для любого производства. Она заключается, в основном, во внешнем осмотре строп, который хотя и проводится квалифицированными специалистами, но по-прежнему, является непоследовательным, субъективным, утомительным и трудоемким. Для того чтобы сократить рабочую нагрузку инспекторов и обеспечить объективный и эффективный осмотр строп, можно использовать автоматизированные системы инспектирования строп. Но задача нахождения дефектов на изображениях большой площади, в том числе и на изображениях строп, сложна из-за своей специфики, поскольку, во-первых, дефекты (особенно новые) достаточно редки и, во-вторых, не всегда легко получить большое число примеров для обучения классификатора/детектора объектов.

Первоначальная идея с использованием полносвязных сверточных сетей (далее FCN), например U-Net [1] (далее U-сеть), была наиболее

подходящей для поиска дефектов. Однако в процессе исследования было выявлено, что если существует ограничение на число примеров площадей (тканевого полотна) с повреждениями, такие методы работают плохо из-за специфики больших площадей. Тем не менее, в данной работе показано, что алгоритм типа "случайный лес" (далее RF) [2], обученный классифицировать каждый пиксель на основе выборки изображений, достигает гораздо лучшего результата, чем обычный конечный слой Softmax в U-сети.

Для проверки больших областей изображений необходимо их сначала нормализовать, а затем, так как нельзя пропустить через нейронную сеть весь датасет (все множество входных фотографий) разом, необходимо разделить датасет на батчи (пакеты, сетки или партии) участков изображений, которые затем и подаются в U-сеть. U-сеть обучается только на батчах, отобранных вокруг дефектов в обучающем наборе, чтобы избежать переполнения системы нормальными (бездефектными) пикселями, которых подавляющее большинство.

В предлагаемой статье представлены разработки в данном направлении:

1. Рассмотрено описание системы для идентификации небольших областей дефектов на больших площадях изображений.

2. Показано, что использование "случайного леса" значительно улучшает производительность U-сети (в сравнении с Softmax).

3. Показано, что ложные срабатывания могут быть уменьшены с помощью создания максимально устойчивых экстремальных областей MSER [3] для идентификации регионов-кандидатов, а не простого порогового значения.

1. Методология идентификации областей дефектов на изображении

Классические подходы к определению дефектов реализуются с использованием либо базовых методов обработки изображений, либо традиционных классификаторов. Методы сверточной нейронной сети CNN [4], в отличие от классических, показали хорошую производительность для многих современных задач компьютерного зрения. Теоретически обучение CNN требует большого числа маркированных примеров, но если использовать полносвязанный слой FC (слой, на котором каждая характеристика входного вектора имеет влияние на каждую характеристику выходного вектора) предварительно обученной CNN, то он может быть выбран в качестве универсального экстрактора признаков [5]. В своей работе Р. Рэн [6] использовал признаки FC, извлеченные из набора батчей изображений, для обучения классификатора, который может использоваться для прогнозирования содержания батчами дефектов. Необходимо отметить, что извлечение признаков FC из батчей занимает достаточно продолжительное время, что ограничивает целесообразность применения метода в реальных задачах контроля.

Известно, что для обучения нейронных сетей требуется большое количество исходных данных, но для некоторых областей знаний такой набор по различным причинам не может быть получен. Для решения этой проблемы О. Ронненбергом и др. [1] была разработана новая архитектура CNN — U-сеть, содержащая сокращающийся путь, кодирующий контекстную информацию путем повторного применения сверток частей изображения, и симметричный расширяющийся путь, который захватывает локальные данные.

Исходя из этого в данной работе делается предположение, что существует обучающий набор, содержащий примеры изображений площадей (строп) без дефектов и площадей (строп), содержащих типичные дефекты, а также бинарные изображения меток, указывающие пиксели, принадлежащие каждому дефекту.

Поскольку дефекты встречаются редко, то на первом этапе необходимо обучить U-сеть, для чего реализуются следующие шаги:

- каждое изображение дополняется вращениями, отражениями и другими D4-аугментациями;

- изображения вместе с дополнениями нормализуются с помощью линейного преобразования с математическим ожиданием, стремящимся к нулю, и дисперсией, стремящейся к единице;
- вокруг каждого дефекта дополнительно формируются батчи изображений;
- используя полученный набор батчей, U-сеть обучается предсказывать метки двоичных пикселей;
- обучается RF классификатор на использование характеристик, извлеченных в каждой позиции пикселя в U-сеть;
- в вероятностном изображении вычисляются максимально устойчивые экстремальные области (MSERs), и каждая область анализируется для исключения ложных срабатываний.

На втором этапе создается обучающий набор векторов признаков путем извлечения векторов, связанных с каждым положительным пикселем (т.е. пикселем входящего в состав дефекта) и равным числом (случайно отобранных) отрицательных пикселей. Эти выборки используются для обучения классификатора случайных деревьев на основе вектора пространственных характеристик. При появлении нового изображения выходное вероятностное изображение создается путем применения к нему U-сети и дальнейшей оценки вероятности дефекта в каждом пикселе с помощью классификатора RF.

На третьем этапе проводится отбор нужных областей изображений, для чего используется механизм детектора максимально устойчивой экстремальной области (MSER), с помощью которого выбираются "дефектные" пиксели из каждого вероятностного изображения. Этот метод использует характеристики более высокого уровня, закодированные в связанных компонентах, что дает преимущество по сравнению с методом расчета порога изображения. Изображение сначала линейно растягивается до диапазона [0, 255], затем, после прохождения через детектор MSER, выделяется набор "дефектных" кандидатов для каждого тестового изображения. Чтобы оценить, является ли область истинно положительной, для нее вычисляется число пикселей n_p , которые имеют вероятность определения как "дефектных" выше некоторого порогового значения k , а любая область, имеющая вероятность ниже порогового значения k , удаляется.

Чтобы выбрать наилучшие параметры U-сети, необходимо увеличить объем данных, что также увеличивает эффективность методов глубокого обучения [7]. В этом случае применяется конвейер операций аугментаций к изображениям и связанным с ними меткам (операции сдвига, перекоса, переворачивания и упругого искажения), а также Z-нормализация к каждому изо-

бражению, что увеличивает его контрастность и улучшает инвариантность к эффектам освещения. К каждому пикселю применяется преобразование $p' = (p - \mu)/\sigma$, где μ и σ — среднее и стандартное отклонение соответственно, вычисленные в некоторой области размером $W \times W$. Любой блок размером $P \times P$ вокруг каждого дефекта произвольного изображения выбирается с произвольным смещенным положением так, чтобы положение дефекта не было смещено по центру. Для этого используется оптимизатор Adam [8] для оптимизации параметров в U-сети.

2. Проведение экспериментов по определению оптимальных параметров

В качестве обучающих примеров был создан набор из 437 изображений участков строп и связанных с ними изображений этикеток, каждое из которых имело, по крайней мере, один дефект. Для всех экспериментов использовалась 10-кратная схема перекрестной валидации, суть которой состоит в разделении входного батча изображений на 10 частей и дальнейшей попеременной смене их ролей в качестве тестовых и тренировочных батчей. При обучении одной U-сети использовались батчи размером 64×64 , отобранные как из оригинальных, так и из дополнительных изображений, а при тестировании — только из исходных изображений. Все изображения (включая изображения, используемые для выборки батчей) были обработаны с использованием Z-нормализации. Обучение U-сети проводилось с использованием различных уровней и числа фильтров (размер батча брался равным 8, 100 эпох и 32 итерации за эпоху).

Для измерения производительности классификации строился график кривой ROC соотношения истинно-положительной доли пикселей (для которых прогноз совпал с разметкой изображения, предсказанной U-сетью) к ложно-положительной доле "дефектных" пикселей (которые U-сеть посчитала ошибочно как "дефектные") для каждого из выбранных пороговых значений вероятности, а в качестве единой меры была выбрана площадь AUC (характеристика качества классификации) под кривой ROC. Чем больше значение AUC, тем "лучше" модель классификации.

Для понимания сути кривой ROC введем понятия элементов таблицы сопряженности, строящейся на основе классификации модели и реальной (фактической) принадлежности к следующим четырем классам:

- истинно положительные (True Positives (TP), или правильно классифицированные положительные случаи);

- истинно отрицательные значения (True Negative (TN), или правильно классифицированные отрицательные случаи);
- ложноотрицательные значения (False Negatives (FN), или неверно классифицированные отрицательные случаи, т. е. те случаи, когда объект ошибочно не обнаруживается);
- ложноположительные значения (False Positives (FP), или неверно классифицированные положительные случаи, т. е. ложные обнаружения объекта).

При анализе результатов принято оперировать не абсолютными показателями, а их долями, выраженными в процентах:

- доля истинно положительных примеров (True Positives Rate)

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN} \cdot 100 \%;$$

- доля ложноположительных примеров (False Positives Rate)

$$FPR = \frac{FP}{TN + FP} \cdot 100 \%.$$

Кривая ROC представляет собой линию в координатах истинно положительных (True Positive) и ложноположительных (False Positive) значений. Для оценки ROC кривой используется параметр AUC:

$$AUC = \sum_i \left[\frac{X_{i+1} + X_i}{2} \right] (Y_{i+1} + Y_i),$$

где X_i , Y_i — соответствующие значения на осях кривой ROC.

Поскольку работа направлена на обнаружение дефектов, а не отдельных пикселей, была принята мера уровня объекта, т.е. рабочая характеристика свободного отклика (FROC), показывающая долю обнаруженных дефектов к числу ложных срабатываний на изображение. Дефект считается обнаруженным, если более половины его площади входит в положительную область обнаружения. Далее приводятся результаты нескольких экспериментов.

1. На рис. 1 показаны результаты, полученные при обучении U-сети с помощью **различного числа уровней** (от 1 до 4), построены кривые ROC и вычислены значения AUC для всех уровней: 0,478; 0,649; 0,872; 0,817 соответственно. Видно, что наилучший результат получен при использовании трех уровней.

2. На рис. 2 показаны результаты, полученные при обучении U-сети с числом уровней, равным 3, **для разного числа фильтров сегментации** (32, 64, 128). Как видно, наилучшее значение точности получено с использованием 64 фильтров.

3. Графики на рис. 3 дают представление о том, что **обучение U-сети с нормализацией** на

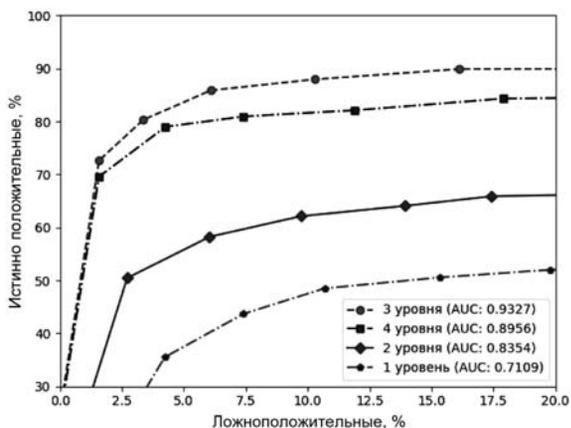


Рис. 1. Влияние числа уровней U-сети

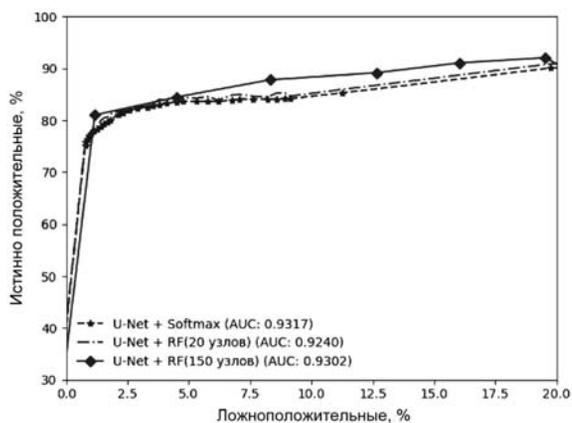


Рис. 4. Сравнение работы Softmax-слоя и RF-классификатора

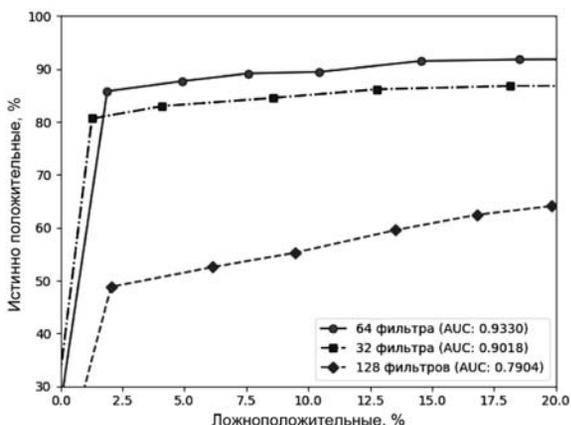


Рис. 2. Влияние числа фильтров

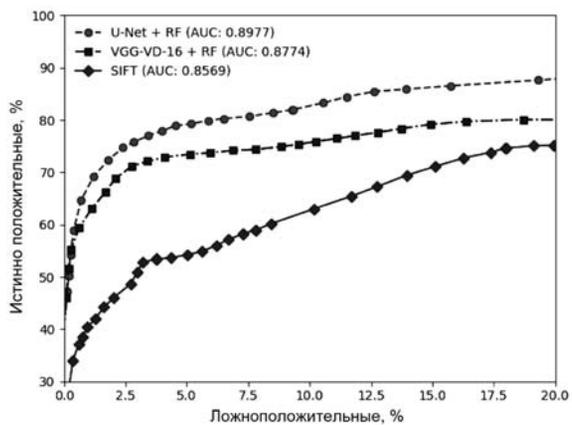


Рис. 5. Сравнения подходов обнаружения дефектов

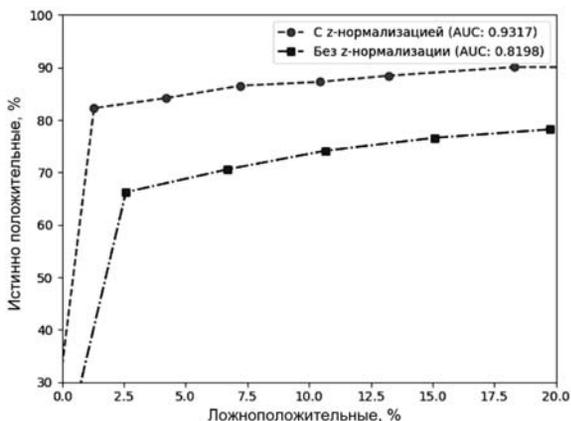


Рис. 3. Влияние Z-нормализации

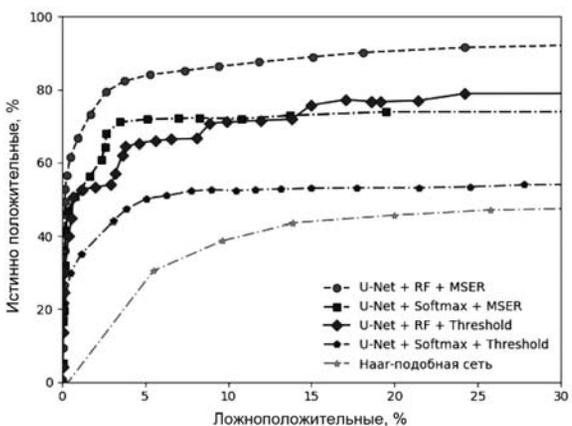


Рис. 6. Сравнение с существующими предобученными сетями

входных батчах значительно превышает производительность сети без нормализации, при этом значение AUC увеличивается с 0,83 до 0,91.

4. На рис. 4 показаны результаты работы U-сети для трех случаев: с помощью слоя *Softmax*, с помощью классификатора "случайных лесов" с 20 и с 150 деревьями. Результаты работы классификатора со 150 деревьями имеют превосходство по производительности, хотя и не очень значительное.

5. В данном эксперименте *сравнивалась производительность рассматриваемой сверточной U-сети* с результатами, полученными с помощью многослойных аналогов: SIFT и VGG-VD-16. На рис. 5 показано, что результаты предлагаемой сети значительно превосходят аналоги.

6. В этом эксперименте сравнивалась производительность рассмотренного подхода для выявления дефектов (U-Net + RF + MSER) со следующими существующими подходами:

- end-to-end предобученная U-сеть с Softmax-слоем и MSER-детектором (U-Net + Softmax + MSER);
- end-to-end предобученная U-сеть с Softmax-слоем и детектором, основанном на применении порога (U-Net + Softmax + Treshhold);
- U-сеть с конечным слоем из классификатора RF и детектором, основанном на применении порога (U-Net + RF + Treshhold);
- использование каскада Хаара с дальнейшей классификацией из RF.

Из рис. 6 видно, что предлагаемый подход дал значительно лучшие результаты *по отношению к другим рассматриваемым методам*, в частности, 84,5 % дефектов были обнаружены при 2,4 ложных срабатываний на одно изображение.

Заключение

Предложен подход, дополняющий U-сеть конечным слоем из классификатора случайных лесов (RF), при котором классификатор идентифицирует каждый пиксель с использованием объектов, извлеченных из сети. Вместо порогового значения массива вероятностей, создаваемого классификатором, предложенный подход U-Net + RF + MSER идентифицирует дефектные кандидаты с помощью детектора максимально устойчивой экстремальной

области (MSER), при котором используются характеристики более высокого уровня, основанные на регионах в изображении, а не простое пиксельное пороговое значение. Наилучшая производительность, полученная с использованием подхода U-Net + RF + MSER, превосходит множество проверенных альтернатив. Хотя данный подход и был ограничен малым числом учебных данных, он все же дал многообещающие результаты.

Список литературы

1. **Ronneberger O., Fischer P., Brox T.** U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation // LNCS. 2015. 9351. P. 234–241.
2. **Breiman L.** Random forests // Mach Learn. 2001. 45(1). P. 5–32.
3. **Matas J., Chum O., Urban M., Pajdla T.** Robust wide baseline stereo from maximally stable extremal regions // Proc. British Machine Vision Conference. 2002. P. 384–396.
4. **LeCun Y., Bengio Y., Hinton G.** Deep learning // Nature. 2015. 521. P. 436–444.
5. **Razavian A., Azizpour H., Sullivan J., Carlsson S.** CNN features off-the-shelf: an astounding baseline for recognition // Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. 2014. P. 512–519.
6. **Ren R., Hung T., Tan K.** A generic deeplearning based approach for automated surface inspection // IEEE Transactions on Cybernetics. 2018. 48(3). P. 929–940.
7. **Taylor L., Nitschke G.** Improving deep learning using generic data augmentation. 2017. arXiv:1708.06020.
8. **Kingma D., Adam J.** A method for stochastic optimization. 2017. arXiv:1412.6980.

G. K. Bukalov, Professor, e-mail: gk.bukalov44@yandex.ru,

A. O. Burygin, PhD student, e-mail: g.t.m.p@yandex.ru, **I. G. Panin**, Professor, e-mail: igpanin@list.ru,

A. B. Tortsev, student, e-mail: fullfulk47458@gmail.com,

Kostroma State University

Defect Detection Using FCN Modification for Finding Rare Defects on Large Areas

There is problem of finding defects on a textile sling on large areas. For this purpose, the image goes through several stages: creation of a convolutional U-Net network, extraction of U-Net features, classification by the Random Forest algorithm, and identification of defective areas via MSER. The Random Forest classifier is used to segment parts of the input image obtained from U-Net. Computational experiments were conducted to study the effectiveness of the proposed method in comparison with existing methods.

Keywords: sling, image, CNN, U-Net, MSER, Random Forest

DOI: 10.17587/it.26.683-687

Refences

1. **Ronneberger O., Fischer P., Brox T.** U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation, LNCS, 2015, 9351, p. 234–241.
2. **Breiman L.** Random forests, Mach Learn, 2001, 45(1), p. 5–32.
3. **Matas J., Chum O., Urban M., Pajdla T.** Robust wide baseline stereo from maximally stable extremal regions, *Proc. British Machine Vision Conference*, 2002, pp. 384–396.

4. **LeCun Y., Bengio Y., Hinton G.** Deep learning, *Nature*, 2015, 521, p. 436–444.
5. **Razavian A., Azizpour H., Sullivan J., Carlsson S.** CNN features off-the-shelf: an astounding baseline for recognition, *Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, 2014, p. 512–519.
6. **Ren R., Hung T., Tan K.** A generic deeplearning based approach for automated surface inspection, *IEEE Transactions on Cybernetics*, 2018, 48(3), p. 929–940.
7. **Taylor L., Nitschke G.** Improving deep learning using generic data augmentation, 2017, arXiv:1708.06020.
8. **Kingma D., Adam J.** A method for stochastic optimization, 2017, arXiv:1412.6980.

М. Р. Усманов, канд. техн. наук, Генеральный директор, e-mail: nnp@lukoil.com,

ООО "ЛУКОЙЛ-Нижегородниинептепроект", Нижний Новгород,

Д. А. Фоменков, канд. экон. наук, доц., e-mail: dfomenkov@hse.ru,

М. А. Шушкин, д-р экон. наук, проф., e-mail: mshushkin@hse.ru,

Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Нижний Новгород

Анализ цифровизации инжиниринговых проектов на примере нефтегазового сектора

Цифровизация — это одно из главных направлений изменения современного бизнеса. Большинство компаний активно декларируют внедрение новых инструментов в управление, однако эти процессы не всегда приводят к повышению эффективности управления. Для принятия оптимальных решений об использовании инструментов цифровизации бизнеса требуется разработка соответствующего аналитического инструментария.

Проведен критический анализ методик оценки цифровизации предприятий и проектов. На его основе обоснована необходимость развития методов анализа цифровизации инжиниринговых проектов. В данном исследовании представлена оригинальная методика, которая позволяет оценивать уровни интенсивности и эффективности внедрения различных инструментов цифровизации. Апробация методики проведена на примере анализа цифровизации инжиниринговых проектов в нефтегазовом секторе. Представленная методика включает в себя: набор метрик эффективности и активности цифровизации инжинирингового проекта: группировку метрик на три блока; способ оценки анализируемых метрик, алгоритм анализа цифровизации проектов и принятия управленческих решений по их оптимизации.

Представленная методика позволяет идентифицировать проблемные зоны цифровизации в бизнес-процессах инжинирингового центра, а также определять, на каких направлениях была достигнута максимальная эффективность. Данная методика направлена на принятие управленческих решений относительно использования различных инструментов цифровизации бизнес-процессов в ходе реализации инжиниринговых проектов.

Ключевые слова: цифровизация бизнеса, бизнес-процессы, оценка цифровизации, инжиниринговые центры

Введение

Прогресс в развитии компьютерной техники и технологий привел к глобальным изменениям в процессах сбора, хранения и обработки информации. Это позволило автоматизировать многие рутинные операции, оцифровать их и передать на исполнение искусственному интеллекту. Массовое внедрение программных решений ознаменовалось переходом к неиндустриальной модели развития ("Цифровая экономика", "Индустрия 4.0"), что повлекло за собой кардинальные изменения в подходах к организации процессов на всех этапах выпуска продукции.

Переход компании к модели функционирования в рамках парадигмы "Индустрия 4.0" подразумевает значительные инвестиции, которые открывают новые возможности для повышения эффективности традиционных про-

цессов. Данное утверждение относится и к отрасли нефтепереработки, в том числе и в сфере инжиниринга. В то же время, по результатам экспертного опроса, проведенного компанией KMDA в 2018 г., компании, относящиеся к нефтегазовому сектору страны, имеют более низкий уровень цифровизации по сравнению с компаниями из большинства других отраслей (за исключением следующих отраслей: промышленность, туризм, издательский бизнес) [1].

Нефтегазовый комплекс — не самая простая отрасль для цифровизации. Внедрение новых технологий осложнено необходимостью соблюдения жестких требований безопасности, высоким уровнем ответственности, а также тем фактом, что в отрасли для управления традиционно используются сложные бизнес-процессы, а показатели доходности изначально достаточно высоки [2].

Данное положение дел коренным образом не соответствует стратегической цели, которая стоит перед нефтегазовым сектором страны, — повышению конкурентоспособности на мировом энергетическом рынке за счет развития инновационных технологий добычи, переработки и транспортировки нефти и газа. Следует отметить, что эти вызовы уже приняты рядом российских компаний нефтегазового сектора, которые активно реализуют пилотные проекты с использованием таких технологий, как искусственный интеллект и нейронные сети и машинное обучение. Следующей логической стадией должно стать тиражирование этих и других цифровых решений на большинстве предприятий отрасли. В частности, по прогнозам компании "Газпром нефть", развитие цифровых технологий позволит снизить капитальные и операционные расходы на 10 %, а также оптимизировать сроки выполнения проектов. Ожидаемый эффект составляет более 150 млрд руб. операционной прибыли в год [3].

Основным "проводником" цифровизации в нефтегазовом секторе должны стать инжиниринговые центры компаний, а способом внедрения цифровых технологий — инжиниринговые проекты. Особенностью таких проектов является тот факт, что они реализуются в тесном взаимодействии инжиниринговых центров, производственных площадок, поставщиков компонентной базы, независимых исследовательских центров, базовых кафедр в профильных вузах. Таким образом, посредством инжиниринговых проектов могут распространяться инструменты цифровизации по всем структурам вертикально интегрированных компаний.

Среди ожидаемых эффектов от массового использования цифровых технологий на предприятиях выделяют следующие:

- сокращение времени принятия решений;
- сокращение времени исполнения решений;
- сокращение сроков вывода продукции на рынок;
- оптимизация режимов работы оборудования и параметров процесса;
- оптимизация загрузки оборудования;
- повышение производительности и безопасности труда;
- логистическая оптимизация;
- повышение качества продукции;
- улучшение прогнозирования спроса;
- улучшение послепродажного обслуживания [4].

В связи с этим актуальным является вопрос анализа цифровизации инжинирингового проекта. Такой анализ должен позволять выявлять

лучшие практики и узкие места в процессах цифровизации и обеспечивать информационную базу для принятия управленческих решений, направленных на повышение эффективности использования цифровых технологий в компаниях нефтегазового сектора.

1. Критический анализ методик оценки цифровизации

Подавляющее большинство распространенных методик оценки цифровизации направлено на построение различных рейтингов или интегральных показателей, которые характеризуют степень активности внедрения различных цифровых технологий на уровнях стран, отраслей или предприятий [5]. Их область применения представлена в табл. 1.

Среди наиболее известных методик оценки цифровизации государств можно выделить: Digital Evolution Index, индекс E-intensity, IMD World Digital Competitiveness Ranking, ICT Development Index (IDI), Bloomberg Innovation Index, Networked Readiness Index (NRI), Knowledge Economy Index (KEI), Digital Economy and Society Index (DESI). Данные методики различаются по декомпозиции анализируемых параметров и акцентируют внимание на различных аспектах цифровизации. Однако они все анализируют такие направления развития национальных экономик, как развитие цифровой инфраструктуры страны, инновационный климат, политика государства в области цифровизации, уровень интенсивности использования цифровых технологий среди граждан. Данные индексы послужили базой для разработки методик анализа цифровизации на уровне отраслей и предприятий. Многие метрики заимствуются и адаптируются для исследования уровня цифровизации в различных отраслях.

Среди методик анализа цифровизации на уровне предприятий можно выделить (табл. 1): Digital quotient — DQ, Индекс зрелости Индустрии 4.0, RoCPS (Return on cyber-physical systems), ODM3 ("Модель зрелости цифровой производственной компании"), Индекс цифровизации российских энергокомпаний, TPRL (Technology Project Readiness Level). Дадим их более подробное описание.

Методика Digital quotient — DQ. Данная методика была разработана компанией McKinsey и позволяет проводить сравнительную оценку уровня цифровизации компаний по четырем направлениям: стратегия, цифровая культура,

Область применения методик анализа цифровизации в компаниях

Название методики	Область применения
Методика Digital quotient — DQ	Позволяет сравнивать уровень цифровизации компании по сравнению с другими фирмами. В качестве объекта сравнения выступает интегральный показатель, составленный на основе четырех групп факторов: стратегия, цифровая культура, компетенции и организационная модель
Индекс зрелости Индустрии 4.0	Позволяет определять, на каком этапе цифровой зрелости находится предприятие. Для этого выделены шесть этапов: "Информатизация"; "Связанность"; "Наглядность"; "Проницаемость"; "Предсказуемость"; "Самокоррекция". Анализ проводится по четырем структурным областям: ресурсы, информационные системы, культура и организационная структура
Методика RoCPS (Return on cyber-physical systems)	Позволяет проводить оценку экономического эффекта и окупаемости новых технологий. В методике используются такие экономические показатели, как возврат инвестиций в цифровизацию, рентабельность инвестиций в цифровизацию
Индекс цифровизации российских энергокомпаний	Позволяет определить уровень компании по развитию инноваций в соответствии с моделью Д. Мура — "догоняющий", "последователь", "продвинутый" или "цифровой". Для этого анализируются четыре функциональных блока: базовые требования; трансформация организационной структуры; бизнес-процессы; конкурентоспособность
TPRL — Technology Project Readiness Level (интегральный уровень готовности проекта к коммерциализации)	Позволяет анализировать готовность команды к реализации проектов с использованием цифровых технологий. Для этого исследуются шесть блоков: технологическая готовность; производственная готовность; инженерная готовность; организационная готовность; преимущества и риски; рыночная готовность и коммерциализация
Методика ODM3 (модель зрелости цифровой производственной компании)	Позволяет проводить сопоставительный анализ предприятий, визуализировать стадию развития компании, определять направления развития компании и экономический эффект от внедрения технологий. Для оценки применяются опросный лист и калькулятор диагностики зрелости

компетенции и организационная модель. На основании этого рассчитывается коэффициент цифровизации (Digital quotient — DQ) [6]. Исследования показали, что между этим показателем и доходностью компании наблюдается прямая зависимость [7]. В настоящее время многие компании включили этот индекс в список основных показателей своей эффективности, что позволяет им осуществлять мониторинг внедрения цифровых решений. Руководители компаний используют данный анализ, чтобы сравнить свои результаты с сотнями других организаций (в том числе и цифровыми лидерами), выявлять свои сильные и слабые стороны, определять приоритетные направления цифрового развития с наибольшим потенциальным эффектом.

Индекс зрелости Индустрии 4.0. Данная методика разработана в проектно-матричном центре Industrie 4.0 Maturity Center Немецкой академии технических наук (Acatech). Она позволяет оценить уровень технологического развития предприятия, его организационную структуру и перспективы с точки зрения внутренней корпоративной культуры на основе "Производственно-управленческой концепции". Анализ проводится по четырем структурным областям (ресурсы, информационные системы, культура и организационная структура) и пяти функци-

ональным областям (развитие, производство, логистика, обслуживание, маркетинг и продажи). В соответствии с этим определяется один из шести этапов зрелости предприятий: "Информатизация"; "Связанность"; "Наглядность"; "Проницаемость"; "Предсказуемость"; "Самокоррекция" [8].

Методика RoCPS (Return on cyber-physical systems). Эта методика была разработана в RWTH Aachen University, также есть адаптированный в "Сколково" к нашим условиям аналог этой методики. Основная особенность методики заключается в том, что в отличие от рейтинговых оценок и чек-листов (распространенных в других подходах к анализу цифровизации) она направлена на оценку экономического эффекта и окупаемости новых технологий на базе киберфизических систем. В рамках этой методики экономический эффект, получаемый от технологии, зависит от совокупных затрат на внедрение, прибыли и других доходов и рисков. Подобный подход с различными модификациями активно используется на различных предприятиях. Различные экономические показатели, такие как возврат инвестиций в цифровизацию, рентабельность инвестиций в цифровизацию, регулярно фигурируют в ежегодных отчетах крупных компаний.

Индекс цифровизации российских энергокомпаний. Данный индекс разработан в Центре энергетики Московской школы управления "Сколково" совместно с Центром системных трансформаций экономического факультета МГУ. В основу методологии заложено проведение самостоятельной оценки компании по 50 параметрам в рамках четырех тематических блоков:

а) базовые требования (степень административных, структурных и коммуникационных изменений);

б) перестроение организационной структуры (влияние цифровизации на операционную модель компании, коммуникацию с клиентами, уровень внедрения новых ИТ-решений, требования к персоналу);

в) трансформация бизнес-процессов (уровень оцифровки коммуникаций внутри компании, физических активов, эффективность использования генерируемых объемов данных);

г) конкурентоспособность (изменения в позиционировании компании на рынке в условиях формирования цифровых экосистем). По итогам оценки определяется уровень компании по развитию инноваций в соответствии с моделью Д. Мура — "догоняющий", "последователь", "продвинутый" или "цифровой" [9].

TPRL — Technology Project Readiness Level (интегральный уровень готовности проекта к коммерциализации). Эта методология подразумевает использование сбалансированного подхода к оценке готовности проектов и использует более широкий набор параметров, например, квалификацию команды, рыночную среду. Методика позволяет оценивать уровни и подуровни по следующим шести показателям: технологическая готовность (TRL); производственная готовность (MRL); инженерная готовность (ERL); организационная готовность (ORL); преимущества и риски (BRL); рыночная готовность и коммерциализация (CRL). Для анализа результативности проекта важно понимание как индивидуальных значений отдельных показателей, так и их суммирующего значения TPRL с учетом весовых коэффициентов [10].

Методика ODM3 (модель зрелости цифровой производственной компании). Данная методика разработана Московской школой управления "Сколково" и позволяет проводить сопоставительный анализ предприятий, визуализировать стадию развития компании, определять направления развития компании и экономический эффект от внедрения технологий. Для оценки применяются опросный лист

и калькулятор диагностики зрелости. Диагностику проводится по трем разделам: проектирование и технологическая подготовка производства; производство; управление и материально-техническое снабжение. Несомненным преимуществом данной методики является проведение детального анализа применения различных инструментов цифровизации на промышленном предприятии. В частности, в рамках анализа сегмента "проектирование и технологическая подготовка производства" исследуется практика использования таких инструментов цифровизации, как единое информационное пространство, цифровое моделирование и оптимизация процессов и продуктов, цифровой двойник выпускаемого продукта, корпоративная инновационная система и акселератор, интеллектуальная собственность предприятия. В рамках анализа сегмента "производство" исследуются используемые на предприятии практики: цифровой реверс-инжиниринг; аддитивное производство и быстрое прототипирование; энергоэффективность; автоматизированные рабочие места в цехах; производственные системы. В ходе анализа сегмента "управление и материально-техническое снабжение" исследуются: цифровое управление логистикой; трансфер технологий; кросс-отраслевая кооперация; партнерство с образовательными платформами; управление проектами. По каждому сегменту проводится оценка развития технологий по пятибалльной шкале (1 уровень — Ad-Hoc, 2 уровень — Defined, 3 уровень — Managed, 4 уровень — Integrated, 5 уровень — Optimized) [11].

2. Методика анализа цифровизации инжинирингового проекта в нефтегазовом секторе

Исходя из проведенного исследования существующих подходов и методик анализа (оценки) эффективности цифровизации можно констатировать, что они не в полной мере удовлетворяют актуальным потребностям инжиниринговых центров. В частности, следует отметить, что сложившиеся ранее методики:

- используют преимущественно анализ для отраслей или предприятий и не учитывают, что менеджмент инжиниринговых центров выстраивается в большей степени не из функциональной, а из проектной логики управления. Именно проекты, а не функциональные подсистемы менеджмента целесообразно анали-

зировать в ходе исследования процессов цифровизации в инжиниринговом центре;

- делают акцент на оценке активности внедрения различных цифровых технологий на предприятии. В то же время данные подходы уделяют недостаточно внимания анализу эффективности цифровизации;
- направлены на оценку интегральных показателей цифровизации. При этом само знание интегрального показателя (низкий или высокий) не позволяет принимать каких-либо управленческих решений об использовании или отказе от применения различных инструментов цифровизации.

В связи с этим для обеспечения контроля за эффективностью цифровизации инжиниринговых проектов, реализуемых в организациях бизнес-сектора нефтепереработки, нефтехимии, газопереработки ПАО "ЛУКОЙЛ", требуется разработка специализированной методики оценки, учитывающей особенности как самих инжиниринговых проектов, так и данной отрасли.

Специалистами ООО "ЛУКОЙЛ-Нижегородниинепроект" была разработана и в настоящее время тестируется в пилотной форме новая методика анализа цифровизации инжиниринговых проектов. В данную методику были заложены следующие принципы:

- **принцип открытых инноваций.** Инжиниринговый проект реализуется не только в самом инжиниринговом центре. Такой проект осуществляется в цепочке контрагентов: поставщики оборудования; независимые лаборатории и профильные кафедры вузов; инжиниринговый центр; производственные площадки (как входящие в холдинг, так и внешние);
- **принцип анализа цифровизации по всему жизненному циклу проекта.** Анализ цифровизации проекта целесообразно проводить не только исследуя цифровизацию в самом инжиниринговом центре, но и по всему его жизненному циклу, включая: НИОКР, формирование цепи поставок, внедрение в производство, тиражирование и сопровождение;
- **принцип анализа интенсивности и эффективности.** Активность внедрения инструментов цифровизации в рамках организации или проекта не всегда приводит к повышению эффективности. Вследствие этого целесообразно использовать два направления анализа: интенсивность (глубина) цифровизации проекта; эффективность применяемых цифровых инструментов или решений (экономический и организационный эффекты);

- **принцип оптимальности использования цифровых решений.** При оценке эффективности необходимо учитывать принцип оптимальности использования инструментов цифровизации (использование инструментов не должно быть самоцелью). Необходимо избегать дублирования инструментов. Стоимость использования инструментов цифровизации и трудозатраты на их внедрение и использование должны быть оправданы с точки зрения экономических или организационных эффектов.

Предлагаемая методика базируется на анализе перечня инструментов цифровизации, который отражен в подходе, применяемом на промышленных предприятиях, "Organizational Digital Manufacturing Maturity Model — ODM3" — анализ зрелости цифровой производственной компании (разработана Autodesk, Центр компетенций НТИ СПбПУ "Новые производственные технологии", Московская школа управления "Сколково") [12]. Однако особенности объекта исследования (инжиниринговые проекты в секторе Downstream) потребовали адаптации данного подхода. В частности, часть анализируемых в первоначальном подходе инструментов оказалась нерелевантной для инжиниринговых проектов. Другой логики потребовала и группировка анализируемых инструментов на блоки. Также в рамках разработанной методики было принято решение использовать два критерия (а не один, в отличие от первоначального подхода): интенсивность и эффективность использования различных цифровых инструментов.

Алгоритм анализа цифровизации инжинирингового проекта в нефтегазовом секторе в рамках предлагаемой методики состоит из следующих этапов (рис. 1, см. третью сторону обложки):

Этап 1. Экспертная оценка использованных в проекте инструментов цифровизации.

Данную процедуру целесообразно проводить после завершения реализации проекта. В качестве экспертов выступают менеджеры, технологи, инженеры и руководители проекта со стороны инжиниринговой компании, поставщиков, производственных площадок, независимых исследовательских центров, вовлеченных в проект. Рекомендуемое число экспертов — не менее 10. Эксперты должны ответить на два вопроса относительно использования инструментов цифровизации в проекте. В табл. 2 для примера представлены результаты экспертной оценки реализуемого ООО "ЛУКОЙЛ-Нижегородниинепроект" проекта цифровизации

Пример оценки проекта цифровизации битумного производства

Используемые в проекте инструменты цифровизации	Интенсивность использования инструмента (ось X)	Эффективность использования инструмента (ось Y)
1. Использование инструментов цифровизации в системе управления знаниями в ходе реализации инжинирингового проекта		
1.1. Использование систем "Информационные банки предложений улучшения процессов и продуктов" на предприятии и с внешними партнерами, а также производственными площадками	1,9	2,8
1.2. Использование систем "Базы знаний, сводов накопленного опыта (books of knowledge, handbooks)" на предприятии и с внешними партнерами, а также производственными площадками	2,1	3,2
1.3. Использование в ходе реализации проекта дата-центров, вычислительных кластеров, внутреннего облачного хранилища и информационной архитектуры предприятия и партнеров по проекту	2,2	3,0
1.4. Использование инструментальных технологических репозиториев или банков 3D-моделей	2,4	2,5
1.5. Использование цифрового реверс-инжиниринга в ходе реализации проекта (библиотеки 3D-сканов эксплуатируемого оборудования)	3,5	2,0
1.6. Использование в ходе реализации проекта электронного банка прототипов с результатами их испытаний	2,0	3,1
1.7. Использование корпоративной индустриальной, международной научно-технической и производственной библиотеки в ходе реализации проекта	3,1	2,4
2. Использование инструментов цифровизации на этапе проектирования (разработки) в ходе реализации инжинирингового проекта		
2.1. Использование аппаратных мощностей предприятия (FEA/CFD/CAE) или ресурсов партнеров по проекту при разработке нового продукта (продуктов)	1,9	1,8
2.2. Использование систем автоматизации анализа производительности и оптимизации производственных и бизнес-процессов (системы, инструменты и технологии process mining) в ходе реализации проекта	2,3	2,2
2.3. Использование аддитивных технологий в проекте	1,8	1,5
2.4. Использование технологий предиктивной аналитики при сервисе цифровых двойников в ходе реализации проекта	3,5	2,3
2.5. Использование автоматизированного проектирования (CAD) на предприятии и с внешними партнерами, а также производственными площадками	2,5	2,5
2.6. Использование интеграции PLM-MES-ERP (передача данных между системами автоматизации) на предприятии и с внешними партнерами, производственными площадками, сервисными организациями	3,2	3,8
2.7. Использование сбора данных при испытаниях оборудования с помощью SCADA системы в ходе реализации проекта	3,5	3,6
3. Использование инструментов цифровизации на этапах внедрения в производство и эксплуатации в ходе реализации инжинирингового проекта		
3.1. Использование возможностей цифровой обратной связи от продукта на стадии его эксплуатации	1,8	3,5
3.2. Использование технологий дополненной реальности в ходе реализации проекта	2,1	1,8
3.3. Использование в ходе реализации проекта практик удаленной сервисной поддержки, реализации шефмонтажа и пусконаладки через гарнитуры дополненной реальности	3,5	3,2
3.4. Использование автоматизированного анализа 3D-моделей для выбора оптимального производственного процесса и средств производства (DFM, design-for-manufacturability) в ходе реализации проекта	2,8	2,2
3.5. Использование автоматизированной технологической подготовки (CAM) на предприятии и с внешними партнерами, а также производственными площадками	3,2	2,2
3.6. Использование систем автоматизированного управления производственными процессами (MES) на предприятии и с внешними партнерами, а также производственными площадками	3,4	3,4
3.7. Использование систем автоматизированного управления ресурсами (ERP) на предприятии и с внешними партнерами, а также производственными площадками	2,8	3,4

процесса производства нефтяных битумов, который реализуется через создание цифрового двойника технологического процесса, основанного на высокоточных математических моделях. Применение моделей позволяет находить оптимальный режим работы технологической установки и оперативно адаптировать его в соответствии с изменениями внешних факторов.

Первый вопрос связан с интенсивностью использования инструментов, а второй — с его эффективностью. Всего в ходе опроса анализируется 21 инструмент цифровизации, все они сгруппированы в три блока: "Инструменты системы управления знаниями"; "Инструменты цифровизации на этапе проектирования (разработки)"; "Инструменты цифровизации на этапах внедрения в производство и эксплуатации". Экспертная оценка проводится по пятибалльной шкале (от 0 до 4). Далее по каждому полученному результату вычисляется среднеарифметическое значение.

Этап 2. Построение координатной матрицы анализа использования инструментов цифровизации в ходе реализации проекта. Среднеарифметические результаты, полученные в ходе экспертного опроса по каждому из 21 анализируемых инструментов, отражаются в матрице "интенсивность—эффективность" (рис. 2).

Построение координатной матрицы направлено на принятие управленческих решений относительно дальнейших управленческих практик использования различных инструментов цифровизации в инжиниринговом центре. Матрица разделена на четыре квадранта:

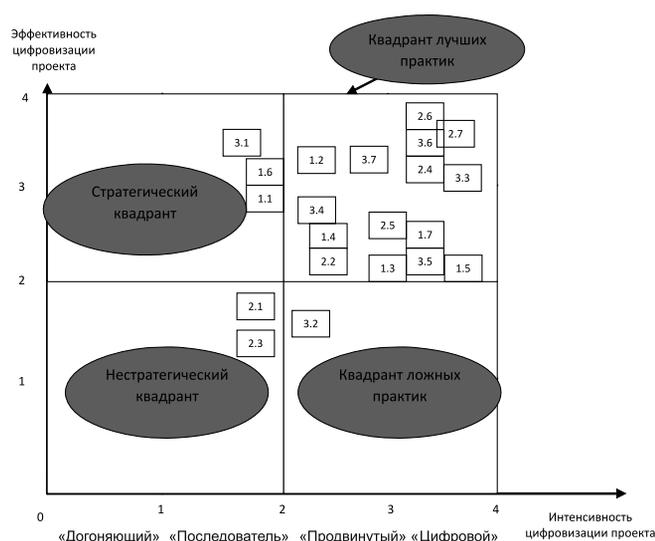


Рис. 2. Пример построения матрицы "эффективность—интенсивность цифровизации проекта"

- **Квадрант лучших практик.** Инструменты цифровизации, которые попадают в данный квадрант, активно были использованы в рамках анализируемого проекта и при этом доказали свою эффективность. Использование данных инструментов рекомендовано и для последующих проектов в том же объеме и том же формате.
 - **Стратегический квадрант.** Инструменты, которые попали в этот квадрант, показывают высокий уровень эффективности. В то же время они используются недостаточно интенсивно. Соответственно, первоочередной задачей является повышение интенсивности применения именно этих инструментов в практике реализации инжиниринговых проектов.
 - **Нестратегический квадрант.** Инструменты цифровизации, попадающие в этот квадрант, являются неэффективными, но они и не используются активно. Относительно данных инструментов нецелесообразно принимать каких-либо управленческих решений.
 - **Квадрант ложных практик.** Многие инструменты цифровизации могут быть использованы неуместно в рамках специфики определенного инжинирингового центра. Их активное использование может быть "навязано" различными консультантами или представителями других компаний, в рамках которых они были эффективны. Однако в рамках анализируемого проекта инструменты цифровизации, которые попали в этот квадрант, показали свою неэффективность (как с точки зрения экономического, так и организационного эффектов). Вопрос дальнейшего их использования должен быть рассмотрен с точки зрения следующих вопросов. Насколько правильно мы использовали инструмент? Если мы все делали правильно, но эффект отсутствует, можем ли мы заменить этот инструмент на какой-либо другой? Можем ли мы отказаться от использования данного инструмента? Ответы на эти вопросы важны для того, чтобы отказаться от использования ненужных в рамках специфики проектов цифровых инструментов. Пример построения координатной матрицы представлен на рис. 2.
- Этап 3. Принятие решений относительно использования инструментов цифровизации проектов.** На этом этапе принимаются решения, которые будут реализованы в последующих подобных проектах. Выявленные преимущества, недостатки и особенности использова-

ния различных инструментов цифровизации в инжиниринговых проектах позволяют принимать решения относительно:

- тиражирования лучших практик в другие проекты;
- интенсификации применения определенных инструментов цифровизации;
- отказа от использования неэффективных инструментов цифровизации.

Заключение

Для большинства компаний, в том числе и инжиниринговых центров, 2020 год ознаменовал собой вынужденную цифровую революцию. Организации активно начинают использовать ранее имеющиеся, но не используемые цифровые инструменты, внедряются новые технологические решения. В то же время, как показывает практика, далеко не все цифровые инструменты являются эффективными или релевантными для различных компаний. Выбор и внедрение таких инструментов на основе "проб и ошибок" не является эффективным путем цифровизации компаний. Такие решения следует применять на основе соответствующих методик и анализа управленческих практик.

Исходя из этого следует констатировать, что управленческий инструментарий анализа и внедрения инструментов цифровизации бизнеса в ближайшие годы будет активно развиваться. Следует также ожидать роста спроса со стороны компаний на услуги аудита цифровизации и технологического консалтинга. Однако коренным образом поменяется запрос на такие услуги: если ранее анализ цифровизации проводился преимущественно для вхождения в различного рода рейтинги (компания таким образом заявляла о проделанной цифровизации бизнес-процессов), то сейчас будут востребованы услуги, позволяющие принимать управленческие решения.

Представленная в данной статье методика позволяет выявить, в каком именно из блоков цифровизации есть определенные проблемы или достигнута максимальная эффективность,

а также принимать управленческие решения относительно оптимизации использования различных инструментов цифровизации в рамках реализации инжинирингового проекта.

Список литературы

1. **Цифровая** трансформация в России. Аналитический отчет на основе результатов опроса российских компаний 2018 / kmda.pro. 2018. 34 с. URL: https://drive.google.com/file/d/1k9SpULwBFt_kwGyrw08F0ELI49nipFUw/view.
2. **Туишев К.** Из "золотого века" в цифровую реальность // Нефтегазовая вертикаль. 2019. № 10. С. 38–41. URL: <http://www.ngv.ru/upload/iblock/f5c/f5cdca93116e1250a-2f6a5910c7ec6c5.pdf>.
3. **Ратников М.** Сколько зарабатывают на цифровизации Российские и зарубежные компании? // Форпост Северо-Запад, 2019. URL: <https://forpost-sz.ru/a/2019-07-08/skolko-zarabatyvayut-na-cifrovizacii-rossijskie-i-zarubezhnye-kompanii>.
4. **Боровков А., Бирбраер Р., Биленко П.** и др. Руководство по цифровой трансформации производственных предприятий, 2019. 172 с. URL: http://assets.fea.ru/uploads/nticenter/112019/Rukovodstvo_po_cifrovizacii_proizvodstvennyh_predpriyatij.pdf.
5. **Воропай Н. И., Губко М. В., Ковалев С. П.** и др. Проблемы развития цифровой энергетики в России // Проблемы управления. 2019. № 1. С. 2–14.
6. **Catlin T., Scanlan J., Willmott P.** Raising your Digital Quotient. McKinsey Digital. December. 2015. 136 p. URL: <https://www.mckinsey.com/business-functions/strategy-and-corporate-finance/our-insights/raising-your-digital-quotient>.
7. **Мониторинг** развития информационного общества в Российской Федерации / Федеральная служба государственной статистики. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/business/it/monitor_rf.xls.
8. **Шу Г., Андерл Р., Гауземайер Ю., Хомпель Т.** и др. Индекс зрелости Индустрии 4.0 — Управление цифровым преобразованием компаний / Национальная академия наук и техники Германии, Мюнхен, 2017 г. 68 с. URL: https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech_STUDIE_rus_Maturity_Index_WEB.pdf.
9. **Гимади В., Амирагян А., Поминова И.** и др. Газовые пути в Европу // Энергетический бюллетень. Вып. 81. Аналитический центр при Правительстве РФ. Февраль 2020. URL: https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/energo_feb_2020.pdf.
10. **Петров А. Н., Сатори А. В., Филимонов А. В.** Комплексная оценка состояния научно-технических проектов через уровень готовности технологий // Экономика науки. 2016. Т. 2. С. 244–260.
11. **Биленко П. Н., Лысенко Л. В., Лысенко С. Л.** и др. Комплексная оценка развития предприятия как инструмент повышения производительности труда // Цифровое производство. Методы, экосистемы, технологии. Рабочий доклад Департамента Корпоративного обучения Московской школы управления СКОЛКОВО. М., Сколково, 03-2018. URL: <http://odm3.io/>.

M. R. Usmanov, Cand. Sc., General Director, e-mail: nnp@lukoil.com,
LUKOIL-NIZHEGORODNIINEFTEPROEKT, Nizhni Novgorod, 603006, Russian Federation,

D. A. Fomenkov, Associate Professor, Cand. Sc., e-mail: dfomenkov@hse.ru,

M. A. Shushkin, Professor, D. Sc., e-mail: mshushkin@hse.ru

National Research University Higher School of Economics, Nizhni Novgorod, 603093, Russian Federation

Digitalization Analysis of Engineering Projects Using the Oil and Gas Sector as an Example

The article outlines critical analysis of methods used in assessment of digitalization in companies and projects. Based on the results the authors infer the necessity of development of methods that might be used in analysis of engineering centers digitalization. The article presents new method that allows to estimate the level of intensity and effectiveness of different practices in digitalization. The method was tested in analysis of digitalization of engineering projects in oil industry. Digitalization is one of the main processes of changing modern business. Most companies actively declare the introduction of new digitalization tools in management. At the same time, these processes do not always lead to an increase in management efficiency. To make optimal decisions on the use of business digitalization tools, the development of appropriate analytical tools is required. The presented methodology includes: a set of metrics for the efficiency and activity of digitalization of an engineering project: grouping of metrics into three blocks; a method for evaluating the analyzed metrics, an algorithm for analyzing the digitalization of projects and making managerial decisions for their optimization. The technique presented in the article allows us to identify problem areas of digitalization in the business processes of the engineering center, as well as to determine in which directions the maximum efficiency was achieved. This methodology is aimed at making managerial decisions regarding the use of various tools for digitalizing business processes in the implementation of engineering projects.

Keywords: business digitalization, business processes, assessment of digitalization, engineering center

DOI: 10.17587/it.26.688-696

References

1. **Digital** Transformation in Russia. Analytical report based on the results of a survey of Russian companies, *kmda.pro*, 2018, 34 p., available at: https://drive.google.com/file/d/1k9SpULwBFt_kwGyrw08F0ELI49nipFUw/view (in Russian).
2. **Tuishev K.** From the Golden Age to Digital Reality, *Oil and Gas Vertical*, 2019, no. 10, pp. 38–41, available at: <http://www.ngv.ru/upload/iblock/f5c/f5cdca93116e1250a2f6a5910c7ec6c5.pdf> (in Russian).
3. **Ratnikov M.** How much do Russian and foreign companies earn on digitalization? *Forpost Severo-Zapad*, 2019, available at: <https://forpost-sz.ru/a/2019-07-08/skolko-zarabatyvayut-nacifrovizacii-rossijskie-i-zarubezhnye-kompanii> (in Russian).
4. **Borovkov A., Birbraer R., Bilenko P.** Guide digital transformation manufacturing companies, 2019, 172 p., available at: http://assets.fea.ru/uploads/nticenter/112019/Rukovodstvo_po_cifrovizacii_proizvodstvennyh_predpriyatij.pdf (in Russian).
5. **Voropay N. I., Gubko M. V., Kovalev S. P.** et al. Digital energy development problems in Russia, *Control Sciences*, 2019, no. 1, pp. 2–14 (in Russian).
6. **Catlin T., Scanlan J., Willmott P.** Raising your Digital Quotient, McKinsey Digital, December, 2015, 136 p., available at: <https://www.mckinsey.com/business-functions/strategy-and-corporate-finance/our-insights/raising-your-digital-quotient>.
7. **Monitoring** the development of the information society in the Russian Federation / Federal State Statistics Service, available at: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/business/it/monitor_rf.xls (in Russian).
8. **Schuh G., Anderl R., Gausemeier J.** et al. Maturity index Industry 4.0. Digital management company transformation (Acatech), Munich, Herbert Utz Verlag, 2017, 68 p., available at: https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech_STUDIE_rus_Maturity_Index_WEB.pdf (in Russian).
9. **Gimadi V., Amiragyan A., Pominova I.** et al. Gas routes to Europe / *Energy Bulletin*, iss. 81, Analytical Center under the Government of the Russian Federation. February 2020, available at: https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/energo_feb_2020.pdf (in Russian).
10. **Petrov A. N., Satori A. V., Filimonov A. V.** Comprehensive assessment of the state of scientific and technical projects through the level of technology readiness, *Economics of Science*, 2016, vol. 2, pp. 244–260 (in Russian).
11. **Bilenko P. N., Lysenko L. V., Lysenko S. L.** et al. Comprehensive assessment of enterprise development as a tool to increase labor productivity, *Digital production. Methods, ecosystems, technologies*, Working report of the Corporate Training Department of the Moscow School of Management SKOLKOVO, Moscow, Skolkovo, 03-2018 (in Russian), available at: <http://odm3.io/>

В. И. Беловицкий, студент, e-mail: vbelovitsky@yandex.ru,
Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Москва

Концепция облачного сервиса Receipts & Promotions: новый уровень коммуникации между банком, магазином и покупателем¹

Разработанная концепция облачного сервиса Receipts & Promotions позволяет реализовать идею предоставления полной информации кассового чека в электронном виде наравне с отпечатанным чеком для держателей пластиковых карт "Мир" через мобильное приложение "Привет, Мир!". Информация из электронных чеков, накопленная в облаке "Мир", позволит пользователю получать персонализированные бонусные предложения от магазинов — партнеров программы, а также анализировать и планировать семейный бюджет. Магазинам внедрение сервиса открывает широкие возможности коммуникации с покупателями.

Ключевые слова: облачный сервис, платежная система, мобильное приложение, электронный чек, бонусное предложение, магазин, покупатель

Введение

Концепция сервиса Receipts & Promotions (R&P) разработана для национальной платежной системы "Мир" в рамках ее развития за счет создания инновационных сервисов с применением облачных технологий. Начатая в 2015 г. эмиссия пластиковых карт "Мир" к настоящему времени составила более 70 млн шт. от более чем 300 банков. Число пользователей неуклонно растет, поскольку уже к 1 июля 2020 г. статьей 5.5 Федерального закона от 27.06.2011 г. № 161-ФЗ "О национальной платежной системе" предусмотрены выплаты на карту "Мир" для: государственных служащих; работников государственных внебюджетных фондов; студентов; пенсионеров; лиц, получающих пожизненное содержание судей [1].

Сервис R&P основан на идее предоставления и анализа полной информации кассового чека покупки в электронном виде, полностью идентичной отпечатанному чеку, с использованием мобильного приложения "Привет, Мир!" и облака "Мир". В настоящее время Федеральным законом от 22.05.2003 г. № 54-ФЗ "О применении контрольно-кассовой техники при осуществлении расчетов в Российской Федерации" кассовый чек определяется как "первичный учетный документ, сформированный в электронной форме и (или) отпечатанный с применением контрольно-кассовой техники в момент расчета между пользователем и покупателем (клиентом), содержащий сведения

о расчете, подтверждающий факт его осуществления и соответствующий требованиям законодательства Российской Федерации о применении контрольно-кассовой техники" [2].

Несмотря на то что в Законе № 54-ФЗ [2] сказано об электронной форме чека, как правило, большинство покупателей ограничиваются получением бумажного чека в магазине, хотя при желании получить аналогичный чек в электронном виде можно, сообщив кассиру e-mail для его отправки. Еще одна возможность получения электронного чека реализована в мобильном приложении "Проверка кассового чека" [3] Федеральной налоговой службы России, но для запроса покупатель должен обязательно сохранить бумажный чек, чтобы потом отсканировать его QR-код. Оба рассмотренных примера работы с электронными чеками требуют от покупателя дополнительных времени и действий, не позволяющих рассматривать эти варианты в качестве полностью автоматизированного процесса получения кассового чека в электронной форме.

В качестве важных причин создания и развития сервиса R&P стоит рассмотреть и потенциальную возможность отказа от бумажных чеков, широко распространенных в магазинах. Во-первых, термолента чеков содержит бисфенол А — химическое вещество, наносящее вред здоровью человека [4]. При этом следует учитывать интересы не только покупателя, но и кассира, который успевает за день прикоснуться к сотням чеков. Во-вторых, бумажные чеки, как и бумажные деньги, могут способствовать передаче вирусов и бактерий от одного человека к другому в период эпидемий.

При создании концепции сервиса R&P были учтены как вышеперечисленные причины и

¹Работа получила Диплом первой степени Ежегодной межвузовской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов им. Е.В.Арменского 2020 года (МИЭМ НИУ ВШЭ).

обстоятельства использования электронных чеков, так и предложены новые, ранее нигде не реализованные идеи: автоматизация управления семейным бюджетом, получение покупателем персонализированных бонусных предложений от магазинов, оценка покупателем данных бонусов и приобретенных товаров и др. На их основе с применением облачного сервиса "Мир" коммуникация между банком, магазином и покупателем способна выйти на новый уровень.

Цели и задачи

Целевая аудитория сервиса R&P состоит из покупателей — держателей пластиковых карт "Мир" и магазинов — партнеров программы.

Покупатели совершают покупки в магазинах — партнерах программы. В этой группе можно выделить две подгруппы: а) взрослые люди — главы семей, заинтересованные в автоматизированном управлении семейным бюджетом и экономии средств на определенных видах товаров; б) покупатели всех возрастов и разных уровней дохода, заинтересованные в получении персонализированных бонусных предложений от магазинов — партнеров программы. Один и тот же покупатель может входить в обе подгруппы.

Получая в мобильном приложении "Привет, Мир!" электронный чек покупки, полностью идентичный бумажному, покупатель располагает не только информацией о транзакции по банковской карте, представляющей собой сумму покупки, но и данными о цене каждого купленного товара. По мере накопления этой информации за определенный период (например, за месяц) появляется возможность анализа семейного бюджета по отдельным категориям товаров и, соответственно, планирование будущих трат. Данная опция особенно актуальна для глав больших семей, совершающих покупки в супермаркетах, когда в едином чеке представлены товары самых разных категорий — от различных продуктов до бытовой химии, одежды, электроники и др. Данные электронных чеков могут быть импортированы из мобильного приложения в удобном формате (Excel, CSV и др.).

Персонализированные бонусные предложения от магазинов приходят покупателю также через мобильное приложение "Привет, Мир!". Персонализация маркетинговых акций возможна как за счет анализа покупок, ранее совершенных этим человеком, так и на основании оценок, выставленных данным покупателем ранее присланным бонусным предложениям. Одни покупатели предпочитают скидки в виде процентов от цены товара, другие больше за-

интересованы в сочетании скидки и подарка от магазина, третьим важнее получение скидки в конкретный период времени (перед праздником, днем рождения и др.).

Магазины — партнеры программы смогут повысить качество обслуживания покупателей за счет улучшения коммуникации с ними. Сервис R&P потенциально интересен как крупным розничным сетям, так и отдельным магазинам, готовым генерировать значительное число бонусных предложений для покупателей. Прежде всего, это продуктовые магазины и магазины товаров для дома, магазины бытовой техники, косметики, товаров для детей, средств по уходу за животными и др. Отдельный сектор, охватывающий самые отдаленные уголки страны, — это автозаправочные станции и продажа автомобильных аксессуаров. Сервис актуален для магазинов, интересующихся возможностью гибкой настройки бонусных предложений для каждого покупателя и доступа к большому количеству данных для анализа.

Магазин получает возможность: эффективно распределять бонусные предложения посредством анализа покупок клиентов и оценки предыдущих предложений; получать оценки продуктов от покупателей, которые приобрели этот продукт; идентифицировать клиента, не имеющего бонусной карты данного магазина, но использующего сервис R&P.

Архитектура сервиса R&P

В сервисе R&P участвуют следующие стороны: касса + POS-терминал; облако "Мир"; покупатель.

Процесс покупки с использованием сервиса R&P представлен на рисунке (см. вторую сторону обложки). Покупатель предъявляет кассиру свои покупки и штрихкод с бонусным предложением в мобильном приложении "Привет, Мир!" на экране мобильного устройства. Кассир использует сканер кассы для считывания штрихкодов товаров и штрихкода о предоставлении скидки из мобильного приложения (1). Касса отправляет запрос в облако "Мир" для авторизации покупателя в сервисе R&P и подтверждения наличия данных бонусных предложений в настоящий момент, а затем получает ответ облака на свой запрос (2). На дисплее кассы покупатель видит обновленную сумму покупки с учетом бонусов (3).

Почему клиент должен предоставить кассиру штрихкод с бонусным предложением на своем мобильном устройстве? Этот шаг позволяет запустить процесс подтверждения доступности

данного бонусного предложения через облако "Мир" и показать клиенту новую общую сумму покупки до того, как он совершит платеж с помощью пластиковой карты "Мир". Это важно, потому что одна из основных идей сервиса R&P основана на экономии семейного бюджета для каждого покупателя. Он должен видеть, сколько денег необходимо потратить в данный момент, и принять решение, совершать ли эту покупку по указанной цене. Сейчас во многих магазинах данные о скидках суммируются в конце чека, не всегда есть возможность проконтролировать, действительна ли скидка на текущий момент, особенно в крупных супермаркетах, где персонал не успевает вовремя менять ценники и высока вероятность приобретения товара без учета скидки, обозначенной на ценнике, но просроченной на текущий момент.

Далее касса передает POS-терминалу (4) обновленную сумму покупки, которая отображается на его дисплее для покупателя. Затем покупатель оплачивает покупку с помощью пластиковой карты "Мир" или NFC-чипа в мобильном устройстве (5). На шаге 6 выполняется стандартная платежная операция в соответствии с ISO-8583 [5], т. е. POS-терминал отправляет запрос эквайеру, который связывается с сервером Национальной системы платежных карт (НСПК). Запрос от НСПК идет к банку — эмитенту данной пластиковой карты "Мир". Далее информация в обратном порядке возвращается к эквайеру, а от него — на POS-терминал. На дисплее POS-терминала отображается результат платежной операции. В свою очередь POS-терминал отправляет информацию о результате транзакции в кассу (7), в фискальном накопителе формируется чек, данные которого направляются оператору фискальных данных (ОФД). Со своей стороны, ОФД присваивает этому чеку фискальный идентификатор, который возвращает кассе (8). Кассовый аппарат выдает покупателю отпечатанный бумажный чек и направляет данные чека в облако "Мир" (9). Далее эти данные передаются из облака "Мир" покупателю в мобильном приложении "Привет, Мир!" (10).

Рассмотрим подробнее шаг 9, на котором происходит накопление персонализированной электронной информации из чеков в облаке "Мир". Для отдельного покупателя это означает, что ему доступны данные о всех его совершенных по карте "Мир" покупках в объеме, полностью соответствующем информации из отпечатанного чека. Информацию из электронных чеков можно сортировать и фильтровать по всем доступным параметрам: магазин, категория товара, вид товара, цена товара, сумма чека, дата покупки и др. Также доступна

функция экспорта электронных чеков в удобном формате (Excel, CSV и др.).

Для магазинов — партнеров программы впервые появляется возможность накопления персонализированной информации по каждому покупателю без создания собственных бонусных карт. Согласие покупателя на предоставление такой информации, как пол, возраст, наличие детей определенного возраста, наличие домашних питомцев, автомобиля и др., осуществляется через мобильное приложение с возможностью выбора тех пунктов, которые будут действительно полезны этому человеку при формировании для него персонализированных бонусных предложений.

Подключаясь к программе, магазин может не иметь исходной информации о своих покупателях. Но если покупатель использует карту "Мир" и дал сервису R&P согласие на получение бонусных предложений от данного магазина (магазинов определенной сети, магазинов определенного типа и т. п.) через мобильное приложение "Привет, Мир!", магазин через облако "Мир" либо получит предоставленные покупателем данные для самостоятельного создания персонализированных бонусных предложений, либо сможет направлять в облако свои предложения для персонализации их алгоритмами облака "Мир". Выбор варианта зависит от желания и возможности руководства магазина загружать этой задачей собственный IT-отдел и, соответственно, фиксируется в контракте.

Для покупателя в функционал мобильного приложения "Привет, Мир!" будет добавлена возможность не только выбирать и использовать бонусные предложения от магазинов, но и оценивать их. Результаты оценивания будут накапливаться в облаке для дальнейшей обработки и более тонкой настройки будущих предложений. На этом же принципе может быть основана и оценка ранее купленных товаров. Впервые у магазинов и производителей товаров появится возможность получать объективную оценку и отзывы от тех покупателей, кто действительно приобрел данный товар.

Востребованность мобильного приложения, в котором были бы доступны бонусные возможности от различных магазинов, можно косвенно оценить по популярности мобильного приложения "Кошелек. Скидочные и бонусные карты" [6]. Вместе с тем функционал данного приложения отличается от сервиса R&P, поскольку оно служит электронной визитницей для уже выпущенных магазинами бонусных карт и не предполагает персонализации бонусов и не обеспечивает коммуникацию покупателя с магазином.

Заклучение

Предлагаемый сервис R&P способен выйти на уровень нового стандарта взаимодействия между магазином и покупателем, стать первым программным продуктом, основанным на сборе и анализе информации из электронных чеков, привязанных к конкретному пользователю. Развитие этого направления перспективно как для покупателей, так и для магазинов — партнеров программы.

Система гибкой персонализации бонусных предложений и их оценки со стороны покупателей в настоящее время не реализована в других программных продуктах и является уникальной. В персонализированных бонусных предложениях заинтересованы обе стороны — и магазины, получающие эффективный инструмент, и покупатели, обеспеченные релевантными предложениями для каждой жизненной ситуации. Также сервис освобождает покупателя от необходимости носить с собой множество бонусных карт, проводя оплату с помощью смартфона или пластиковой карты "Мир", что особенно актуально для молодежи.

Отображение электронных чеков через мобильное приложение "Привет, Мир!" в удобном для пользователя представлении можно будет рассматривать как первый полностью автоматизированный вариант предоставления электронных чеков широкому кругу пользователей.

Список литературы

1. **Федеральный закон** от 27.06.2011 г. № 161-ФЗ "О национальной платежной системе" (ред. от 27.12.2019). URL: https://legalacts.ru/doc/FZ-o-nacionalnoj-platezhnoj-sisteme-ot-27_06_11/ (дата обращения: 06.05.2020).
2. **Федеральный закон** от 22.05.2003 г. № 54-ФЗ "О применении контрольно-кассовой техники при осуществлении расчетов в Российской Федерации" (ред. от 27.12.2019). URL: <https://legalacts.ru/doc/federalnyi-zakon-ot-22052003-n-54-fz-o/> (дата обращения: 06.05.2020).
3. **Проверка** кассового чека. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=ru.fns.billchecker&hl=ru> (дата обращения: 06.05.2020).
4. **Biedermann S., Tschudin P., Grob K.** Transfer of bisphenol A from thermal printer paper to the skin // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2010. Vol. 398, Iss. 1. P. 571—576. DOI 10.1007/s00216-010-3936-9.
5. **ISO 8583—1987.** POS Interface Specifications. URL: https://nibss-plc.com.ng/images/api/POS_Interface_Specification_ver_1.11.pdf (дата обращения: 06.05.2020).
6. **Кошелек.** Скидочные и бонусные карты. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=ru.cardsmobile.mw3&hl=ru&showAllReviews=true> (дата обращения: 06.05.2020).

V. I. Belovitskiy, Undergraduate Student, e-mail: vbelovitsky@yandex.ru,
National Research University "Higher School of Economics", Moscow, Russian Federation

The Concept of the Receipts & Promotions Cloud Service: a New Level of Communication between Bank, Store, and Customer

The development of cloud services improving the interaction of banks, stores and customers becomes high-demanded by digitalized society, that is ready to use innovative software products. The Receipts & Promotions cloud service, developed at the concept level, allows to realize the idea of providing complete information of a receipt in electronic form along with printed receipt for the Mir plastic card holders through the "Privet, Mir!" mobile application. Information from electronic receipts accumulated in the Mir cloud will allow the customer to receive personalized bonus offers from the stores — partners of the program, as well as manage the family budget. The introduction of the service opens up the wide opportunities to the stores for communication with customers. The Receipts & Promotions service is able to become the first software product based on the collection and analysis of information from electronic receipts linked to a specific user. The system of flexible personalization of bonus offers and their assessment by customers is unique and not implemented in other software products. It will be possible to consider the display of electronic receipts in the "Privet, Mir!" mobile application in a user-friendly interface as the first fully automated option of providing electronic receipts to a wide range of users.

Keywords: cloud service, payment system, mobile application, electronic receipt, bonus offer, store, customer

DOI: 10.17587/it.26.697-700

References

1. **Federal Law** of June 27, 2011, No. 161-FZ "On the National Payment System" (as amended on December 27, 2019), available at: https://legalacts.ru/doc/FZ-o-nacionalnoj-platezhnoj-sisteme-ot-27_06_11/ (access date: May 6, 2020) (in Russian).
2. **Federal Law** of May 22, 2003, No. 54-FZ "On the Use of Cash Registers in the Processing Operations in the Russian Federation" (as amended on December 27, 2019), available at: <https://>

legalacts.ru/doc/federalnyi-zakon-ot-22052003-n-54-fz-o/ (access date: May 6, 2020) (in Russian).

3. **Cash Receipt Checking**, available at: <https://play.google.com/store/apps/details?id=en.fns.billchecker&hl=en> (access date: May 6, 2020) (in Russian).
4. **Biedermann S., Tschudin P., Grob K.** Transfer of bisphenol A from thermal printer paper to the skin, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2010, vol. 398, iss. 1, pp. 571—576. DOI 10.1007/s00216-010-3936-9.
5. **ISO 8583—1987.** POS Interface Specifications, available at: https://nibss-plc.com.ng/images/api/POS_Interface_Specification_ver_1.11.pdf (access date: May 6, 2020).
6. **Wallet.** Discount and Bonus Cards, available at: <https://play.google.com/store/apps/details?id=en.cardsmobile.mw3&hl=en&showAllReviews=true> (access date: May 6, 2020) (in Russian).

I. Lakman^{1,2}, PhD, Associate Professor, e-mail: lackmania@mail.ru,
R. Akhmetvaleev¹, Data Analyst, **D. Enikeev**¹, Data Analyst, **R. Khaziakhmetov**¹, Software Engineer,
O. Chernenko³, Cand. Medical Sciences, Deputy Director for Development,
¹LLC Lexema, Ufa, 450104, Russian Federation,
²Institute of Economics, Finance and Business, Bashkir State University, Ufa, 450076, Russian Federation,
³LLC "Laboratory of hemodialysis", Ufa, 450083, Russian Federation

Similarity Learning Algorithm Selection for Chronic Renal Failure Patients Treatment Strategy Optimization

One of the main methods on which the personalized approach in medicine is based is finding a pair of patients who are similar in the properties of the disease. The objective of the study is to select the most effective similarity learning instrument amongst three options anaemia treatment and phosphorus-calcium balance recovery in dialysis patients, ranked according to the highest similarity to the particular patient. As soon as methods for comparing instruments will achieve the goal, the algorithm of weight tagging is used, modified by the authors by adding more weights values to important features — the cosine measure, the soft cosine measure, considering the similarity of drug alternative and their bioavailability. As a metric that evaluates the quality of algorithms, a combined metric is used that takes into account the quality of treatment classification as effective and the rank order of the greatest correspondence of therapy to a specific patient. As a result, using the opinions of nephrologists as experts, it was shown that the best measure of similarity is the soft cosine measure.

Keywords: similarity learning, cosine measure, soft cosine measure, dialysis

Acknowledgments. The study "Development of an intelligent decision support system for prescribing personalized dialysis and drug therapy to patients with chronic renal failure using artificial intelligence algorithms" was supported by a grant No. AAAA-A20-120011490126-5 from the Foundation for the Promotion of the Development of Small Forms of Enterprises in the Scientific and Technical Sphere.

УДК 004.89:004.912

DOI: 10.17587/it.26.701-705

И. А. Лакман^{1,2}, канд. техн. наук, доц., e-mail: lackmania@mail.ru,
Р. Р. Ахметвалеев¹, специалист по анализу данных, e-mail: r_akhmetvaleev@lexema.ru,
Д. И. Еникоев¹, специалист по анализу данных, e-mail: enikeev_di@lexema.ru,
Р. Р. Хазиахметов¹, инженер-программист, e-mail r_haziakhmetov@lexema.ru,
О. В. Черненко³, канд. мед. наук, заместитель директора по развитию, e-mail och@dializrb.ru,
¹ООО "Лексема", г. Уфа,
²Институт экономики финансов и бизнеса, Башкирский государственный университет, г. Уфа,
³ООО "Лаборатория гемодиализа", г. Уфа

Выбор алгоритма обучения подобия для оптимизации стратегии лечения пациентов с хронической почечной недостаточностью

Один из основных методов, на которых базируется индивидуальный подход в медицине, это поиск пары пациентов, схожих по свойствам заболевания. Цель исследования — выбрать наиболее эффективный инструмент определения подобия для выбора трех вариантов лечения анемии и восстановления фосфорно-кальциевого обмена у диализных пациентов, ранжированных в соответствии с максимальным подобием с конкретным пациентом. В качестве методов сравнения вариантов лечения для достижения цели используется алгоритм весовой маркировки, модифицированный авторами путем присвоения весов более важным характеристикам, косинусная мера, мягкая косинусная мера, с учетом сходства аналогов препаратов и их биодоступности. В качестве метрики, оценивающей качество алгоритмов, используется комбинированная метрика, которая учитывает качество классификации терапии как эффективной и порядок ранжирования наибольшего соответствия терапии конкретному пациенту. В результате, используя мнения нефрологов как экспертов, было показано, что лучшей мерой сходства является мягкая косинусная мера.

Ключевые слова: обучение подобия, косинусная мера, мягкая косинусная мера

Introduction

For the last ten years methods and tools of artificial intelligence have started to be widely used in medicine problems, including medical decision support systems design, medical manipulations outcome prediction, recognition of medical images of different types, etc. It is worth to pay attention to a possibility of developing the personalized medicine with the help of machine learning algorithms. One of the principal methods which personalized approach is based on is search for a pair of patients, similar to each other in a terms of disease course properties. This is essential for implementation of effective therapy, which allows to cure the patient or to relief patient's suffering from illness, to the other patient, similar to the first one. Recently, this approach became preferable as a direction in machine learning tools development for personalized medicine problem solving [1, 2].

The principal method for the patient similarity is called similarity learning. The general formulation of the tasks of the corresponding problems can be expressed as follows. Suppose, we have records from dataset in the form of feature vectors, each of those vectors corresponds to the object of the training sample. Every unique matching of two vectors from initial dataset are submitting onto income of similarity estimation model. In the case of pair was labeled as "similar", such pair is assigned to 1, if pair was labeled as "dissimilar", such pair is assigned to 0. This way, new dataset is formed with one dependable variable, and the size of newly formed dataset, provided that it consisted of unique elements, would be $2 \cdot (n - 1)$, s. t. n is the number of elements in the initial dataset. Note that determining whether objects in a pair are "similar" or "dissimilar" can be done according to the rules obtained using distance metrics based on unsupervised learning algorithms or based on expert opinion.

In the problems of personalized and predictive medicine the objects are patients. The search among the available retrospective data for the patient, according to the estimates most closest to the current allows the attending physician to correctly diagnose the disease and to prescribe the optimal treatment.

There are studies dedicated to the reasoning behind the selection of distance metrics for generating a dataset containing information about similarity of two patients. For example, in [3] a comparative review of the results of clustering using Minkowski distance, Euclidean distance, cosine measure and chi-square based distance conducted in datasets containing the values of numerical, categorial and mixed data types is given. In [4] metrics of Minkowski distance,

Euclidean distance, Manhattan distance, Hamming distance are compared with each other on the results given on data of hierarchical type from THIN dataset. In [5] on the example of clusterization of binary metrics of Minkowski distance, Euclidean distance, squared Euclidian distance, Manhattan distance, Hamming distance are compared including influence of mentioned above metrics on specificity and sensitivity of classifier.

Medical images data is staying apart; for that problem, the main distance metrics usually are the Jaccard and Dice measures, as for example in [6], the methods of operation of the algorithms segmentation of medical images have been described.

Today the volume of data is growing, and this growth is corresponding raise of a need of computing powers, so, consequently the most powerful tools nowadays for a data scientist are deep learning neural networks (DLNN). As for example, in [7] the learning object is a matching matrix, that fitting on vectors, that are a result of consequent operations of convolution and pooling, performed by DLNN layers on two feature vectors of formalized anamnesis data. The anamnesis record in this research is represented as combination of date and event in patient's medical history. Very similar solution is presented in [8], the research demonstrates methods of semantic EHR data analysis.

Such variation of the similarity learning method as locally sensitive hashing, the essence of which is to select such hash functions that work on vectors in the feature space so that objects similar to each other are getting more likely to belong to the same class is used in [9] and [10].

Based on sources analysis and problem of effective therapy selection for anemia treatment and phosphorus calcium balance recovery for dialysis patients the objective of this research was determined. **The objective** of current research is to develop a method of selection of the most effective similarity learning tool for forming of the list of top 3 treatment options, ranking by similarity measure to the given patient.

Materials and methods

In this study based on collected data on dialysis patients (social-demographic parameters, results of clinical diagnostic studies, medicines prescribed on previous stages of therapy correction, dosage and route of administration) 3 options of appropriate of anti-anemic therapy and PCBR therapy is suggested as a solution. The essence of the solution is to search for an optimal therapy from the list of all the

therapies from EHR database. The search for the best is considered amongst 3 methods, which are:

Feature vectors coding with following Manhattan distance calculation considering feature weight ("weighted matching").

Vector comparison via soft cosine measure for considering an opportunity of using analogue medicines in prescribed therapies.

For feature vectors formation the following information was used:

Demographic parameters (gender, age);

Physical parameters (height, weight, body mass index — required for adequate therapy medicine dosage);

Patient blood test results (for anti-anemic therapy — hemoglobin, ferritin, transferrin, etc., for PCBR therapy — parathyroid hormone, phosphorus, calcium, etc.);

Previous and pre-previous values of blood test results;

Previous prescribed therapy (for possibility of cutting contraindications and precise search more appropriate medicine for a patient).

Supervised machine learning quality algorithm development is based on correctly labeled database. In current research physicians / nephrologists have labeled more 9000 patients' records labeled as either as "effective" or "non-effective" or "excessive". The detailed information on the dataset, used in the research is represented in [11]. Corresponding labeled records are stored in a form of database, which is also a source for "patient — prescribed treatment" pairs.

The problem of similarity learning for personalized medicine in general case could be formulated as search of likelihood function, which could measure similarity between features of any two patients. In other words, it is necessary to found function $S(x_i, x_j)$, determining similarity between vector x_i of features of patient i vector x_j of features of patient j .

$$S(x_i, x_j) = x_i^T M x_j,$$

where x_i — vector of features of patient i ; x_j — vector of features of patient j ; M is the correspondence matrix.

As for first method of similarity search modified matching was used and called by the authors of this research "weighted matching". The algorithm could be represented as a sequence of steps.

On the first stage weights of features are calculated, which can then be used for two different records matching. For this logistic regression is built for all of the patient features and prescribed therapy, which could allow to estimate influence of every feature on efficiency of treatment. Having expert

opinion of physicians and nephrologists is helpful for correcting of weights if it is needed.

Expert opinion of doctors allows to get groups of factors values to take into consideration nonlinear influence of the factor on difference between vectors. So, the difference between erythropoietin dosages of 10000 units and 16000 units is more significant then difference between 68000 units and 78000 units.

Next step, using formed groups the value of the feature is coded via its digit number. For example, hemoglobin value in the range in between from 100 gr per liter to 110 gr per liter is coded as "E". Using coding like that, model could generalize opinions of several experts. As the outcome of this operation, the feature vector could be coded as:

"BBADFBAEFBFHFFADBAJLFBUAAAACIINR",

s.t every position in this code stands for a certain feature.

On the next step mutual similarity between code positions of two code vectors is calculated. For this every code position is replaced by its UNICODE digit equivalent. This number multiplied on feature weight that was calculated in the first stage. Then ratio of records similarity is calculated.

After likelihood calculation all the records with similarity ratio lesser than 0.8 are deleted from result space. Amongst the rest top 3 therapies are selected from the list with contraindication medicines cutted.

For the second method number vectors, formed from initial set of features, responsible for "patient-prescribed therapy" matching. The data has to be preprocessed, since it can include outliers, and could be normalized. In order to do that the Robust Scaler method was used. It is very similar to Standard Scaler Algorithm, that transforms data such way that for every feature taken mean value will be equal to 0 and dispersion value will be equal to 1, as the result all of the features will have the same scale. However, Robust Scaler uses medians and quartiles instead of mean and dispersion by the following formula:

$$\frac{x_i - Q_1(x)}{Q_3(x) - Q_1(x)},$$

s.t. x_i — element of series x , $Q_1(x)$ and $Q_3(x)$ first and third quartiles of initial series.

It is important to notice, that initial vector, the one search for similar records is conducted for, is also needed to be preprocessed the same way, that the rest of the data had been preprocessed. Then for transformed vectors similarity cosine measure with

initial record is calculated. For the initial vector A and all of the vectors B from transformed data measure could be calculated by the following formula:

$$\text{cosine} = \frac{A \cdot B}{AB} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (A_i)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (B_i)^2}},$$

where A and B are vectors of feature.

Amongst all of the records only those are selected, whose cosine measure is greater than 0.8, or in other words vectors similarity is greater than 80 %. After that the selection of top 3 contraindication free records has taken place.

Soft cosine measure feature is in possibility of considering the influence of medicines analogues. For this the data on medicines similarity in per cent ratio was presented by doctors. Similarity matrix s was made up, consisting of similarity measures between therapy medicines i and j with their bio availability considering via route of administration (oral, intravenous, intramuscular, subcutaneous, infusion). After that soft cosine measure is calculated by the following formula:

$$\text{soft_cosine}(a, b) = \frac{\sum_{i,j} s_{ij} a_i b_j}{\sqrt{\sum_{i,j} s_{ij} a_i b_j} \sqrt{\sum_{i,j} s_{ij} a_i b_j}},$$

where $A = (a_i)$ and $B = (b_j)$ are vectors of feature, $s = (s_{ij})$ — feature similarity matrix.

Next, like in the previous stage, records with the similarity below 0.8 are deleted from dataset, after that records with the patient personal contraindication are deleted from dataset.

One of the main principles of the machine learning algorithm selection is learning quality metrics correct selection. For determination, which one from considering algorithms allows to select optimal therapy for a patient, the machine learning models described above were implemented into 24 hemodialysis centers, and for the same reason, the possibility to estimate selection of therapies was given to three nephrologists. They were asked to estimate if the suggested therapy for a patient was appropriate. In the case of therapy scheme was appropriate, they were asked to rank three selected for every patient therapies using rationality of prescription criteria. To consider all of it the new metrics should be introduced. As for foundation for the new metric the common metrics of precision, recall and specificity were used. This way confusion matrix was created for every selected therapy, s.t TP — true

positive rate, TN — true negative rate, FP — false positive rate, FN — false negative rate. It is important to notice, that therapy was considered truly effective in simple majority voting of the doctors for this therapy, in the opposite case therapy was considered non-appropriate for patient. Based on confusion matrix metrics could be calculated via following formulas:

$$\text{accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN},$$

$$\text{recall} = \frac{TP}{TP + FN},$$

$$\text{sensitivity} = \frac{TP}{TP + FN}.$$

This metrics accumulating on all of selected records.

However, for every single patient the algorithm suggests three appropriate therapies, ranked by similarity measure with "patient profile". Thereby metrics was improved considering assigned ranks. For every therapy the number of inversions was calculated in the following order, so if algorithm selects the therapy as the most appropriate for a patient, and at the same time doctor expert indicates its rank as third best, then inversion for this particular record will be 2. This way, every of therapy, estimated by doctors as effective would transforms considering the number of inversions. So, the value equals to number of inversions would multiply on 0.25 and then subtracted from initial number of points of TP metrics.

Results

For forming therapy database 6693 records of antianemia therapies and PCBR therapy were used that doctors labelled as "effective".

Testing was produced by collecting feedback from doctors after using of learning algorithms on 661 records dated from 01.10.2019 to 31.12.2019. In that case therapy recognized as effective by simple experts' opinion voting on effectivity of prescribed medicine correctness. The differences in opinions of three doctors regarding effectivity was not greater than 2 %. So, in practice for every selected therapy opinion on its effectivity for a particular patient amongst doctors were matching. Regarding ranking of selected three therapies by similarity measure, there were more of diversity between doctors' opinions was wider as well as number of possible matching pairs was higher. As a result, for every therapy the number of inversions was calculated, then the results of three doctors' opinions were averaged and

multiplied on 0.25 points. This way, every therapy would have penalty point in the range from 0 to 0.5 points. Obtained values of penalty points were subtracted from measure of therapy correspondence to effective treatment. As the result effective therapies were coded from 0.5 to 1 for classification quality metrics calculation. For all of three methods of similarity learning, using in current research, the quality metrics were calculated corresponding to therapies following order in preference to particular patient. The results are demonstrated in table.

Classification quality metrics

Metric	"Weighted matching"	Cosine measure	Soft cosine measure
Accuracy	0.79	0.81	0.88
Sensitivity	0.85	0.86	0.86
Recall	0.68	0.72	0.78

As it could have been seen from analysis the best method, that allows to find appropriate antianemia therapy and PCBR therapy for dialysis patients is soft cosine measure.

Discussion of the results

Obtained results on most appropriate treatment strategies selection are now in a base of "patient-therapy" similar object search algorithm development using soft cosine measure approved considering possibility of using prescribed medicines analogues. Algorithm was written on Python language and implemented in Lexema-Medicine ERP-system, serving dialysis centers (LLC "Laboratory of hemodialysis").

For Lexema-Medicine ERP system and file interaction SQL requests were used. Also, with the help of that interaction collecting of the necessary data, which then processed in Python, performed. The procedure of implementation could be described in the form of the list of following steps:

- ERP system calls SQL request with necessary attributes;
- SQL transfers collected data to Python script;

- Results transferring into SQL request;
- Transferring result into ERP system.

As the result the algorithm of search of three treatment strategies (medicine-dosage-rout of administration) regarding anti-anemia therapy and PCBR therapy, for every patient, ranked by best similarity measure, was implemented in production work of 24 dialysis centers in 3 Russia's administrative area.

References

1. Zhang P., Wang F., Hu J., Sorrentino R. Towards Personalized Medicine: Leveraging Patient Similarity and Drug Similarity Analytics, *AMIA Joint Summits on Translational Science proceedings*, 2014, pp. 132–136.
2. Wang N., Huang Y., Liu H., Fei X., Wei L., Zhao X., Chen H. Measurement and application of patient similarity in personalized predictive modeling based on electronic medical records, *BioMedical Engineering OnLine*, 2019, vol. 18, Article number: 98.
3. Hu L. Y., Huang M. W., Ke S. W., Tsai C. F. The distance function effect on k-nearest neighbor classification for medical datasets, *SpringerPlus* 5, 2016, Article number: 1304.
4. Hassan D., Aickelin U., Wagner C. Comparison of Distance Metrics for Hierarchical Data in Medical Databases International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 2014, pp. 3636–3643.
5. Kumar A. D., Annie L. C. Clustering Dichotomous Data for Health Care, *International Journal of Information Sciences and Techniques (IJIST)*, 2012, vol. 2, no. 2, pp. 23–33.
6. Bertels J., Eelbode T., Berman M., Vandermeulen D., Maes F., Bisschops R., Blaschko M. 2019 Optimizing the Dice Score and Jaccard Index for Medical Image Segmentation: Theory & Practice, *Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention, MICCAI 2019, Part II*, pp. 92–100.
7. Suo Q., Ma F., Yuan Y., Huai M., Zhong W., Gao J., Zhang A. Deep Patient Similarity Learning for Personalized Healthcare, *IEEE Transactions on NanoBioscience*, 2018, vol. 17, no. 3, pp. 219–227.
8. Zhu Z., Yin C., Qian B., Cheng Y., Wei J., Wang F. Measuring Patient Similarities via a Deep Architecture with Medical Concept Embedding, *IEEE 16th International Conference on Data Mining (ICDM)*, Barcelona, 2016, pp. 749–758.
9. Amiyal G., Anuradha J., Venkatesh B. Classification Rule Generation for Cancer Prediction using Locality Sensitive Hashing Similarity Measure, *International Journal of Engineering & Technology*, 2018, 7 (4), pp. 5313–5317.
10. Lashari S. A., Ibrahim R., Senan N. Medical Data Classification Using Similarity Measure of Fuzzy Soft Set Based Distance Measure, *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, 2017, vol. 9, no. 2–9, pp. 95–99.
11. Lakman I., Padukova N., Nafikov Sh. Methodological foundation of comprehensive support for dialysis patients based on artificial intelligence technologies, *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference on Digital Economy (ISCDE 2019)*, 2019, pp. 934–939.

С. П. Янукович, руководитель проекта, e-mail: syanukovich@mail.ru,
ОАО "Могилевское агентство регионального развития", Республика Беларусь, г. Могилев,
В. В. Борисов, д-р техн. наук, проф., e-mail: vbor67@mail.ru,
филиал Национального исследовательского университета
"Московский энергетический институт" в г. Смоленске,
К. В. Захарченков, к-т техн. наук, e-mail: zaharchenkovkv@mail.ru,
"Белорусско-Российский университет", Республика Беларусь, г. Могилев

Концепция повышения эффективности управления образовательными системами на основе адаптивных алгоритмов роевого интеллекта¹

Рассматривается концепция повышения эффективности управления образовательными системами, которая позволяет осуществлять построение индивидуальных и командных траекторий подготовки специалистов в соответствии с требованиями работодателей на основе адаптивных алгоритмов роевого интеллекта. Предложенная концепция реализована в программном комплексе управления подготовкой ИТ-специалистов, проведена апробация в ООО "Стэпл Инк".

Ключевые слова: концепция управления, образовательная система, алгоритмы роевого интеллекта, подготовка специалистов, программный комплекс

Введение

Современный этап развития образовательных систем отличается высокими темпами изменения содержания образовательных стандартов, программ, дисциплин и курсов. При этом наблюдается существенное отставание развития методов эффективного управления процессами в сложных образовательных системах от потребностей экономики.

Научно-технический прогресс формирует новые требования к качеству, стандартам и технологиям подготовки кадров: появляются новые специальности, быстро меняются требования работодателей к специалистам, отдельные технологии устаревают и определенные специальности становятся невостребованными.

Задача эффективного управления образовательными системами подготовки специалистов, удовлетворяющих требованиям заказ-

чиков кадров, в настоящее время становится наиболее актуальной в связи с высокой динамикой изменчивости рынка труда и требований работодателей к знаниям, умениям и навыкам (ЗУН) специалистов.

1. Обзор существующих подходов к повышению эффективности управления образовательными системами

Современная теория управления рассматривает три основных подхода к управлению образовательными системами: *ситуационный подход* (Т. Питерс, Р. Уотерман, С. Донелл, Г. Кунц, Ю. Ю. Екатеринославский и др.), *функциональный подход* (В. А. Якунин, Ю. А. Конаржевский, Л. Йовайша, Т. И. Шамова, М. М. Поташник, и др.), *системный подход* (В. П. Беспалько, С. И. Архангельский, В. И. Зверева, Г. Н. Сериков, Э. Г. Юдин и др.) [1]

Согласно *ситуационному подходу* управление образовательной системой зависит от конкретных условий ее существования и состояния в данный момент. Сторонники ситуацион-

¹Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-29-03088_мк и Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания № FSWF-2020-0019.

ного управления исключают единственность оптимального способа управления системой из-за большого числа факторов, влияющих на образовательную систему. В ситуационном подходе из множества способов управления лучшим считается тот, который более всего соответствует сложившейся ситуации.

В рамках *функционального подхода* управление образовательной системой рассматривается как процесс, состоящий из совокупности определенных функций — непрерывных и взаимосвязанных видов деятельности. Все функции также рассматриваются как процессы, состоящие из взаимосвязанных действий и операций. Поскольку функции отражают процесс работы образовательной системы, функциональный подход также называют *процессным*.

В *системном подходе* к управлению образовательными системами управленческая деятельность, субъект и объект управления рассматриваются как системы.

На основе системного подхода формируются теоретические основы повышения эффективности управления образовательными системами:

- *личностно-ориентированный подход* предполагает повышение эффективности управления подготовкой специалистов путем учета специфических особенностей каждого человека, предоставляя ему возможность для более полного раскрытия способностей [2];
- *синергетический подход* предполагает, что образовательная система способна к самоорганизации, самосовершенствованию и рефлексии, в образовательной деятельности делается акцент не на процесс обучения индивидуума, а на поиск знаний и конструирование личности мыслящей, разумной, действующей [3];
- *адаптивный подход* к повышению эффективности управления образовательными системами предполагает приспособление управляемой системы к изменениям внешней и внутренней среды с возможной корректировкой оперативных целей, задач и планов в зависимости от складывающейся ситуации [4];
- *управление образовательными системами по результатам* [5] основывается на создании системы управления, направленной на достижение поставленных перед объектом управления целей. Одним из направлений данного подхода к повышению эффективности управления образовательными системами является компетентностная модель образовательной системы, в которой в качестве результата рассматривается не сумма

усвоенной информации, а формирование необходимых общекультурных и профессиональных компетенций, самоопределение, социализация, развитие индивидуальности и самоактуализация [6];

- *мотивационный программно-целевой подход* предполагает повышение эффективности управления образовательными системами путем ориентации на достижение конечного результата в ходе поэтапного выполнения действий. Технологический алгоритм данного подхода включает три этапа: построение "дерева целей" в логике ярусов "хочу—могу—делаю—получаю"; разработка программы действий в соответствии с построенным деревом целей; реализация управляющей программы [7].

Системный, функциональный и ситуационный подходы к управлению образовательными системами не являются взаимоисключающими и могут рассматриваться как дополнение друг к другу.

Анализ существующих подходов к управлению образовательными системами показал отсутствие методов построения индивидуальных и командных траекторий подготовки максимального числа специалистов, соответствующих требованиям работодателей, за минимальное время. Разработанная концепция обеспечивает решение данной научной задачи с использованием адаптивных алгоритмов роевого интеллекта (РИ), повышая эффективность принимаемых решений за счет автоматизации.

2. Теоретические основы концепции управления образовательными системами на основе адаптивных алгоритмов роевого интеллекта

Концепция повышения эффективности управления сложными образовательными системами основана на применении ситуационного и системного подхода; на развитии и комплексном применении личностно-ориентированного, синергетического, адаптивного и мотивационного подходов к повышению эффективности управления образовательными системами путем применения адаптивных алгоритмов роевого интеллекта [8—10].

Предложенная концепция (рис. 1) основана на следующих идеях:

- 1) комплексный подход к управлению процессами подготовки специалистов с учетом результатов обработки информации о лич-

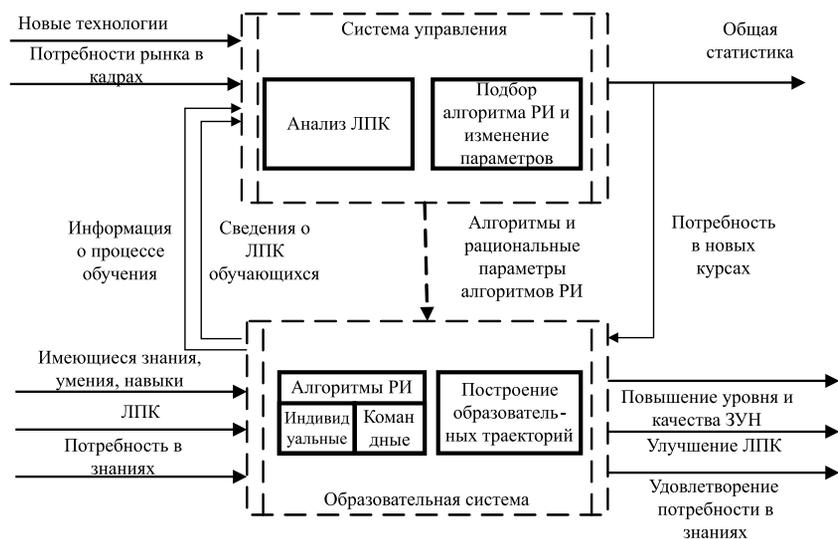


Рис. 1. Структурная схема концепции повышения эффективности управления сложными образовательными системами на основе адаптивных алгоритмов ролевого интеллекта

ностных и психологических особенностях обучающихся с адаптацией (автоматической настройкой) алгоритмов РИ при изменении параметров внешней среды;

2) модификация алгоритмов РИ для решения задач управления процессами в сложных образовательных системах;

3) динамическая настройка параметров алгоритмов РИ на основе изменения системных и внешних факторов, возможность поддержки принятия решений при выборе очередного шага работы сложной образовательной системы.

Повышение эффективности процессов управления в сложных образовательных системах в соответствии с предложенной концепцией осуществляется путем построения траекторий обучения на основе адаптивных алгоритмов РИ. Подбор алгоритма, соответствующего обучающемуся, проводится на основе кластерного анализа с учетом его личностно-психологических качеств (ЛПК) и результатов каждого этапа обучения. Виды метрик для получения ЛПК определяются на основе квалификационных требований в соответствии с профессиональным стандартом "Связь. Информационные и коммуникационные технологии" [11]. Для оценки ЛПК за основу взяты общепризнанные методики и диагностики [12, 13], на основе которых осуществляется количественная оценка следующих ЛПК ИТ-специалистов: аккуратность, дисциплинированность, методичность, ответственность; креативность мышления, исполнительность [14].

При построении траекторий обучения в образовательной системе используются следующие

алгоритмы РИ: роения пчел, колонии муравьев, светлячков и косяков рыб [15–17]. Каждый из названных алгоритмов решает в образовательной системе свою специфическую задачу. Вычислительная сложность задач с явно выраженной целевой функцией, решение которых выполняется на основе перечисленных алгоритмов РИ (роения пчел, колонии муравьев и светлячков), составляет $O(n^2)$ [18–20]. Выбор алгоритмов обусловлен схожестью поведенческих моделей обучающегося и групп обучающихся в соответствующих ситуациях.

Отличительными особенностями представленной концепции повышения эффективности процессов управления в сложных образовательных системах являются:

1) применение модифицированных алгоритмов РИ для поддержки принятия решений по выбору вида профессиональной деятельности с учетом личностных и психологических качеств, отбору лучших и перспективных курсов, выбору очередного шага подготовки в зависимости от результата прохождения курсов другими участниками образовательного процесса;

2) оценка влияния личностных и психологических качеств обучающихся на выбор алгоритма РИ, соответствующего психотипу обучающегося, для последующего построения траектории подготовки, обеспечивающей максимально быстрое выполнение требований заказчика к знаниям, умениям и навыкам обучающихся.

3. Постановка задачи управления сложными образовательными системами на основе предложенной концепции

Исходными данными для решения задачи управления сложными образовательными системами является множество характеристик обучающихся. Каждый обучающийся до начала подготовки характеризуется ЗУН и ЛПК. В процессе подготовки обучающиеся развивают имеющиеся и приобретают новые ЗУН. В зависимости от выбранного направления подготовки актуальным может быть развитие некоторых ЛПК, определенный уровень развития которых необходим для выполнения соответствующих профессиональных обязанностей. В результате по итогам подготовки обучающиеся характеризуются новым набором ЗУН и ЛПК.

Задача управления сложными образовательными системами в соответствии с предложенной концепцией состоит в выборе алгоритма РИ (роения пчел, колонии муравьев, светлячков) и настройке параметров выбранного алгоритма для обеспечения наиболее эффективной подготовки каждого обучающегося с учетом значимости для заказчика каждой характеристики обучающегося.

Критерием качества подготовки обучающихся является максимальное соответствие ЗУН и ЛПК обучающихся требованиям заказчиков кадров (работодателей). Для выполнения требований работодателя все ЗУН и ЛПК обучающегося должны быть не ниже пороговых значений, определенных для соответствующего вида профессиональной деятельности.

Критерием эффективности управления подготовкой обучающихся является минимизация времени подготовки, т.е. времени от начала подготовки до приобретения обучающимся ЗУН и ЛПК, соответствующих требованиям работодателей для выбранного вида профессиональной деятельности.

4. Повышение эффективности управления сложными образовательными системами на основе адаптивных алгоритмов роевого интеллекта

До начала подготовки специалиста актуальной является задача выбора вида профессиональной деятельности, наиболее соответствующего ЛПК обучающегося.

Критерием качества выбора вида профессиональной деятельности обучающегося на основе оценки ЛПК является минимальное отклонение суммы разностей ЛПК обучающихся и значений ЛПК, необходимых для выполнения выбранного вида профессиональной деятельности с учетом весовых коэффициентов значимости каждого ЛПК для соответствующего вида профессиональной деятельности.

Критерием эффективности при принятии решений по выбору вида профессиональной деятельности является минимизация времени, в течение которого обучающийся в процессе подготовки сможет развить все ЛПК, необходимые для осуществления соответствующего вида профессиональной деятельности.

В процессе подготовки специалиста определяется алгоритм РИ, соответствующий поведению обучающегося и обеспечивающий максимальное повышение эффективности процесса подготовки специалиста. Соответственно, в процессе управления подготовкой специалистов критерием качества выбора алгоритма РИ, наиболее соответствующего ЛПК обучающегося, является минимальное отклонение суммы разностей оценок ЛПК, соответствующих требованиям заказчика, от значений оценок ЛПК, получаемых в процессе подготовки при использовании выбранного алгоритма РИ, с учетом весовых коэффициентов значимости каждого ЛПК для соответствующего вида профессиональной деятельности.

Критерием эффективности выбора алгоритма РИ, наиболее соответствующего ЛПК обучающегося в процессе управления подготовкой, является минимизация времени формирования у обучающегося по результатам подготовки с использованием выбранного алгоритма РИ всех ЛПК, соответствующих требованиям заказчика.

На основании работы алгоритма роения пчел в образовательной системе происходит отбор лучших курсов по конкретным технологиям, востребованным заказчиками кадров, что обеспечивает повышение эффективности управления за счет сокращения времени на подготовку специалистов (рис. 2).

Критерием качества подготовки специалистов для отбора лучших и перспективных курсов является минимизация суммы отклонений



Рис. 2. Схема модифицированного алгоритма роения пчел для выбора учебных курсов

оценок ЗУН, полученных при прохождении выбранных курсов в соответствии с алгоритмом роения пчел, от оценок, соответствующих требованиям заказчика, с учетом весовых коэффициентов значимости для заказчика каждой оценки.

Критерием эффективности принятия решений в процессе отбора лучших и перспективных курсов на основе алгоритма роения пчел является сокращение времени на подготовку обучающихся, т.е. времени, в течение которого у обучающихся в процессе подготовки формируются все ЗУН, необходимые для выполнения требований заказчика.

В целях отбора лучших и перспективных курсов обучающиеся, выступающие в роли пчел-разведчиков, изучают все имеющиеся по данной технологии курсы. После обработки информации о результатах прохождения курсов модератор принимает решение о выборе лучших и перспективных курсов. В целях построения рейтинга отобранных на первом этапе курсов к их изучению приступают обучающиеся, выполняющие роль пчел-фуражистов. Принятие решения о выборе лучшего курса происходит на основании построенного рейтинга курсов.

Для построения траекторий подготовки максимального числа специалистов по запросу заказчика за минимально короткие сроки

используется алгоритм муравьиной колонии (рис. 3).

Критерием качества подготовки специалистов при построении рациональной траектории подготовки обучающихся является минимизация суммы отклонений оценок ЗУН, полученных при прохождении траектории в соответствии с алгоритмом муравьиной колонии, от оценок, соответствующих требованиям заказчика, с учетом весовых коэффициентов значимости для заказчика каждой оценки.

Критерием эффективности принятия решений при построении рациональных траекторий подготовки обучающихся на основе алгоритма муравьиной колонии является сокращение времени на подготовку обучающихся, т.е. времени, в течение которого у обучающихся в процессе подготовки формируются все ЗУН, необходимые для выполнения требований заказчика.

На основании поступившего запроса формируется перечень курсов по технологиям, востребованным заказчиком.

Обучающийся последовательно выбирает курсы из предложенного перечня. По итогам изучения курса выполняются контрольные и тестовые задания, предложенные заказчиком. Последовательность прохождения курсов обучающимися запоминается и сохраняется. Чем выше разность среднего балла обучающихся за

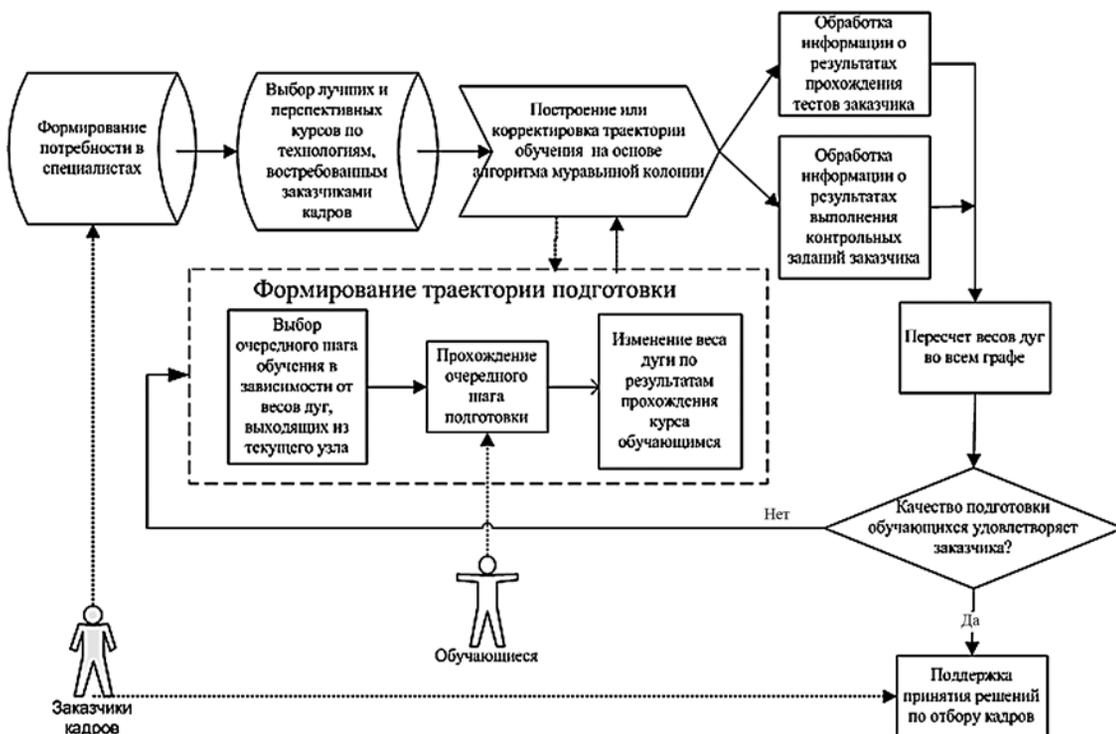


Рис. 3. Схема модифицированного алгоритма муравьиной колонии по формированию траекторий подготовки

тестовые задания по итогам изучения текущего и предыдущего курсов, тем большее желание направиться по данному пути возникнет у других обучающихся. Путь обучающихся, закончивших изучение всех курсов по выбранной технологии за наименьшее время, быстро становится самым заметным. Он привлекает большее число обучающихся. Менее используемые пути постепенно пропадают.

Результатом работы алгоритма муравьиной колонии является оптимальная последовательность прохождения курсов, позволяющая добиться нужного качества подготовки специалистов по запросу заказчика за минимально короткий срок. Заказчику предоставляется информация для поддержки принятия решения по отбору кадров.

Предложенные подходы к анализу ЛПК и повышению эффективности управления образовательными системами на основе алгоритма роения пчел и муравьиной колонии использованы при разработке метода управления процессом обучения основам информационных технологий [21] и при разработке метода управления процессом обучения промышленному программированию [22].

Для построения траектории подготовки специалистов, ориентированных на получение конкретного набора ЗУН, используется алгоритм светлячков (рис. 4).

Критерием качества подготовки специалистов при построении траектории на основе алгоритма светлячков является минимизация суммы отклонений оценок ЗУН, полученных при прохождении траектории подготовки, от оценок обучающегося, траектория подготовки которого выбрана в качестве образца как наиболее привлекательная.

Критерием эффективности принятия решений при построении траекторий подготовки обучающихся на основе алгоритма светлячков является сокращение времени на получение обучающимся нужных ему ЗУН.

В системе запоминается последовательность прохождения курсов обучающимися и результаты выполнения тестовых заданий. Рейтинг обучающихся, закончивших изучение всех курсов по выбранному направлению за наименьшее время, в системе будет самым высоким. Обучающиеся с низким рейтингом перемещаются по курсам в направлении обучающихся с более высоким рейтингом как наиболее привлекательных. Процесс обучения заканчивается после достижения результата по уровню ЗУН.

Для управления построением командных траекторий подготовки специалистов используется алгоритм косяков рыб. Данный алгоритм используется для формирования рациональных стратегий решения задач при подготовке к конкурсным мероприятиям и в учебных проектах.



Рис. 4. Схема модифицированного алгоритма светлячков по формированию траекторий подготовки

Изначально распределение задач между участниками проекта осуществляется капитаном команды. Целью каждой команды является получение максимальной суммы баллов за решение всех задач на конкурсе либо в учебном проекте. За нарушение сроков решения задач или некачественное решение начисляются штрафные баллы.

После решения каждой задачи любым участником команды либо по истечении максимального времени решения задачи система выдает рекомендации по изменению дальнейших действий отдельных участников и команды в целом.

Предложенные подходы к анализу ЛПК и повышению эффективности управления образовательными системами на основе алгоритма светлячков и косяков рыб использованы при разработке метода управления процессом обучения олимпиадному программированию [23].

5. Реализация предложенной концепции в программном комплексе управления подготовкой IT-специалистов

Для повышения эффективности управления процессом подготовки IT-специалистов реализован программный комплекс "SkillsForYou", который включает следующие модули (рис. 5):

- программный модуль организации управления подготовкой IT-специалистов, позволяющий создавать учебные курсы по разным направлениям, вводить уроки, тесты, контрольные работы [24];
- программный модуль оценки ЛПК обучающихся, содержащий набор средств для создания тестов для оценки интеллектуальных и личностных качеств каждого обучающе-

гося, а также набор готовых психологических тестов, сочетание которых позволяет классифицировать обучающихся [25];

- программный модуль олимпиадного программирования, обеспечивающий возможность проведения индивидуальных и командных олимпиад, а также тренировки обучающихся и команд в процессе подготовки к олимпиадам [26];
- математический модуль, в котором реализованы алгоритмы роения пчел, колонии муравьев, светлячков и косяков рыб, адаптированные к специфике построения путей при подготовке IT-специалистов [27].

Взаимодействие модулей в программном комплексе осуществляется следующим образом:

- на основании тестов в модуле психоанализа определяется классификация обучающихся. В зависимости от результатов тестов система предлагает обучающемуся рациональное направление подготовки;
- в модуле информационного управления подготовкой IT-специалистов осуществляется обучение IT-специалистов. Рекомендации по переходам между уроками и курсами формируются системой на основе алгоритмов РИ, реализованных в математическом блоке программного комплекса;
- в процессе подготовки обучающимися осуществляется прохождение тестов на внимание, память, скорость реакции, стрессоустойчивость в модуле психоанализа;
- на основании данных об успеваемости из модуля информационного управления подготовкой IT-специалистов и результатов тестов на внимание, память, скорость реакции и стрессоустойчивость осуществляется отбор потенциальных претендентов на участие в олимпиадах. Отобранные в модуле олимпиадного программирования обучающиеся проходят индивидуальные тренировки, объединяются в команды и проходят командные тренировки. Предложения по командным траекториям подготовки к участию в олимпиадах и конкурсах формируются на основе алгоритма косяков рыб в математическом блоке. Команды формируются с использованием данных о личностных и психологических качествах, полученных в модуле психоанализа.



Рис. 5. Состав и структура программного комплекса управления подготовкой IT-специалистов

6. Апробация предложенной концепции в ООО "Стэпл Инк"

Разработанный программный комплекс управления подготовкой IT-специалистов "SkillsForYou" внедрен в ООО "Стэпл Инк". Программный комплекс использован в процессе подготовки разработчиков и тестировщиков программного обеспечения.

До внедрения программного комплекса управления подготовка IT-специалистов осуществлялась с использованием традиционной концепции (классно-урочной системы с выполнением домашних заданий) подготовки IT-специалистов на основе траектории, представленной на рис. 6. Оценка личностных и психологических качеств обучающихся не проводилась. Выбор направления подготовки определялся обучающимися без использования систем поддержки принятия решений.

Внедрение разработанного программного комплекса "SkillsForYou" обеспечило повышение эффективности управления подготовкой IT-специалистов в соответствии с предложенной концепцией следующими способами:

- системный анализ ЛПК обучающихся на этапе выбора вида профессиональной деятельности позволил ускорить процесс выбора вида деятельности, наиболее соответствующего ЛПК обучающегося;
- внедрение в траектории подготовки IT-специалистов учебных курсов по основам олимпиадного программирования, внедрение в процесс подготовки IT-специалистов возможности участия обучающихся, отобранных на основе анализа ЛПК, в различных олимпиадах и конкурсных мероприятиях позволило повысить эффективность подготовки обучающихся, обладающих творческим потенциалом и нестандартным мышлением;
- построение индивидуальных и командных траекторий подготовки IT-специалистов с использованием адаптивных алгоритмов роевого интеллекта позволило реализовать отбор лучших и перспективных курсов, а также построение и изменение траекторий подготовки и переподготовки IT-специалистов с учетом изменения требований заказчиков кадров, обеспечив

увеличение числа трудоустроенных обучающихся и сокращение времени на подготовку специалистов.

Результатом повышения эффективности управления подготовкой IT-специалистов ста-

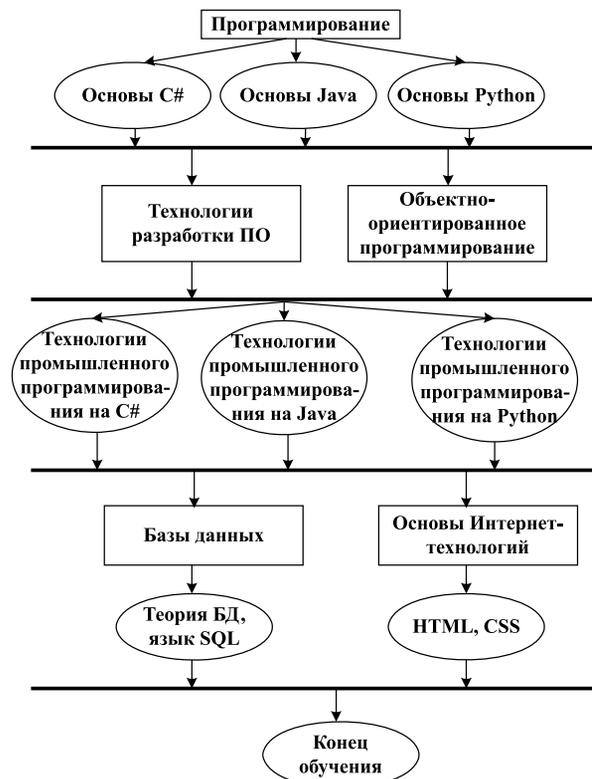


Рис. 6. Траектория подготовки IT-специалистов в ООО "Стэпл Инк" до внедрения программного комплекса "SkillsForYou"

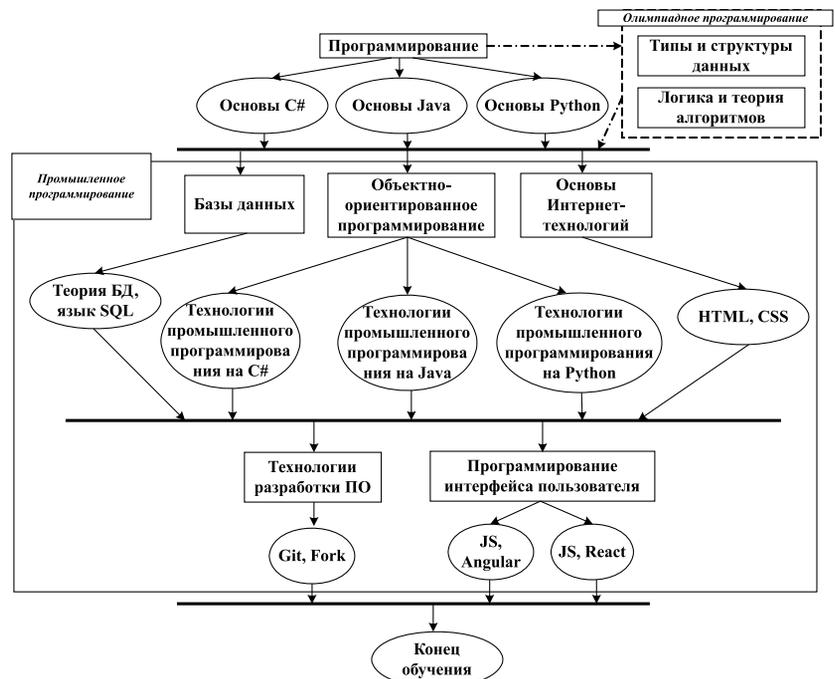


Рис. 7. Траектория подготовки IT-специалистов в ООО "Стэпл Инк" после внедрения программного комплекса "SkillsForYou"

ло изменение траектории изучения дисциплин и технологий. Наиболее рациональная траектория подготовки IT-специалистов, сформированная на основе алгоритмов роевого интеллекта в ООО "Стэпл Инк", представлена на рис. 7.

Применение разработанного программного комплекса в ООО "Стэпл Инк" позволило увеличить число обучающихся, успешно закончивших подготовку, в среднем в два раза, сократить среднее время на подготовку IT-специалистов на 40 % по сравнению с традиционными тренингами за счет автоматизации процесса обучения и оптимизации траекторий подготовки. Указанный эффект подтвержден актом внедрения результатов исследований в ООО "Стэпл Инк".

Заключение

В статье представлена новая концепция повышения эффективности управления сложными образовательными системами на основе адаптивных алгоритмов роевого интеллекта.

Предложенная концепция отличается применением адаптивных алгоритмов роевого интеллекта (роения пчел, колонии муравьев, светлячков и косяков рыб) для отбора лучших и перспективных учебных курсов, формирования индивидуальных и командных траекторий подготовки специалистов на основании требований заказчиков кадров с учетом ЛПК обучающихся.

Критерием эффективности управления является подготовка за минимальные сроки максимального числа специалистов, знания, умения и навыки которых соответствуют требованиям заказчиков кадров. Применение предложенной концепции в ООО "Стэпл Инк" позволило на 40 % сократить среднее время подготовки IT-специалистов и увеличить в среднем в два раза число обучающихся, успешно закончивших подготовку.

Ограничениями предложенной концепции являются:

- существенное влияние на результаты подготовки эмоционального-мотивационного состояния обучающихся, их самочувствия и готовности к самостоятельной образовательной деятельности;
- сложность анализа причин появления и дальнейшего учета неудачных прецедентов решений, появляющихся при использовании разработанных алгоритмов.

1. **Макаров В. М.** Теория менеджмента: Учеб. пособ. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2012. 125 с.
2. **Третьяков П. И., Митин С. Н., Бояринцева Н. Н.** Адаптивное управление педагогическими системами: Учеб. пособ. для вузов. М.: Академия, 2015. 368 с.
3. **Шалыпин О. В., Лопуха А. Д., Федосеева И. А.** Концепция управления системой образования в современном высшем учебном заведении на основе синергетического подхода // Вестник Новосибирского государственного педагогического университета. 2015. № 6 (28). С. 111–120.
4. **Заруба Н. А.** Управление образованием адаптивный подход // Сборник научных трудов Sworld, 2012. Т. 16, № 1. С. 23–29.
5. **Сапкулова Е. В.** Концепция "управление по результатам": особенности, принципы, актуальность для управления образовательными системами // Теория и практика образования в современном мире: материалы Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, февраль 2012 г.). СПб.: Реноме, 2012. С. 82–86.
6. **Троянская С. Л.** Основы компетентностного подхода в высшем образовании: учебное пособие. Ижевск: Издательский центр "Удмуртский университет", 2016. 176 с.
7. **Шалаев И. К.** Повышение качества образовательного сервиса на основе мотивационного программно-целевого управления: монография. Барнаул: Изд-во АлтГПА, 2010. 203 с.
8. **Карпенко А. П.** Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой: Учебное пособ. М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. 446 с.
9. **Kita E.** (ed.). Evolutionary Algorithms. InTech, 2011, 596 p.
10. **Матренин П. В.** Разработка адаптивных алгоритмов роевого интеллекта в проектировании и управлении техническими системами.: дис.канд. техн. наук: 05.13.01: защищена 19.12.18 Новосибирск, 2018. 197 с.
11. **Профессиональные стандарты.** Связь, информационные и коммуникационные технологии. 2019. URL: <http://fgosvo.ru/docs/69/0/2/6> (Дата обращения: 22.09.2019).
12. **Пряденин В. П.** Психодиагностика личности: избранные методики и тесты. Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования ХМАО — Югры "Сургут. гос. пед. ун-т" [и др.]. Сургут: РИО СурГПУ, 2013. 245 с.
13. **Фетискин Н. П., Козлов В. В., Мануйлов Г. М.** Социально-психологическая диагностика развития личности и малых групп. М.: Издательство института психотерапии, 2002. 339 с.
14. **Янукович С. П., Шуть В. П., Титов Т. Е.** Анализ личностных и психологических качеств обучающихся для повышения эффективности управления подготовкой IT-специалистов // ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ — 2019 (инновационные технологии и оборудование в промышленности, управление инновациями, экономика и менеджмент, научные исследования в области физической культуры, спорта и общественных наук). Сб. трудов IX Межд. науч.-техн. конф. Т 2. Смоленск "Универсум", 2019. С. 370–373.
15. **Dorigo M., Maniezzo V., Colnari A.** The Ant System: Optimization by a colony of cooperating objects / M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Colnari // IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics. 1996. Part B. N. 26(1). P. 29–41.
16. **Karaboga D.** An idea based on honey bee swarm for numerical optimization. Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, 2005. 110 p.
17. **Yang X. S.** Firefly algorithms for multimodal optimization // In proceedings of the 5th Symposium on Stochastic Algorithms, Foundations and Applications. 2009. P. 169–178.
18. **Курейчик В. В., Жиленков М. А.** Пчелиный алгоритм для решения оптимизационных задач с явно выраженной целевой функцией // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. 2015. № 1 (21). С. 1–8.

19. Лебедев Б. К., Лебедев О. Б., Лебедева Е. М. Одно-родная распределительная задача на основе моделей адаптивного поведения муравьиной колонии // Программные продукты и системы. 2017. Т. 30, № 2. С. 217–226.

20. Курейчик В. В., Заруба Д. В., Запорожец Д. Ю. Алгоритм параметрической оптимизации на основе модели поведения роя светлячков // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 6(167). С. 6–15.

21. Янукович С. П. Метод управления процессом обучения информационным технологиям на основе алгоритмов роевого интеллекта // Информатика и образование. 2019. № 7 (306). С. 32–41.

22. Борисов В. В., Янукович С. П., Захарченков К. В., Вайнилович Ю. В. Метод управления процессом обучения промышленному программированию на основе алгоритмов роевого интеллекта // Cloud of Science. 2020. Т. 7, № 1. С. 189–207.

23. Янукович С. П. Метод управления процессом обучения олимпиадному программированию на основе алгоритмов роевого интеллекта // Инновации. 2020. № 1 (255). С. 94–102.

24. Янукович С. П., Мрочек Т. В., Ореховский Д. С. Программа для организации управления процессом обучения IT-специалистов: свидетельство о государственной

регистрации программы для ЭВМ № 2019662022 Заявка № 2019660933, дата поступления 05.09.2019, дата регистрации 13.09.2019.

25. Янукович С. П., Захарченков К. В., Шуть В. П., Титов Т. Е., Мусабилова Н. С., Быкова О. О. Программа для оценки личностных особенностей и психологических качеств IT-специалистов: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019661028. Заявка № 2019660005, дата поступления 08.08.2019, дата регистрации 16.08.2019.

26. Янукович С. П., Захарченков К. В., Воробьев М. В., Миранков А. Ю., Узянова Ю. В. Программа по обучению олимпиадному программированию на основе алгоритмов роевого интеллекта: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020612506. Заявка № 2020611565, дата поступления 17.02.2020, дата регистрации 25.02.2020.

27. Янукович С. П., Борисов В. В., Павлов А. И., Антонов В. В., Герасимов Ю. Р., Груммо М. И. Программа для оптимизации траектории подготовки IT-специалистов на основе алгоритмов роевого интеллекта: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019660959. Заявка № 2019619896, дата поступления 08.08.2019, дата регистрации 15.08.2019.

S. P. Yanukovich, Project Manager, e-mail: syanukovich@mail.ru,

Joint stock Company "Mogilev Regional Development Agency", Mogilev, Belarus,

V. V. Borisov, D. Sc., Professor, e-mail: vbor67@mail.ru, Branch of the National Research University "Moscow Energy Institute" in Smolensk, Smolensk, Russian Federation,

K. V. Zakharchankov, Assistant Professor, e-mail: zaharchenkovkv@mail.ru, Belorussian-Russian University, Mogilev, Belarus

The Concept of Improving the Efficiency of Managing of Educational Systems Based on Adaptive Algorithms of Swarm Intelligence

The article addresses the concept of improving efficiency of educational systems management. The proposed concept allows the construction of individual and team paths for training specialists in accordance with the requirements of employers. A distinctive feature of the developed concept is the use of modified swarm intelligence algorithms to support decision-making based on the personal and psychological qualities of students. The selection of the algorithm corresponding to the student is carried out on the basis of cluster analysis and takes into account the personal characteristics of students and the results of each stage of training. When constructing learning paths in the educational system, it is proposed to use the following algorithms of swarm intelligence: swarming of bees, a colony of ants, fireflies and schools of fish. Each of these algorithms solves its specific problem in the educational system. The choice of algorithms is determined by the similarity of the behavioral models of a student and groups of students. The proposed concept is implemented in the SkillsForYou — the software package for managing IT-specialists training, which includes the following modules: organization of training management, assessment of personal and psychological qualities, olympiad programming, and a mathematical module. Testing of the method of training IT specialists, implemented in accordance with the proposed concept, was carried out at STEPL LLC, which allowed to reduce the time for training IT specialists by 40 % and double the number of students who successfully finished the training.

Keywords: management concept, educational system, swarm intelligence algorithms, training of specialists, software package

Acknowledgments. This work was supported by Russian Foundation for Basic Research, project No. 18-29-03088_mk and the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as part of state assignment No. FSWF-2020-0019.

DOI: 10.17587/it.26.706-716

References

1. Makarov V. M. Management theory: Ucheb. Posobie, Spb., Polytechnic University Publishing House, 2012, 125 p. (in Russian).

2. Tret'yakov P. I., Mitin S. N., Boyarinceva N. N. Adaptive management of pedagogical systems, Moscow, Akademiya, 2015, 368 p. (in Russian).

3. Shalyapin O. V., Lopuha A. D., Fedoseeva I.A. The concept of managing the education system in a modern institution of

- higher education on the basis of a synergistic approach, *Bulletin of the Novosibirsk State Pedagogical University*, 2015, no. 6 (28), pp. 111–120 (in Russian).
4. **Zaruba N. A.** Education Management Adaptive Approach, *Sworلد*, 2012, vol. 16, no. 1, pp. 23–29 (in Russian).
 5. **Sapkulova E. V.** The concept of "management by results": features, principles, relevance for the management of educational systems, *Teorija i praktika obrazovaniya v sovremennom mire*, Materials of the International Scientific Conference (St. Petersburg, February 2012), SPb., Renome, 2012, pp. 82–86 (in Russian).
 6. **Troyanskaya S. L.** The basis of the competency-based approach in higher education, Izhevsk, Publishing Center "Udmurtskij universitet", 2016, 176 p. (in Russian).
 7. **Shalaev I. K.** Improving the quality of educational services based on motivational program-targeted management: a monograph, Barnaul, *AltGPA*, 2010, 203 p. (in Russian).
 8. **Karpenko A. P.** Modern search engine optimization algorithms. Nature-inspired algorithms, Moscow, Publishing house *MGTU im. N. Je. Bauman*, 2017, 446 p. (in Russian).
 9. **Kita E.** (ed.). Evolutionary Algorithms, InTech, 2011, 596 p.
 10. **Matrenin P. V.** Development of adaptive algorithms of swarm intelligence in the design and management of technical systems. dis..... Ph.D. of Engineering Sciences: 05.13.01: zashchishchena 19.12.18, Novosibirsk, 2018, 197 p. (in Russian).
 11. **Professional standards.** Communication, information and communication technology, 2019, available at: <http://fgosvo.ru/docs/69/0/2/6>.
 12. **Pryadein V. P.** Psychodiagnostics of personality: selected methods and tests. State educational institution of higher professional education of KMAO, Yugra, Surgut, RIO SurSPU, 2013, 245 p. (in Russian).
 13. **Fetiskin N. P., Kozlov V. V., Manujlov G. M.** Socio-psychological diagnosis of the development of personality and small, Moscow, Institute of Psychotherapy Publishing House, 2002, 339 p. (in Russian).
 14. **Yanukovich S. P., Shut' V. P., Titov T. E.** Analysis of the personal and psychological qualities of students to improve the management of training IT specialists, *E'nergetika, Informatika, Innovacii* — 2019, Proceedings of the IX International Scientific and Technical Conference, Smolensk, Universum, 2019, vol. 2, pp. 370–373 (in Russian).
 15. **Dorigo M., Maniezzo V., Colorni A.** The Ant System: Optimization by a colony of cooperating objects, *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, 1996, Part B, no. 26(1), pp. 29–41.
 16. **Karaboga D.** An idea based on honey bee swarm for numerical optimization, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, 2005, 110 p.
 17. **Yang X. S.** Firefly algorithms for multimodal optimization, *In proceedings of the 5th Symposium on Stochastic Algorithms, Foundations and Applications*, 2009, pp. 169–178.
 18. **Kurejchik V. V., Zhilenkov M. A.** Bee algorithm for solving optimization problems with an explicit objective function, *Informatika, Vychislitel'naya Texnika i Inzhenernoje Obrazovanie*, 2015, no. 1 (21), pp. 1–8 (in Russian).
 19. **Lebedev B. K., Lebedev O. B., Lebedeva E. M.** Homogeneous distribution problem based on adaptive behavior models of an ant colony, *Programmnye Produkty i Sistemy*, 2017, vol. 30, no. 2, pp. 217–226 (in Russian).
 20. **Kurejchik V. V., Zaruba D. V., Zaporozhec D. Yu.** Parametric Optimization Algorithm Based on the Firefly Swarm Behavior Model, *Izvestiya YuFU. Texnicheskie nauki*, 2015, no. 6(167), pp. 6–15 (in Russian).
 21. **Yanukovich S. P.** A method for managing the process of teaching information technology based on swarm intelligence algorithms. *Informatika i Obrazovanie*. 2019. no. 7 (306), pp. 32–41 (in Russian).
 22. **Borisov V. V., Yanukovich S. P., Zaharchenkov K. V., Vaynilovich Ju. V.** A method for managing the process of teaching industrial programming based on swarm intelligence algorithms, *Cloud of Science*, 2020, vol. 7, no. 1, pp. 189–207 (in Russian).
 23. **Yanukovich S. P.** A method for controlling the process of teaching olympiad programming based on swarm intelligence algorithms, *Innovacii*, 2020, no. 1(255), pp. 94–102 (in Russian).
 24. **Yanukovich S. P., Mrochek T. V., Orehovskij D. S.** The program for organizing the management of the training of IT-specialists. Certificate of state registration of a computer program no. 2019662022 Application no. 2019660933, receipt date 5.09.2019, registration date 13.09.2019.
 25. **Yanukovich S. P., Zaharchenkov K. V., Shut' V. P., Titov T. E., Musabirova N. S., Bykova O. O.** The program for assessing the personal characteristics and psychological qualities of IT-specialists. Certificate of state registration of a computer program no.2019661028. Application no.2019660005, receipt date 08.08.2019, registration date 16.08.2019.
 26. **Yanukovich S. P., Zaharchenkov K. V., Vorob'ev M. V., Mirankov A. Ju., Uzjanova Ju. V.** Program for teaching olympiad programming based on swarm intelligence algorithms. Certificate of state registration of computer programs no. 2020612506. Application no. 2020611565, date of receipt 17.02.2020, registration date 25.02.2020.
 27. **Yanukovich S. P., Borisov V. V., Pavlov A. I., Antonov V. V., Gerasimov Ju. R., Grummo M. I.** Program for optimizing the trajectory of training IT-specialists based on swarm intelligence algorithms. Certificate of state registration of computer programs no. 20169660959. Application no. 20169619896, receipt date 08.08.2019, registration date 15.08.2019.

**Указатель статей,
опубликованных в журнале
"Информационные технологии"
в 2020 г.**

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ

- Khashin S., Vaganov S.** Genetic Algorithms Using Forth № 1
- Александров А. Е., Аждер Т. Б., Степанова И. В.** Вероятностная модель расчета трубопроводов по механизму вязкого и хрупкого разрушения № 8
- Аристов В. В., Ястребов А. Д., Строганов А. В.** Развитие параллельного детерминистического метода решения уравнения Больцмана и его реализация с помощью OpenCL № 5
- Биятдинов К. З., Меняйло В. В.** Модифицированный метод DEA и методика оценки эффективности технических систем № 11
- Валеева А. Ф., Янтурин И. А., Валеев Р. С.** Об одной задаче доставки груза различным клиентам с возможностью дозагрузки. № 1
- Гридин В. Н., Анисимов В. И.** Моделирование нелинейных систем на основе методов декомпозиции. № 3
- Дворников С. В., Пшеничников А. В., Манаенко С. С.** Статистическая модель помехозащищенных радиотехнических систем на основе порогового метода управления частотным ресурсом № 1
- Деменков Н. П., Микрин Е. А., Мочалов И. А.** Марковские и полумарковские процессы с нечеткими состояниями. Часть 1. Марковские процессы № 6
- Деменков Н. П., Микрин Е. А., Мочалов И. А.** Марковские и полумарковские процессы с нечеткими состояниями. Часть 2. Полумарковские процессы № 7
- Дубанов А. А.** Модель группового преследования одиночной цели на основе следования ранее прогнозируемым траекториям. № 6
- Зайцев В. Г.** К оцениванию параметров моделей при наличии ошибок во входной и выходной переменных. Линейный случай. № 10
- Зак Ю. А.** Нечеткий линейный регрессионный анализ, учитывающий характер влияния входных факторов № 3
- Иванников А. Д.** Сравнительный анализ методов отладки цифровых систем на этапе проектирования № 5
- Курейчик В. В., Курейчик Вл. Вл.** Разбиение графов на части на основе комбинированного подхода № 12

- Левин В. И.** Математические модели и методы обнаружения коррупции в организационных системах № 3
- Львович И. Я., Львович Я. Е., Преображенский А. П., Чопоров О. Н.** Особенности методов машинного обучения № 9
- Мезенцев Ю. А., Короткова Ю. Л., Эстрайх И. В.** Задача и инструменты оптимального регулирования расписаний флота авиакомпании № 8
- Спасенов А. Ю., Кучеров К. В., Волосатова Т. М., Жук Д. М.** Оценка состояния сложных технических объектов с использованием структурно-модального анализа квазипериодических временных рядов. № 10

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ
И ТЕХНОЛОГИИ**

- Акопов А. С., Бекларян Л. А., Хачатрян Н. К., Бекларян А. Л., Кузнецова Е. В.** Многоагентная система управления наземными беспилотными транспортными средствами № 6
- Басыня Е. А.** Система интеллектуально-адаптивного управления информационной инфраструктурой предприятия № 5
- Беляков С. Л., Боженок А. В., Зубков С. А.** Метод интеллектуального управления процессом интерактивного изучения пространственных данных для принятия решений. № 7
- Вайнилович Ю. В.** Метод повышения эффективности управления IT-проектами с использованием генетического алгоритма. № 12
- Гостюнина В. А., Давидюк Н. В.** Разработка и исследование комбинированного метода классификации текстовой информации по деструктивным индикаторам № 7
- Полицына Е. В., Полицын С. А., Касаткина А. О.** Создание интегрального алгоритма и инструментов автоматического реферирования текстов на русском языке № 1
- Савченко Л. В.** Распознавание изолированных слов на основе взвешенного голосования дикторозависимых нейросетевых моделей № 5

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Букалов Г. К., Бурыгин А. О., Панин И. Г., Торцев А. В.** Модификация метода полносвязных сверточных сетей (FCN) для поиска редко встречающихся дефектов на больших площадях № 12
- Милосердов Д. И.** Архитектурные особенности программных систем нейросетевого прогнозирования с непрерывным обучением. № 11

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ

- Кравченко Т. К., Брускин С. Н., Исаев Д. В., Кузнецова Е. В.** Приоритизация элементов бэклога ИТ-продукта с применением систем поддержки принятия решений № 11
- Полещук О. М.** Модель принятия решений на основе Z-информации. № 11

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ И ИЗОБРАЖЕНИЙ

- Корнева Н. Н., Назаров В. Н., Могилевский М. М.** Архитектура инструмента для визуального анализа спутниковых измерений в поисковых задачах. № 2
- Пинт Э. М., Петровнина И. Н., Романенко И. И., Еличев К. А.** Разработка метода распознавания печатных символов (букв, цифр) для программы персонального компьютера № 2
- Савченко А. В., Гречихин И. С.** Детектирование специализированных категорий объектов на фотографиях в мобильных устройствах на основе многозадачной нейросетевой модели № 10
- Симаков С. П.** Статистическое исследование генетического алгоритма дифференциальной эволюции для обработки оптических изображений № 7
- Хасан Я. А., Рыжов Н. Г., Фахми Ш. С., Костикова Е. В.** Адаптивный способ спектрального преобразования видеoinформации транспортных изображений. № 1
- Щербань О. Г., Щербань И. В., Лобзенко П. В.** Метод поиска высокочастотных паттернов в составе зашумленных многомерных сигналов в реальном времени. № 9

ПРИКЛАДНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

- Бимаков В. А., Бимаков Е. В.** Повышение скорости и качества анализа 3D-сцен, сканируемых датчиками автономного робота. № 8
- Бобков В. А., Май В. П.** Визуальная навигация автономного подводного робота с учетом самопересечений траектории № 10
- Вайндорф-Сысоева М. Е., Воробчикова Е. О.** Модель организации профессиональной педагогической поддержки преподавателя при использовании электронных образовательных ресурсов № 8
- Валевич С. В., Осипович В. С., Крузе И., Асимов Р. М.** Информационное обеспечение мо-

- нитинга технического состояния солнечных электростанций № 10
- Гурарий М. М., Русаков С. Г.** Анализ установившихся колебаний в автогенераторе при много-частотном возбуждении. № 11
- Данилов Г. В., Потапов А. А., Пронин И. Н., Шифрин М. А., Васенин В. А., Подопригора А. Е., Назаров В. В., Ласунин Н. В., Пронкина Т. Е., Струнина Ю. В., Дорофеев Ю. А.** Методология оценки активности и результативности научной деятельности в медицинской организации: опыт Национального медицинского исследовательского центра нейрохирургии имени академика Н. Н. Бурденко № 2
- Дымченко И. В., Кузнецов С. А., Сырых О. А., Яновская В. С.** Применение технологии виртуальной реальности и 3D-моделирования для цифровых реконструкций объектов культурного наследия. № 9
- Костин В. Н.** Оценка потенциала опасности критически важных объектов при возникновении чрезвычайных ситуаций на основе информационно вероятностного метода и главных компонент № 5
- Маничев В. Б., Митенкова Е. Ф., Фельдман Э. О., Кожевников Д. Ю., Соловьева Е. В.** Достоверность и точность решения задач нуклидной кинетики. № 4
- Мистров Л. Е., Головченко Е. В.** Методологические основы оценки устойчивости функционирования авиационной информационной системы. № 7
- Нечухаев М. А., Чепкасов В. В., Вахрушева Н. О.** Совершенствование бизнес-процесса обслуживания скважин с помощью цифровых технологий № 9
- Романов П. С., Романова И. П.** Методический аппарат принятия решения интеллектуальной системой управления мобильного робота при сборе ягод № 8
- Семенов В. В.** Мониторинг информационной безопасности беспилотных транспортных средств с использованием цифрового акселерометра № 7

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОНОМИКЕ, УПРАВЛЕНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ

- Басыня Е. А.** Метод интеллектуально-адаптивного управления информационной инфраструктурой предприятия. № 3
- Соломатин А. Н.** Интегрированные системы регионального программирования и автоматизация их разработки № 2

- Беловицкий В. И.** Концепция облачного сервиса Receipts & Promotions: новый уровень коммуникации между банком, магазином и покупателем № 12
- Букалов Г. К., Бурьгин А. О., Панин И. Г.** Применение методов построения сообществ для сегментации изображений текстильных строп № 4
- Малахова А. И., Никулина Н. О., Черняховская Л. Р.** Исследование содержания проблемы управления инновационными проектами в процессах стратегического планирования и развития производственно-экономических систем № 4
- Маренко В. А.** Модель характеристик экономической системы как конформируемый образ рассуждений аналитика № 7
- Усманов М. Р., Фоменков Д. А., Шушкин М. А.** Анализ цифровизации инжиниринговых проектов на примере нефтегазового сектора № 12

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В БИОМЕДИЦИНСКИХ СИСТЕМАХ

- Lakman I., Akhmetvaleev R., Enikeev D., Khuziakmetov R., Chernenko O.** Similarity Learning Algorithm Selection for Chronic Renal Failure Patients Treatment Strategy Optimization . . . № 12
- Лепский А. И.** Сравнительный анализ алгоритмов кластеризации лейкоцитов по FS и SS параметрам при цитофлуориметрическом исследовании крови № 1
- Львович Я. Е., Каширина И. Л., Демченко М. В.** Использование методов машинного обучения для исследования маркеров атеросклероза магистральных артерий № 1

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

- Авдошин С. М., Чернов А. В., Песоцкая Е. Ю.** Сервис цифрового контента для удаленного обучения № 9
- Астахова Т. Н., Косолапов В. В., Романова А. А., Кондурцова Т. М.** Разработка информационной системы автоматизации процесса формирования и согласования индивидуальных планов научно-педагогических работников № 6
- Иванова С. М., Ильиченкова З. В., Антонова А. А.** Проверка подлинности пользователя при работе в обучающих системах. № 11
- Карамзина А. Г.** Современные информационные технологии в образовательном процессе технического университета № 6

- Янукович С. П., Борисов В. В., Захарченков К. В.** Концепция повышения эффективности управления образовательными системами на основе адаптивных алгоритмов роевого интеллекта № 12

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

- Волосатова Т. М., Козов А. В., Тачков А. А.** Система группового управления мобильными роботами с позиций автоматизированного проектирования № 5

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

- Кузьмин Ю. Б.** Шкалирование уровня автоматизации на производстве № 2

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

- Инютин С. А.** Метрики в модулярном векторном пространстве № 10
- Лялинский А. А.** Распараллеливание в процессах характеризации библиотек цифровых элементов № 11
- Миков А. И., Замятина Е. Б., Калашников С. М.** Исследования алгоритмов маршрутизации в SON сетях с использованием программных средств имитационного предсказательного моделирования № 5
- Попов А. Ю.** Принципы организации гетерогенной вычислительной системы с набором команд дискретной математики № 2
- Романов А. Ю., Сидоренко М. В., Монахова Э. А.** Маршрутизация в сетях-на-кристалле с топологией трехмерный циркулянт № 1
- Тарасов В. Н., Бахарева Н. Ф., Ахметшина Э. Г.** Модели телетрафика на основе двойственных систем с запаздыванием с гиперэкспоненциальными и экспоненциальными распределениями № 4

ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

- Зарубин И. Б., Филинских А. Д., Балашова Т. И.** Оценка тестового покрытия интерфейса пользователя в многокомпонентных информационных системах № 4

- Крахмалев О. Н.** Алгоритмизация параллельных вычислений в динамической модели манипуляционных систем роботов № 6
- Салибекян С. М.** Трансляция арифметико-логического выражения с использованием формата внутреннего представления на базе парадигмы dataflow № 3

БЕЗОПАСНОСТЬ ИНФОРМАЦИИ

- Васильев В. И., Вульфин А. М., Гузаиров М. Б., Картак В. М., Черняховская Л. Р.** Оценка рисков кибербезопасности АСУ ТП промышленных объектов на основе вложенных нечетких когнитивных карт № 4
- Гурьянов Д. Ю., Костина А. А., Молдовян Н. А.** Постквантовый протокол бесключевого шифрования № 4
- Кабанов А. С.** Оптимизация организационной структуры предприятия с учетом противодействия инсайдерской деятельности № 4
- Фахрутдинов Р. Ш., Мирин А. Ю., Молдовян Д. Н., Костина А. А.** Схемы открытого согласования ключей на основе скрытой задачи дискретного логарифмирования № 10
- Черепнев М. А., Грачева С. С.** Решение задачи Диффи—Хеллмэна на некоторых эллиптических кривых, удовлетворяющих ГОСТ 34.10—2018 № 3

БАЗЫ ДАННЫХ

- Круглик А. С., Лакман И. А.** Гибридный подход усиленной контентом коллаборативной фильтрации в области рекомендательных систем № 9
- Родионов А. Н.** Концептуальное и логическое моделирование данных: обнаружение и конфигурирование R -типов и n -арных отношений в предметных областях № 8
- Шилов И. М., Заколдаев Д. А.** Многомерный блокчейн и его преимущества № 6
- Яхно Н. Н., Гридин В. Н., Смирнов Д. С., Панищев В. С., Парфенов В. А., Остроумова Т. М., Коберская Н. Н.** Статистическая обработка и методика сокращения размерности пространства данных пациентов при анализе когнитивных нарушений № 9

WEB-ТЕХНОЛОГИИ

- Лобов И. В., Готман В. Г.** Адаптивная бесшовная потоковая трансляция в реальном времени над протоколом HTTP методом опережающей загрузки № 3

ДИСКУССИОННЫЙ КЛУБ

- Курцева Г. В.** Некоторые замечания к понятиям энтропия и информация № 5

Адрес редакции:

107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Телефон редакции журнала (499) 269-5510

E-mail: it@novtex.ru

Технический редактор *Е. В. Конова.*

Корректор *М. Ю. Безменова.*

Сдано в набор 09.10.2020. Подписано в печать 16.11.2020. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 8,86. Заказ IT1220. Цена договорная.

Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-15565 от 02 июня 2003 г.

Оригинал-макет ООО "Авансед солюшнз". Отпечатано в ООО "Авансед солюшнз". 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: www.aov.ru

Рисунок к статье М. Р. Усманова, Д. А. Фоменкова, М. А. Шушкина

«АНАЛИЗ ЦИФРОВИЗАЦИИ ИНЖИНИРИНГОВЫХ ПРОЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ НЕФТЕГАЗОВОГО СЕКТОРА»

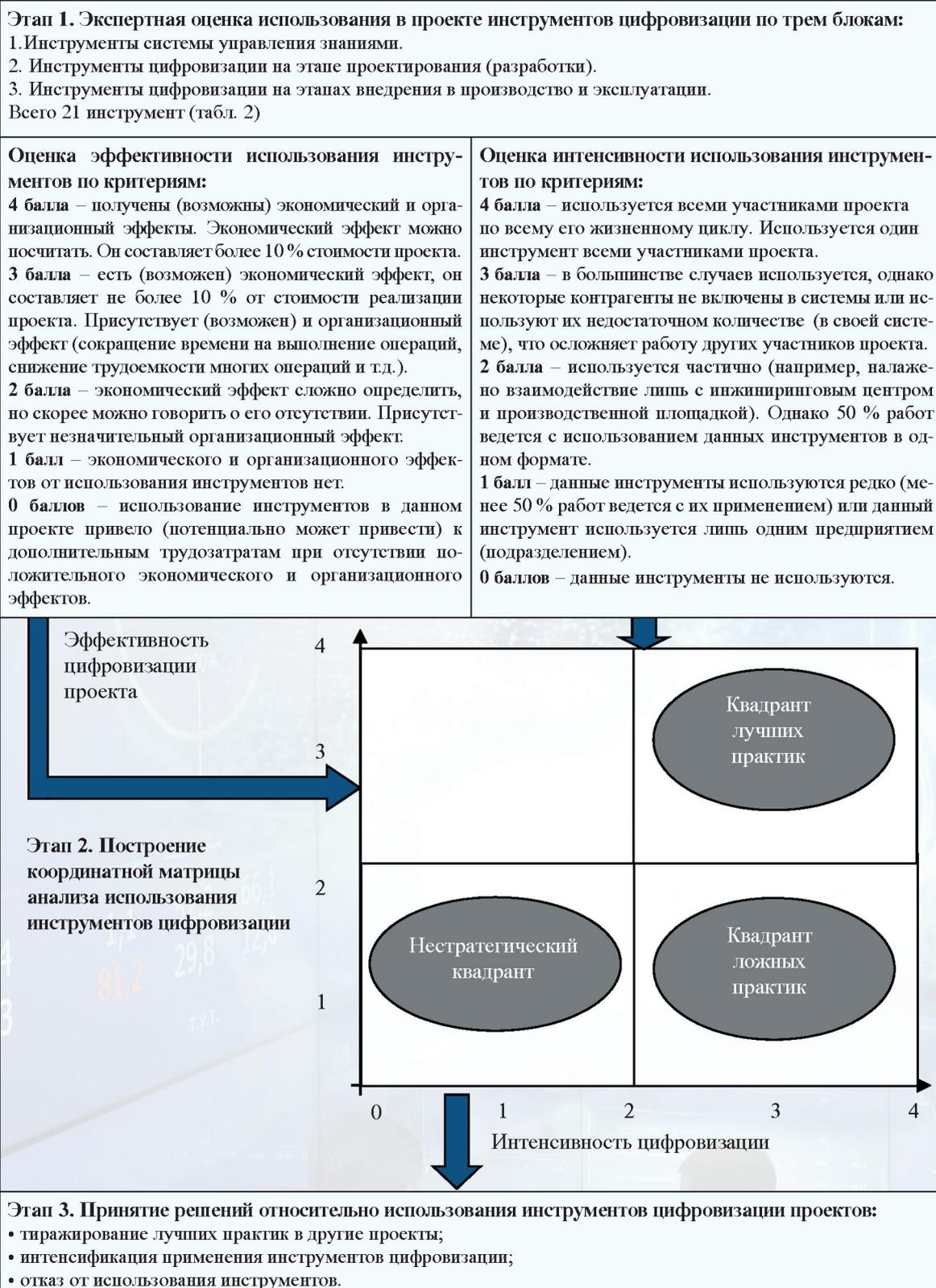
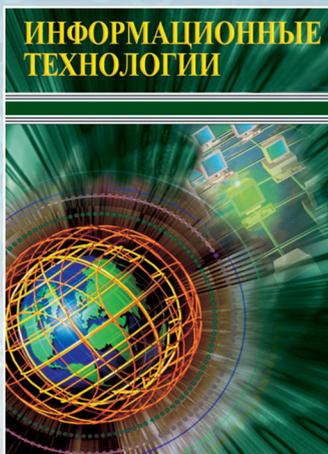


Рис. 1. Алгоритм анализа цифровизации инженеринговых проектов

Издательство «НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

выпускает научно-технические журналы

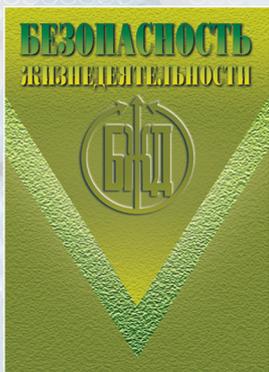


Ежемесячный теоретический
и прикладной научно-технический журнал

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В журнале освещаются современное состояние, тенденции и перспективы развития основных направлений в области разработки, производства и применения информационных технологий.

Подписной индекс по Объединенному каталогу
«Пресса России» – 72656



Научно-практический
и учебно-методический журнал

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В журнале освещаются достижения и перспективы в области исследований, обеспечения и совершенствования защиты человека от всех видов опасностей производственной и природной среды, их контроля, мониторинга, предотвращения, ликвидации последствий аварий и катастроф, образования в сфере безопасности жизнедеятельности.

Подписной индекс по
Объединенному каталогу
«Пресса России» – 79963

Междисциплинарный
теоретический и прикладной
научно-технический журнал

НАНО- и МИКРОСИСТЕМНАЯ ТЕХНИКА

В журнале освещаются современное состояние, тенденции и перспективы развития нано- и микросистемной техники, рассматриваются вопросы разработки и внедрения нано микросистем в различные области науки, технологии и производства.



Подписной индекс по
Объединенному каталогу
«Пресса России» – 79493



Ежемесячный теоретический
и прикладной
научно-технический журнал

МЕХАТРОНИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ

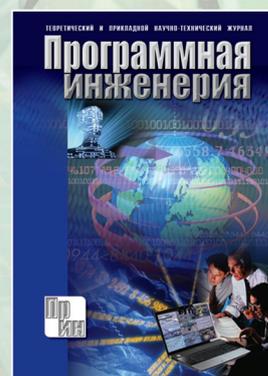
В журнале освещаются достижения в области мехатроники, интегрирующей механику, электронику, автоматизацию и информатику в целях совершенствования технологий производства и создания техники новых поколений. Рассматриваются актуальные проблемы теории и практики автоматического и автоматизированного управления техническими объектами и технологическими процессами в промышленности, энергетике и на транспорте.

Подписной индекс по
Объединенному каталогу
«Пресса России» – 79492

Теоретический
и прикладной
научно-технический журнал

ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

В журнале освещаются состояние и тенденции развития основных направлений индустрии программного обеспечения, связанных с проектированием, конструированием, архитектурой, обеспечением качества и сопровождением жизненного цикла программного обеспечения, а также рассматриваются достижения в области создания и эксплуатации прикладных программно-информационных систем во всех областях человеческой деятельности.



Подписной индекс по
Объединенному каталогу
«Пресса России» – 22765

Адрес редакции журналов для авторов и подписчиков:

107076, Москва, Стромьинский пер., 4. Издательство "НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ".

Тел.: (499) 269-55-10, 269-53-97. Факс: (499) 269-55-10. E-mail: antonov@novtex.ru