

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

# **ИЗВЕСТИЯ**

**Юго-Западного  
государственного  
университета**

**Том 22  
№ 6 (81)  
2018**

Курск



2018. Т. 22, № 6 (81)

Научный рецензируемый журнал

Основан в 1997 г.

Учредитель: ФГБОУ ВО «Юго-Западный  
государственный университет»

Журнал зарегистрирован Федеральной  
службой по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и массовых  
коммуникаций (ПИ №ФС77-42691 от 16.11.10).

Журнал «Известия Юго-Западного государственного  
университета» включен в перечень ведущих научных  
журналов и изданий ВАК Минобрнауки России  
01.12.2015 г. по группам научных специальностей:  
05.02.00 – машиностроение и машиноведение  
05.13.00 – информатика, вычислительная техника и  
управление  
05.23.00 – строительство и архитектура

#### Редакционный совет

**С. Г. Емельянов** (председатель, главный редактор),  
д-р техн. наук, профессор, ректор ЮЗГУ;

**Л. М. Червяков** (зам. председателя), д-р техн. наук,  
профессор, ЮЗГУ;

**Т. Бертрам**, д-р техн. наук, профессор  
(Германия);

**К. П. Грабовый**, д-р экон. наук, профессор;

**С. Ю. Гриднев**, д-р техн. наук, доцент;

**И. В. Зотов**, д-р техн. наук, профессор;

**А. Г. Ивахненко**, д-р техн. наук, профессор;

**В. С. Ежов**, д-р техн. наук, профессор;

**В. И. Колмыков**, д-техн. наук, профессор;

**Вл. И. Колчунов**, член РААСН, д-р техн.  
наук, профессор;

**Н. А. Корневский**, д-р техн. наук, профессор;

**Р. А. Латыпов**, д-р техн. наук, профессор;

**О. Г. Локтионова**, д-р техн. наук, профессор;

**Р. Шах**, д-р техн. наук, профессор (Германия)

**С.Ф. Яцун**, д-р техн. наук, профессор

#### Редакционная коллегия:

**С. Г. Емельянов** (главный редактор),  
д-р техн. наук, профессор, ректор ЮЗГУ;

## ИЗВЕСТИЯ

ЮГО-ЗАПАДНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ ..... 6

*Агеева Е.В., Сабельников Б.Н., Щербаков А.В., Пыхтин А.И.*  
Повышение эффективности процесса технической  
эксплуатации транспортных средств за счет применения  
метода дистанционной диагностики ..... 6

*Яцун С.Ф., Антипов В.М., Карлов А.Е.*  
Моделирование подъема груза с помощью  
промышленного экзоскелета ..... 14

*Агеева Е.В., Новиков Е.П., Осминина А.С.*  
Исследование коррозионной стойкости покрытий,  
полученных методом газодинамического напыления ..... 21

*Новиков С.Г., Куценко В.Н., Малыхин В.В., Глаголев Р.В.*  
Гидроимпульсное устройство для получения  
сверхвысоких давлений струи жидкости  
и теоретический анализ его работы ..... 30

### СТРОИТЕЛЬСТВО ..... 40

*Бредихин В.В., Акульшин А.А., Лось К.И.*  
Экспертиза отказов построенной водозаборной скважины ... 40

*Ахременко С.А., Пыцкая М.С.*  
Воссоздание источника артезианской воды  
в усадьбе А.К.Толстого ..... 51

*Добросоцких М. Г.*  
Учет стохастических воздействий при календарном  
планировании строительного производства ..... 61

*Поздняков А.Л., Позднякова Е.В., Скрипкина Ю.В.,  
Ефанова Т.А.*  
Тенденции и принципы проектирования современных  
общеобразовательных школ ..... 72

*Акульшин А.А., Щербаков В.И., Яровой И.Р.*  
Моделирование потокораспределения и управление  
водоподъемными станциями на достроительной стадии ..... 81

*Скрипкина Ю.В., Лалыкина Я.А.*  
Принципы формирования многофункционального центра  
для занятий экстремальными видами спорта в Курске ..... 92

*Минко В.А., Кобелев Н.С., Кретова В.М., Кобелев В.Н.,  
Амелин В.Ю., Соловьев А.Д.*  
Инновационные решения адсорбционной очистки  
рециркуляционного воздуха для термокамер  
электрических испытаний изделий ..... 103

*Скрипкина Ю.В., Цурик Т.О., Звягинцева М.М., Волкова В.А.*  
Особенности проектирования крытых всепогодных  
горнолыжных комплексов ..... 111

**Е. В. Агеев**, д-р техн. наук, профессор;  
**Ю. В. Алексеев**, д-р архитектуры, профессор;  
**М. В. Бобырь**, д-р техн. наук, доцент;  
**В. В. Бредихин**, советник РААСН, д-р экон. наук, доцент;  
**Т. Бок**, д-р техн. наук, профессор (Германия);  
**С. В. Дегтярев**, д-р техн. наук, профессор;  
**Л. В. Димитров**, д-р техн. наук, профессор (Болгария);  
**Ж. Т. Жусубалиев**, д-р техн. наук, профессор;  
**С. Н. Кузнецов**, д-р техн. наук, доцент;  
**Н. С. Кобелев**, д-р техн. наук, профессор;  
**В. И. Колчунов**, академик РААСН, д-р техн. наук, профессор;  
**В. В. Куц**, д-р техн. наук, доцент;  
**В. Я. Мищенко**, д-р техн. наук, профессор;  
**Х. Г. Надырова**, д-р архитектуры, доцент;  
**Г. Я. Пановко**, д-р техн. наук, профессор;  
**В. А. Плотников**, д-р экон. наук, профессор;  
**А. С. Сизов**, д-р техн. наук, профессор;  
**В. С. Титов**, д-р техн. наук, профессор;  
**А. В. Турков**, д-р техн. наук, профессор;  
**Л. М. Червяков**, д-р техн. наук, профессор;  
**В. И. Щербаков**, д-р техн. наук, доцент

Адрес редакции: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.  
 Телефоны: (4712) 22-25-26  
 Факс: (4712) 50-48-00. E-mail: rio\_kursk@mail.ru

Оригинал-макет подготовлен Е.В. Мельник

Подписано в печать 19.12.18. Формат 60x84/8.  
 Бумага офсетная. Усл. печ. л. 24,2.  
 Тираж 1000 экз. Заказ 104. Цена свободная.  
 Юго-Западный государственный университет  
 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Плата с аспирантов за публикацию не взимается.

Подписной индекс журнала «Известия  
 Юго-Западного государственного университета»  
 41219 в объединенном каталоге  
 «Пресса России»

## ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА ..... 118

*Стативко Р.У., Коломыцева Е.П.*  
 Разработка алгоритмов определения необходимости  
 использования типовых моделей датчиков ..... 118

*Яковлев Р.Н.*  
 Применение средств интеллектуального анализа  
 для решения задач оптимизации деятельности склада ..... 127

*Маклаков Е. С., Гуламов А.А.*  
 Узел сбора информации диспетчерского центра ..... 136

*Зинкин С.А., Мустафа Садек Джафар, Карамышева Н.С.*  
 Концептуальные представления и модификации  
 сетей Петри для приложений в области синтеза  
 функциональной архитектуры распределенных  
 вычислительных систем с переменной структурой ..... 143

*Борзов Д.Б., Масюков И.И.*  
 Планирование загрузки процессоров в мультипроцессорных  
 системах критического назначения ..... 168

*Добрица В.П., Горюшкин Е.И.*  
 Управление качеством учебно-воспитательного процесса  
 на основе анализа тестовых заданий с помощью  
 искусственного интеллекта ..... 175

*Панищев В.С.*  
 Алгоритм восстановления пикселей изображения  
 на основе нейронной сети ..... 183

*Сирота Е.С., Труфанов М.И.*  
 Разработка алгоритмического обеспечения и  
 специализированного устройства для визуализации  
 внутренних органов пациента по данным  
 магнитно-резонансного и компьютерного томографов ..... 189

*Фролов М.М., Труфанов М.И.*  
 Оптико-электронное устройство вычисления параметров  
 объемных объектов рабочей сцены при множественных  
 источниках видеоданных ..... 198

## РЕЦЕНЗИИ ..... 206

Рецензия на учебник в двух частях  
 «Организация строительства и девелопмент  
 недвижимости» под общей научной редакцией  
 профессора П. Г. Грабового ..... 206

## К сведению авторов ..... 208



2018. V. 22, № 6 (81)

Scientific journal

*Published once per two months*

**Founder: Southwest State University**

Registered in the Registrar of the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technologies, and Mass Media (Roskomnadzor) (Certificate of mass media registration № FS77-42691 of November 16, 2010).

Included in the official list of top scientific journals of the Higher Attestation Commission of the RF Ministry of Science and Education of 01.12.2015. Scientific Specialities Groups:  
05.02.00 – Mechanical Engineering and Engineering Science  
05.13.00 – Informatics, Computer Engineering, and Control  
05.23.00 – Construction and Architecture

#### Editorial Board

**S.G. Yemelianov**, Doctor of Engineering, Professor, Rector of the Southwest State University (Chairman);

**L.M.Chervyakov**, Doctor of Engineering, Professor, (Deputy Editor-in-Chief);

**T. Bertramm**, Doctor of Engineering, Professor (Germany);

**K. P. Grabow**, Doctor of Engineering, Professor;  
**S. Yu. Gridnev**, Doctor of Engineering, Associate Professor;

**I. V. Zotov**, Doctor of Engineering, Professor;  
**A. G. Ivakhnenko**, Doctor of Engineering, Professor;

**V. S. Ezhov**, Doctor of Engineering, Professor;  
**V. I. Kolmykov**, Doctor of Engineering, Professor;  
**Vl. I. Kolchunov**, Doctor of Engineering, Professor;

**H. A. Korenevsky**, Doctor of Engineering, Professor;

**R. A. Latypov**, Doctor of Engineering, Professor;  
**O. G. Loktionova**, Doctor of Engineering, Professor;

**R. Schah**, Doctor of Engineering, Professor (Germany);

**S. F. Yatsun**, Doctor of Engineering, Professor

## PROCEEDINGS

of the SOUTHWEST  
STATE  
UNIVERSITY

## CONTENT

<b>MECHANICAL ENGINEERING AND ENGINEERING SCIENCE .....</b>	<b>6</b>
<i>Ageeva E.V., Sabelnikov B.N., Shcherbakov A.V., Pykhtin A.I.</i> Improving the Efficiency of the Process of Technical Operation of Vehicles by Using the Distance Diagnostic Method .....	6
<i>Yatsun S.F., Antipov V.M., Karlov A.E.</i> Modeling Of Loading By Industrial Exoskeleton .....	14
<i>Ageeva E.V., Novikov E.P., Osminina A.S.</i> Research of Corrosion Resistance of Coatings Obtained by the Method of Gas Dynamic Sputter .....	21
<i>Novikov S.G., Kutsenko V. N., Malykhin V.V., Glagolev R.W.</i> Hydro-Pulse Device for Obtaining High-Pressure Liquid-Current Pressures and the Theoretical Analysis of Its Work .....	30
<b>CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE .....</b>	<b>40</b>
<i>Bredikhin V. V., Akulshin A.A., Los K.I.</i> Examination of Failures of Constructed Water Wells .....	40
<i>Akhremenko S. A., Pytskaya M. S.</i> Reconstruction of Artesian Water in the Manor of A. K. Tolstoy ..	51
<i>Dobrosotskikh M. G.</i> Consideration Of Stochastic Impacts in the Construction Scheduling .....	61
<i>Pozdnyakov A.L., Pozdnyakova E.V., Skripkina J.V., Efanova T.A.</i> Principles and Design Trends of Modern Educational Schools.....	72
<i>Akulshin A.A., Shcherbakov V. I., Yarovoy I.R.</i> Modeling the Flow Distribution and Control Vodopjanikha Stations on Mastroianni Stage .....	81
<i>Skripkina J.V., Lalykina J.A.</i> Principles of Formation of a Multifunctional Centers for Training Extreme Sports in Kursk .....	92
<i>Minko V.A., Kobelev N.S., Kretova V.M., Kobelev V.N., Amelin V.Yu., Soloviev A.D.</i> Innovative Solutions of Adsorption Cleaning Recirculating Air for Electric Tests of Electric Product Tests .....	103
<i>Skripkina J.V., Tsurik T.O., Zvyagintseva M.M., Volkova V.A.</i> Features of the Design of Covered All-Season Skin Complexes .....	111

**Editors**

**S. G. Yemelianov**, Doctor of Engineering, Professor, Rector of Southwest State University (Editor-in-Chief);

**Y. V. Ageyev**, Doctor of Engineering, Professor;

**Yu. V. Alekseev**, Doctor of Architecture, Professor;

**M. V. Bobyr**, Doctor of Engineering, Professor;

**T. Bock**, Doctor of Engineering, Professor (Germany);

**V. V. Bredikhin**, Doctor of Engineering, Professor;

**L. M. Chervyakov**, Doctor of Engineering, Professor

**S. V. Degtyaryov**, Doctor of Engineering, Professor;

**L. V. Dimitrov**, Doctor of Engineering, Professor, (Bulgaria);

**N. S. Kobelev**, Doctor of Engineering, Professor;

**S. N. Kuznetsov**, Doctor of Engineering, Associate Professor;

**V. I. Koltchunov**, Doctor of Engineering, Professor;

**V. V. Kuts**, Doctor of Engineering, Associate Professor;

**V. Ya. Mishchenko**, Doctor of Engineering, Professor;

**H. G. Nadyrova**, Doctor of Architecture, Associate Professor;

**G. Y. Panovko**, Doctor of Engineering, Professor

**V. A. Plotnikov**, Doctor of Economics, Professor;

**A. S. Sizov**, Doctor of Engineering, Professor

**V. S. Titov**, Doctor of Engineering, Professor,

**A. V. Turkov**, Doctor of Engineering, Professor

**Zh. T. Zhsubaliyev**, Doctor of Engineering, Professor;

**V. I. Shcherbakov**, Doctor of Engineering, Associate Professor

<b>COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT .....</b>	<b>118</b>
<i>Stativko R. W., Kolomytseva E. P.</i> Development of Algorithms to Determine When to Use Generic Models of the Sensors .....	118
<i>Yakovlev R.N.</i> Application of Intellectual Analysis Tools for Solving Warehouse Operation Optimization Problems .....	127
<i>Maklakov E. S., Gulamov A. A.</i> The Collection of Information Control Center .....	136
<i>Zinkin S.A., Mustafa Sadeq Jaafar, Karamysheva N.S.</i> Conceptual Representations and Modifications of Petri Nets for Applications in the Area of Synthesis of a Functional Architecture of Distributed Computational Systems with Variable Structure .....	143
<i>Borzov D.B., Masyukov I.I.</i> Planning of Download Processors in Multiprocessor Systems of Critical Purpose .....	168
<i>Dobritsa V.P., Goryushkin E.I.</i> Quality Management of the Educational Process on the Basis of the Analysis of Test Tasks by Using Artificial Intelligence ....	175
<i>Panishchev V.S.</i> An Algorithm For The Restoration of Pixels Image Based on the Neural Network .....	183
<i>Sirota E.S., Truphanov M.I.</i> Development of Algorithmic Support and a Dedicated Device for Imaging The Internal Organs of the Patient According to MRI and CT Scanners .....	189
<i>Frolov M.M., Truphanov M.I.</i> Optical-Electronic Device of Calculation of Parameters of Volume Objects of Working Scene at Multiple Sources of Video Data .....	198
<b>REVIEWS .....</b>	<b>206</b>
Review on the Textbook in Two Parts "Organization of Construction and Real Estate Development" under the General Scientific Editorship of Professor P.G. Grabovoi .....	206
<b>Information for Authors .....</b>	<b>208</b>

УДК 656

**Е.В. Агеева**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: ageeva-ev@yandex.ru)

**Б.Н. Сабельников**, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: sabelnikovboris1@mail.ru)

**А.В. Щербаков**, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: ooo46@mail.ru)

**А.И. Пыхтин**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: sephiroth\_kstu@mail.ru)

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ**

*Нынешняя экономическая ситуация на мировом топливном рынке ведет к тому, что происходит удорожание эксплуатации автотранспорта. Все это заставляет владельцев таких транспортных средств обращать пристальное внимание на их оптимальный режим работы, который, в первую очередь, зависит от грамотной диагностики его узлов. Экономия топливно-эксплуатационных ресурсов современного автомобиля напрямую зависит от оптимально выверенных параметров работы всех узлов и агрегатов автомобиля.*

*Целью настоящей работы являлось повышение эффективности процесса технической эксплуатации автомобилей за счет применения метода дистанционной диагностики на примере ООО «ПОГА-1».*

*Практика использования средств диагностики свидетельствует о возможностях уменьшения эксплуатационных издержек. Это достигается из-за увеличения фактически используемых ресурсов, снижения числа ремонтов и экономии расходов запасных частей.*

*В течение минувших лет в Российской Федерации активно развивается область грузоперевозок. Наибольший удельный вес приходится на автомобильный транспорт (67,7%).*

*Значительная доля грузового автопарка страны применяется в качестве коммерческого транспорта, что существенно усложняет процедуру своевременного диагностирования. Таким образом, при появлении той или иной неисправности или ошибки в работе автотранспортного средства, автомобиль может пребывать в рейсе и в пределах досягаемости не окажется специализированной станции технического обслуживания для выполнения технической диагностики грузового автомобиля для выявления причин ошибок и/или неисправностей.*

*Установленная проблема находит свое решение в применении способа дистанционного диагностирования коммерческого автотранспорта напрямую из центра ТО, который оснащен необходимым комплектом для диагностирования.*

**Ключевые слова:** дистанционная диагностика; автомобиль; техническое состояние; коммерческий автотранспорт.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-6-6-13

**Ссылка для цитирования:** Повышение эффективности процесса технической эксплуатации транспортных средств за счет применения метода дистанционной диагностики / Е.В. Агеева, Б.Н. Сабельников, А.В. Щербаков, А.И. Пыхтин // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 6-13.

\*\*\*

Нынешняя экономическая ситуация на мировом топливном рынке ведет к тому, что происходит удорожание эксплуатации автотранспорта. Все это заставляет владельцев транспортных средств обра-

щать пристальное внимание на их оптимальный режим работы, который в первую очередь зависит от грамотной диагностики его узлов. Экономия топливно-эксплуатационных ресурсов современно-

го автомобиля напрямую зависит от оптимально выверенных параметров работы всех узлов и агрегатов автомобиля.

На протяжении последних лет в России динамично развивается сфера грузоперевозок. Наибольший удельный вес приходится на автомобильный транспорт.

В свою очередь грузовые автомобили имеют более сложную техническую оснастку, поэтому диагностика является крайне важной в технической эксплуатации автомобилей. Она обеспечивает безопасность на дороге, снижает риск неисправностей в пути, а также уменьшает расходы на ремонт.

Особенности технологии и организации ТО и ремонта грузовых автомобилей, участвующих в международных и междугородных перевозках, связаны в основном с конструкцией, габаритами автомобилей и автопоездов, массой агрегатов, проведением ТО и ремонта в составе автопоезда, повышенной персональной ответственностью исполнителей за полноту и качество выполненных работ. Это предопределяет выполнение ТО и ТР на универсальных проездных (для автопоезда) постах, как правило, комплексной бригадой исполнителей, в работе которой может принимать участие водитель.

Одним из основных приемов и методов обеспечения работоспособности этих автомобилей состоят в безусловном соблюдении принципов и методов планово-предупредительной системы ТО и ремонта (предпочтение I стратегии – предупреждение отказов; второй тактики (I-2) – обслуживание с учетом состояния агрегата, системы, автомобиля). Поэтому при проведении ТО особое внимание должно быть уделено комплексной и инструмен-

тальной диагностике узлов, агрегатов и систем, обеспечивающих экологическую и дорожную безопасность.

Своевременная диагностика автомобилей является очень важной, так как дает возможность предупредить неисправность и избежать дорогостоящего ремонта.

С целью увеличения производительности автотранспорта большим значением обладает совершенствование планирования и управления его техническим обслуживанием (ТО) и ремонтом с применением современных технических средств. Это обеспечивается с помощью применения технического диагностирования автомобилей как информационной базы системы управления процессами ТО и ремонта.

Практика использования средств диагностики свидетельствует о возможности уменьшения эксплуатационных издержек. Это достигается увеличением фактически используемых ресурсов, снижением числа ремонтов и экономией расходов запасных частей.

При планово-предупредительной системе технического обслуживания и ремонта автотранспортное средство (АТС) спустя определенный пробег (время) в принудительном порядке подвергаются профилактическим работам в установленном объеме. При этом, несмотря на корректировку режимов технического обслуживания и ремонта, в зависимости от ряда факторов, отсутствует индивидуальный подход к каждому автомобилю.

Однако необходимость в таком подходе имеется, так как, даже при работе АТС в схожих условиях техническое состояние каждого из них при одной и той же наработке вследствие целого ряда

причин может значительно отличаться. Несвоевременное выявление отказов обуславливает существенные потери в трудовых и материальных ресурсах.

Наиболее полное использование индивидуальных возможностей автомобилей и обеспечение на этой основе их высокой эффективности в процессе эксплуатации может быть осуществлено благодаря широкому внедрению в технологический процесс технического обслуживания и ремонта технического диагностирования состояния автомобилей. При этом техническое диагностирование рассматривается в качестве процесса определения технического состояния объекта диагностирования с определенной точностью.

В течение минувших лет в Российской Федерации активно развивается область грузоперевозок. Наибольший удельный вес приходится на автомобильный транспорт (67,7%).

Значительная доля грузового автопарка страны применяется в качестве коммерческого транспорта, что существенно усложняет процедуру своевременного диагностирования. Таким образом, при появлении той или иной неисправности или ошибки в работе автотранспортного средства, автомобиль может пребывать в рейсе и в пределах досягаемости не окажется специализированной станции технического обслуживания для выполнения технической диагностики грузового автомобиля для выявления причин ошибок или неисправностей.

Установленная проблема находит свое решение в применении способа дистанционного диагностирования коммерческого автотранспорта напрямую из центра ТО, который оснащен необходи-

мым комплексом для диагностирования. От автомобиля в центр технического обслуживания, на диагностический комплекс, поступают сигналы, которые отображают регистрационные сведения и рабочие характеристики автотранспортного средства, а, соответственно, его агрегатов и функциональных узлов. В центре ТО с помощью диагностического комплекса идентифицируются принятые регистрационные сведения, отслеживают степень понижения рабочих характеристик автомобиля, выявляются вероятные неисправности и передают на транспортное средство сигналы с оценкой его технического состояния и функциональных узлов. А кроме того, также водителю передаются советы по доведению эксплуатационных характеристик автомобиля до оптимальных. При использовании такого метода обмен информационными данными между диагностическим комплексом и автомобилем осуществляется с помощью телекоммуникационных средств связи общего пользования. Сигналы, которые отображают рабочие характеристики автотранспортного средства, его агрегатов и функциональных узлов, считываются с блоков управления через диагностический разъем, расположенный непосредственно на автомобиле [1-4].

С целью выполнения дистанционной диагностики технического состояния автотранспортного средства, которое неожиданно остановилось в дороге, его водитель подключает считывающее устройство к блокам управления через диагностический разъем, который имеется на каждом современном автомобиле. Передаваемый сигнал преобразуется в форму, которая пригодна для передачи с помощью теле-

коммуникационных средств связи общего пользования на диагностический комплекс с персональным компьютером и установлению между ними устойчивой связи.

В центре технического обслуживания на диагностическом комплексе с помощью устройства, предназначенного для приема-передачи сигналов, которые поступают от конкретного автомобиля по линиям телекоммуникационной связи, эти сигналы преобразуются в изначальную форму. Процесс диагностирования предусматривает неоднократный обмен передаваемыми сигналами между диагностируемыми электронными блоками управления системами автомобиля и непосредственно самим диагностическим комплексом с персональным компьютером.

В качестве одного из наиболее вероятных вариантов реализации метода передачи диагностических сигналов на значительном расстоянии является использование собственником автотранспортного средства мобильной сети сотовой связи (мобильный интернет).

Одним из основных предприятий города Курска, специализирующимся на предоставлении коммерческих услуг по грузоперевозкам, является ООО «ПОГА-1».

**Целью** настоящей работы являлось повышение эффективности процесса технической эксплуатации автомобилей за счет применения метода дистанционной диагностики на примере ООО «ПОГА-1».

Основными направлениями передвижения подвижного состава ООО «ПОГА-1» являются такие города, как: Белгород; Курск; Воронеж; Ростов-на-Дону; Пенза; Липецк; Тамбов.

Помимо междугородних перевозок компания также занимается сезонными

работами, связанными с перевозками сельскохозяйственных грузов во время посевной и уборочной страды на территории всей Курской области.

Подвижной состав компании ООО «ПОГА-1» состоит из 70 автомобилей марки КАМАЗ различных моделей и годов выпуска, среднегодовой пробег которых составляет порядка 80000 км. Из них 15 единиц подвижного состава 2014 и 2017 годов выпуска, которые имеют более сложную техническую оснастку, нежели автомобили более ранних годов выпуска. Также, по причине постепенного устаревания подвижного состава, руководство организации планирует дальнейшее обновление парка.

ООО «ПОГА-1» занимается техническим обслуживанием и ремонтом подвижного состава самостоятельно, не прибегая к сторонней помощи. Организация располагает полным спектром технологически необходимого оборудования (табл.) и грамотного обученного персонала.

Что касается автомобилей, занятых грузоперевозками в пределах области во время сезонных сельскохозяйственных посевных и уборочных работ, их техническим обслуживанием и ремонтом занимаются специально сформированные выездные бригады.

Специализированный пост для проведения диагностических работ на ООО «ПОГА-1» отсутствует, все работы выполняются на универсальных постах.

Но, как ранее было отмечено, подвижной состав помимо устаревающих моделей состоит из 15 обновленных моделей марки КАМАЗ, которые, помимо работ по их обслуживанию, выполняемых на самом предприятии, требуют проведе-

ния дополнительных работ по диагностике с применением специализированного современного оборудования и квалифицированного персонала, которые на ООО «ПОГА-1» отсутствуют. В связи со сложившейся ситуацией руководству компании приходится прибегать к помощи сто-

ронных организаций, которые занимаются данными видами услуг, что несомненно влечет за собой постоянные финансовые затраты, и, соответственно, отрицательно сказывается на финансовой составляющей компании.

Перечень основного оборудования, используемого при проведении диагностики подвижного состава «ПОГА-1»

№ п/п	Наименования, марка, модель оборудования	Основные характеристики (мощность, производительность, диапазон измерений и пр.)	Сведения об аттестации, проверке (при необходимости)
1	Ключ динамометрический	65-450 Нм	10.05.2011
2	Люфтомер рулевого управления К-524М	Диапазон измерений 0°-30°	02.09.2011
3	Дымомер «Инфракар Д 1-3.01 ЛТК»	Коэффициент ослабления светового потока 0-100%	20.02.2012
4	Обкаточно-тормозной стенд КИ 2139Б	номинальная мощность – 35 кВт тормозная мощность – 106,2 кВт	аттестация – 01.06.2011
5	Стенд проверки ТНВД С 128-3208	мощность Эл. двигателя 8,6 кВт	аттестация – 01.06.2011
6	Стенд проверки форсунок С 50-1261	0-60 МПа	аттестация – 01.06.2011

Помимо основных затрат, связанных с оплатой услуг по диагностике, организация несет дополнительные финансовые потери, такие как:

- простой единиц подвижного состава;
- затраты на топливо, связанные с перемещением автотранспорта из точки работ в город Курск, на станцию диагностики;
- затраты на топливо, связанные с перемещением автотранспорта обратно на точку работ из города Курска.

Так как, среднегодовой пробег, как ранее было указано, составляет порядка 80000 км, а согласно официальным данным ПАО «КАМАЗ», ТО-1 и ТО-2 для неполноприводных автомобилей с экологической нормой ЕВРО-3, к которой от-

носятся 15 единиц подвижного состава, проводится через каждые 10000 км и 30000 км пробега соответственно, логично, что данные автомобили будут вынуждены неоднократно перемещаться в город Курск для проведения контрольно-диагностических работ перед каждым техническим обслуживанием, что ведет к дополнительным затратам, в то время как остальные модели, входящие в автопарк компании ООО «ПОГА-1», могут обслуживаться на месте выполнения работ, прибегая к помощи выездной бригады, которая располагается на месте временной дислокации части автопарка.

Следовательно, с внедрением метода дистанционной диагностики коммерческого автотранспорта на вышеуказанное

предприятие отпадает необходимость перемещения автомобиля с места выполнения работ для проведения контрольно-диагностических работ.

Для проведения дистанционной диагностики технического состояния единиц подвижного состава, которые того требуют, водитель автомобиля подключает контролеры управления функциональными блоками через диагностический разъем, имеющийся на каждом из 15 автомобилей.

Сигнал преобразуется в форму, пригодную для передачи посредством телекоммуникационных средств связи общего пользования к диагностическому комплексу с компьютером, расположенному на территории ООО «ПОГА-1», и установлению связи между ними.

На диагностическом комплексе через устройство для приема-передачи сигналов, поступающих со стороны автомобиля, вышедшего из строя или требующего очередной контрольно-диагностической проверки, по линиям телекоммуникационной связи, сигналы преобразуются в первоначальную форму.

В качестве одного из наиболее возможных вариантов осуществления способа передачи диагностических сигналов на расстоянии является использование мобильной сотовой связи.

## **Выводы**

1. Практика использования средств диагностирования автомобилей свидетельствует о возможности сокращения эксплуатационных издержек. Это достигается за счет увеличения фактически используемого ресурса, сокращения числа ремонтов и экономии расхода запасных частей [5-8].

2. Проанализировав метод дистанционной диагностики коммерческого автотранспорта можно сделать вывод, что при применении такого метода диагностирования в ООО «ПОГА-1»:

– уменьшаются временные затраты на процесс технического диагностирования автомобилей, т.к. исключается потребность перемещать их на месторасположения диагностического центра. Одновременно исключаются транспортные расходы;

– возникает возможность осуществления диагностики транспортных средств, которые в определенный момент времени не обладают возможностью самостоятельного передвижения;

– возрастает пропускная способность диагностического центра, т.к. исключается необходимость непосредственного заезда автомобиля на пост технического диагностирования и подключения того к диагностическому комплексу;

– среди прочих функций на диагностическом комплексе имеется возможность синхронной диагностики нескольких автотранспортных средств.

3. Проведен подробный анализ подвижного состава компании ООО «ПОГА-1» и подробно рассмотрена ситуация с проведением технического обслуживания подвижного состава.

Выполнено обоснование экономической эффективности внедрения метода дистанционной диагностики на предприятие. В его ходе получены следующие данные:

– затраты на приобретение и установку оборудования составили 690090,88 руб.;

– период окупаемости внедрения нового метода диагностики составил при-

мерно 12,7 месяцев, приблизительно равно одному году и трем неделям.

#### Список литературы

1. Котесова А.А., Аракелян Р.М., Бредихин Е.И. Дистанционная диагностика автомобиля из центра технического обслуживания, оснащенного диагностическим комплексом // Инженерный вестник Дона. 2018. № 2 (49). С. 19.

2. Математическая модель системы дистанционной диагностики неисправностей автомобилей / А.В. Остроух, Н.Е. Суркова, А.В. Воробьева, Х.С. Салих // В мире научных открытий. 2015. № 6 (66). С. 63-70.

3. Разработка дистанционной системы диагностики автомобиля / И.Б. Прохоров, П.А. Гребенщиков, А.Р. Мубаракшин, Д.А. Ахметдинов, В.С. Моисеев // Энергетические и электротехнические системы: сб. науч. тр. Магнитогорск, 2015. С. 346-351.

4. Сетевые системы управления / М.С. Казьмина, А.И. Силантьева, И.А. Силантьев, Н.Р. Минасова, Д.А. Скрипко // Теория. Практика. Инновации. 2018. № 1 (25). С. 4-8.

5. Агеев Е.В. Теоретические и нормативные основы технической эксплуатации автомобилей. Курск, 2008. 195 с.

6. Агеев Е.В. Технология технического обслуживания и ремонта автомобилей. Курск, 2008. 216 с.

7. Агеев Е.В. Управление производством и материально-техническое обеспечение на автомобильном транспорте. Курск, 2008. 174 с.

8. Агеев Е.В. Особые условия технической эксплуатации и экологическая безопасность автомобилей. Курск, 2008. 212 с.

*Поступила в редакцию 04.10.18*

UDC 656

**E.V. Ageeva**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: ageev-ev@yandex.ru)

**B.N. Sabelnikov**, Post-Graduate Student, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: sabelnikovboris1@mail.ru)

**A.V. Shcherbakov**, Post-Graduate Student, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: oooru46@mail.ru)

**A.I. Pykhtin**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: sephiroth\_kstu@mail.ru)

#### IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE PROCESS OF TECHNICAL OPERATION OF VEHICLES BY USING THE DISTANCE DIAGNOSTIC METHOD

*The current economic situation in the global fuel market leads to the fact that there is a rise in the cost of operating vehicles. All this makes the owners of such vehicles pay close attention to their optimal operation mode, which primarily depends on competent diagnosis of its components. Saving fuel-operating resources of a modern car directly depends on optimally adjusted parameters of operation of all components and assemblies of a car.*

*The purpose of this work was to increase the efficiency of the process of technical operation of vehicles through the use of the method of remote diagnostics on the example of LLC POGA-1.*

The practice of using diagnostic tools demonstrates the possibilities of reducing operating costs. This is achieved due to an increase in the resources actually used, a decrease in the number of repairs and the saving of spare parts costs.

Over the past years in the Russian Federation has been actively developing the field of freight. The largest share falls on road transport (67.7%).

A significant proportion of the country's truck fleet is used as a commercial vehicle, which significantly complicates the procedure for timely diagnosis. Thus, in the event of a malfunction or error in the operation of a motor vehicle, the vehicle can be on a flight and there will not be a specialized service station within range of technical diagnostics of the truck to identify the causes of errors and / or malfunctions.

The established problem finds its solution in the application of the method of remote diagnosis of commercial vehicles straight from the TO center, which is equipped with the necessary complex for diagnosing.

**Key words:** remote diagnostics; automobile; technical condition; commercial vehicles.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-6-13

**For citation:** Ageeva E.V., Sabelnikov B.N., Shcherbakov A.V., Pykhtin A.I. Improving the Efficiency of the Process of Technical Operation of Vehicles by Using the Distance Diagnostic method. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 6(81), pp. 6-13 (in Russ.).

\*\*\*

## Reference

1. Kotesova A.A., Arakeljan R.M., Bredihin E.I. Distancionnaja diagnostika avtomobilja iz centra tehničeskogo obslužhivanija, osnashhennogo diagnostičeskim kompleksom. *Inženernyj vestnik Dona*, 2018, no. 2 (49), pp. 19.

2. Ostrouh A.V., Surkova N.E., Vorob'eva A.V., Salih H.S. Matematičeskaja model' sistemy distancionnoj diagnostiki neispravnostej avtomobilej. *V mire nauchnyh otkrytij*, 2015, no. 6 (66), pp. 63-70.

3. Prohorov I.B., Grebenshnikov P.A., Mubarakshin A.R., Ahmetdinov D.A., Moiseev V.S. Razrabotka distancionnoj sistemy diagnostiki avtomobilja. Jenergetičeskie i jelektrotehničeskie sistemy. Sb. nauch. tr. Magnitogorsk, 2015, pp. 346-351.

4. Kaz'mina M.S., Silant'eva A.I., Silant'ev I.A., Minasova N.R., Skripko D.A. Setevye sistemy upravlenija. *Teorija. Praktika. Innovacii*, 2018, no. 1 (25), pp. 4-8.

5. Ageev E.V. Teoretičeskie i normativnye osnovy tehničeskoj jekspluatacii avtomobilej. Kursk, 2008. 195 s.

6. Ageev E.V. Tehnologija tehničeskogo obslužhivanija i remonta avtomobilej. Kursk, 2008, 216 p.

7. Ageev E.V. Upravlenie proizvodstvom i material'no-tehničeskoe obespečenie na avtomobil'nom transporte. Kursk, 2008, 174 p.

8. Ageev E.V. Osobyje uslovija tehničeskoj jekspluatacii i jekologičeskaja bezopasnost' avtomobilej. Kursk, 2008, 212 p.

**С.Ф. Яцун**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: teormeh@inbox.ru)

**В.М. Антипов**, магистрант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (тел. 7(4712) 22-26-26)

**А.Е. Карлов**, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (тел. 7(4712) 22-26-26)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДЪЕМА ГРУЗА С ПОМОЩЬЮ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭКСОСКЕЛЕТА

*Применение экзоскелетов в промышленности является одним из путей для улучшения условий труда и повышения производительности рабочих [1-3]. Поэтому последние годы в развитых странах мира получили распространение такие экзоскелеты, как Fortis, HULC, HAL, Panasonic и другие [4-6]. Дальнейшее внедрение экзоскелетов предполагает глубокое изучение механизмов взаимодействия человека и экзоскелета при выполнении различных движений, связанных с подъемом груза. Одним из наиболее сложных и, как следствие, травматичных является этап отрыва груза от поверхности, этот этап предшествует подъему груза. И именно на этом этапе чаще всего происходят травмы опорно-двигательного аппарата человека. Как известно, самая распространенная причина травм межпозвоночных дисков – неправильная работа с грузами. Человек вполне может поднять значительный вес, если использует правильную технику. Как известно, спортсмены-тяжелоатлеты, грузчики могут поднять вес превышающий их собственный в разы [7-10]. Экзоскелет может помочь человеку поднимать тяжести. Для освоения техники подъема важно создать виртуальный тренажер (математическую модель) и оптимизировать процесс подъема на компьютере.*

*В статье рассмотрена задача о подъеме груза человеком с использованием экзоскелета. Предложено рассматривать подъем в виде трех последовательных этапов. Разработана математическая модель экзоскелета, описывающая движение в различных режимах движения. Решена обратная задача кинематики, позволяющая найти углы поворота звеньев экзоскелета на этапе подготовки, и предложена методика определения приводных моментов на этапах подъема груза.*

*Для изучения процесса подъема груза в данной статье разработана математическая модель подъема груза от опорной поверхности человеком с использованием экзоскелета, при этом предполагается, что всю работу выполняют приводы экзоскелета.*

**Ключевые слова:** экзоскелеты; подъем груза; математическая модель; отрыв от поверхности.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-14-20

**Ссылка для цитирования:** Яцун С.Ф., Антипов В.М., Карлов А.Е. Моделирование подъема груза с помощью промышленного экзоскелета // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 14-20.

\*\*\*

### 1. Математическая модель

На рис.1 представлена схема подъема груза от опорной поверхности с применением экзоскелета. В зависимости от формы и конструкции груза, его можно обхватить двумя руками сразу (сверху, обхватывая под дном) или захватить его сначала под один край, а затем – под противоположный край. Наиболее удобно поднимать груз при наличии рукоятки, установленной на верхней поверхности груза. Именно этот случай рассмотрим далее (рис.1). Модель состоит из восьми

твердых тел массой  $m_i$  и длиной  $L_i$ , связанных между собой активными шарнирами, в каждом из которых расположены управляемые электроприводы. Груз 8 расположен на горизонтальной опорной поверхности. Взаимодействие груза и опорной поверхности моделируется реакцией опоры, включающей как силы  $N_{80}, F_{80}$ , так и момент  $M_{80}$ , причем  $\bar{R}_{80} = \bar{N}_{80} + \bar{F}_{80}$ . На предплечье человека 7 со стороны груза действуют сила  $F_{87}$  и момент  $M_{87}$ . Стопа экзоскелета также

взаимодействует с опорной поверхностью, при этом возникают приведенные силы реакции и момент  $N_{10}, F_{10}, M_{10}$ . Кроме этого, на экзоскелет действуют силы веса  $\bar{G}_i = m_i \bar{g}$ ,  $\bar{g}^T = (0 \ -g \ 0)^T$ .

Отрыв груза происходит за счет работы электроприводов, расположенных в зоне голеностопного, коленного и бедренного суставов. Так как движение происходит в сагиттальной плоскости, то положение звеньев экзоскелета в пространстве можно определить с помощью 6 независимых параметров. Вектор обобщенных координат имеет вид:  $\bar{q} = (\varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_5, \varphi_6, \varphi_7)^T$ .

Будем считать, что отрыв груза от поверхности состоит из двух основных этапов. Первый - подготовка позы человека в экзоскелете к отрыву груза происходит на интервале  $0 < t < t_1$ . При этом реакция опорной поверхности на груз остается постоянной  $N_{80} = N_{80}^{max} = m_8 g$ , а  $F_{87} = 0$ .

На втором этапе происходит отрыв груза на интервале времени  $t_1 < t < t_2$ . В этом случае, реакция опорной поверхности на груз уменьшается до нуля по заданному закону  $N_{80} = N_{80}(t)$ . При отрыве груза нужно обеспечить равновесие человека, что возможно при нахождении проекции центра масс внутри опорного полигона, поэтому проекция центра масс переносится в окрестность точки А. Отрыв груза от поверхности происходит ногами, не прогибая дугой спину, постепенно поворачивая её из наклонного положения в положение «прямо». Груз при этом остается неподвижным, а реакция  $N_{80}$  уменьшается до 0. При выполнении условия  $N_{80} = 0$  и  $F_{87} = m_8 g$  завершается отрыв груза и начинается подъем.

Из опыта известно, что поднимать груз удобно, если руки остаются прямыми, тогда

$$\varphi_6 = \varphi_7. \tag{1}$$

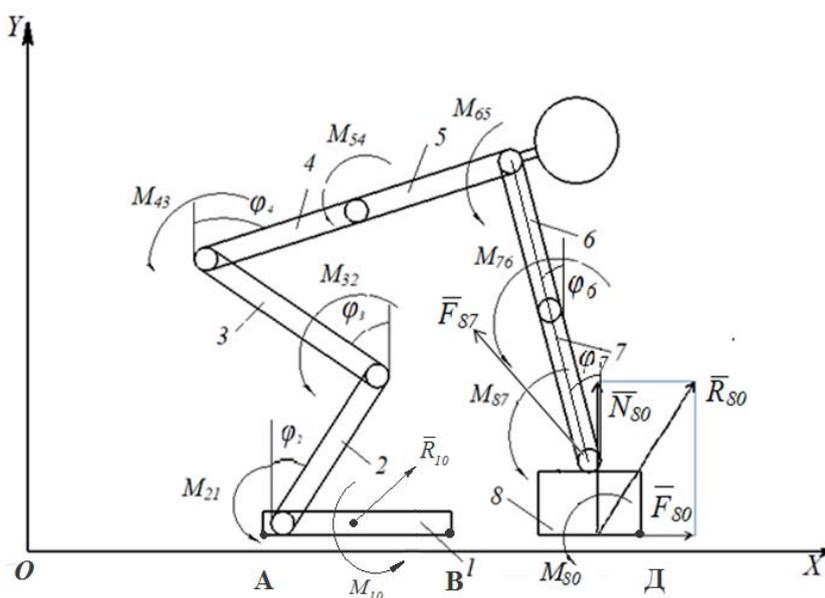


Рис.1. Схема отрыва груза от поверхности:  $N_{80}, F_{80}, M_{80}$  – вертикальная и горизонтальная реакции опорной поверхности;  $\bar{F}_{87}$  - сила, действующая на груз со стороны руки;  $M_{i,i-1}$  – моменты, создаваемые электроприводами шарниров. Вектор моментов электроприводов  $\bar{M} = (M_{21} \ M_{32} \ M_{43} \ M_{65})^T$ . Реакция опорной поверхности  $\bar{R}_{80} = \bar{N}_{80} + \bar{F}_{80}$

При работе с тяжестями позвоночник всегда должен оставаться прямым. Тогда нагрузка распределится равномерно, и опасности повреждения не возникнет. Это касается как отрыва груза, так и его подъема. Чем ближе центр тяжести груза к позвоночнику, тем меньшее усилие требуется, чтобы удержать спину прямой.

Если спина остается прямой, то получаем условие:

$$\varphi_4 = \varphi_5. \tag{2}$$

Таким образом, вектор, задающий положение экзоскелета, с учетом (1), (2) имеет вид:

$$\bar{q} = (\varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_6)^T. \tag{3}$$

В начальный момент перед отрывом груза поза человека задана вектором:

$$\bar{q}_0 = (\varphi_{20}, \varphi_{30}, \varphi_{40}, \varphi_{60})^T. \tag{4}$$

За время  $0 < t < t_1$  происходит подготовка позы экзоскелета к отрыву груза от поверхности, заключающаяся в том, что человек приседает, стопы максимально приближены к грузу, спина прямая и близка к вертикальному положению. Положение тела в момент начала отрыва при  $t=t_1$  определяется вектором

$$\bar{q}_1 = (\varphi_{21}, \varphi_{31}, \varphi_{41}, \varphi_{61})^T. \tag{5}$$

Положение центра масс экзоскелета задается вектором  $\bar{r}_C(t) = (x_C, y_C)^T$ , который определим по формуле

$$\bar{r}_C = \frac{\sum_{i=2-8} m_i \bar{r}_{Ci}}{\sum_{i=2-8} m_i}, \tag{6}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & t_0 & t_0^2 & t_0^3 & t_0^4 & t_0^5 & t_0^6 & t_0^7 \\ 1 & t_1 & t_1^2 & t_1^3 & t_1^4 & t_1^5 & t_1^6 & t_1^7 \\ 0 & 1 & 2 \cdot t_0 & 3 \cdot t_0^2 & 4 \cdot t_0^3 & 5 \cdot t_0^4 & 6 \cdot t_0^5 & 7 \cdot t_0^6 \\ 0 & 1 & 2 \cdot t_1 & 3 \cdot t_1^2 & 4 \cdot t_1^3 & 5 \cdot t_1^4 & 6 \cdot t_1^5 & 7 \cdot t_1^6 \\ 0 & 0 & 2 & 6 \cdot t_0 & 12 \cdot t_0^2 & 20 \cdot t_0^3 & 30 \cdot t_0^4 & 42 \cdot t_0^5 \\ 0 & 0 & 2 & 6 \cdot t_1 & 12 \cdot t_1^2 & 20 \cdot t_1^3 & 30 \cdot t_1^4 & 42 \cdot t_1^5 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & 24 \cdot t_0 & 60 \cdot t_0^2 & 120 \cdot t_0^3 & 210 \cdot t_0^4 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & 24 \cdot t_1 & 60 \cdot t_1^2 & 120 \cdot t_1^3 & 210 \cdot t_1^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \\ c_6 \\ c_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_C(t_0) \\ x_C(t_1) \\ \dot{x}_C(t_0) \\ \dot{x}_C(t_1) \\ \ddot{x}_C(t_0) \\ \ddot{x}_C(t_1) \\ \ddot{x}_C(t_0) \\ \ddot{x}_C(t_1) \end{bmatrix}, \tag{9}$$

$\bar{r}_{Ci}$  - координаты центра масс  $i$ -го звена.

$$\bar{r}_{Ci} = \bar{r}_{Oi,i-1} + \bar{r}_{CiOi,i-1}. \tag{7}$$

Положим, что начало системы координат совпадает с шарниром  $O_{2l}$ , тогда

$$\bar{r}_{Oi,i-1} = \sum_{i=3}^7 \bar{r}_{Oi,i-1O_{i-1,i-2}}.$$

$\bar{r}_{Oi,i-1O_{i-1,i-2}} = (l_{i-1} \sin \varphi_{i-1}, l_{i-1} \cos \varphi_{i-1})^T$  - радиус вектор  $i, i-1$  шарнира.  $\bar{r}_{CiOi,i-1} = (l_{Ci} \sin \varphi_i, l_{Ci} \cos \varphi_i)^T$  - радиус-вектор центра масс  $i$ -го звена.

Законы изменения координат центра масс от времени представим в виде

$$x_C(t) = \sum_{i=0}^7 c_i t^i, \quad y_C(t) = \sum_{i=0}^7 d_i t^i. \tag{8}$$

Проекция центра масс  $x_C$  в начальный момент времени  $t=0$  может находиться на интервале  $x_A < x_C < x_D$ , например в окрестности точки В. Однако при  $t=t_1$  проекция должна переместиться в окрестность точки А области  $x_A < x_C < x_B$ . Поэтому необходимо заранее спланировать траекторию движения проекции центра масс на плоскости  $Oxy$ .

Проекция  $y_C$  определяется из условий комфорта расположения человека в экзоскелете и зависит от индивидуальных особенностей. Коэффициенты  $c_i, d_i$  находятся из граничных условий как решение следующих систем алгебраических уравнений:

$$\begin{bmatrix} 1 & t_0 & t_0^2 & t_0^3 & t_0^4 & t_0^5 & t_0^6 & t_0^7 \\ 1 & t_1 & t_1^2 & t_1^3 & t_1^4 & t_1^5 & t_1^6 & t_1^7 \\ 0 & 1 & 2 \cdot t_0 & 3 \cdot t_0^2 & 4 \cdot t_0^3 & 5 \cdot t_0^4 & 6 \cdot t_0^5 & 7 \cdot t_0^6 \\ 0 & 1 & 2 \cdot t_1 & 3 \cdot t_1^2 & 4 \cdot t_1^3 & 5 \cdot t_1^4 & 6 \cdot t_1^5 & 7 \cdot t_1^6 \\ 0 & 0 & 2 & 6 \cdot t_0 & 12 \cdot t_0^2 & 20 \cdot t_0^3 & 30 \cdot t_0^4 & 42 \cdot t_0^5 \\ 0 & 0 & 2 & 6 \cdot t_1 & 12 \cdot t_1^2 & 20 \cdot t_1^3 & 30 \cdot t_1^4 & 42 \cdot t_1^5 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & 24 \cdot t_0 & 60 \cdot t_0^2 & 120 \cdot t_0^3 & 210 \cdot t_0^4 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & 24 \cdot t_1 & 60 \cdot t_1^2 & 120 \cdot t_1^3 & 210 \cdot t_1^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_0 \\ d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \\ d_5 \\ d_6 \\ d_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_c(t_0) \\ y_c(t_1) \\ \dot{y}_c(t_0) \\ \dot{y}_c(t_1) \\ \ddot{y}_c(t_0) \\ \ddot{y}_c(t_1) \\ \ddot{\ddot{y}}_c(t_0) \\ \ddot{\ddot{y}}_c(t_1) \end{bmatrix}, \quad (10)$$

где  $t_0$  – начальный момент времени,  $t_1$  – время движения на втором этапе.

Положение груза определяется вектором  $\bar{S}_{80} = (x_{80} y_{80} \varphi_{80})^T$ ,

где  $x_{80} = \sum_{i=2}^7 l_i \sin \varphi_i$   $y_{80} = \sum_{i=2}^7 l_i \cos \varphi_i$   $\varphi_{80} = 0$ . (11)

Так как груз неподвижен, то

$$x_{80} = OB = const; \quad y_{80} = 0. \quad (12)$$

На рисунке ниже показано, как изменялись задающие координаты в процессе подъема груза.

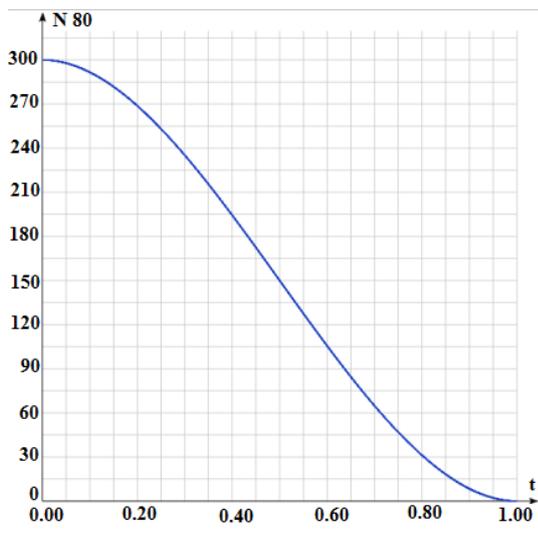


Рис. 2. Заданное изменение нормальной реакции

Задавая желаемый закон изменения реакции  $\bar{R}_{80} = (F_{80}, N_{80})^T$  на интервале  $t_1 < t < t_2$ , найдем законы изменения управляющих моментов  $\bar{M}(t)$ , которые обеспечивают отрыв груза от поверхности. Далее, зададим изменение нормаль-

ной реакции в виде полинома третьего порядка:

$$\bar{R}_{80} = (0, \sum_{i=0}^3 \kappa_i t^i)^T. \quad (13)$$

Коэффициенты полинома нормальной реакции определим из уравнения:

$$\begin{bmatrix} 1 & t_1 & t_1^2 & t_1^3 \\ 1 & t_2 & t_2^2 & t_2^3 \\ 0 & 1 & 2t_1 & 3t_1^2 \\ 0 & 1 & 2t_2 & 3t_2^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \kappa_0 \\ \kappa_1 \\ \kappa_2 \\ \kappa_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_8 g \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (14)$$

## 2. Результаты моделирования

На рис. 3 показаны зависимости моментов, развиваемых электродвигателями в зависимости от веса груза. Изменение моментов носит немонотонный характер. Имеет место колебательность. Максимальные значения момента возникают в приводе, установленном в бедренном шарнире и достигают значений 360 Нм в момент отрыва груза от поверхности.

## Выводы

Показано, что этапу подъема груза предшествуют два этапа движения, связанные с подготовкой экзоскелета к отрыву груза от опорной поверхности и непосредственно отрыв груза. Разработана математическая модель экзоскелета, описывающая движение в различных режимах движения. Сформулированы условия выполнения первого, второго и тре-

твѣго этапов. Решена обратная задача кинематики, позволяющая найти углы поворота звеньев экзоскелета на этапе под-

готовки и предложена методика определения приводных моментов на этапах подъема груза.

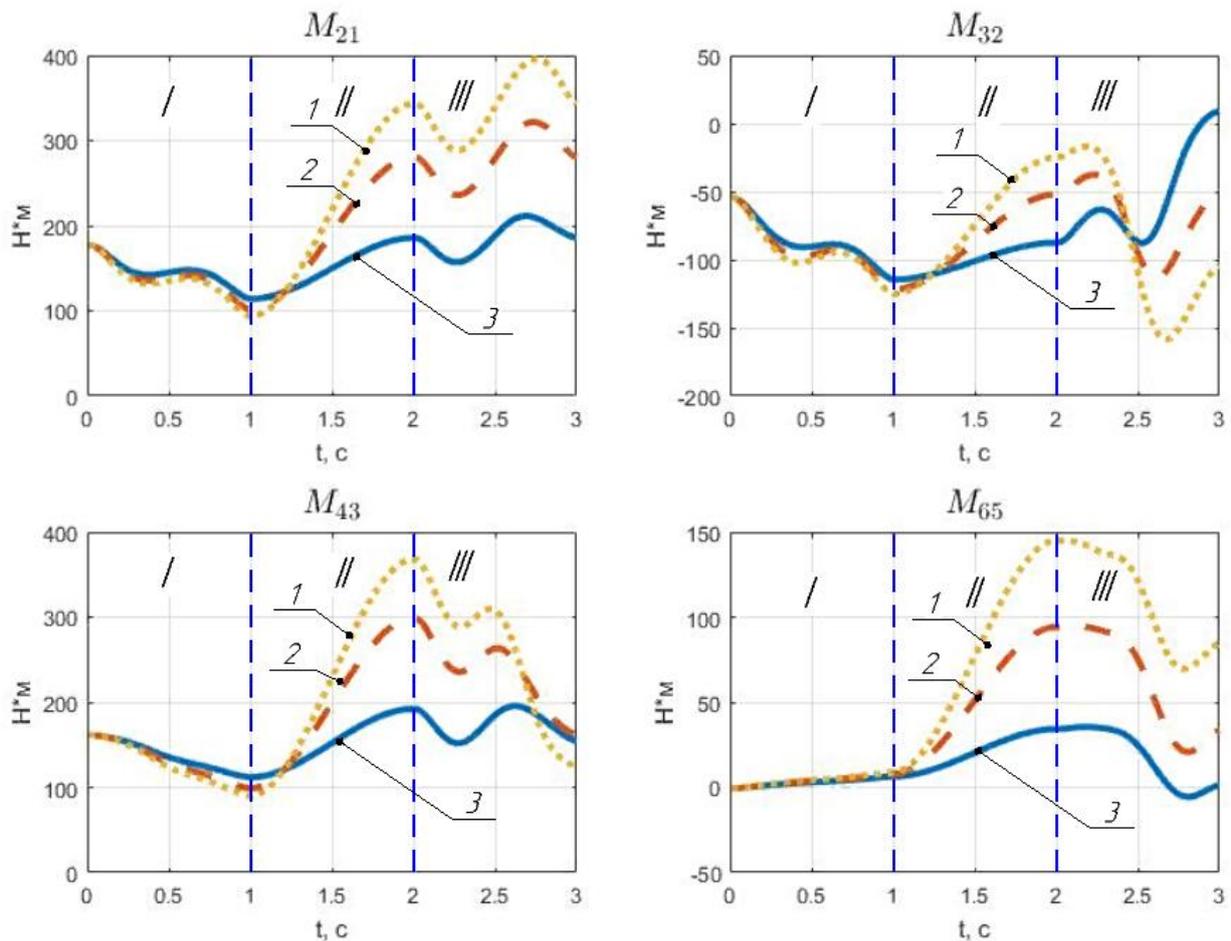


Рис. 3. Графики моментов, создаваемых электроприводами экзоскелета: 1-вес груза 500Н; 2-вес груза 300Н; 3-2-вес груза 100Н

### Благодарности

Данная статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, проект №18-08-00773А «Изучение закономерностей взаимодействия стоп экзоскелета с шероховатой опорной поверхностью».

### Список литературы

1. Jatsun S., Savin S., Yatsun A. and Turlapov R., 2015, December. Adaptive control system for exoskeleton performing sit-to-stand motion. In Mechatronics and its

Applications (ISMA), 2015 10th International Symposium on (pp. 1-6). IEEE.

2. Jatsun S., Savin S. and Yatsun A., 2016, June. Improvement of energy consumption for a lower limb exoskeleton through verticalization time optimization. In Control and Automation (MED), 2016 24th Mediterranean Conference on (pp. 322-326). IEEE.

3. Jatsun S., Savin S., Yatsun A., Motion Control Algorithm for a Lower Limb Exoskeleton Based on Iterative LQR and ZMP method for trajectory generation.

Mechanisms and Machine Science, 2018, vol. 48. C. 305-317.

4. Jatsun S., Savin S., Yatsun A., 2016, October. Study of controlled motion of an exoskeleton performing obstacle avoidance during a single support walking phase. In System Theory, Control and Computing (ICSTCC), 2016 20th International Conference on (pp. 113-118). IEEE.

5. Jatsun S., Savin S., Yatsun A., 2016, October. Comparative analysis of global optimization-based controller tuning methods for an exoskeleton performing push recovery. In System Theory, Control and Computing (ICSTCC), 2016 20th International Conference on (C. 107-112). IEEE.

6. Jatsun S., Yatsun A., Savin S., Postolnyi A., 2016, June. Approach to motion control of an exoskeleton in "verticalization-to-walking" regime utilizing pressure sensors. In Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER), 2016 IEEE International Conference on (C. 452-456). IEEE.

7. Jatsun S., Savin S., Lushnikov B. and Yatsun A., 2016, January. System analysis

of sagittal plane human motion wearing an exoskeleton using marker technology. In ITM Web of Conferences (Vol. 6). EDP Sciences.

8. Yatsun S.F., Savin S.I., Andrey Y. Study of controlled motion of an exoskeleton performing obstacle avoidance during a single support walking phase // 20th International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC 2016 - Joint Conference of SINTES 20, SACCS 16, SIMSIS 20 Proceedings. 2016. C. 113-118.

9. Изучение управляемого движения экзоскелета во фронтальной плоскости в режиме восстановления равновесия / С.Ф. Яцун, С.И. Савин, А.С. Яцун, А.В. Мальчиков // Экстремальная робототехника. 2016. Т. 1. № 1. С. 236-245.

10. Экзоскелеты: анализ конструкций, принципы создания, основы моделирования: монография / С.Ф. Яцун, С.И. Савин, О.В. Емельянова, А.С. Яцун, Р.Н. Турлапов. Курск, 2015. С.179.

*Поступила в редакцию 19.11.18*

---

UDC 621

**S.F. Yatsun**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: teormeh@inbox.ru)

**V.M. Antipov**, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (tel. 7 (4712) 22-26-26)

**A.E. Karlov**, Post-Graduate Student, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94)

## MODELING OF LOADING BY INDUSTRIAL EXOSKELET

*The article deals with the task of lifting a weight by a person using an exoskeleton. It is proposed to consider lifting in the form of three successive stages. A mathematical model of the exoskeleton, describing movement in various modes of movement, has been developed. The inverse task of kinematics was solved, which allows finding the rotation angles of the exoskeleton links at the preparatory stage. The method for determining the driving moments at the stages of lifting the load is proposed.*

**Key words:** exoskeletons; weight lifting; mathematical model; separation from the surface.

**For citation:** Yatsun S.F., Antipov V.M., Karlov A.E. Modeling of Loading by Industrial Exoskeleton. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 6(81), pp. 14-20 (in Russ.).

\*\*\*

## Reference

1. Jatsun S., Savin S., Yatsun A., Turlapov R., 2015, December. Adaptive control system for exoskeleton performing sit-to-stand motion. In *Mechatronics and its Applications (ISMA), 2015 10th International Symposium on* (pp. 1-6). IEEE.
2. Jatsun S., Savin S., Yatsun A., 2016, June. Improvement of energy consumption for a lower limb exoskeleton through verticalization time optimization. In *Control and Automation (MED), 2016 24th Mediterranean Conference on* (pp. 322-326). IEEE.
3. Jatsun S., Savin S., Yatsun A. Motion Control Algorithm for a Lower Limb Exoskeleton Based on Iterative LQR and ZMP method for trajectory generation. *Mechanisms and Machine Science*, 2018, vol. 48, pp. 305-317.
4. Jatsun S., Savin S., Yatsun A., 2016, October. Study of controlled motion of an exoskeleton performing obstacle avoidance during a single support walking phase. In *System Theory, Control and Computing (ICSTCC), 2016 20th International Conference on* (pp. 113-118). IEEE.
5. Jatsun S., Savin S., Yatsun A., 2016, October. Comparative analysis of global optimization-based controller tuning methods for an exoskeleton performing push recovery. In *System Theory, Control and Computing (ICSTCC), 2016 20th International Conference on* (pp. 107-112). IEEE.
6. Jatsun S., Yatsun A., Savin S., Postolnyi A. 2016, June. Approach to motion control of an exoskeleton in “verticalization-to-walking” regime utilizing pressure sensors. In *Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER), 2016 IEEE International Conference on* (pp. 452-456). IEEE.
7. Jatsun S., Savin S., Lushnikov B. and Yatsun A., 2016, January. System analysis of sagittal plane human motion wearing an exoskeleton using marker technology. In *ITM Web of Conferences (Vol. 6)*. EDP Sciences.
8. Yatsun S.F., Savin S.I., Andrey Y. Study of controlled motion of an exoskeleton performing obstacle avoidance during a single support walking phase. 20th International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC 2016 Joint Conference of SINTES 20, SACCS 16, SIMSIS 20 Proceedings, 2016, pp. 113-118.
9. Jacun S.F., Savin S.I., Jacun A.S., Mal'chikov A.V. Izuchenie upravljajemogo dvizhenija jekzoskeleta vo frontal'noj ploskosti v rezhime vosstanovlenija ravnovesija *Jekstremal'naja robototehnika*, 2016, vol. 1, no. 1, pp. 236-245.
10. Jacun S.F., Savin S.I., Emel'janova O.V., Jacun A.S., Turlapov R.N. Jekzoskelety: analiz konstrukcij, principy sozdanija, osnovy modelirovanija. Kursk, 2015, p. 179.

УДК 656

**Е.В. Агеева**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: ageeva-ev@yandex.ru)

**Е.П. Новиков**, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: evgeniy-novikov-92@mail.ru)

**А.С. Осьминина**, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: osminina-as@yandex.ru)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ**

*В настоящее время практически во всей автомобильной технике используются детали, изготовленные из алюминиевых сплавов. Автопромышленность мира потребляет от 4,5 до 5,0 млн. тонн алюминиевых сплавов в год, что составляет примерно 20% мирового производства алюминия. Малая плотность, высокая механическая прочность, устойчивость против коррозии, хорошая обрабатываемость и ряд других свойств послужили причиной применения алюминиевых сплавов для изготовления ответственных деталей двигателя внутреннего сгорания, а также применения алюминиевых порошковых материалов при восстановлении дефектных автомобильных деталей.*

*Целью настоящей работы являлось исследование коррозионной стойкости покрытий, полученных методом газодинамического напыления с применением стандартных и электроэрозионных порошковых материалов.*

*В настоящее время одним из перспективных методов нанесения покрытий является газодинамическое напыление. Одной из проблем использования технологии газодинамического напыления является качество применяемых порошковых материалов. Одними из перспективных и промышленно не применяемых являются порошковые материалы (ПМ), получаемые из токопроводящих отходов электроэрозионным диспергированием. Однако эти материалы не применялись до настоящего времени в технологиях восстановления дефектных деталей автомобилей газодинамическим напылением, в том числе и головок блока цилиндров.*

*Испытания коррозионной стойкости газодинамических покрытий проводили по методике ускоренных испытаний с помощью многоканального потенциостат-гальваностата «Elins P-20X8». Потенциостат – гальваностат P-20X8 внесен в Государственный Реестр Средств измерений Российской Федерации (Госреестр СИ РФ) под регистрационным номером 70702-18. Методика поверки МП 206.1-001-2018, межповерочный интервал составляет 2 года. Также прибор сертифицирован по системе сертификации ГОСТ Р. Сертификат соответствия № РОСС RU.АД44.Н04368.*

*В результате исследования коррозионной стойкости покрытий было экспериментально установлено, что в покрытиях, полученных с применением стандартных ПМ, электролит проникает в покрытие, соответственно покрытие, полученное с применением электроэрозионных ПМ, более устойчиво к коррозии и менее подвержено отслаиванию.*

**Ключевые слова:** покрытие; коррозионная стойкость; электроэрозионное диспергирование; газодинамическое напыление; порошковый материал.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-21-29

**Ссылка для цитирования:** Агеева Е.В., Новиков Е.П., Осьминина А.С. Исследование коррозионной стойкости покрытий, полученных методом газодинамического напыления // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 21-29.

\*\*\*

В настоящее время практически во всей автомобильной технике используются детали, изготовленные из алюминиевых сплавов. Автопромышленность мира потребляет от 4,5 до 5,0 млн. тонн алюминиевых сплавов в год, что составляет примерно 20% мирового производ-

ства алюминия [1]. Малая плотность, высокая механическая прочность, устойчивость против коррозии, хорошая обрабатываемость и ряд других свойств послужили причиной применения алюминиевых сплавов для изготовления ответственных деталей двигателя внутреннего

сгорания, а также применения алюминиевых порошковых материалов при восстановлении дефектных автомобильных деталей.

Среди обширного класса методов нанесения покрытий и модификации поверхности – химических, электрохимических (гальванических), термохимических (цементации, азотирование, цианирование и т. д.), физических (лазерная и электроннолучевая порошковая наплавка) особое место занимают методы порошкового напыления – газопламенный, плазменный, детонационный, а также их разновидности. Огромный практический и научный интерес к этим методам обусловлен их широкими возможностями как по виду напыляемых материалов, созданию гетерогенных и гомогенных материалов покрытий, так и возможности обработки изделий различной геометрии и типоразмера. Следует подчеркнуть, что технические свойства материала покрытия обуславливаются для каждого метода конкретными процессами физико-химического взаимодействия между двухфазным потоком (газ + частицы) и преградой, а также составляющими его фазами. При этом определяющее влияние на свойства оказывают динамические (скорость, кинетическая энергия частиц) и температурные условия формирования покрытий, стабильность этих параметров во времени, равномерность распределения полидисперсных частиц по сечению и т.д. [2-8].

Общим для всех газотермических методов является то, что материал покрытия нагревается и ускоряется в высокотемпературном газовом потоке. На поверхность подложки напыляемый материал поступает в виде мелких расплавленных или пластифицированных частиц,

которые, ударяясь об нее, деформируются и, закрепляясь, образуют сплошное покрытие.

В настоящее время одним из перспективных методов нанесения покрытий является газодинамическое напыление. Одной из проблем использования технологии «газодинамическое напыление» является качество применяемых порошковых материалов. Одними из перспективных и промышленно не применяемых являются порошковые материалы (ПМ), получаемые из токопроводящих отходов электроэрозионным диспергированием. Однако эти материалы не применялись до настоящего времени в технологиях восстановления дефектных деталей автомобилей газодинамическим напылением, в том числе и головок блока цилиндров.

Газодинамический способ нанесения покрытий отличается тем, что покрытие формируется из частиц, ускоренных сверхзвуковым газовым потоком. Поток газа с частицами проходит через сверхзвуковое сопло, при этом нет необходимости подготавливать напыляемую поверхность, в том числе нагревать ее [2-4].

Преимущество технологии нанесения металла на поверхность деталей и изделий газодинамическим методом состоит в том, что оборудование и создаваемые с его помощью покрытия свободны от большинства недостатков, присущих другим способам нанесения металлических покрытий, и обладают рядом технологических, экономических и экологических преимуществ:

- покрытие наносится в воздушной атмосфере при нормальном давлении, при любых значениях температуры и влажности атмосферного воздуха;

- при нанесении покрытий оказывается незначительное тепловое воздействие на покрываемое изделие;

– технология нанесения покрытий экологически безопасна (отсутствуют высокие температуры, опасные газы и излучения, нет химически агрессивных отходов, требующих специальной нейтрализации);

– не всегда требуется подогрев покрываемого изделия;

– при отсутствии на подложках пластовой ржавчины или окалины на металлическом изделии не требуется тщательной подготовки поверхности (при воздействии высокоскоростного потока частиц происходит очистка поверхности от технических загрязнений, масел, красок и активация кристаллической решетки материала изделия);

– поток напыляемых частиц является узконаправленным и имеет небольшое поперечное сечение, это позволяет, в отличие от традиционных газотермических методов напыления, наносить покрытия на локальные (с четкими границами) участки поверхности изделий;

– возможно нанесение многокомпонентных покрытий с переменным содержанием компонентов по толщине.

**Целью** настоящей работы являлось исследование коррозионной стойкости покрытий, полученных методом газодинамического напыления с применением стандартных и электроэрозионных порошковых материалов.

Одним из перспективных способов получения порошковых материалов для восстановления дефектных головок блоков цилиндров автомобилей, практически из любого токопроводящего материала, в том числе и отходов алюминия, является метод электроэрозионного диспергирования, отличающийся относительно невысокими энергетическими затратами и экологической чистотой процесса [9-16].

Для получения алюминиевого порошкового материала методом электроэрозионного диспергирования использовали алюминиевую проволоку ГОСТ 14838-78, предварительно нарезанную по 5-7 см. Проволоку загружали в реактор, заполненный рабочей жидкостью – дистиллированной водой. Процесс проводили при следующих электрических параметрах: емкость разрядных конденсаторов 65 мкФ, напряжение 100 В, частота импульсов 140 Гц. В результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами произошло разрушение материала с образованием дисперсных частиц порошка. Затем порошковый материал использовали для восстановления дефектных ГБЦ методом газодинамического напыления на установке ДИМЕТ – 404.

Чистые металлические и керамические поверхности обычно не требуют специальной подготовки перед напылением. Нанесение покрытий данным способом возможно даже на поверхности, загрязненные маслом и краской. Однако если присутствуют более серьезные загрязнения желательнее проводить пескоструйную обработку поверхности. Пескоструйная обработка поверхности проводилась также на установке ДИМЕТ – 404, в качестве порошкового материала был использован алюминиевый порошок, полученный методом электроэрозионного диспергирования при следующих параметрах установки: емкость разрядных конденсаторов 65 мкФ, напряжение 90 В, частота импульсов 60 Гц. Рентгеноструктурный анализ полученного порошкового материала на рентгеновском дифрактометре Rigaku Ultima IV показал, что основными его фазами является  $Al_2O_3$ .

После очистки поверхности напыление порошкового материала производилось при следующих режимах установки ДИМЕТ – 404:

- давление воздуха (по манометру на МПВ-К на стойке) – 5,0 кгс/см<sup>2</sup>;
- температурный режим №3 (положение переключателя «температурный режим»);
- расход порошка – 0,2 г/с.

В результате чего было получено два образца:

- образец со стандартным порошковым материалом был получен на поверхности образца, вырезанного из головки блока цилиндров автомобильного двигателя ЗМЗ–406, методом газодинамического напыления с использованием стандартного порошкового материала марки А-20-11;

- образец с экспериментальным покрытием был получен на поверхности образца, вырезанного из головки блока цилиндров автомобильного двигателя ЗМЗ–406, методом газодинамического напы-

ление с использованием алюминиевого электроэрозионного порошкового материала, полученного методом электроэрозионного диспергирования при следующих параметрах установки: ёмкость разрядных конденсаторов 65 мкФ, напряжение 100 В, частота импульсов 140 Гц.

После нанесения газодинамических покрытий, образцы подвергались испытаниям на коррозионную стойкость.

Испытания коррозионной стойкости газодинамических покрытий проводили по методике ускоренных испытаний с помощью многоканального потенциостат-гальваностата «Elins P-20X8» (рис. 1). Потенциостат – гальваностат Р-20Х8 внесен в Государственный Реестр Средств измерений Российской Федерации (Госреестр СИ РФ) под регистрационным номером 70702-18. Методика поверки МП 206.1-001-2018, межповерочный интервал составляет 2 года. Также прибор сертифицирован по системе сертификации ГОСТ Р. Сертификат соответствия № РОСС RU.АД44.Н04368.



Рис. 1. Многоканальный потенциостат-гальваностат «Elins P-20X8»

Многоканальный потенциостат-гальваностат «Р-20Х8» состоит из восьми идентичных, полностью независимых каналов – потенциостатов. Каждый канал может выполнять свою, не связанную с другими каналами задачу. Но чаще всего одновременно работа ведется с несколькими однотипными ячейками.

Многоканальный потенциостат «Р-20Х8» идеально подходит для рутинных многодневных испытаний малогабаритных химических источников тока, например циклического заряда – разряда аккумуляторов или суперконденсаторов. Единственный диапазон потенциала каждого канала 6 вольт специально выбран

таким образом, чтобы максимально соответствовать требованиям работы с литиевыми системами без каких-либо ограничений, например, при испытании окна электрохимической стабильности электролита в широком диапазоне потенциалов, или для работы с литиевыми электродами в широком интервале поляризации.

Отличительной особенностью этого прибора является то, что он является именно потенциостатом, а не зарядно-разрядным устройством, то есть этот прибор специально создавался для работы не только с двух, но и с трехэлектродными ячейками с электродом сравнения.

Электрохимические измерения выполнялись с использованием многоканального потенциостата-гальваностата Elins «P-20X8» (Элинс, Россия) с программным обеспечением ES8. В качестве рабочего раствора использовали 3,5% NaCl. В качестве электрода сравнения был использован электрод ЭСр-10101 (Ag/AgCl/KCl), концентрация KCl в потенциалообразующем полуэлементе 4,2 моль/дм<sup>3</sup>. Электрод

сравнения был соединен с рабочим раствором через электролитический ключ (мостик). Площадь исследуемой поверхности составила 1 см<sup>2</sup>. Объем используемого рабочего раствора для каждого образца составлял 1 л. Время измерения составляло 5 ч.

На первом этапе проводили измерение потенциала разомкнутой цепи  $E_{pc}$ . После измерения  $E_{pc}$  с образцов была снята вольт-амперная характеристика по трехэлектродной схеме. В качестве вспомогательного электрода использовали высокочистый графит. Шаг развертки составлял 1 мВ. Далее анализировали полученные анодные поляризационные кривые  $I(E)$ . На следующем этапе полученные поляризационные кривые перестраивали по методу экстраполяции Тафеля и по пересечению аппроксимаций участков графиков определяли потенциал и ток коррозии.

Результаты измерений потенциала разомкнутой цепи материалов  $E_{pc}$  для покрытий приведены на рисунке 2.

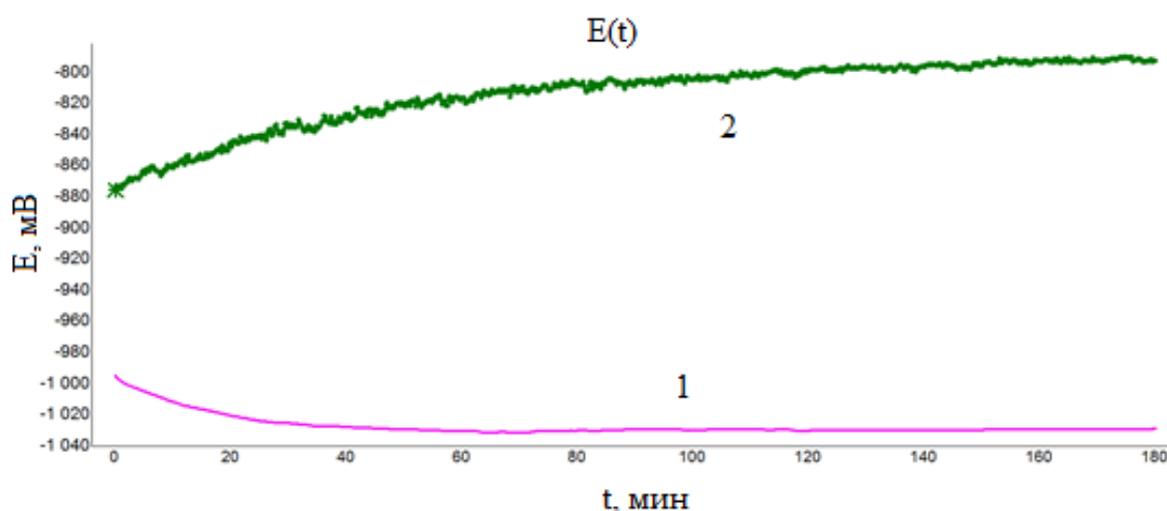


Рис. 2. Потенциал  $E_{pc}$ : 1 – образец со стандартным ПМ; 2 – образец с экспериментальным ПМ

Для образца с экспериментальным ПМ  $E_{pc}$  повышается от – 876,08 до – 793,41 мВ. Такое поведение потенциала означает, что на поверхности материала присутствует слой оксидной пленки до погружения в рабочий раствор, и он модифицируется в результате двух процессов – растворение и восстановление. За счет этого происходят колебания потенциала.

Для образца со стандартным ПМ  $E_{pc}$  снижается от – 994,99 до – 1029,4 мВ. Обычно снижение потенциала означает, что электролит проникает в покрытие. Когда электролит достигает подложки, формируется гальваническая пара и коррозия на границе «покрытие/подложка» может быть ускорена. В результате подложка может подвергнуться влиянию рабочего раствора и покрытие отслаивается. Растворение оксидов ведет к появлению дефектов, пор и трещин, облегчая проникновение электролита, и коррозия подложки происходит посредством атаки ионами хлорида, ведущей к питтинговой коррозии.

#### Выводы

1. Метод газодинамического напыления является наиболее перспективным для восстановления рабочих поверхностей дефектных головок блоков цилиндров, а ПМ, полученный методом электроэрозионного диспергирования при следующих параметрах установки: ёмкость разрядных конденсаторов 65 мкФ, напряжение 90 В, частота импульсов 60 Гц., хорошо очищает поверхность перед напылением.

2. В результате исследования коррозионной стойкости покрытий было экспериментально установлено, что в покрытиях, полученных с применением

стандартных ПМ, электролит проникает в покрытие, соответственно покрытие, полученное с применением электроэрозионных ПМ более устойчиво к коррозии и менее подвержено отслаиванию.

3. Полученные результаты могут быть использованы при реновации деталей машин [17-21].

#### Список литературы

1. Холодное газодинамическое напыление / А.П. Алхимов, С.В. Клинков, В.Ф. Косарев, В.М. Фомин // Теория и практика / под ред. академика В.М. Фомина. М., 2010.
2. Металлополимерные нанокомпозиты (получение, свойства, применение) / Н.З. Ляхов, А.П. Алхимов, В.М. Бузник, В.М. Фомин, Л.И. Игнатьева, А.К. Цветников. Новосибирск, 2005.
3. Каширин А.И., Шкодкин А.В. Метод газодинамического напыления металлических покрытий: развитие и современное состояние // Упрочняющие технологии и покрытия. 2007. № 12 (36). С. 22-33.
4. Кузнецов Ю.А., Добычин А.В. Восстановление деталей машин сверхзвуковым газодинамическим напылением // Мир транспорта и технологических машин. 2009. № 4 (27). С. 7-10.
5. Кузнецов Ю.А., Гончаренко В.В. Исследование характеристик покрытий, полученных холодным газодинамическим напылением // Техника и оборудование для села. 2013. № 12. С. 39-43.
6. Кузнецов Ю.А., Кулаков К.В., Добычин А.В. Теоретическая оценка деформации частиц при сверхзвуковом газодинамическом напылении // Новые материалы и технологии в машиностроении. 2010. № 12. С. 72-75.

7. Логинов П.К., Ретюнский О.Ю. Способы и технологические процессы восстановления изношенных деталей. Томск: Томский политехнический университет, 2010. 217 с.

8. Новиков А.Н., Стратулат М.П., Севостьянов А.Л. Восстановление и упрочнение деталей автомобилей. Орел: ОрелГТУ, 2006. 332 с.

9. Ageeva E. V., Ageev E. V., Karpenko V. Yu. Nanopowder Produced from High-Speed Steel Waste by Electrospark Dispersion in Water // Russian Engineering Research. 2015. Vol. 35, no 3. Pp. 189–190.

10. Агеева Е.В., Агеев Е.В., Воробьев Е.А. Рентгеноспектральный микроанализ порошка, полученного из отходов быстрорежущей стали электроэрозионным диспергированием в керосине // Вестник машиностроения. 2014. № 11. С. 71-72.

11. Латыпов Р.А., Денисов В.А., Агеев Е.В. Исследование и разработка технологии восстановления вала ротора турбокомпрессора электроискровой обработкой электроэрозионными наноматериалами // Современные материалы, техника и технологии. 2016. № 2 (5). С. 141-146.

12. Агеев Е.В., Сальков М.Е. Особенности технологии восстановления шеек коленчатых валов двигателей камаз-740 с использованием твердосплавных порошков // Технология металлов. 2008. № 3. С. 41-46.

13. Получение износостойких порошков из отходов твердых сплавов / Е.В. Агеев, В.Н. Гадалов, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева, Р.А. Латыпов // Заготовительные производства в машиностроении. 2010. № 12. С. 39-44.

14. Разработка установки для получения порошков из токопроводящих материа-

лов / Е.В. Агеев, Б.А. Семенихин, Р.А. Латыпов, Р.В. Бобрышев. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2009. Т. 11. № 5-2. С. 234-237.

15. Агеев Е.В., Семенихин Б.А., Латыпов Р.А. Разработка генератора импульсов установки электроэрозионного диспергирования // Информационно-измерительные, диагностические и управляющие системы. Диагностика-2009: сб. матер. Междунар. науч.-техн. конф. Курск, 2009. С. 144-147.

16. Ageeva E.V., Khor'yakova N.M., Ageev E.V. Morphology of copper powder produced by electrospark dispersion from waste // Russian Engineering Research. 2014. Vol. 34, no. 11. P. 694-696.

17. Агеев Е.В. Теоретические и нормативные основы технической эксплуатации автомобилей. Курск, 2008. 195 с.

18. Агеев Е.В. Технология технического обслуживания и ремонта автомобилей. Курск, 2008. 216 с.

19. Агеев Е.В. Управление производством и материально-техническое обеспечение на автомобильном транспорте. Курск, 2008. 174 с.

20. Агеев Е.В. Особые условия технической эксплуатации и экологическая безопасность автомобилей. Курск, 2008. 212 с.

21. Агеева Е.В., Агеев Е.В. Повышение качества ремонта и восстановления деталей современных транспортных систем // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2011. № 3. С. 503-509.

*Поступила в редакцию 20.11.18*

UDC 656

**E.V. Ageeva**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: ageeva-ev@yandex.ru)

**E.P. Novikov**, Post-Graduate Student, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: evgeniy-novikov-92@mail.ru)

**A.S. Osminina**, Student, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: osminina-as@yandex.ru)

## RESEARCH OF CORROSION RESISTANCE OF COATINGS OBTAINED BY THE METHOD OF GAS DYNAMIC SPUTTER

Currently, almost all automotive vehicles use parts made of aluminum alloys. The world auto industry consumes from 4.5 to 5.0 million tons of aluminum alloys per year, which is about 20% of world aluminum production. Low density, high mechanical strength, corrosion resistance, good machinability and a number of other properties caused the use of aluminum alloys for the manufacture of critical parts of the internal combustion engine, as well as the use of aluminum powder materials in restoring defective automotive parts.

The purpose of this work was to study the corrosion resistance of coatings obtained by the method of gas dynamic spraying using standard and electroerosive powder materials.

Currently, one of the most promising methods for applying coatings is gas dynamic spraying. One of the problems of using the technology of gas-dynamic spraying is the quality of the used powder materials. One of the most promising and industrially not used are powder materials (PM), obtained from conductive waste by electroerosion dispersion. However, these materials have not been used to date in the technology of restoring defective parts of cars by gas-dynamic spraying, including the cylinder heads.

Testing the corrosion resistance of gas-dynamic coatings was carried out according to the method of accelerated testing using the multichannel potentiostat-galvanostat "Elins P-20X8". Potentiostat - galvanostat R-20X8 is entered in the State Register of Measuring Instruments of the Russian Federation (State Register of SI of the Russian Federation) under registration number 70702-18. The method of calibration MP 206.1-001-2018, the verification interval is 2 years. The device is also certified according to the GOST R certification system. Certificate of Conformity No. ROSS RU.AD44.N04368.

As a result of the study of the corrosion resistance of coatings, it was experimentally established that in coatings obtained using standard PM, the electrolyte penetrates the coating, respectively, the coating obtained using EDM PM is more resistant to corrosion and less susceptible to flaking.

**Key words:** coating; corrosion resistance; electroerosion dispersion; gas-dynamic spraying; powder material.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-6-21-29

**For citation:** Ageeva E.V., Novikov E.P., Osminina A.S. Research of Corrosion Resistance of Coatings Obtained by the Method of Gas Dynamic Sputter. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 6(81), pp. 21-29 (in Russ.).

\*\*\*

## Reference

1. Alhimov A.P., Klinkov S.V., Kosarev V.F., Fomin V.M. Holodnoe gazodinamicheskoe napylenie. Teorija i praktika; ed. by Fomin V.M. Moscow, 2010.

2. Ljahov N.Z., Alhimov A.P., Buznik V.M., Fomin V.M., Ignat'eva L.I., Cvetnikov A.K. Metallopolimernye nanokompozity (poluchenie, svojstva, primenenie). Novosibirsk, 2005.

3. Kashirin A.I., Shkodkin A.V. Metod gazodinamicheskogo napylenija metallich-

eskikh pokrytij: razvitie i sovremennoe sostojanie. *Uprochnjajushhie tehnologii i pokrytija*, 2007, no. 12 (36), pp. 22-33.

4. Kuznecov Ju.A., Dobychin A.V. Vosstanovlenie detalej mashin sverhzhvukovym gazodinamicheskim napyleniem. *Mir transporta i tehnologicheskij mashin*, 2009, no. 4 (27), pp. 7-10.

5. Kuznecov Ju.A., Goncharenko V.V. Issledovanie harakteristik pokrytij, poluchennyh holodnym gazodinamicheskim napyleniem. *Tehnika i oborudovanie dlja sela*, 2013, no. 12, pp. 39-43.

6. Kuznecov Ju.A., Kulakov K.V., Dobychin A.V. Teoreticheskaja ocenka deformacii chastic pri sverhzhukovom gazodinamicheskom napylenii. *Novye materialy i tehnologii v mashinostroenii*, 2010, no. 12, pp. 72-75.
7. Loginov P.K., Retjuskij O.Ju. Sposoby i tehnologicheskie processy vosstanovlenija iznoshennyh detalej. Tomsk, 2010, 217 p.
8. Novikov A.N., Stratulat M.P., Sevost'janov A.L. Vosstanovlenie i uprochnenie detalej avtomobilej. Orel, 2006, 332 p.
9. Ageeva E. V., Ageev E. V., Karpenko V. Yu. Nanopowder Produced from High-Speed Steel Waste by Electrospark Dispersion in Water. *Russian Engineering Research*, 2015, vol. 35, no 3, pp. 189–190.
10. Ageeva E.V., Ageev E.V., Vorob'ev E.A. Rentgenospektral'nyj mikroanaliz poroshka, poluchennogo iz othodov bystrorezhushhej stali jelektrojerozionnym dispergировaniem v kerosine. *Vestnik mashinostroenija*, 2014, no. 11, pp. 71-72.
11. Latypov R.A., Denisov V.A., Ageev E.V. Issledovanie i razrabotka tehnologii vosstanovlenija vala rotora turbokompresora jelektroiskrovoj obrabotkoj jelektrojerozionnymi nanomaterialami. *Sovremennye materialy, tehnika i tehnologii*, 2016, no. 2 (5), pp. 141-146.
12. Ageev E.V., Sal'kov M.E. Osobnosti tehnologii vosstanovlenija sheek kolchatyh valov dvigatelej KAMAZ-740 s ispol'zovaniem tverdosplavnih poroshkov. *Tehnologija metallov*, 2008, no. 3, pp. 41-46.
13. Ageev E.V., Gadalov V.N., Semehin B.A., Ageeva E.V., Latypov R.A. Poluchenie iznosostojkih poroshkov iz othodov tverdyh splavov. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii*, 2010, no. 12, pp. 39-44.
14. Ageev E.V., Semehin B.A., Latypov R.A., Bobryshev R.V. Razrabotka ustanovki dlja poluchenija poroshkov iz tokoprovodjashhих materialov. *Izvestija Samar'skogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, 2009, vol. 11, no. 5-2, pp. 234-237.
15. Ageev E.V., Semehin B.A., Latypov R.A. Razrabotka generatora impul'sov ustanovki jelektrojerozionnogo dispergированиja. Informacionno-izmeritel'nye, diagnosticheskie i upravljajushhie sistemy. Diagnostika-2009. Sb. mater. Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. Kursk, 2009, pp. 144-147.
16. Ageeva E.V., Khor'yakova N.M., Ageev E.V. Morphology of copper powder produced by electrospark dispersion from waste. *Russian Engineering Research*, 2014, vol. 34, no. 11, pp. 694-696.
17. Ageev E.V. Teoreticheskie i normativnye osnovy tehnicheskoi jekspluatacii avtomobilej. Kursk, 2008, 195 p.
18. Ageev E.V. Tehnologija tehnicheskogo obsluzhivanija i remonta avtomobilej. Kursk, 2008, 216 p.
19. Ageev E.V. Upravlenie proizvodstvom i material'no-tehnicheskoe obespechenie na avtomobil'nom transporte. Kursk, 2008, 174 p.
20. Ageev E.V. Osobyje uslovija tehnicheskoi jekspluatacii i jekologicheskaja bezopasnost' avtomobilej. Kursk, 2008, 212 p.
21. Ageeva E.V., Ageev E.V. Povyszenie kachestva remonta i vosstanovlenija detalej sovremennyh transportnyh sistem. *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki*, 2011, no. 3, pp. 503-509.

**С.Г. Новиков**, канд. техн. наук, доцент, ЧОУ ВО «Региональный открытый социальный институт» (Россия, 305009, Курск, ул. Маяковского, 85) (e-mail: novikov.s.46@mail.ru)

**В.Н. Куценко**, канд. техн. наук, доцент, ЧОУ ВО «Региональный открытый социальный институт» (Россия, 305009, Курск, ул. Маяковского, 85) (e-mail: kucenko.v@bk.ru)

**В.В. Малыхин**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: mtio@kurskstu.ru)

**Р.В. Глаголев**, канд. с.-х. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Курский государственный университет» (Россия, 305000, Курск, ул. Радищева, 33) (e-mail: r.glagolev1974@yandex.ru)

## **ГИДРОИМПУЛЬСНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СВЕРХВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ СТРУИ ЖИДКОСТИ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЕГО РАБОТЫ**

*Неустановившиеся процессы в рабочей жидкости приводят к получению как гидравлических импульсов, так и гидравлических ударов, энергия которых в настоящее время используется в ряде устройств и машин. В гидравлических вибрационных прессах, гидравлических молотах, гидроударниках и гидроперфораторах создание значительных импульсов является необходимым для обеспечения их основных функций. Гидравлический удар применяется в гидротаранах для подъема воды и разрушения пород, бурильных агрегатах – для проходки скважин с помощью продольного ударного импульса, гидроимпульсных установках – для очистки излишков материалов (ликвидов), вызывающих нарушения формы и точности деталей.*

*Разработаны устройства – мультипликаторы для получения сверхвысоких давлений рабочей жидкости, обеспечивающие ее импульсную подачу, причем характеристики импульсов и периоды их действия регулируются. В конструкциях гидроимпульсных устройств обеспечивается создание высокоскоростной импульсной струи, что приводит к увеличению эффективности и производительности установок. Проведены аналитические исследования по определению некоторых основных геометрических и конструктивных соотношений, динамических параметров устройств, использующих гидродинамический эффект для создания мощных гидроимпульсов.*

*Математические выкладки, вытекающие из формулы Жуковского Н.Е. для происхождения гидроудара и уравнения Бернулли неустановившегося движения рабочей жидкости, позволили сделать ряд практических выводов и наметить направление исследований, нуждающихся в продолжении, в том числе с применением компьютерной техники в силу сложности получаемых зависимостей и невозможности их преобразования к достаточно простому виду.*

*Приведены методика исследований и пример расчета. Намечены пути совершенствования устройств. Необходима постановка экспериментов для оценки теоретических результатов и поведения жидкости в условиях ее сверхвысоких давлений.*

**Ключевые слова:** жидкость; струя; гидроимпульс; гидроудар; устройство; сверх высокое давление; скорость.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-30-39

**Ссылка для цитирования:** Гидроимпульсное устройство для получения сверхвысоких давлений струи жидкости и теоретический анализ его работы / С.Г. Новиков, В.Н. Куценко, В.В. Малыхин, Р.В. Глаголев // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 30-39.

\*\*\*

### **Введение**

Неустановившиеся процессы в рабочей жидкости приводят к получению как гидравлических импульсов, так и гидравлических ударов, энергия которых в настоящее время используется в ряде устройств и машин. В гидравлических

вибрационных прессах, гидравлических молотах, гидроударниках и гидроперфораторах создание значительных импульсов является необходимым для обеспечения их основных функций. Для повышения величины импульса и КПД широкое применение получили различные аккумуляторы (механические, маховичные,

пружинные, гидравлические, пневмогидравлические), при этом значительный положительный эффект был достигнут использованием пневмогидравлических аккумуляторов [1,2]. Гидравлический удар применяется в гидротаранах для подъема воды и разрушения пород, бурильных агрегатах – для проходки скважин с помощью продольного ударного импульса, гидроимпульсных установках – для гидронапорной промывки отверстий и очистки излишков материалов (ликвидов), вызывающих нарушения формы и точности деталей [3]. Использование импульсов высоких и сверхвысоких давлений в процессе бурения и механической обработки металлов позволяет осуществить новые технологические процессы и ускорить существующие во много раз [4-7].

**Цель:** разработка устройств-мультипликаторов для получения сверхвысоких давлений рабочей жидкости. Они обеспечивают импульсную подачу жидкости, причем характеристики импульсов регулируются [8-9].

### Материалы

На рис. 1 показана схема одного из предложенных гидроимпульсных устройств, которая соответствует текущему моменту заполнения пневмогидравлического аккумулятора рабочей жидкостью, когда давление в аккумуляторе не достигло величины, необходимой для начала работы устройства.

По достижении определенной величины давления в аккумуляторе 4 золотник клапана 23 под действием давления рабочей жидкости, находящейся в гидроканале 25, перемещается налево, замыкая контакты 24. Вследствие этого ток подается на электромагнит 28, золотник клапана 13 ключа гидравлических импульсов

(КГИ) занимает крайнее верхнее положение, перекрывает напорную гидролинию 14 и открывает дополнительный трубопровод 29, через который рабочая жидкость начинает поступать в гидробак 11. Повышается давление в гидроканалах 31, плунжеры 33 и 34 перемещаются налево.

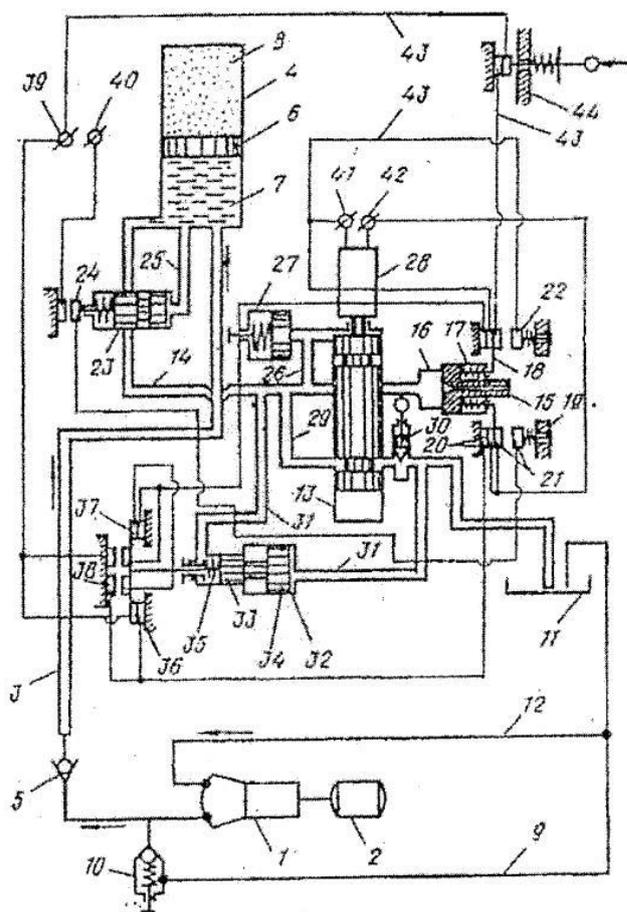


Рис.1. Устройство-мультипликатор давления

Замыкаются и размыкаются соответствующие контакты, сердечник электромагнита 28 вместе с золотником клапана 13 перемещается вниз, перекрывая вначале трубопровод 29, а затем открывая гидролинию 14. Это зависит от отношения длины средней части золотника к расстоянию между входными каналами в клапан 13 трубопроводов 14 и 29 с учетом скорости движения золотника вниз; чем больше это отношение, тем позже откро-

ется гидролиния 14 по отношению к моменту перекрытия трубопровода 29. Чтобы варьировать этим отношением нужно или регулировать длину средней части золотника, или ставить сменный золотник с другой длиной средней части, предусматривая для этого необходимую первоначальную длину корпуса клапана 13. Предусмотрено увеличение скорости золотника за счет давления рабочей жидкости через гидроканал 26. В начале, в момент перекрытия трубопровода 29, создается гидравлический удар, формирование и перемещение волны которого зависит от интервала времени между моментами перекрытия трубопроводов 29 и 14. Затем, с момента открытия гидролинии 14, гидроударная волна достигает сопла 15, перемещая его направо, при этом размыкая и замыкая систему контактов. Когда наступит установившееся движение жидкости к соплу 15, золотник клапана 13 перемещается вверх, открывая трубопровод 29 и закрывая гидролинию 14. Гидросистема и электросистема устройства находятся в исходном положении, гидроимпульсное устройство подготовлено к совершению следующего повторяющегося цикла.

Пик давления рабочей жидкости перед соплом 15 и наибольшая скорость струи через сопло 15 соответствует крайнему нижнему положению золотника клапана 13 и смещению сопла 15 до предела направо. Если гидроударное давление возрастает до нежелательного уровня, срабатывает компенсатор 27 (пружинного, пневматического или другого типа), чем погашается дальнейшее возрастание давления.

Период времени между импульсами регулируется посредством дросселя 30 с

управляемой иглой. Чем больше гидравлическое сопротивление дросселя 30, тем больше продолжительность разгона рабочей жидкости в трубопроводе 29 до скорости, необходимой для создания гидроударной волны. Выбором величины этой скорости и соответствующего ей давления одновременно определяются и величина гидроударного давления, и продолжительность гидроимпульса. Принципиально возможно не только фиксированное регулирование дросселя 30, но и регулирование по любому закону для целенаправленного модулирования гидроимпульсов и изменения периода их возникновения. Полное открытие иглы дросселя 30 обеспечивает замыкание контактов 38 при минимально возможном периоде импульсов. Тем самым обеспечивается максимально возможная «скорострельность» устройства, производительность и КПД.

Конструкция может найти применение в машиностроении, горнодобывающей промышленности, строительстве и других отраслях [10-15].

Проведено аналитическое исследование по определению некоторых основных геометрических и конструктивных соотношений, динамических параметров гидроимпульсного устройства, использующего гидродинамический эффект для создания мощных гидроимпульсов.

**Методика** исследования имеет вид:

1. Подбираем геометрические и конструктивные размеры золотника клапана 13 КГИ, позволяющие реализовать поставленную задачу – последовательно перекрыть дополнительный трубопровод 29 и напорную гидролинию 14 и при этом гарантировать возникновение гидроударной волны.

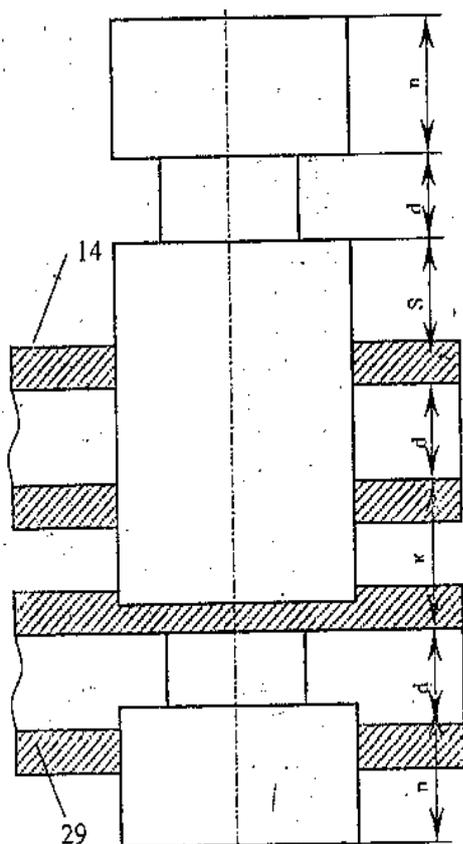


Рис.2. Золотник клапана 13 КГИ

Средняя часть золотника (или запорно-регулирующая часть) должна иметь длину, превышающую расстояние между напорной гидролинией 14 и дополнительным трубопроводом 29, включая величину диаметров последних. Это видно из рис.2, на котором длина средней части равна  $S+d+k > k+2d$  или  $S > d$ . При этом условии в момент, когда дополнительный трубопровод 29 будет перекрыт, напорная гидролиния 14 будет еще закрыта. При дальнейшем движении золотника в сторону дополнительного трубопровода 29 напорная гидролиния 14 некоторое время остается закрытой.

Каково должно быть отношение  $S/d$ , чтобы возникла гидроударная волна? Вопрос не решается чисто геометрически. Однако выразить необходимые соотношения параметров с учетом динамики

гидроударной волны можно вполне определено. Для этого оценим величину  $S$ .

По формуле Жуковского Н.Е. для происхождения гидроудара необходимо, чтобы время перекрытия дополнительного трубопровода  $29$   $t < 2l/C$ , где  $l$  – длина напорной гидролинии 14 (от клапана 13 до аккумулятора 4);  $C$  – скорость распространения ударной волны.

Отсюда следует, что скорость перемещения золотника должна быть:  $v > d/t$ .

Условие полного гидравлического удара состоит в том, что напорная гидролиния 14 должна быть закрыта в течение времени, большем чем необходимо для возврата ударной волны к золотнику, откуда вытекает неравенство  $S/v > 2l/C$  или  $S > 2l v /C$ . Следовательно, имеем систему двух неравенств:

$$\begin{cases} S > d; \\ S > 2l v /C. \end{cases}$$

Приравняв правые части этих неравенств, получим минимальную длину напорной гидролинии  $l_{\min}$ , которая обеспечивает гидроудар при некоторых известных величинах  $d$ ,  $C$  и  $v$ , т.е.  $l_{\min} = d C/2 v$ .

Дополнительное условие создания гидроудара можно выразить так:

$$l > l_{\min}.$$

Рассмотрим пример.

Пусть  $d = 15 \text{ мм} = 0,015 \text{ м}$ ,

$C = 1200 \text{ м/с}$ ,  $v = 7 \text{ м/с}$ , тогда

$$l > dC/2v; l > 0,015 \cdot 1200 / 2 \cdot 7 = 1,286 \text{ (м)}.$$

Примем  $l = 1,5 \text{ м}$ .

В этом случае  $S > 2l v /C$ ;

$$S > 2 \cdot 1,5 \cdot 7 / 1200 = 0,0175 \text{ (м)} = 17,5 \text{ (мм)}.$$

Примем по расчету в примере  $S = 20 \text{ мм}$  и зададим конструктивно:

$n = 20 \text{ мм}$ ,  $k = 25 \text{ мм}$ . Видно, что размеры золотника вполне соответствуют промышленной установке. От длины  $l$  и

размера  $S$  зависят производительность и КПД устройства. Вопрос оптимизации размеров не решен и нуждается в исследовании.

2. Определяем время разгона рабочей жидкости в напорной гидролинии 14 и дополнительном трубопроводе 29 до скорости установившегося движения.

Составим уравнение Бернулли неустановившегося движения рабочей жидкости, для чего выберем сечение 1-1 на трубопроводе 14 в месте его соединения с аккумулятором 4, а сечение 2-2 - в конце дополнительного трубопровода 29, в месте погружения его в гидробак 11:

$$\begin{aligned} P_a/\gamma + v_0^2/2g = \\ P_{am}/\gamma + v^2/2g + \Sigma \xi v^2/2g + \\ + (\lambda l/d)v^2/2g + (l/g)dv/dt, \end{aligned}$$

где  $P_a$ ,  $P_{am}$  – давления соответственно в аккумуляторе 4 и атмосфере;  $\gamma$  - удельный вес жидкости;  $\xi$  - коэффициент, учитывающий местные сопротивления;  $\lambda l/d$  – коэффициент, учитывающий сопротивление по длине трубопроводов ( $l$  и  $d$  соответственно длина и диаметр трубопроводов 14, 29);  $v_0$  – скорость при вытекании рабочей жидкости из аккумулятора 4, принятой постоянной;  $v$  – переменная скорость рабочей жидкости при выходе из дополнительного трубопровода 29.

Обозначая  $\Sigma \xi + \lambda l/d = \xi_c$  и  $(P_a - P_{am}) / \gamma + v_0^2 / 2g = Na$ , перепишем уравнение в виде:

$$Na = (1 + \xi_c) v^2/2g + (l/g) dv/dt. \quad (1)$$

По достижении скорости установившегося движения  $v \approx v_c$  ( $dv/dt=0$ ) из (1) получим:

$$v_c = \sqrt{2g Na / (1 + \xi_c)}. \quad (2)$$

Решая уравнение (1) с учетом (2), получим:

$$dt = [2l / (1 + \xi_c)] dv / (v_c^2 - v^2),$$

$$t = [l / v_c (1 + \xi_c)] \ln (v_c + v) / (v_c - v). \quad (3)$$

Введем обозначение  $\tau = l / v_c (1 + \xi_c)$ .

С учетом выражения (2) получим

$$\tau = l / \sqrt{2g Na (1 + \xi_c)}.$$

Перепишем уравнение (3) в виде

$$t = \tau \ln (v_c + v) / (v_c - v). \quad (4)$$

Преобразуя выражение (4), имеем

$$v = h_c v_c, \text{ где } h_c = th(t / 2\tau).$$

Из выражения (4) видно, что не может быть  $v = v_c$ , поэтому примем  $v = 0,99 v_c$  [3]. Тогда  $t = \tau \ln 199$ , или  $t = 5,3 \tau$ .

Учитывая выражение для

$$\tau, t = 5,3l / \sqrt{2g Na (1 + \xi_c)}. \quad (5)$$

3. Находим время разгона рабочей жидкости до срабатывания контрольного электрогидравлического клапана 32.

Время разгона рабочей жидкости, по сравнению с полученным выражением (5), может быть уменьшено до требуемой величины с помощью контрольного клапана 32; соответственно уменьшается и скорость разгона рабочей жидкости и максимальное ударное давление при срабатывании клапана 13.

Выберем сечения 1-1 и 2-2 соответственно слева от клапана 32 – в местах подхода к клапану трубопроводов 31. Составим уравнение неустановившегося движения рабочей жидкости на участках трубопроводов 31, 14 и 29 между этими сечениями:

$$\begin{aligned} P_1/\gamma + v_1^2/2g = P_2/\gamma + v^2/2g + \\ + \xi_n v^2/2g + \lambda (l_{1-2}/d) dv/dt, \end{aligned}$$

в этом уравнении обозначено:

$$\xi_n = \xi_{кл} + \xi_{др} + \lambda l_{1-2} / d,$$

где  $\xi_n$  – коэффициент суммарного сопротивления на участке между сечениями 1-

1 и 2-2;  $\xi_{кл}$  – коэффициент местного сопротивления в клапане 32;  $\xi_{др}$  – коэффициент сопротивления дросселя 30;  $l_{1-2}$  – длина введенных в уравнение участков трубопроводов 14, 29, 31.

Для упрощения полученного уравнения будем считать достаточно малой длину  $l_{1-2}$ , а также то, что сопротивления в трубопроводе 29 между дросселем 30 и гидробаком 11 малы по сравнению с другими учтенными сопротивлениями. В упрощенном виде уравнение переписывается так:

$$(P_1 - P_2) / \gamma = \xi_n v_c^2 / 2g, \quad (6)$$

при этом учтено, что  $v \approx v_1$ ,  $l_{1-2} \approx 0$  и  $\xi_n = \xi_{кл} + \xi_{др}$ .

Выше было показано, что  $v = v_c \operatorname{th}(t/2\tau)$ , поэтому уравнение (6) выразим следующим образом:

$$(P_1 - P_2) / \gamma = (\xi_n v_c^2 / 2g) \operatorname{th}(t/2\tau). \quad (7)$$

Запишем уравнение равновесия плунжеров 33 и 34 клапана 32 без учета их инерционности:

$$F_n + P_1 (\pi d_M^2 / 4) = P_2 (\pi d_6^2 / 4), \quad (8)$$

где  $F_n$  – сила упругости пружины 35;  $d_M$ ,  $d_6$  – диаметры плунжеров 33 и 34 соответственно слева и справа на схеме устройства.

Разделим уравнение (8) на  $S_M = \pi d_M^2 / 4$  и на  $P_2$ , тогда после несложных преобразований получим:

$$P_1 / P_2 = (d_6 / d_M)^2 - F_n / (S_M P_2). \quad (9)$$

С учетом выражения (9) уравнение (7) запишем следующим образом:

$$\begin{aligned} P_2 / \gamma &= [(d_6 / d_M)^2 - 1] - F_n / (S_M \gamma) = \\ &= (\xi_n v_c^2 / 2g) \operatorname{th}^2(t/2\tau). \end{aligned}$$

Из последнего уравнения получим время  $t$ :

$$t = 2\tau \operatorname{Arctg} \sqrt{2g \{P_2 [(d_6 / d_M)^2 - 1] - F_n / S_M\} / \gamma \xi_n v_c^2}.$$

Введем обозначения:

$$\delta = (\pi d_6^2 / 4) / (\pi d_M^2 / 4) = (d_6 / d_M)^2,$$

$$P_n = F_n / (\pi d_6^2 / 4) = F_n / \delta S_M,$$

а выражение для  $t$  перепишем в виде

$$t = 2\tau \operatorname{Arctg} \sqrt{2g [P_2(\delta - 1) - P_n \delta] / \gamma \xi_n v_c^2}. \quad (10)$$

Для первоначального анализа рассмотрим в правой части выражения (10) первый член степенного ряда, то есть получим:

$$t = (1 / \text{Ha}) \sqrt{2 [P_2(\delta - 1) - P_n \delta] / \gamma \xi_n g}. \quad (11)$$

Имея в виду, что  $\delta > 1$ , условие существования правой части выражения (11)

$$P_2(\delta - 1) - P_n \delta > 0, \text{ откуда}$$

$$P_2 > P_n \delta / (\delta - 1). \quad (12)$$

В первом приближении можно предположить, что  $P_2 = P_{AT} = 1 \text{ кГ/см}^2 = 0,1 \text{ МПа}$ , в этом случае из неравенства (12) можно найти минимальное значение давления  $P_n$  пружины 35, являющееся нижним пределом работоспособности устройства:  $P_{n \min} = P_{am} (\delta - 1) / \delta$ .

Задавшись величиной  $\delta$ , можно конструктивно выбрать диаметры плунжеров 33 и 34.

## Результаты

Таким образом, в разработанном устройстве реализуются следующие эффекты:

1. Повышается скорость импульсной струи за счет гидродинамического эффекта и получения сверхвысокого давления у сопла, что приводит к резкому увеличению давления на преграду и к увеличению производительности установки.

2. Процесс работы устройства автоматизирован, при этом обеспечен контроль и модулирование гидроимпульса

по форме и периоду повторяемости. Следовательно, установка может быть приспособлена к разным условиям эксплуатации с получением максимальной эффективности.

3. Устройство принципиально может быть использовано как мультипликатор давления.

### Обсуждение

Конструкция может найти применение в машиностроении, горнодобывающей промышленности, строительстве и других отраслях [10-15].

Из зависимости (11) следует также, что в устройстве не полностью использованы возможности для регулировки параметров гидроимпульса в связи с малой величиной  $P_2$ ; имеются резервы улучшения работы устройства.

### Выводы

1. Гидроимпульсная техника создает новые, в том числе и неизвестные пока, возможности для совершенствования различных машин и технологических процессов. Использование гидравлического удара представляет реальную возможность для получения мощных, в том числе регулируемых импульсов.

2. Математическое исследование гидроимпульсного устройства позволило определить некоторые основные геометрические и конструктивные соотношения и сделать ряд практических выводов о параметрах гидравлических импульсов, возможности их регулирования, а также о путях совершенствования устройства. Это направление исследований нуждается в продолжении, в том числе с применением компьютерной техники в силу сложности получаемых зависимостей и

невозможности их преобразования к достаточно простому виду.

3. Необходима постановка экспериментов для оценки теоретических результатов и поведения жидкости в условиях сверхвысоких давлений.

### Список литературы

1. Гидропневмоударные системы исполнительных органов горных и строительно-дорожных машин / А.С. Сагинов, А. Ф. Кичигин, А. Г. Лазуткин, И. А. Янцен. М.: Машиностроение, 1980. 200 с.

2. Могендович Е. М. Гидравлические импульсные системы. Л.: Машиностроение, 1977. 216 с.

3. Овсепян В.М. Гидравлический таран и таранные установки. М.: Машиностроение, 1968. 173с.

4. Чёрный А.Г., Козлов В.А., Новиков С.Г. Современные методы снятия заусенцев с мелких деталей // Техническое перевооружение и модернизация производства на базе комплексной автоматизации и вычислительной техники: тез. докл. областной научно-технической конференции. Курск, 1986. С. 25-28.

5. Лосев А.В. Термоимпульсная отделка кромок и поверхностей сложнопрофильных деталей // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве: тр. 5-й Международной научно-технической конференции. Харьков, 2002. С. 323-326.

6. Лосев А.В., Коростелева А.А. Очистка поверхностей и кромок деталей // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве: тр. 5-й Международной научно-технической конференции. Харьков, 2002. С. 327-330.

7. Козлов Ю.С., Кузнецов О.К., Тельнов А.Ф. Очистка изделий в маши-

ностроении. М.: Машиностроение, 1983. 262 с.

8. А.С. 1141228, МКИ F15B21/12; B05B12/06. Гидроимпульсное устройство. Черный А.Г., Новиков С.Г., Матвеев В.В. (СССР) 3606332/24-24; заявл. 20.06.83; опубл. 23.02.85. Бюл. №7.

9. А.С. 1211488, МКИ F15 B21/12. Гидроимпульсное устройство. Черный А.Г., Новиков С.Г., Матвеев В.В., Козлов В.А. (СССР) 3683624/25-06; заявл. 02.01.84; опубл. 15.02.86. Бюл. №6 5с.

10. Новиков С.Г., Малыхин В.В., Соколов В.С. Использование гидродинамического эффекта для получения сверхвысоких давлений и больших скоростей струи жидкости // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве: труды 7-й Международной научно-технической конференции. Харьков: ХНПК «ФЭД», 2003. С. 220-222.

11. Новиков С.Г., Малыхин В.В., Соколов В.С. Теоретический анализ работы гидроимпульсного устройства // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве: труды 7-й Международной научно-технической конференции. Харьков: ХНПК «ФЭД», 2003. С. 222-226.

12. Новиков С.Г., Глаголев Р.В., Зайцев С.А. Некоторые аспекты применения гидродинамического эффекта получения сверхвысоких давлений и больших скоростей струи жидкости // Актуальные проблемы общества, науки и образова-

ния: современное состояние и перспективы развития: материалы III международной научно-практической конференции / под ред. Ю.В. Фурмана, Т.Б. Белозеровой, Е.П. Непочатых. М.: Изд-во «Перо», 2016. С. 283-287.

13. Оптимальная эффективность работы пневмогидравлического аккумулятора при использовании гидроимпульсного устройства / С.Г. Новиков, Р.В. Глаголев, В.В. Малыхин, В.Н. Куценко // Современная наука: проблемы, инновации, решения: материалы III Международной научно-практической конференции / отв. за вып. Р.В. Глаголев; Курский институт социального образования (филиал) РГСУ, Курск: ООО «Учитель», 2015. С. 193-197.

14. Исследование токсичности автобуса с рекуператором энергии и гидроимпульсным устройством / С.Г. Новиков, В.В. Малыхин, В.Н. Куценко, Р.В. Глаголев // Провинциальные научные записки. 2018. №1. С. 105-110.

15. Исследование топливной экономичности автобуса с рекуператором энергии и гидроимпульсным устройством / С.Г. Новиков, В.В. Малыхин, В.Н. Куценко, Р.В. Глаголев // Теоретические и прикладные проблемы современной науки и образования: материалы Международной научно-практической конференции. Курск, 2018. С. 241-252.

*Поступила в редакцию 22.11.18*

UDC 621.004.5

**S.G. Novikov**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Private Society "Regional Open Social Institute" (Russia, 305009, Kursk, Mayakovskogo str., 85) (e-mail: novikov.s.46@mail.ru)

**V. N. Kutsenko**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Private Society "Regional Open Social Institute" (Russia, 305009, Kursk, Mayakovskogo str., 85) (e-mail: kucenko.v@bk.ru)

**V.V. Malykhin**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: mtio@kurskstu.ru)

**R.W. Glagolev**, Candidate of Agriculture Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Russia, 305000, Kursk, Radishcheva str., 33) (e-mail: r.glagolev1974@yandex.ru)

### **HYDRO-PULSE DEVICE FOR OBTAINING HIGH-PRESSURE LIQUID-CURRENT PRESSURES AND THE THEORETICAL ANALYSIS OF ITS WORK**

*Unsteady processes in the working fluid lead to the receipt of both hydraulic impulses and hydraulic shocks, the energy of which is currently used in a number of devices and machines. In hydraulic vibratory presses, hydraulic hammers, hammers and hydraulic perforators, the creation of significant pulses is necessary to ensure their basic functions. Hydraulic impact is used in hydrotarans for water lifting and rock destruction, drilling units for drilling wells with the help of a longitudinal shock impulse, hydroimpulse plants for cleaning surplus materials (liquidations), causing irregularities in the shape and precision of the parts.*

*Devices - multipliers for obtaining ultra-high pressures of the working fluid, providing its impulse delivery, are provided, and the characteristics of the pulses and the periods of their action are adjustable. In the construction of hydroimpulse devices, a high-speed pulse jet is created, which leads to an increase in the efficiency and productivity of the units. Analytical studies have been carried out to determine some of the main geometric and structural relationships, the dynamic parameters of devices that use the hydrodynamic effect to create powerful hydroimpuls.*

*Mathematical calculations, which follow from the formula of Zhukovsky N.E. for the origin of the hydraulic shock and the Bernoulli equation for the unsteady motion of the working fluid, made it possible to draw a number of practical conclusions and outline the direction of research that needed to be continued, including the use of computer technology because of the complexity of the dependencies obtained and the impossibility of transforming them to a fairly simple form.*

*The research methodology and the calculation example are presented. The ways of improving devices are outlined. It is necessary to set up experiments to evaluate the theoretical results and the behavior of the liquid under conditions of its ultrahigh pressures.*

**Key words:** liquid; jet; hydroimpulse; hydraulic shock; device; super high pressure; speed.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-30-39

**For citation:** Novikov S.G., Kutsenko V. N., Malykhin V.V., Glagolev R.W. Hydro-Pulse Device for Obtaining High-Pressure Liquid-Current Pressures and the Theoretical Analysis of Its Work. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 6(81), pp. 30-39 (in Russ.).

\*\*\*

#### **Reference**

1. Saginov A.S., Kichigin A. F., Lazutkin A. G., Jancen I. A. *Gidropnevmou-darnye sistemy ispolnitel'nyh organov gornyh i stroitel'no-dorozhnyh mashin.* Moscow, Mashinostroenie Publ., 1980, 200 p.

2. Mogendovich E. M. *Gidravlicheskie impul'snye sistemy.* Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1977, 216 p.

3. Ovsepjan V.M. *Gidravlicheskiy taran i tarannye ustanovki.* Moscow, Mashinostroenie Publ., 1968, 173 p.

4. Chjornyj A.G., Kozlov V.A., Novikov S.G. *Sovremennye metody snjatija zausencev s melkih detalej. Tehnicheskoe perevoorzhenie i modernizacija proizvodstva na baze kompleksnoj avtomatizacii i vychislitel'noj tehniki.* Tez. dokl. oblastnoj

nauchno-tehnicheskoy konferencii. Kursk, 1986, pp. 25-28.

5. Losev A.V. Termoimpul'snaja otdelka kromok i poverhnostej slozhnoprofil'nyh detalej. Fizicheskie i komp'yuternye tehnologii v narodnom hozjajstve. Tr.5-j Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. Har'kov, 2002, p. 323-326.

6. Losev A.V., Korosteleva A.A. Ochistka poverhnostej i kromok detalej. Fizicheskie i komp'yuternye tehnologii v narodnom hozjajstve. Tr.5-j Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. Har'kov, 2002, pp. 327-330.

7. Kozlov Ju.S., Kuznecov O.K., Tel'nov A.F. Ochistka izdelij v mashinostroenii. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1983, 262 p.

8. A.S. 1141228, MKI F15V21/12; V05V12/06. Gidroimpul'snoe ustrojstvo. Chernyj A.G., Novikov S.G., Matvenko V.V. (SSSR). 3606332/24-24; zajavl. 20.06.83; opubl. 23.02.85. Bjul. №7.

9. A.S. 1211488, MKI F15 V21/12. Gidroimpul'snoe ustrojstvo. Chernyj A.G., Novikov S.G., Matvenko V.V., Kozlov V.A. (SSSR). 3683624/25-06; zajavl. 02.01.84; opubl. 15.02.86. Bjul. no.6 – 5 p.

10. Novikov S.G., Malyhin V.V., Sokolov V.S. Ispol'zovanie gidrodinamicheskogo jeffekta dlja poluchenija sverhвысоких давлений i bol'shih skorostej strui zhidkosti. Fizicheskie i komp'yuternye tehnologii v narodnom hozjajstve. Trudy 7-j Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. Har'kov, 2003, pp. 220-222.

11. Novikov S.G., Malyhin V.V., Sokolov V.S. Teoreticheskij analiz raboty

gidroimpul'snogo ustrojstva. Fizicheskie i komp'yuternye tehnologii v narodnom hozjajstve. Trudy 7-j Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. Har'kov, 2003, pp. 222-226.

12. Novikov S.G., Glagolev R.V., Zajcev S.A. Nekotorye aspekty primenenija gidrodinamicheskogo jeffekta poluchenija sverhвысоких давлений i bol'shih skorostej strui zhidkosti. Aktual'nye problemy obshhestva, nauki i obrazovanija: sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitija. Materialy III mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii; ed. by Furman Ju.V., Belozerova T.B., Nepochatyh E.P. Moscow, Pero Publ., 2016, p. 283-287.

13. Novikov S.G., Glagolev R.V., Malyhin V.V., Kucenko V.N. Optimal'naja jeffektivnost' raboty pnevmogidravlicheskogo akkumuljatora pri ispol'zovanii gidroimpul'snogo ustrojstva. Sovremennaja nauka: problemy, innovacii, reshenija. Materialy III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Kursk, 2015, pp. 193-197.

14. Novikov S.G., Malyhin V.V., Kucenko V.N., Glagolev R.V. Issledovanie toksichnosti avtobusa s rekuperatorom jenerгии i gidroimpul'snym ustrojstvom. Provincial'nye nauchnye zapiski. 2018, no.1, pp. 105-110.

15. Novikov S.G., Malyhin V.V., Kucenko V.N., Glagolev R.V. Issledovanie toplivnoj jekonomichnosti avtobusa s rekuperatorom jenerгии i gidroimpul'snym ustrojstvom. Teoreticheskie i prikladnye problemy sovremennoj nauki i obrazovanija. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Kursk, 2018, pp. 241-252.

УДК 338.23

**В.В. Бредихин**, д-р экон. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: bvv001@mail.ru)

**А.А. Акульшин**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: aculchinaa@mail.ru)

**К.И. Лось**, магистрант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: lodokris@gmail.com)

## **ЭКСПЕРТИЗА ОТКАЗОВ ПОСТРОЕННОЙ ВОДОЗАБОРНОЙ СКВАЖИНЫ**

*В данной статье рассмотрен пример судебной строительно-технической экспертизы построенной водозаборной скважины в одном из поселков. Был проведен анализ отказов, возникших при эксплуатации вновь построенной водозаборной скважины. При сдаче объектов в эксплуатацию часто возникают спорные моменты по качеству и срокам выполненных работ. Если эти вопросы не удастся решить по взаимному согласию сторон, то их решение переносится в суды, которые и назначают судебные строительно-технические экспертизы. Как род судебных инженерно-технических экспертиз, судебная строительно-техническая экспертиза играет важную, а иногда и решающую роль в судопроизводстве, в том числе при рассмотрении в судах общей юрисдикции и арбитражных судах гражданских споров.*

*Судебная строительно-техническая экспертиза была назначена на основании постановления арбитражного суда, на новую построенную водозаборную скважину в одном из поселков Курского района. Причиной назначения экспертизы является то, что данная скважина перестала обеспечивать запланированный дебит, а добываемая вода – отвечать требованиям по качеству.*

*К снижению технологических характеристик скважины и ухудшению качества добываемой воды привели две основные причины: неверный выбор насосного агрегата и отсутствие на сети водонапорной башни. Выбранный насос ЭЦВ 6-16-140 создавал избыточное давление в сети, которое затем снижалось установленной автоматикой (частотным преобразователем), а соответственно понижался дебит скважины. Применение частотных преобразователей не всегда полезно, и даже может оказывать вредное влияние на работу системы водоснабжения.*

*Помимо снижения дебита, работа частотного преобразователя послужила причиной сгорания нескольких насосов, работавших в недопустимых режимах. К замутнению добываемой воды привела работа частотного преобразователя, установленного на насосный агрегат с завышенными характеристиками, возникла неравномерность потребления воды из скважины.*

**Ключевые слова:** судебная строительно-техническая экспертиза; водозаборная скважина; дебит; проект; насосный агрегат; фильтр; геолого-технические изыскания.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-40-50

**Ссылка для цитирования:** Бредихин В.В., Акульшин А.А., Лось К.И. Экспертиза отказов построенной водозаборной скважины // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 40-50.

\*\*\*

Строительно-монтажные работы выполняются на основании проектно-сметной документации. При сдаче объектов в эксплуатацию часто возникают спорные моменты по качеству и срокам выполненных работ. Если эти вопросы не удастся решить по взаимному согласию сторон, то их решение переносится в суды, которые и назначают судебные строительно-технические экспертизы.

Судебная строительно-техническая экспертиза относится к классу инженерно-технических экспертиз. Данный вид экспертиз наиболее точно и достоверно может установить качество строительных и ремонтных работ, выполненных на всех этапах строительства, их соответствие строительным нормам и условиям договора, а также качество и количество использованных строительных материалов

и соответствие их объемов, указанных в проектно-сметной документации. Как род судебных инженерно-технических экспертиз, судебная строительно-техническая экспертиза играет важную, а иногда и решающую роль в судопроизводстве, в том числе при рассмотрении в судах общей юрисдикции и арбитражных судах гражданских споров. Обусловлено это необходимостью использования специальных знаний в области строительства для решения самого широкого круга проблем, возникающих на различных стадиях судебного процесса.

Проведение судебной строительно-технической экспертизы рассмотрим на примере сооружения водозаборной скважины в поселке с потребностью воды в 360 м<sup>3</sup>/сутки. Судебная строительно-техническая экспертиза была назначена на основании постановления арбитражного суда, на новую построенную водозаборную скважину в одном из поселков Курского района. Экспертиза назначается в связи с тем, что данная скважина перестала обеспечивать запланированный дебит, а добываемая вода – отвечать требованиям по качеству.

Территория района находится в пределах восточного склона Средне-Русской возвышенности в Курской области и в орографическом отношении представляет собой всхолмленную равнину, изрезанную овражно-балочной системой и речной сетью.

Основной рекой района является Олым. Река протекает с юга на север и за пределами участка впадает в реку Сосну, относящуюся к бассейну реки Дон.

Питание реки Олым происходит за счет подземного и паводкового стока. Средний расход реки за многолетний пе-

риод составляет 6,14 м<sup>3</sup>/с при модуле стока 3,32 л/с км<sup>2</sup>.

В настоящее время водоснабжение поселка осуществляется от трех водозаборных скважин.

Скважина №1 была пробурена в 2001 году на глубину 150 м и на момент начала работы обеспечивала дебит 10 м<sup>3</sup>/ч, и к данному моменту скважина обеспечивает дебит 6 м<sup>3</sup>/ч.

Скважина №2 была пробурена в 2012 году на глубину 140 м и обеспечивает рабочий дебит 10 м<sup>3</sup>/ч.

Скважина №3 была пробурена в 2013 году на глубину 140 м, она обеспечивает рабочий дебит 10 м<sup>3</sup>/ч.

Сбор забираемой из скважин воды осуществляется в водонапорной башне высотой 20 м и объемом бака 25 м<sup>3</sup>. На момент ввода новой скважины в эксплуатацию данная водонапорная башня не функционировала.

В связи с недостаточным обеспечением рассматриваемого поселка необходимым количеством воды, Администрацией поселения было принято решение по устройству новой скважины. Проект водоснабжения с устройством такой скважины в поселке выполнялся на основании письма-заказа главы администрации данного поселка. Согласно проекту новая скважина должна быть пробурена на глубину 150 м (рис.1) и обеспечивать рабочий дебит в 15 м<sup>3</sup>/ч, который обеспечит потребность поселка в воде.

Исходными для проектирования служили следующие данные:

- Абсолютная отметка поверхности участка – 175,2 м.
- Назначение скважины – водозаборная, разведочно-эксплуатационная.
- Заявленная потребность в воде – 360 м<sup>3</sup>/сутки.

- Дебит скважины – 15 м<sup>3</sup>/сутки.
- Геологический разрез в точке заложения скважины с учетом ее глубины (см. рис.1).
- Коэффициент фильтрации усредненный 2,5 м/сутки.
- Глубина залегания водоносных комплексов 60,0 и 115,0 м.
- Глубина залегания пьезометрических уровней подземных вод комплексов 11,0 и 40,0 м.
- Водоносные комплексы напорные – 49,0 м и 75,0 м.
- Допустимое понижение уровня, равное величине напора - 49,0 м и 75,0 м.
- Тип бурения скважины – вращательно-роторный.
- Тип фильтра – сетчатый, диаметром 219 мм, интервалом установки 63,0-85,0 м и 120,0-140,0 м. Сетка фильтровая из нержавеющей проволоки №48.

Согласно проекту предусматривалось выполнение следующих работ:

- бурение разведочно-эксплуатационной скважины на водоносный комплекс;
- постройка подземной насосной станции над скважиной;
- реконструкция старой водопроводной сети;
- производство ликвидационного тампонажа скважины, вышедшей из строя;
- выполнение ограждения и благоустройства зон санитарной охраны 1-го пояса строгого режима;
- обеспечение энергоснабжения объекта.

Методика, технология и условия бурения скважины обусловлены конструкцией скважины, ее конечным диаметром, дебитом и установкой водоподъемного

оборудования, долговечностью работы скважины и ее надежностью.

К эксплуатации был принят водоносный саргаевско-семилукский карбонатный комплекс для глубины скважины на 85 метрах и старооскольско-тиманский терригенный комплекс на 150 метрах. С целью определения и уточнения интервалов залегания пород, определения степени трещиноватости, водообильности известняков и песчаников верхнего и среднего девона были проведены геофизические исследования в скважине.

Согласно данным исследования, обводненная мощность отложений известняков и песчаников составила 25 м.

Конструкция скважины была выбрана исходя из гидрогеологического разреза и должна была обеспечивать дебит до 15 м<sup>3</sup>/ч, с учетом надежности проходки и ее строительства, предотвращения от поверхностного загрязнения вод, исключения ее пескования при работе и долговечности службы.

Устройство скважины (рис.2), согласно проекту, осуществлялось бурением вращательно-роторным способом с применением буровой установки типа 1БА-15В. Бурение скважины проводилось:

- в интервале 0,0-17,0 м трехшарочным долотом диаметром 600 мм подкондуктор диаметром 530 мм с применением промывочной жидкости – глинистого раствора нормальных параметров, также кондуктор должен был быть зацементирован на всю высоту для предотвращения обрушения устья скважины;
- в интервале 17,0-62,0 м диаметром 490 мм под обсадные тубы диаметром 426 мм;
- до первой проектной глубины в 85,0 м трехшарочным долотом диаметром 349,2 мм;

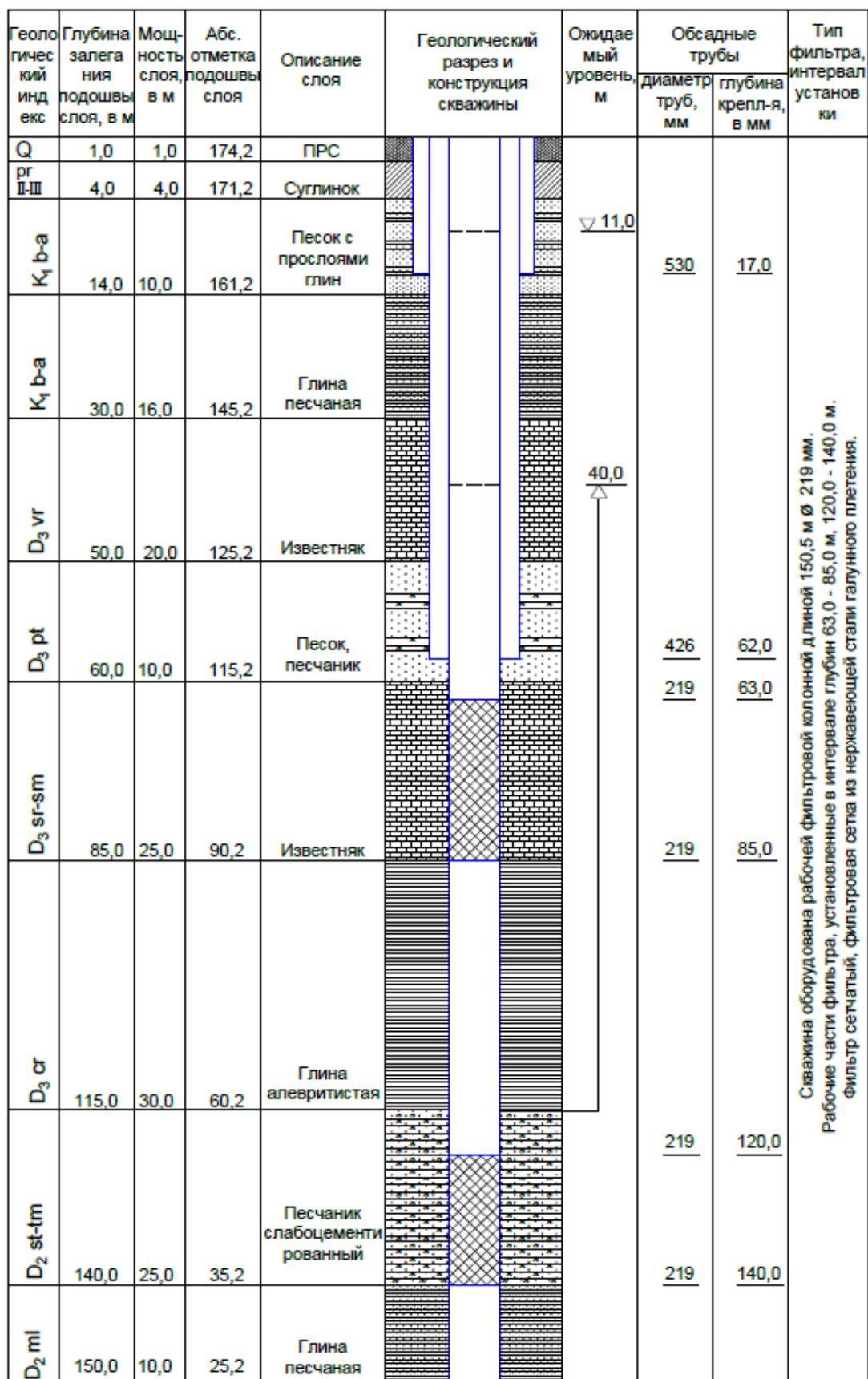


Рис.1. Проектный геолого-технический разрез

– до второй проектной глубины в 150,0 м трехшарочным долотом диаметром 349,2 мм. Циркуляционная система при бурении скважины составляет порядка  $15 \text{ м}^3$ , для обогащения этого объема воды потребуется  $0,45 \text{ м}^3$  гипана для получения трехпроцентного водо-гипаного раствора. Удельный вес гипана (ВПРГ) –  $1,39 \text{ г/см}^3$ , его вес составляет:  $0,45 \times 1,39 = 0,625 \text{ т}$ .

После проведения геофизических исследований, согласно проекту, скважина оборудовалась фильтрами диаметром 219 мм на сплошной колонне труб одноименного диаметра с выводом их на поверхность. Согласно гидрогеологическому заключению, водоносные горизонты представлены плотными трещиноватыми породами. По утверждению проектировщиков, в данном случае фильтры играют роль, исключаящую обрушение стенок скважины, интервалы залегания водоносных горизонтов перекрываются почти полностью. Строительную часть насосной станции составляла подземная камера, устраиваемая над устьем скважины.

Так как строительная часть по сооружению насосной станции на характеристики скважины не влияет, то остановимся более подробно на технологической части.

Для забора воды из скважины и обеспечения требуемого ее напора проектом была предусмотрена установка насосного агрегата марки ЭЦВ 6-16-140, который имеет следующие характеристики: подачу воды  $16 \text{ м}^3/\text{ч}$  и напор в 140 м. На наш взгляд, данный насос имеет завышенную характеристику по производительности и напору. Величину требуемого напора необходимо рассчитать, учитывая наличие водонапорной башни на сети водопровода, как сумму статической и динамической составляющей. Статическая составляющая определяется как раз-

ность отметок максимального уровня воды в водонапорной башне, равного 197,5 м, и отметки динамического уровня, равной 119,2 м, что составляет 81,3 м.

Динамическая составляющая является постоянной величиной и определяется по таблицам исходя из дебита скважины и диаметра напорных труб ( $16 \text{ м}^3/\text{час}$  и 76 мм), она равна 4,41 м на 100 м трубопровода. Исходя из этого, для нашей длины в 78,3 м динамическая составляющая равна 3,45 м.

Учитывая вышесказанное, мы можем рассчитать требуемый напор как сумму статической и динамической составляющих 81,8 м.

Дебит скважины, по утверждению истца, стал менее  $10 \text{ м}^3/\text{час}$ , что значительно ниже установленного проектом  $15-16 \text{ м}^3/\text{час}$ . По нашему мнению, это напрямую связано с завышенным напором, создаваемым насосом и установленным на насосе частотным преобразователем. Частотный преобразователь установлен на водоподъемном трубопроводе насосного агрегата, в помещении подземной насосной скважины.

Учитывая выход из строя водонапорной башни, становится ясно, что погружной насос работает напрямую в сеть. Частотный преобразователь был настроен на давление в сети 25 м.в.с. (0,25 МПа).

В течении суток, насосный агрегат, в зависимости от водоотвода из сети, создавал давление в водонапорной сети 96,5-116,5 м.в.с. Соответственно создаваемое давление превышало давление срабатывания частотного преобразователя на 71,5-91,5 м.в.с. Для выравнивания давления до установленного предела, частотный преобразователь (рис.3) уменьшает обороты насосного агрегата. При снижении оборотов происходит снижение не только напора, но и расхода насоса.

Геологический индекс	Глубина залегания подошвы слоя, в м	Мощность слоя, в м	Абс. отметка подошвы слоя	Описание слоя	Геологический разрез и конструкция скважины	Ожидаемый уровень, м	Обсадные трубы		Тип фильтра, интервал установки				
							диаметр труб, мм	глубина крепления, в мм					
rg IV	1,0	1,0	174,2	ПРС		$\nabla 6,0$	<u>530</u>	<u>18,0</u>	Скважина оборудована рабочей фильтровой колонной длиной 150,5 м и $\varnothing$ 219 мм. Рабочие части фильтра, установленные в интервале глубин 71,0 - 76,0 м, 79,0 - 84,0 м, 133,0 - 148,0 м. Фильтр сетчатый, фильтровая сетка из нержавеющей стали галунного плетения.				
	6,0	5,0	169,2	Песок желто-бурый, р/з									
K <sub>1</sub> br-a	21,3	15,3	153,9	Алевриты, песок, глины темно-серые до черного									
	27,5	6,2	147,7	Глина черная, песчанистая									
D <sub>3</sub> vr	28,0	0,5	147,2	Известняк									
	35,1	7,1	140,1	Глины с известняком									
	41,6	6,5	133,6	Песчаник серый, р/з									
	51,1	9,5	124,1	Глина с прослоями песчаника									
D <sub>3</sub> pt	56,2	5,1	119,0	Песок м/з, серый						36,6			
D <sub>3</sub> sr-sm	70,6	14,4	104,6	Глина плотная с прослоями мергеля						426		<u>64,0</u>	
										219		<u>71,0</u>	
D <sub>3</sub> cr	75,5	4,9	99,7	Доломиты (известняки)						219		<u>76,0</u>	
										219		<u>79,0</u>	
										219		<u>84,0</u>	
										219			
D <sub>2</sub> st-tm	113,9	38,4	61,3	Глина с прослоями известняка									
D <sub>2</sub> ml	140,0	26,1	35,2	Глины песчанистые, алевриты	219		<u>133,0</u>						
	150,0	10,0	25,2	Песок т/з, глинистый	219		<u>148,0</u>						

Рис.2. Фактический геолого-технический разрез

Помимо выбора марки насосного агрегата, неправильно было выбрано и место его установки. По проекту, насос был установлен ниже верхнего фильтра скважины, что является недопустимым решением. Необходимо учитывать, что, если расход насоса превышает дебит скважины, то динамический уровень опускается до всаса насоса, обнажая при этом водоносный пласт, состоящий из мергеля.

К тому же использование насоса с более мощными характеристиками повлияло на дебит скважины, который стал снижаться из-за повышенной кольматации фильтра и прифилтровой зоны. В определенный момент дебит снизился настолько, что перестал осуществлять охлаждение насоса и последний перегрелся и вышел из строя.

Для работы насосного агрегата к нему проектом дополнительно предусмотрена установка автоматики, в состав которой входил частотный преобразователь. Данный прибор служит для изменения параметров работы насоса.

Применение частотных преобразователей не всегда полезно, но даже может оказывать вредное влияние на работу системы водоснабжения (как в рассматриваемом нами примере).

Частотный преобразователь, установленный на насосном агрегате, работает по следующему принципу [8]. Величина максимального давления в водопроводной сети определяется при помощи реле давления, устанавливаемого на напорной колонне перед гидробаком или водонапорной башней. В последнем случае максимальная величина давления зависит от установившегося уровня воды в водонапорной башне. Если уровень воды

в водонапорной башне превышает максимальную величину (установленную при настройке реле давления частотного преобразователя), происходит снижение оборотов двигателя и следовательно характеристик насоса.

Когда уровень воды достигает минимального установленного значения, реле давления через преобразователь включает электродвигатель насосного агрегата. Частотный преобразователь позволяет плавно «разбегаться» электродвигателю, что снижает гидравлические нагрузки на систему водоснабжения. При достижении требуемого значения насосный агрегат выходит на стабильное давление и поддерживает его при дальнейшей работе. При увеличении водопотребления в населенном пункте частотный преобразователь увеличивает обороты и подачу насосного агрегата.

Сотрудниками фирмы «ВОДОМЕР-МАСТЕР» представлены графические зависимости изменения напора и подачи насосного агрегата при использовании частотного преобразователя (см. рис. 3) [7].

Можно заметить, что максимальная производительность насоса достигается при использовании мощности на 100% и составляет 8,0 м<sup>3</sup>/ч. Понижение числа оборотов двигателя частотным преобразователем приводит к снижению мощности насоса. Мы видим, что при снижении мощности до 70% максимальная производительность насоса составит только 6,0 м<sup>3</sup>/ч, а следовательно потерю 25% от требуемой подачи насоса. При снижении мощности до 50%, максимальная производительность насоса составит только 4,3 м<sup>3</sup>/ч, что соответствует потерям расхода около 46%.

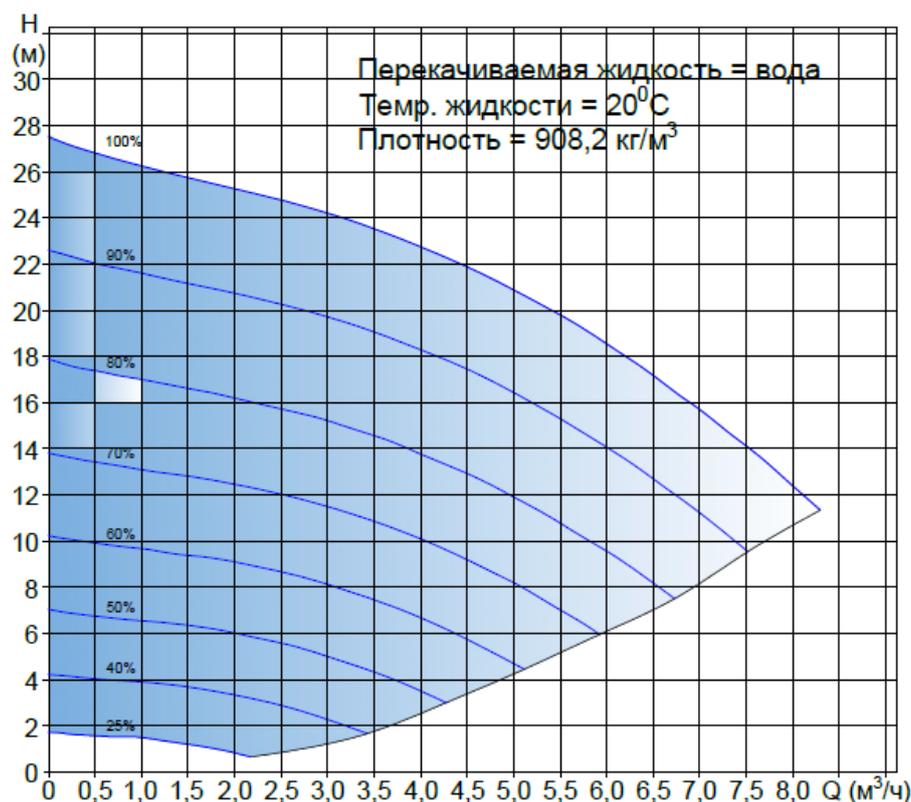


Рис. 3. Гидравлические характеристики регулируемого насоса

Вышеизложенное объясняет, что причиной снижения дебита скважины ниже требуемого является использование частотного преобразователя в системе водоснабжения при завышенных характеристиках насосного агрегата и отсутствии водопроводной башни в системе водоснабжения.

Было установлено, что в процессе эксплуатации скважины в течение 10 месяцев сторело 2 насосных агрегата. Рассмотрим вероятные причины их выхода из строя.

Согласно требованиям по эксплуатации [1] насосного агрегата с частотным преобразователем, чтобы насос имел достаточное охлаждение во время работы, подача им воды из скважины не должна снижаться более чем на 20 % (т.е. не ниже 12,8 м³/ч для насоса ЭЦВ 6-16-140). А так как снижение дебита значительно превышает указанную величину, это по-

казывает то, что охлаждение двигателей насосных агрегатов было аномальным.

Усачев А.П. и Гордейчик А.В. в своей работе [3] отмечают, что при минимальном водоотборе потребителями из системы хозяйственно-питьевого назначения производительность насоса с частотным преобразователем снижается ниже допустимого уровня. При этом насосный агрегат работает в зоне 1, не допустимой к эксплуатации (рис.4). В этом режиме наблюдалось появление вибрации и шума, а так же перегрев и сгорание электродвигателей (из за плохого их охлаждения).

Переходим к последнему вопросу – ухудшению качества добываемой из скважины воды. По утверждению эксплуатирующей организации, по прошествии 10 месяцев эксплуатации из скважины стала откачивается мутная вода.

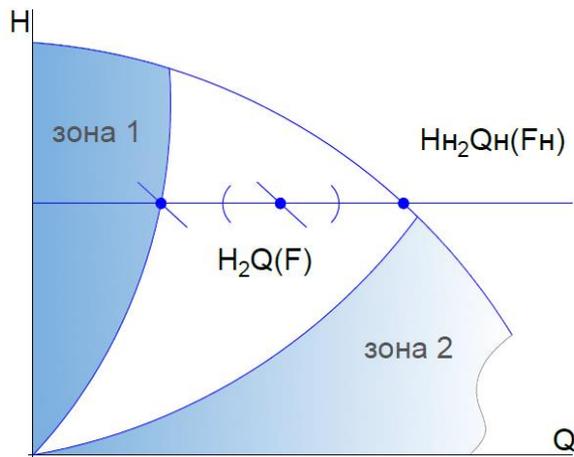


Рис.4. Работа насосного агрегата с частотным преобразователем в системе, замкнутой по давлению

Анализ документов, представленных на экспертизу Арбитражным судом, показал следующее.

В ответе на запрос в АО «Ливнынасос» сообщается, что производительность насоса ЭЦВ6-16-140 при динамическом уровне 56 м и давлении в оголовке скважины 2 МПа составит  $25,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ , а при нулевом давлении на уровне оголовка  $27,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Опыт эксплуатации ранее сооруженных скважин в этом населенном пункте показывает, что установившийся дебит на всех скважинах составил около  $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Попытка увеличения дебита на скважине №1 до  $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ , привела к пескованию скважины и снижению производительности до  $6 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Из представленных документов видно, что эксплуатирующей организацией неоднократно производились прокачки скважины на рельеф местности и заполнение водопроводной сети при дебите более  $27,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Такой расход воды в 2,5 раза превышает фактический дебит.

В своем каталоге [1] производитель насосов марки ЭЦВ пишет: установка и эксплуатация насоса с завышенными параметрами (подача и напор) может при-

вести к «увеличению мутности и объема песка в перекачиваемой воде, засорению фильтра скважины, ухудшению качества воды, перегреву электродвигателя». «Превышение подачей насоса дебита скважины, может привести к работе в режиме «сухого хода», что вызывает, так же перегрев электродвигателя и снижению динамического уровня до всасывающих отверстий насоса.

В этом случае из-за резкого снижения динамического уровня насос оголяется, начинает захватывать воздух, переходит на работу в кавитационном режиме, что приводит к быстрому разрушению насосного агрегата. Скважина при этом работает с перегрузками, идет выброс песка.

Многочисленное снижение динамического уровня до такой отметки и оголение верхнего водоносного пласта, состоящего из меловых пород, приводит к разрушению последних. В данном случае в водоносный пласт поступает воздух, который при выключении насоса вытесняется водой, что приводит к интенсивному разрушению мергеля и значительному повышению мутности воды.

## Выводы

К снижению технологических характеристик скважины и ухудшению качества добываемой воды привели две основные причины: неверный выбор насосного агрегата и отсутствие на сети водонапорной башни. Выбранный насос ЭЦВ 6-16-140 создавал избыточное давление в сети, которое затем снижалось установленной автоматикой (частотным преобразователем), а соответственно понижался дебит скважины.

Помимо снижения дебита, работа частотного преобразователя послужила причиной сгорания нескольких насосов, работавших в недопустимых режимах.

К замутнению добываемой воды привела работа частотного преобразователя, установленного на насосный агрегат с завышенными характеристиками, возникла неравномерность потребления воды из скважины. То есть, многочисленные циклы увлажнения и осушения пластов мергеля привели к его разрушению, попаданию в воду и засорению фильтров. Использование насосных агрегатов с завышенными характеристиками приводит к резкому снижению динамического уровня и переходу на работу в кавитационном режиме и к быстрому разрушению насосного агрегата. Скважина при этом работает с перегрузками, идёт выброс песка.

#### Список литературы

1. Ливнынасос, Каталог ЭЦВ «Скважные насосы». 2018. URL: [http:// livny.nt-rt.ru/images/showcase/ catalog.pdf](http://livny.nt-rt.ru/images/showcase/catalog.pdf) (21.09.2018).
2. Рекомендации по использованию преобразователей частоты с насосами ЭЦВ. 2018. URL: <http://ливнынасос.рф/rekomendatsii-po-ispolzovaniyu-preobrazovateley-chastoty-s-nasosami-etsv> (21.09 2018).
3. Усачев А.П., Гордейчик А.В. Особенности частотного регулирования насоса с учетом рабочего диапазона. 2014. URL: [http://sibmech.ru/netcat\\_files/](http://sibmech.ru/netcat_files/)

[userfiles/doc/electroprivod/Osobennosti\\_chastotnogo\\_regulirovaniya\\_nasosami\\_s\\_uchetom\\_rabocheho\\_diapazona\\_Usachev\\_Ekvatek\\_2014](http://userfiles/doc/electroprivod/Osobennosti_chastotnogo_regulirovaniya_nasosami_s_uchetom_rabocheho_diapazona_Usachev_Ekvatek_2014).

4. Щербаков В.И., Акульшин А.А. Водозаборные сооружения из подземных источников. Saarbrücken, 2017, 184 с.

5. Переверзева В.С., Акульшин А.А. Определение оптимальных размеров конструктивных параметров проволочных фильтров // Математика и ее приложения в современной науке и практике: сб. науч. статей. Курск, 2014. С. 90-94.

6. Акульшин А.А., Бредихина Н.В., Переверзева В.С. Сооружение и эксплуатация скважинных водозаборов Курской области. Курск, 2017. 123 с.

7. Акульшин А.А., Бредихина Н.В., Переверзева В.С. Частотное регулирование насосов 2018. URL: [https:// vodomaster.ru/articles/chastotnoe-regulirovanie-nasosov](https://vodomaster.ru/articles/chastotnoe-regulirovanie-nasosov) (21.09.2018).

8. Рекомендации по выбору частотных преобразователей для насосов водоснабжения и отопления. 2018. URL: <http://byreniepro.ru/nasosy/chastotniy-preobrazovatel.html/> (21.09.2018).

*Поступила в редакцию 30.10.18*

UDC 338.23

**V. V. Bredikhin**, Doctor of Economic Sciences, Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: [bvv001@mail.ru](mailto:bvv001@mail.ru))

**A.A. Akulshin**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: [aculchinaa@mail.ru](mailto:aculchinaa@mail.ru))

**K.I. Los**, Undergraduate, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: [lodokris@gmail.com](mailto:lodokris@gmail.com))

#### EXAMINATION OF FAILURES OF CONSTRUCTED WATER WELLS

*The example of judicial construction and technical examination of the constructed water intake well in one of settlements is considered in this article. The analysis of failures occurred during the operation of the newly built water intake well was carried out. The point moments on the quality and timing of the work performed there are often disputable when putting objects into operation. If these questions cannot be resolved by mutual agreement of the*

parties, their decision is transferred to the courts, which appoint judicial construction and technical expertise. The type of judicial engineering and technical expertise, judicial construction and technical expertise plays an important and sometimes decisive role in legal proceedings, including the consideration of civil disputes in courts of General jurisdiction and arbitration courts.

Judicial construction and technical expertise was appointed on the basis of the decision of the arbitration court for a new water intake well built in one of the settlements of the Kursk region. The reason for the appointment of the examination is that this well has ceased to provide the planned flow rate, and the produced water meet the quality requirements.

Two main reasons led to the decline in the technological characteristics of the well and the deterioration of the quality of the produced water: the wrong choice of the pumping unit and the lack of a water tower on the network. The selected ECV 6-16-140 pump created excess pressure in the network, which was then reduced by the installed automation (frequency Converter), and accordingly the well flow rate decreased. The use of frequency converters is not always useful, but can even have a harmful effect on the operation of the water supply system.

In addition to reducing the flow rate, the operation of the frequency Converter caused the combustion of several pumps operating in unacceptable modes. The work of the frequency Converter installed on the pump unit with overestimated characteristics led to the turbidity of the produced water, there was an uneven consumption of water from the well.

**Key words:** judicial construction and technical expertise; water well; production rate; project; pump unit; filter; geological and technical surveys.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-40-50

**For citation:** Bredikhin V. V., Akulshin A.A., Los K.I. Examination of Failures of Constructed Water Wells. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 6(81), pp. 40-50 (in Russ.).

\*\*\*

## Reference

1. Livnynasos, Katalog JeCV «Skvazhnye nasosy». 2018. URL: [http:// livny.nt-rt.ru/ images/showcase/ catalog.pdf](http://livny.nt-rt.ru/images/showcase/catalog.pdf) (21.09.2018).
2. Rekomendacii po ispol'zovaniju preobrazovatelej chastoty s nasosami JeCV. 2018. URL: [http://livnynasos.rf/ rekomendatsii-po-ispolzovaniyu-preobrazovateley-chastoty-s-nasosami-etsv](http://livnynasos.rf/rekomendatsii-po-ispolzovaniyu-preobrazovateley-chastoty-s-nasosami-etsv) (21.09.2018g.).
3. Usachev A.P., Gordejchik A.V. Osobennosti chastotnogo regulirovaniya nasosa s uchetom rabocheho diapazona. 2014. URL: [http://sibmech.ru/netcat\\_files/ userfiles/ doc/ electroprivod/Osobennosti\\_chastotnogo\\_regulirovaniya\\_nasosami\\_s\\_uchetom\\_rabocheho\\_diapazona\\_Usachev\\_Ekvatek\\_2014](http://sibmech.ru/netcat_files/userfiles/doc/electroprivod/Osobennosti_chastotnogo_regulirovaniya_nasosami_s_uchetom_rabocheho_diapazona_Usachev_Ekvatek_2014).
4. Shherbakov V.I., Akul'shin A.A. Vodozabornye sooruzhenija iz podzemnyh istochnikov. Saarbrücken, 2017, 184 p.
5. Pereverzeva V.S., Akul'shin A.A. Opredelenie optimal'nyh razmerov konstruktivnyh parametrov provolochnyh fil'trov. Matematika i ee prilozhenija v sovremennoj nauke i praktike. Sb. nauch. statej. Kursk, 2014, pp. 90-94.
6. Akul'shin A.A., Bredihina N.V., Pereverzeva V.S. Sooruzhenie i jekspluatacija skvazhinnyh vodozaborov Kurskoj oblasti. Kursk, 2017, 123 p.
7. Akul'shin A.A., Bredihina N.V., Pereverzeva V.S. Chastotnoe regulirovanie nasosov 2018. URL: [https:// vodomaster.ru/articles/chastotnoe-regulirovanie-nasosov](https://vodomaster.ru/articles/chastotnoe-regulirovanie-nasosov) (21.09.2018).
8. Rekomendacii po vyboru chastotnyh preobrazovatelej dlja nasosov vodosnabzhenija i otoplenija. 2018. URL: <http://byreniepro.ru/nasosy/chastotny-preobrazovatel.html/> (21.09.2018).

УДК 69.051

**С.А. Ахременко**, д-р техн. наук, профессор, Брянский государственный инженерно-технологический университет (Россия, 241037, Брянск, проспект Станке Димитрова, 3) (e-mail: ahremenko@bgitu.ru)

**М.С. Пыцкая**, магистрант, Брянский государственный инженерно-технологический университет (Россия, 241037, Брянск, проспект Станке Димитрова, 3) (e-mail: pytskaya.marina@yandex.ru)

### ВОССОЗДАНИЕ ИСТОЧНИКА АРТЕЗИАНСКОЙ ВОДЫ В УСАДЬБЕ А.К.ТОЛСТОГО

*В настоящее время вопрос о сохранении и эффективном использовании объектов культурного наследия является актуальным. Брянская область обладает значительным количеством ценных историко-культурных памятников. Практически каждый район богат уникальными достопримечательными местами, особое место среди которых занимают усадьбы. В рамках концепции благоустройства территории усадьбы Алексея Константиновича Толстого в селе Красный Рог Почепского района Брянской области, совместно с компанией «Брянскпромбурвод» были выполнены натурные обследования, инженерно-геологические, гидрологические изыскания и другие необходимые мероприятия, с целью составления предпроектного предложения по воссозданию источника артезианской воды, с учетом архивных и библиографических материалов, с внесением небольших изменений ввиду современного состояния территории объекта культурного наследия. С учетом инженерно-геологических и гидрологических изысканий, результатов натурного обследования территории, подобрана технология бурения скважины, необходимые материалы и оборудование для ее обустройства.*

*В статье рассмотрен вопрос о привлечении туристов и отдыхающих к источнику артезианской воды в усадьбе Алексея Константиновича Толстого. Над источником рекомендуется установить бювет для отпуска воды, с целью предохранения ее от загрязнения, и выполнить его в архитектурном стиле, соответствующем периоду жизни Алексея Константиновича Толстого в усадьбе. Историко-культурное наследие может выступать не только как фактор развития духовной жизни, но и как одно из перспективных направлений развития экономики в Брянском регионе. Привлекательность музея-усадьбы увеличивает туристическую посещаемость, и часть полученных средств может быть использована на содержание объекта культурного наследия.*

**Ключевые слова:** усадьба А.К. Толстого; источник артезианской воды; памятник историко-культурного наследия; воссоздание; скважина.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-51-60

**Ссылка для цитирования:** Ахременко С.А., Пыцкая М.С. Воссоздание источника артезианской воды в усадьбе А.К.Толстого // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 51-60.

\*\*\*

#### Введение

Сохранение прошлого, выраженного в архитектурных памятниках, старинных зданиях, градостроительных ансамблях и комплексах, является актуальной проблемой в настоящее время. Исторические памятники культуры не реставрируются, не реконструируются и разрушаются. Теряя наше культурное наследие, мы уничтожаем память о прошлом, утрачиваем свои исторические корни.

Первоначально статус объекта культурного наследия «Усадьба Красный Рог,

где жил поэт Толстой Алексей Константинович» был присвоен усадебному комплексу Постановлением Совета Министров РСФСР от 30.08.1960 № 1327 [2]. Затем этот статус был закреплён Постановлением Совета Министров РСФСР от 04.12.1974 № 624 «О дальнейшем улучшении дела охраны памятников культуры РСФСР» [3]. В настоящее время усадьба включена в реестр объектов культурного наследия федерального значения и находится под охраной государства. В связи с этим проведение всех работ на территории усадьбы возможно лишь в строгом

соответствии с требованиями Федерального закона от 25.06.2002 № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации». Усадьба частично воссоздана, частично реконструирована, приспособлена для современного использования (музей-усадьба), посещается туристами.

Бесперебойное и качественное водоснабжение приспособленного под современное использование объекта культурного наследия федерального значения крайне важно и актуально. При этом обязательно строгое соблюдение требований Федерального закона № 73-ФЗ (статьи 36, 47.2 и др.) [1].

#### Основная часть

Данное исследование посвящено проведению предварительных инженерно-геологических и гидрологических изысканий и разработке предпроектных предложений по реконструкции и воссозданию источника артезианской воды в усадьбе выдающегося поэта Алексея Константиновича Толстого.

Опираясь на историко-архивные и литературные источники в совокупности с натурными исследованиями, можно судить о том, что источник действительно существовал. С.К. Ковалев, уроженец села Красный Рог, который с 12 лет работал помощником садовника в усадьбе А.К. Толстого, детально пояснил, что «в 1913 г. владелец усадьбы М.А. Жемчужников проложил новую дорогу от ручья вдоль ограды-заплота на хоздвор. В месте пересечения ручья главной дорогой было много родников». Об этом написала в своей книге «По следам Алексея Константиновича Толстого: вымыслы и правда» знаменитая брянская исследова-

тельница творчества А.К. Толстого – Валерия Даниловна Захарова [14] (рис. 1).

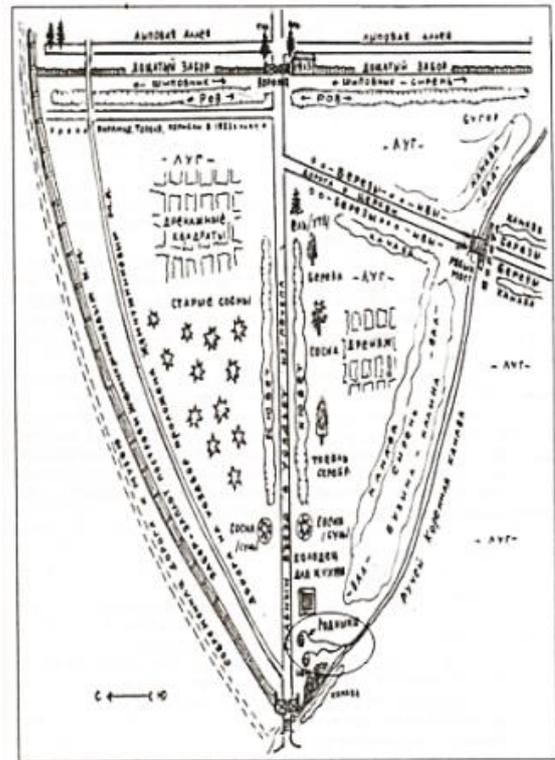


Рис. 1. Месторасположение источника артезианской воды [данные по В.Д. Захаровой]

Для разработки предпроектных предложений по воссозданию источника артезианской воды, совместно с компанией «Брянскпромбурвод» был выполнен комплекс работ:

- получено техническое задание на проведение работ;
- разработан проект на поиск и исследование содержимого недр для обеспечения водоснабжения объекта;
- выполнено согласование проектной документации в соответствующих органах, проведены работы, описанные в проекте;
- оценены объёмы запасов воды, проведена оценка её качества (химико-бактериологические исследования, на радиоактивность);
- осуществлено наблюдение за подземными водами (проведен сбор показате-

телей динамического уровня воды в скважине (дебет сооружения) и данных о техническом состоянии);

– составлен отчёт об оценке запасов водоносного горизонта;

– выполнен проект санитарно-защитных зон гидротехнического сооружения;

– получено санитарно-эпидемиологическое заключение, авторский надзор за выполнением работ;

– получена лицензия и зарегистрирована скважина [5-7, 10].

Важным этапом обустройства скважины является создание зоны санитарной охраны, которая обеспечит защиту водоносного источника от бактериальных, химических и промышленных загрязнений. При разработке проекта санитарно-защитных зон были рассчитаны границы данных зон. Для первого пояса она составила 50 м, для второго – 400 м, для третьего – 3000 м [4,5] (рис. 2).

Сведения, полученные в результате проведенных исследований совместно с компанией «Брянскпромбурвод», представлены в таблице 1.

При исследовании литературных источников выяснено, что основные объемы артезианской воды в виде линз находятся в водоупорных пластах и залегают на больших глубинах, создавая артезианские бассейны. Вода Красного Рога относится к Днепровскому артезианскому бассейну [8]. Тот факт, что вода залегают на больших глубинах, исключает загрязнение ядохимикатами от сельского хозяйства, промышленных заводов. Артезианская вода содержит бикарбонат, который приводит в норму уровень рН крови, кальций, который укрепляет кости, улучшает деятельность нервной системы, фтор, который положительно влияет на крепость зубной эмали, калий и натрий, которые поддерживают минеральный баланс [11,15].



Рис. 2. Местоположение скважины в настоящее время с обозначением границ санитарно-защитных зон

Таблица 1

Сведения, полученные в результате проведенных исследований

№п/п	Наименование параметра	Результат
1	Местоположение скважины	Брянская область, Почепский район, Красный Рог, музей-усадьба А.К.Толстого
2	Абсолютная отметка устья скважины	174,3 м
3	Глубина скважины	50,0 м
4	Целевой водоносный горизонт	турон-сантонский карбонатный комплекс (К2t-st)
5	Статический уровень	19,0 м
6	Динамический уровень	24,0 м
7	Понижение	5,0 м
8	Расчетный дебит скважины	6,0 м <sup>3</sup> /час
9	Удельный дебит	1,25 м <sup>3</sup> /час

При проведении химико-бактериологических и радиологических исследований для оценки качества воды были получены сведения, представленные в таблице 2. Дальнейшее более углубленное исследование химического состава воды специализированной лабораторией позволит определить – относиться она к минеральным (лечебным) водам или нет.

С учетом инженерно-геологических и гидрологических изысканий, результатов натурного обследования территории, рекомендуется технология бурения сква-

жины, а также необходимое оборудование и материалы к бурению.

Для производства работ предлагается агрегат ЭЦВ 6-4-70, конструкция которого состоит из асинхронного электродвигателя с улучшенным охлаждением и многосекционной центробежной насосной части, соединенных между собой жесткой муфтой. Ротор насоса и ротор электродвигателя вращаются в резинометаллических подшипниках, позволяющих перекачивать воду с небольшим содержанием механических примесей (рис. 3).

Таблица 2

Сведения, полученные в результате проведенных химико-бактериологических и радиологических исследований

№п/п	Наименование параметра	Результат
1	Водосодержащие отложения	трещиноватые опоки, трепел, мел, мергель
2	Общая минерализация, мг/л	340
3	Окисляемость по кислороду, мг/л	1,28
4	Величина рН	8,3
5	Железо общее, мг/л	-
6	Cl, мг/л	24
7	Na+K, мг/л	41,1
8	SO <sub>4</sub> , мг/л	-
9	Mg, мг/л	17,6
10	HCO <sub>3</sub> , мг/л	360
11	Ca, мг/л	68,1
12	Общая жесткость, °Ж	4,8

Исходными данными для выбора насоса являются требуемые значения подачи и напора, химический состав воды и содержание механических примесей, а также сведения, полученные в результате замеров (см. табл. 1).

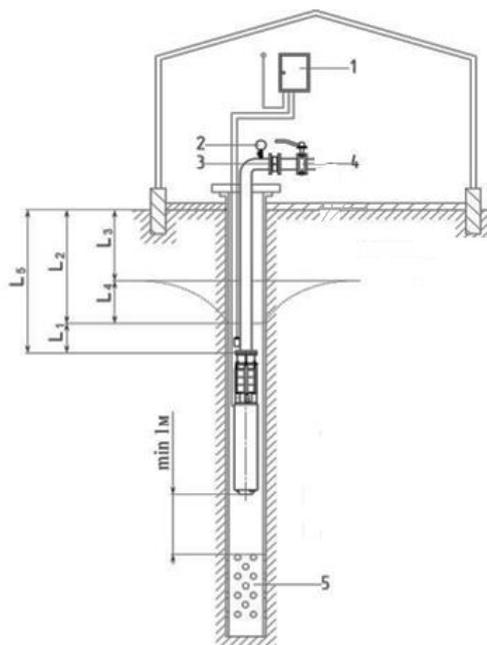
Агрегат ЭЦВ 6-4-70 предназначен для подъема воды с общей минерализацией (сухой остаток) не более 1500 мг/л,

с водородным показателем (рН) от 6,5 до 9,5, температурой до 25°С, массовой долей твердых механических примесей – не более 0,01% с размером 0,1 мм, с содержанием хлоридов – не более 350 мг/л, сульфатов – не более 500 мг/л, сероводорода – не более 1,5 мг/л.

Технические характеристики ЭЦВ 6-4-70 представлены в таблице 3.



а)



б)

Рис. 3. (а) Погружной центробежный агрегат ЭЦВ 6-4-70; (б) Схема монтажа ЭЦВ 6-4-70: L1 – подпор, не менее 1 м; L2 – динамический уровень воды, м; L3 – статический уровень воды, м; L4 – понижение уровня воды. Разность между динамическим и статическим уровнями воды, м; L5 – глубина погружения, м; 1 – станция управления и защиты; 2 – манометр; 3 – обратный клапан; 4 – задвижка; 5 – фильтр

Таблица 3

Технические характеристики ЭЦВ 6-4-70

Типоразмер электронасоса	Номинальные параметры электронасоса					Габаритные размеры в мм, не более		Масса, кг, не более	Диаметр скважины, мм
	подача, м <sup>3</sup> /час	напор Н, м	ток, I, А	КПД %	Мощность двигателя, кВт	D	L		
ЭЦВ 6-4-70	4	70	4.6	74	3	145	960	48.5	150

Для бурения артезианской скважины рекомендуется буровая установка УРБ 2А2. Она монтируется на базе автомобиля ЗИЛ-131, который имеет повышенные характеристики проходимости (рис. 4).



Рис. 4. Буровая установка УРБ 2А2

Для обустройства скважины предлагаются две обсадных трубы разного диаметра, так как в известняке есть прослойки глины. Первая труба доходит до границы известкового пласта, вторая распо-

ложена в самом пласте, доходит до водоносного слоя, его верхней границы. Вторая труба перфорированная. Через отверстия в нее поступает вода. Насос размещают в нижней трубе. Так как скважина имеет больший диаметр, чем труба, то для закупоривания водоносных слоёв применяется заливка бетоном [6,7, 12].

Материалы и метрологическое обеспечение, необходимые для обустройства скважины, представлены в таблицах 4-5.

Технология бурения скважины выглядит следующим образом: скважина бурится вращательным способом в интервале 0,0 – 22,0 м с промывкой глинистым раствором, в интервале 22,0 – 50,0 м с промывкой чистой водой. Водоприёмная часть - фильтр перфорация диаметром 165 мм в интервале 43,0 – 49,0 м. Выполняется затрубная цементация обсадной трубы диаметром 219 мм.

Таблица 4

#### Спецификация материалов на скважину

№ п/п	Наименование материалов	Кол-во	Масса, кг	
			1 м	Всего
1	Трубы стальные обсадные размер, 219 x 8 мм	22,0 м	41,63	915,9
2	Трубы пластмассовые обсадные размер, 165x7,5 мм	44,0 м	5,64	248,2
3	Фильтр перфорация 165x7,5	6,0 м	4,51	27,1
4	Оголовок	1 шт.		298,0
5	Пьезометр	1 шт.		22,0
	Итого			1511,2

Таблица 5

#### Метрологическое обеспечение

№ п/п	Наименование материалов	Кол-во
1	Уровнемер тросовый - УСБ-Т-150	1 шт
2	Рулетка ленточная - РГ-Л-30	1 шт
3	Емкость мерная - 200 л	1 шт
4	Секундомер	1 шт

Общая продолжительность откачки не менее 3 суток. В процессе откачки отбираются пробы воды и направляются в аккредитованную лабораторию для проведения анализа. Эксплуатационный на-

сос ЭЦВ 6-4-70 на глубине 50,0 м отрегулированный на проектную мощность.

Ниже представлен геолого-технический наряд на скважину (рис. 5).

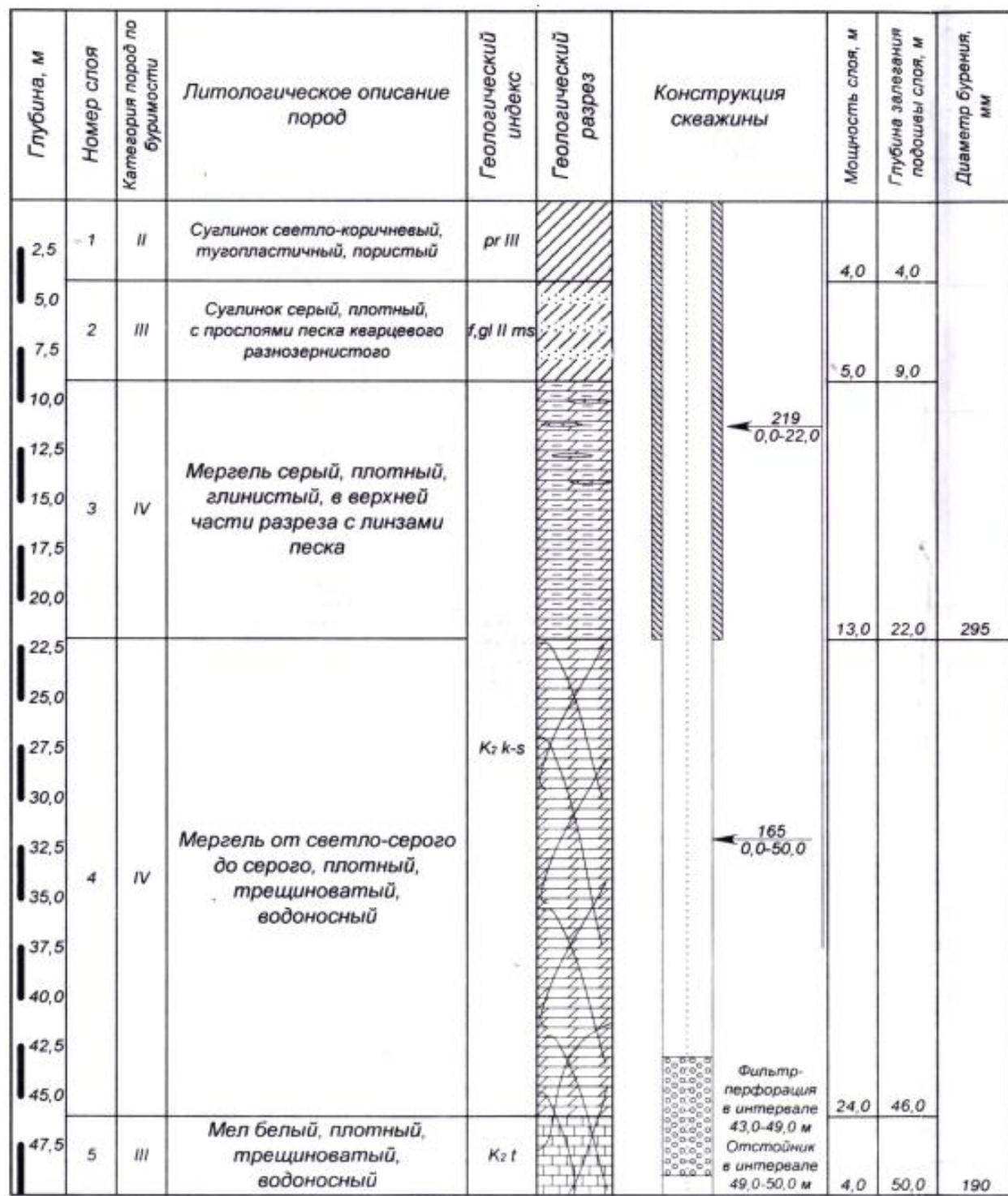


Рис. 5. Геолого-технический наряд

Для привлечения туристов и отдыхающих предлагается над скважиной установить бювет для отпуска воды, с целью предохранения ее от загрязнения, и выполнить его в архитектурном стиле, соответствующем периоду жизни А.К. Толстого в усадьбе [11, 15]. Ведь развитие туризма в настоящее время является одним из наиболее перспективных направлений [9]. Привлекательность музея-усадьбы увеличивает туристическую посещаемость, и часть полученных средств может быть использована на содержание объекта культурного наследия.

### Выводы

В результате проведенных предварительных инженерно-геологических и гидрологических изысканий были разработаны предпроектные предложения по реконструкции и воссозданию источника артезианской воды в усадьбе выдающегося поэта Алексея Константиновича Толстого.

С учетом инженерно-геологических и гидрологических изысканий, результатов натурного обследования территории, опираясь на проведенные историко-архивные и литературные источники, рассчитаны и подобраны: технология бурения артезианской скважины, необходимое оборудование, машины, механизмы и материалы к бурению.

Рассмотрен вопрос о привлечении туристов и отдыхающих к источнику артезианской воды, ведь развитие туризма в настоящее время является одним из наиболее перспективных направлений. Часть полученных средств может быть использована на содержание объекта культурного наследия.

### Список литературы

1. Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) наро-

дов Российской Федерации: Федеральный закон от 25.06.2002 № 73-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. О дальнейшем улучшении дела охраны памятников культуры в РСФСР: Постановление Совета Министров РСФСР от 30.08.1960 № 1327. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

3. О дальнейшем улучшении дела охраны памятников культуры в РСФСР: Постановление Совета Министров РСФСР от 04.12.1974 № 624 О дополнении и частичном изменении постановления Совета Министров РСФСР от 30 августа 1960 г. N 1327. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

4. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения. СанПиН 2.1.4.1110-02: Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 14.03.2002 N 10 О введении в действие Санитарных правил и норм (с изм. от 25.09.2014) (вместе с «СанПиН 2.1.4.1110-02. 2.1.4. Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения. Санитарные правила и нормы», утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 26.02.2002) (Зарегистрировано в Минюсте РФ 24.04.2002 N 3399). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

5. СП 31.13330.2012. Свод правил. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84\*. С изменением N 1 (утв. Приказом Минрегиона России от 29.12.2011 N 635/14) (ред. от 30.12.2015). М., 2012.

6. Башкатов Д.Н., Роговой В.Л. Бурение скважин на воду: учебное пособие. М.: Колос, 1976. 206 с.
7. Башлык С.М., Загибайло Г.Т. Бурение скважин. М.: Недра, 1983. 447 с.
8. Гидрогеология СССР. Воронежская область, Курская область, Белгородская область, Брянская область, Орловская область, Липецкая область, Тамбовская область: в 45 т. / А.Т. Бобрышев, М.Р., Никитин Д.С. Соколов, Е.Г. Чаповский. М.: Недра, 1972. Т 4. 499 с.
9. Болтаевский А.А. Российская деревня: проблемы и перспективы // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2013. №1. С. 60-62.
10. Далматов, Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии). СПб.: Лань, 2012. 416 с.
11. Журавлева Л.Б. Курортное дело с основами курортологии: учебное пособие. Сочи, 2008. 628 с.
12. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. Т.1. 2-е изд. М.: АСВ, 2003. 228 с.
13. Заручевных И.Ю. Механика грунтов в схемах и таблицах. М.: АСВ, 2015. 164 с.
14. Захарова В.Д. По следам А. К. Толстого: вымыслы и правда. Брянск, 2009. 240 с.
15. Райхман Е.С. Бальнеотехника минеральных вод: метод. указания по проектированию, сооружению и эксплуатации бальнеотехнических устройств на курортах. М.: ЦНИИКиФ, 1970. 84 с.

Поступила в редакцию 04.10.18

UDC 69.051

**S. A. Akhremenko**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Bryansk State Technological University of Engineering (Russia, 241037, Bryansk, Prospekt Stanke Dimitrova, 3) (e-mail: ahremenko@bgitu.ru)

**M. S. Pytskaya**, Undergraduate, Bryansk State Technological University of Engineering (Russia, 241037, Bryansk, Prospekt Stanke Dimitrova, 3) (e-mail: pytskaya.marina@yandex.ru)

## RECONSTRUCTION OF ARTESIAN WATER IN THE MANOR OF A. K. TOLSTOY

*Currently, the issue of preservation and effective use of cultural heritage is relevant. Bryansk region has a significant number of valuable historical and cultural monuments. Almost every district is rich in unique places of interest, a special place among which is occupied by the estate. Within the framework of the concept of landscaping of the estate of Alexei Konstantinovich Tolstoy in the village of Krasny Rog, Pochepsky district, Bryansk region, together with the company "Bryanskpromburvod" were carried out field surveys, engineering-geological, hydrological surveys and other necessary activities in order to compile a pre-project proposal for the reconstruction of the source of artesian water, taking into account archival and bibliographic materials, with minor changes in view of the current state of the territory of the object of cultural heritage. Taking into account engineering-geological and hydrological researches, results of full-scale inspection of the territory, the technology of drilling of a well, necessary materials and the equipment for its arrangement is picked up.*

*The article considers the issue of attracting tourists and vacationers to the source of artesian water in the estate of Alexei Konstantinovich Tolstoy. Above the source it is recommended to install a pump room for the release of water, in order to protect it from pollution, and perform it in the architectural style corresponding to the period of life of Alexei Konstantinovich Tolstoy in the estate. Historical and cultural heritage can act not only as a factor in the development of spiritual life, but also as one of the promising areas of economic development in the Bryansk region. The attractiveness of the Museum-estate increases the tourist attendance, and part of the funds can be used for the maintenance of cultural heritage.*

**Key words:** A. K. Tolstoy's estate; source of artesian water; monument of historical and cultural heritage; recreation.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-6-51-60

**For citation:** Akhremenko S. A., Pytskaya M. S. Reconstruction of Artesian Water in the Manor of A. K. Tolstoy. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 6(81), pp. 51-60 (in Russ.).

\*\*\*

## Reference

1. Federal'nyj zakon ot 25.06.2002 № 73-FZ. Ob ob#ektah kul'turnogo nasledija (pamjatnikah istorii i kul'tury) narodov Rossijskoj Federacii. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPljus».

2. Postanovlenie Soveta Ministrov RSFSR ot 30.08.1960 № 1327. O dal'nejšem uluchshenii dela ohrany pamjatnikov kul'tury v RSFSR. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPljus».

3. Postanovlenie Soveta Ministrov RSFSR ot 04.12.1974 № 624 O dopolnenii i chastichnom izmenenii postanovlenija Soveta Ministrov RSFSR ot 30 avgusta 1960 g. N 1327. O dal'nejšem uluchshenii dela ohrany pamjatnikov kul'tury v RSFSR. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPljus».

4. Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 14.03.2002 N 10 O vvedenii v dejstvie Sanitarnyh pravil i norm. Zony sanitarnoj ohrany istochnikov vodosnabzhenija i vodoprovodov pit'evogo naznachenija. SanPiN 2.1.4.1110-02 (s izm. ot 25.09.2014) (vmeste s «SanPiN 2.1.4.1110-02. 2.1.4. Pit'evaja voda i vodosnabzhenie naselennyh mest. Zony sanitarnoj ohrany istochnikov vodosnabzhenija i vodoprovodov pit'evogo naznachenija. Sanitarnye pravila i normy», utv. Glavnym gosudarstvennym sanitarnym vrachom RF 26.02.2002) (Zaregistrovano v Minjuste RF 24.04.2002 N 3399). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPljus».

5. SP 31.13330.2012. Svod pravil. Vodosnabzhenie. Naruzhnye seti i sooruzhenija. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 2.04.02-84\*. S izmeneniem N 1 (utv. Pri-

kazom Minregiona Rossii ot 29.12.2011 N 635/14) (red. ot 30.12.2015). Moscow, 2012.

6. Bashkatov D.N., Rogovoj V.L. Burenie skvazhin na vodu. Moscow, Kolos Publ., 1976, 206 p.

7. Bashlyk S.M., Zagibajlo G.T. Burenie skvazhin. Moscow, Nedra Publ., 1983, 447 p.

8. Bobryshev A.T., Nikitin M.R., Sokolov D.S., Chapovskij E.G. Hidrogeologija SSSR. Voronezhskaja oblast', Kurskaja oblast', Belgorodskaja oblast', Brjanskaja oblast', Orlovskaja oblast', Lipeckaja oblast', Tambovskaja oblast'. Vol 4. Moscow, Nedra Publ., 1972, 499 p.

9. Boltaevskij A.A. Rossijskaja derevnja: problemy i perspektivy. *Biosfer'naja sovmestimost': chelovek, region, tehnologii*, 2013, no. 1, pp. 60-62.

10. Dalmatov, B.I. Mehanika gruntov, osnovanija i fundamenty (vkljuchaja special'nyj kurs inzhenernoj geologii). Saint-Petersburg, Lan' Publ., 2012, 416 p.

11. Zhuravleva L.B. Kurortnoe delo s osnovami kurortologii. Sochi, 2008, 628 p.

12. Zhurba M.G., Sokolov L.I., Govo-rova Zh.M. Vodosnabzhenie. Proektirovanie sistem i sooruzhenij. Moscow, ASV Publ., 2003, vol. 1, 228 p.

13. Zaruchevnyh I.Ju. Mehanika gruntov v shemah i tablicah. Moscow, ASV Publ., 2015. 164 p.

14. Zaharova V.D. Po sledam A. K. Tolstogo: vymysly i pravda. Brjansk, 2009, 240 p.

15. Rajhman E.S. Bal'neotehnika mineral'nyh vod. Metod. ukazanija po proektirovaniju, sooruzheniju i jekspluatacii bal'neotehnicheskikh ustrojstv na kurortah. Moscow, CNIKiF Publ., 1970, 84 p.

УДК 69.05

**М. Г. Добросоцких**, ст. преподаватель, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (Россия, 394026, Воронеж, Московский проспект, 14)  
(e-mail: dobrmax@yandex.ru)

## УЧЕТ СТОХАСТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ КАЛЕНДАРНОМ ПЛАНИРОВАНИИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*В рамках данной статьи автором был изучен имеющийся на сегодняшний день опыт в календарном планировании строительного производства. Обзору подверглись существующие методы календарного планирования: сетевой метод календарного планирования, теория ограничений (Constraint Programming), теории расписаний. Также рассматривались методы, адаптированные непосредственно для строительства – планирование по кратчайшему пути, метод непрерывного освоения фронта работ, метод непрерывного использования ресурсов. Все перечисленные методы являются упрощенными и не учитывают стохастические факторы. Специфика стройпроизводства заключается в особенно сильном влиянии стохастических воздействий на происходящие в нем процессы. Были рассмотрены методы использования резерва времени, возникающего на различных этапах работ, который может быть использован, в частности, для минимизации негативных последствий стохастических воздействий на элементы строительного комплекса. Для этих целей была построена целевая функция задачи минимизации негативных последствий, описывающая как динамические, так и стохастические потери. Вклад случайных воздействий выражен через экспоненциальные функции. Показано, что перераспределение резерва времени позволяет без увеличения динамических потерь уменьшить вклад стохастических потерь. Показано, что в приближении независимых работ оптимальным является календарный план, предусматривающий увеличение резерва времени на критических направлениях. На конкретном примере продемонстрировано применение алгоритма минимизации последствий случайных неблагоприятных факторов, что дает возможность построить календарный план с минимальными прогнозируемыми стохастическими потерями. В противоположность этому, при наличии возможности перераспределения ресурсов на направления, связанные с высокими рисками или потерями, оптимальным является альтернативный календарный план, предусматривающий возможность такого оперативного перераспределения, даже и путем увеличения рисков на некритических направлениях.*

**Ключевые слова:** оптимизация; строительное производство; календарный план; ресурс; рациональное значение; резерв времени; оптимизация; стохастическое воздействие; перераспределение ресурсов.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-61-71

**Ссылка для цитирования:** Добросоцких М. Г. Учет стохастических воздействий при календарном планировании строительного производства // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 61-71.

\*\*\*

Календарное планирование (в дальнейшем – КП) строительного производства решает задачу оптимального согласования работ и ресурсов во времени и пространстве на базе технической обусловленной последовательности процессов.

Высокая стоимость строительных проектов и связанные с этим значительные потери, возникающие при нарушении рациональной последовательности работ и использования ресурсов, придает оптимизации КП особую важность, что стимулирует большой интерес практиков к этой проблеме. Так, например, как указано в книге [1], в США при реализации

любого строительного проекта всегда выделяется лицо, разрабатывающее, оптимизирующее и в режиме реального времени реализующее КП. При этом КП является юридически обязывающим документом и все расчеты как по этапам строительства, так и по его итогам, осуществляются только на его основе. Важность оптимального календарного плана приводит к тому, что на крупной стройке выделяется специальная должность (в русской транскрипции – шедюлер от английского «schedule» – расписание), непосредственно подчиняющийся руководителю проекта. На небольших строй-

как эти функции выполняет первый руководитель.

На начальных этапах развития календарного планирования задача оптимизации не ставилась и КП строились на основе эмпирических правил [2]. Однако с началом индустриальной эпохи этот подход продемонстрировал свою ограниченность, что стимулировало создание теории КП. Основы научного подхода были заложены в начале века в работах Ганта [2] и получили значительное развитие, стимулированное промышленной революцией [4]. Основные успехи были достигнуты в визуализации КП [5]. Наибольшее развитие получили сетевые методы календарного планирования [6]. В последнее время прогресс в исследовании теории и практики календарного планирования определяется широким внедрением вычислительной техники [7] и применением методов математической теории расписаний [8]. Потребности практики в середине XX века стимулировали стремительный прогресс теоретических исследований [9] и практических приложений [10]

Однако несмотря на значительный интерес к данной тематике и значительные усилия, направленные на совершенствования методов календарного планирования, многие практические задачи к настоящему времени не решены. Связано это с размерностью исследуемой системы «объект + ресурсы» [11]. Вследствие этого параллельно с оптимизационными алгоритмами развивались и эвристические методы, основанные на концепции «приемлемого решения» [12]. Недостатком таких алгоритмов является отсутствие оценок качества полученного решения. Неизвестно, насколько решение отличается от оптимального в наихудшем случае [13]. В последнее время широкое распространение получил метод про-

граммирования в ограничениях (в англоязычной литературе – Constraint Programming) [14].

В рамках приемлемого решения, при построении календарных планов часто выделяется единственный критерий оценки и оптимизации. Частными случаями такой постановки задачи является планирование по кратчайшему пути [15], метод непрерывного освоения фронта работ, метод непрерывного использования ресурсов и др. Однако столь упрощенный подход часто приводит к решениям весьма далеким от оптимальных [16]. Поэтому основные проблемы планирования и управления так и остались нерешенными.

Как свидетельствуют многочисленные исследования, большинство задач теории расписаний являются *NP*-трудными [24-26]. С практической точки зрения это приводит к тому, что алгоритмы их решения (даже реализованные на современных и перспективных ЭВМ) требуют неприемлемо большого времени работы для решения реальных задач. В работе [17] сформулирован алгоритм количественного описания последовательности работ *A* и *B*, связанных между собой организационно, технологически или пространственно, или может быть описана безразмерными коэффициентами опережения --  $(A/B)_o$ , запаздывания--  $(A/B)_z$ , совмещения --  $(A/B)_c$ .

Однако эти алгоритмы не учитывают стохастические процессы. Между тем, они оказывают значительное влияние на технологические [18] и социально-экономические [19, 20, 21] процессы. Специфика стройпроизводства приводит к особенно сильному влиянию стохастических воздействий на происходящие в нем процессы [22], что определяется в основном следующими факторами:

– технологические процессы в строительстве в значительной мере определя-

ются стохастическими погодными явлениями;

– в них участвует большое число исполнителей с различными технико-технологическими и экономическими характеристиками;

– различные процессы связаны между собой как пространственно, так и по времени, вследствие чего влияние стохастических воздействий сказывается за пределами области их первоначальной локализации.

В работе [18] сформулирован алгоритм количественного описания последовательности работ А и В, связанных между собой организационно, технологически и/или пространственно через безразмерные коэффициенты опережения –  $(A/B)_o$ , запаздывания –  $(A/B)_z$ , совмещения –  $(A/B)_c$ . Показано, что учет возможности совмещения работ позволяет сформулировать алгоритм оптимизации календарного плана. Однако система уравнений, описывающих оптимальное распределение ресурсов, несовместима на множестве рациональных чисел. Вследствие этого возникает резерв времени, который может быть использован, в частности, для минимизации негативных последствий стохастических воздействий на элементы строительного комплекса. Формулировка алгоритма такой минимизации является целью данной работы.

Для реализации алгоритма минимизации негативных стохастических процессов может быть использован метод выделения комплексных работ, то есть частей процесса строительства, в ходе реализации которых не изменяется состав используемых нескладируемых ресурсов и помещений, в которых выполняются технологические процессы.

Целевая функция задачи минимизации негативных последствий может быть представлена в виде

$$C = \sum_{i=1}^W \{L_i \cdot \Delta t_i + p_i(\delta t_i) s_i(\delta t_i)\}, \quad (1)$$

где индекс  $i$  нумерует комплексные работы,  $W$  – их общее количество;

$\Delta t_i$  – резерв времени, возникающий за счет неполного использования ресурсов в течение части промежутка планирования;

$\delta t_i$  – продолжительность ликвидации отставания от календарного плана;

$p_i(\delta t_i)$  – вероятность возникновения отставания, для ликвидации которого необходимо время  $\delta t_i$ ;

$S_i(\delta t_i)$  – потери, возникающие вследствие отставания от графика.

Точной верхней границей времен  $\Delta t_i$  является полное время выполнения работы  $T_i$ , а времени  $\delta t_i$  – резерв  $\Delta t_i$  и, кроме того, выполняется условие

$$\Delta t_i + \delta t_i \leq T_i. \quad (2)$$

Оптимальным будет КП, при реализации которого целевая функция (1), описывающая суммарные ожидаемые потери, примет минимальное значение.

Минимизация целевой функции требует построения математических моделей потерь  $S_i(\delta t_i)$  и вероятностей  $p_i(\delta t_i)$ . Вероятность положительно определена и в реальных системах монотонно уменьшается с увеличением времени отставания. Такими свойствами обладает экспоненциальная функция

$$p_i(\delta t_i) = P_i \exp(-\alpha_i \cdot \delta t_i). \quad (3)$$

Здесь параметр  $\alpha_i$  описывает скорость убывания вероятности, а параметр  $P_i$  – максимальную вероятность. Графики зависимости функции (3) от времени приведены на рисунке 1.

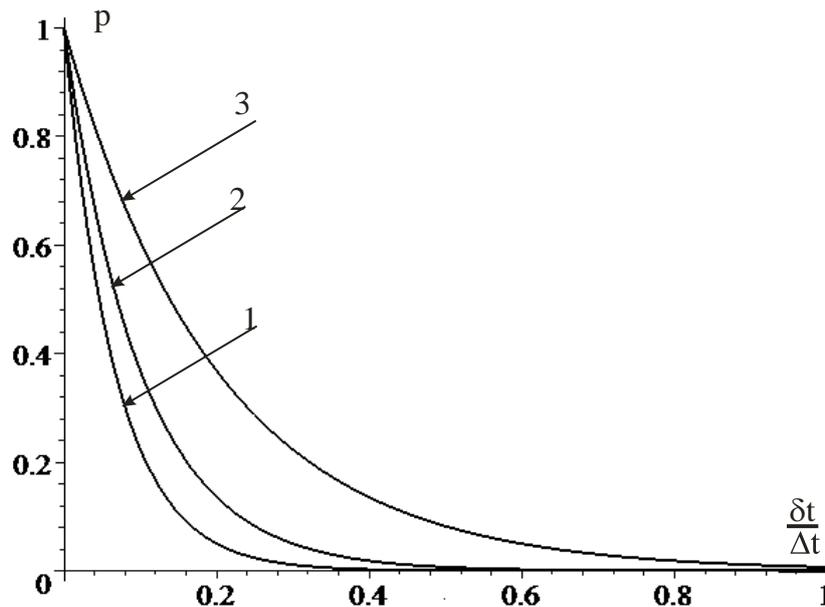


Рис. 1. Зависимости вероятности возникновения отставания от времени

Величины вероятности и времени нормированы на максимальное значение. Кривые 1, 2, 3 соответствуют значениям  $\alpha_i = 5, 10, 15$ . Наглядно видно быстрое уменьшение промежутка времени с реальной возможностью отставания при увеличении параметра  $\alpha_i$ .

Потери, возникающие вследствие отставания от графика, на практике монотонно возрастают с увеличением времени отставания. Однако скорость роста должна уменьшаться, и при больших значениях  $\delta t_i$  рост должен практически прекращаться, что описывает полную реализацию всех возможных негативных последствий. Такими свойствами обладает функция вида

$$s_i(\delta t_i) = S_i \rho(\delta t_i) [1 - \exp(-\beta_i \cdot \delta t_i)]. \quad (4)$$

Здесь параметр  $\beta_i$  описывает скорость убывания вероятности, а параметр  $S_i$  – максимальные потери;  $\rho(\delta t_i)$  – ступенчатая функция, определяемая условиями:

$$\rho(t) = \begin{cases} 1 & t \geq 0 \\ 0 & t < 0. \end{cases} \quad (5)$$

На практике значительные потери, быстро возрастающие при увеличении времени отставания, характерны для процессов, лимитирующих открытие фронта работ для большого числа рабочих или механизмов. Графики зависимости функции (4) от времени приведены на рисунке 2.

Величины потерь и времени нормированы на максимальное значение. Кривые 1, 2, 3, 4 соответствуют значениям  $\beta_i = 2, 5, 10, 15$ . Наглядно видно быстрое уменьшение промежутка времени с малыми потерями при увеличении параметра  $\beta_i$ .

Подставляя выражения (3) и (4) в функцию (2), сформулируем условие оптимизации целевой функции в следующем виде:

$$C = \sum_{i=1}^W \{L_i \cdot \Delta t_i + P_i S_i \exp(-\alpha_i \cdot \delta t_i) \rho(\delta t_i) \times [1 - \exp(-\beta_i \cdot \delta t_i)]\} \Rightarrow \min. \quad (6)$$

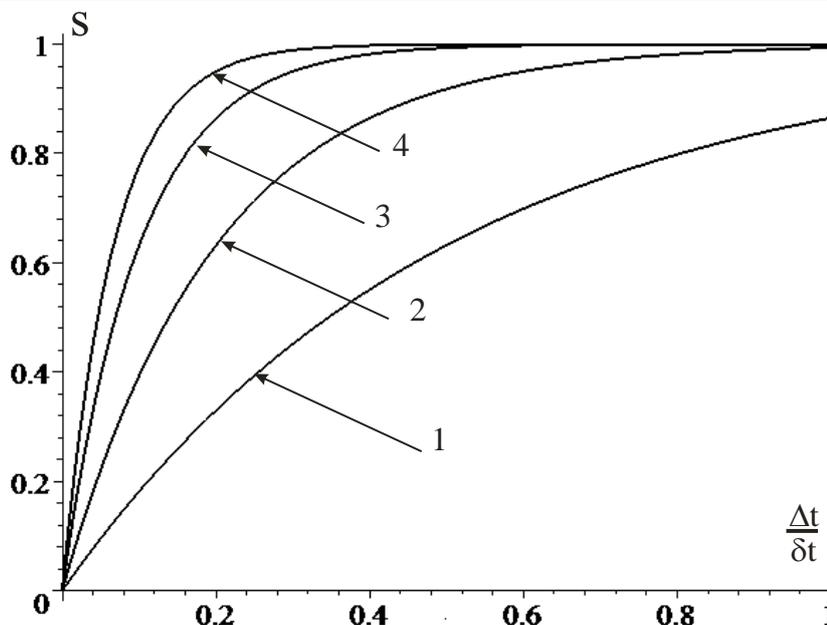


Рис. 2. Зависимости потерь от времени

Учтем теперь возможность использования резерва времени для ликвидации отставания. Количественно такой учет приводит к следующему условию оптимизации:

$$C = \sum_{i=1}^W \{L_i \cdot \Delta t_i + P_i S_i \times \exp(-\alpha_i \cdot [\delta t_i - \Delta t_i]) \rho([\delta t_i - \Delta t_i]) \times [1 - \exp(-\beta_i \cdot [\delta t_i - \Delta t_i])]\} \Rightarrow \min . \quad (7)$$

Задача оптимизации значительно упрощается в случае, если организационно или технологически нецелесообразно использовать ресурсы, задействованные

при реализации  $i$ -той работы, для выполнения других работ. В этом приближении может быть получено не оптимальное, а лишь допустимое решение. Минимизация в этом приближении осуществляется отдельно для каждой парциальной целевой функции:

$$\exp(-\alpha_i \cdot [\delta t_i - \Delta t_i]) \rho([\delta t_i - \Delta t_i]) \times \exp(-\alpha_i \cdot [\delta t_i - \Delta t_i]) \rho([\delta t_i - \Delta t_i]) \times [1 - \exp(-\beta_i \cdot [\delta t_i - \Delta t_i])] \Rightarrow \min \quad (8)$$

Делим обе части равенства на множитель  $\Delta t_i$  и приведем условие (8) к виду, не зависящему от максимальных значений вероятностей и потерь:

$$\frac{\exp(-\alpha_i \cdot [\delta t_i - \Delta t_i]) \rho([\delta t_i - \Delta t_i]) [1 - \exp(-\beta_i \cdot [\delta t_i - \Delta t_i])]}{\Delta t_i} \Rightarrow \min . \quad (9)$$

График функции (9) приведен на рис. 3.

Наглядно видна треугольная область плоскости координатной плоскости  $[\Delta t_i ; \delta t_i]$  с нулевым значением функции (9). На практике эта область соответствует

наличию резерва времени, позволяющего полностью ликвидировать последствия стохастических внешних воздействий.

Разберем теперь конкретный пример применения изложенного выше алгоритма минимизации последствий случайных

неблагоприятных факторов. В таблице приведены относительные мощности (то есть доли работ, выполняемых за еди-ничный промежуток планирования – например за смену) нескладируемых ре-сурсов, используемых при их выполне-нии трех работ. В скобках представле-ны максимальные доступные количества со-ответствующего ресурса (например чис-ло исполнителей требуемой квалифика-ции или машин и механизмов).

Работы упорядочены в порядке их технологической последовательности. В последней колонке приведены мини-мальные значения коэффициента совме-щения работы относительно предыду-щей. Графическое представление одного из возможных календарных планов изоб-ражено на рисунке 4.

По горизонтальной оси отложено время выполнения работ. Точными лини-ями отражены резервы времени.

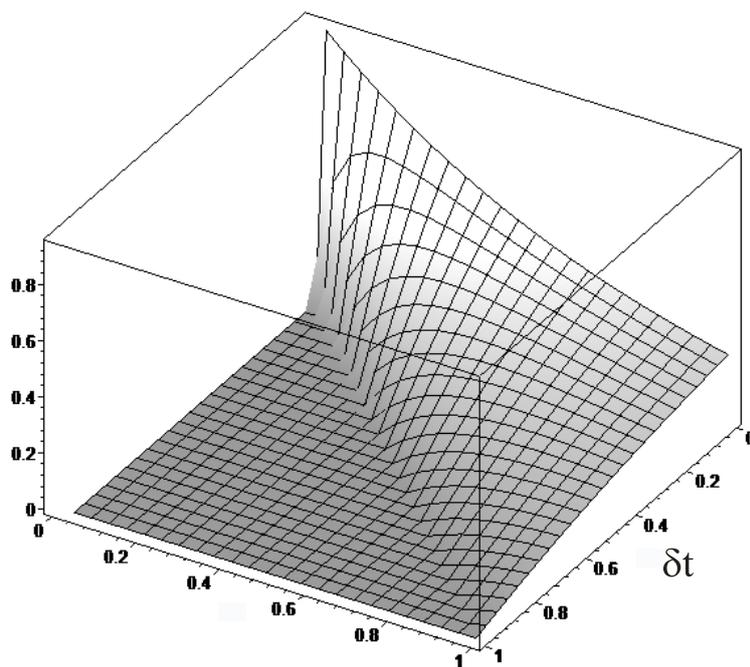


Рис. 3. Зависимость функции (9) от резерва времени (ось абсцисс) и отставания от графика (ось ординат)

Работа	Ресурс 1	Ресурс 2	Ресурс 3	Максимальный коэффициент совмещения
A	2/15 (4)	1/9(3)	--	--
B	--	1/5(4)	1/2(5)	0.6
C	3/5(3)	--	2/5(2)	0.7

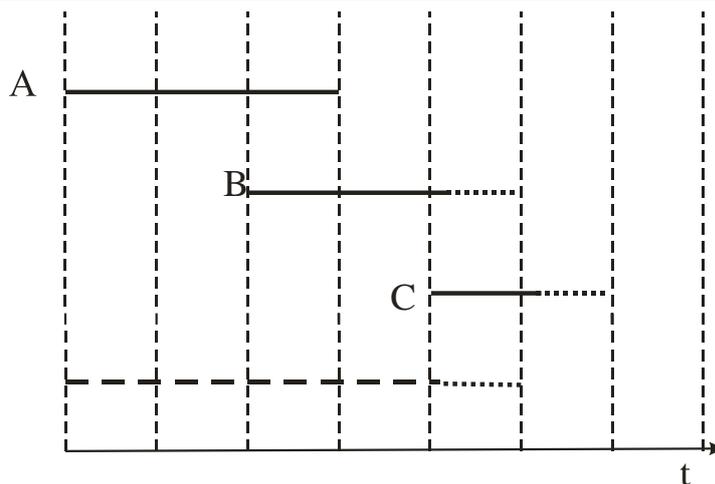


Рис. 4. Диаграмма Ганта календарного плана выполнения трех работ при ресурсных ограничениях, отраженных в таблице

В рассматриваемом примере для выполнения работы А использованы по 3 единицы ресурсов 1 и 2. Вследствие этого к концу третьей смены работа А выполнена полностью, ресурсы использованы оптимально, однако резерв времени отсутствует. Потери при таком планировании работы А полностью определяются рисками (4). Если данная работа характеризуется высокими рисками (например, выполняется с использованием изношенной техники или персоналом низкой квалификации) или находится на критическом пути реализации и определяет фронт работ для большого числа исполнителей, необходим подробный анализ целевой функции (7). В случае, если прогнозируемые потери окажутся неприемлемыми, следует изменить распределение ресурсов при выполнении данной работы. Так, например, при уменьшении использования ресурса 2 до двух единиц выполнение работы займет пять смен, но возникнет резерв времени, равный  $8/9$  смены, который может быть использован при возникновении отставания от графика. Такой вариант календарного планирования работы А изображен на рисунке 4 пунктирной линией.

В соответствии с ограничением на коэффициент совмещения работ А и В выполнение начало работы В возможно с третьей смены. При использовании двух единиц обоих необходимых ресурсов, работа В займет три смены с запасом времени, равным  $4/5$  смены (точечная линия на диаграмме). Фронт работы С открывается в начале четвертой смены. Выполнение работы С с использованием лишь одной единицы первого ресурса и двух единиц второго ресурса займет две смены с резервом времени  $4/5$  смены. Резерв последней работы и определит резерв всего процесса.

При составлении изложенного выше КП не учтена возможность использования ресурсов работ В и С для ликвидации возможного отставания при выполнении работы А. В случае, если такое использование технологически и организационно возможно, календарный план может быть оптимизирован даже в случае высоких рисков, сопряженных с работой А. Учет возможности концентрации резервов времени для ликвидации отставания на критических участках с наибольшими ожидаемыми потерями. Количественно такой учет приводит к следующему условию оптимизации:

$$C = \sum_{i=1}^W \{L_i \cdot \Delta t_i\} + \sum_{i=1}^{W_C} \{P_i S_i \exp(-\alpha_i \cdot [\delta t_i - t_i]) \rho([\delta t_i - t_i]) [1 - \exp(-\beta_i \cdot [\delta t_i - t_i])]\} \Rightarrow \min, (10)$$

при выполнении условия баланса времени

$$\sum_{i=1}^W \Delta t_i = \sum_{i=1}^{W_i} t_i. \quad (11)$$

В частности, в рассмотренном примере суммарный резерв времени, возникший при выполнении работ В и С и равный 8/5 смены при оперативном перераспределении ресурсов, задействованных при выполнении всех работ, для ликвидации отставания, допущенного при выполнении работы А, позволит избежать увеличения срока выполнения комплекса работ на две смены (нижняя линия рис. 4). При этом такое перераспределение ресурсов для ликвидации отставания на критических направлениях, позволяет оптимизировать КП и при наличии отставания на направлениях с малыми рисками и/или возможными потерями. Изложенный выше алгоритм дает возможность построить календарный план с минимальными прогнозируемыми стохастическими потерями.

### Выводы

Как свидетельствует отечественный и зарубежный опыт строительства, на ход реализации проектов значительное влияние оказывают стохастические факторы. Вследствие этого целевая функция задачи оптимизации календарного плана должна содержать слагаемые, учитывающие вероятность стохастических воздействий на ход строительства и ожидаемые потери, возникающие вследствие таких процессов. В данной работе предложена целевая функция, описывающая как динамические, так и стохастические потери. Показано, что вклад случайных воздействий может быть выражен через экспоненциальные функции. Показано,

что перераспределение резерва времени позволяет без увеличения динамических потерь уменьшить вклад стохастических потерь. В приближении независимых работ, практически соответствующих технологической или организационной невозможности перераспределения нескладируемых ресурсов, оптимальным является календарный план, предусматривающий увеличение резерва времени на критических направлениях. При наличии возможности перераспределения ресурсов на направления, связанные с высокими рисками или потерями, оптимальным является альтернативный календарный план, предусматривающий возможность такого оперативного перераспределения, даже и путем увеличения рисков на некритических направлениях.

### Список литературы

1. Дикман Л.Г., Дикман Д.Л. Организация строительства в США, М.: Изд-во ассоциации строительных вузов, 2004.
2. Weaver P A Brief History of Scheduling: Back to the Future, Hyatt, Canberra: Mosaic, Project Services Pty Ltd, pp. 4 – 6, April 2006.
3. Gantt H. L., Organizing for Work, USA, New York: Harcourt, Brace and Howe, 1919, 120 p.
4. Russell A. D., Wong, W. C. M. New generation of planning structures / J. Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE, 1993. 119(2). P. 196–214.
5. Reda, R. M. RPM: Repetitive project modeling / J. Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE, 1990. 116(2). P. 316–330.
6. Х. Ахьюджа Сетевые методы управления в проектировании и производстве, М.: Мир. 1979, 641 с.

7. Skibniewski P, Mirosław J. Mobile and Pervasive Computing in Construction // Construction Management and Economics. 2 November 2014. Vol. 32, no. 11. P. 1148-1150(3).
8. Blazewicz J., Ecker K., Pesch E., Schmidt G., Weglarz J. Scheduling Computer and Manufacturing Processes. Springer Berlin, 1996.
9. Jain V., Grossmann I.E. Algorithms for hybrid MILP/CLP models for a class of optimization problems // INFORMS J. Computing. 2001. Vol. 13. P. 258 – 276.
10. Merkle D., Middendorf M., Schmeck H. Ant Colony Optimization for Resource-Constrained Project Scheduling // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 2002. Vol. 6. No. 4. P. 333–346.
11. Lenstra J.K., Rinnooy Kan A.H.G., Brucker P. Complexity of machine scheduling problems // European Journal of Operational Research. 2011. Vol. 44. P. 270–275.
12. Posypkin M.A., Sigal I. Kh. Speedup estimates for some variants of the parallel implementations of the branch-and-bound method // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2006. Vol. 46, No. 12. P. 2189–2202.
13. Du J., Leung J. Y.-T. Minimizing total tardiness on one processor is NP-hard // Math. Operation Research. 1990. Vol. 15. P. 483–495.
14. Karp R. M. Reducibility among combinatorial problems, in Complexity of Computer Computations (R. E. Miller, ed.), Plenum Press. New York, 1992. P. 85-104
15. Подчасова Т.П., Португал В.М., Шкуба В.В. Эвристические методы календарного планирования. Киев: Техника, 1980. 144 с.
16. Мищенко В.Я., Преображенский М.А., Добросоцких М.Г. Оптимизация календарного плана строительного производства на основе учета пространственно-технологических связей // Проблемы безопасности строительных критических инфраструктур (SAFETY2018): матер. Междунар. конф. / под общ. ред. В.Н. Алехина. Екатеринбург, 2018.
17. Федюкин В. К., Дурнев В. Д., Лебедев В. Г. Методы оценки и управление качеством промышленной продукции. М.: Рилант, 2005. 328 с.
18. Douglas Hubbard «How to Measure Anything: Finding the Value of Intangibles in Business» pg. 46, John Wiley & Sons, 2007.
19. Paul Stoneman et al., Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change, (Malden, MA: Basil Blackwell, 2005).
20. D. Hubbard, The Failure of Risk Management: Why It's Broken and How to Fix It (Hoboken, NJ: Wiley, 2009), pp. 181–187.
21. Воробьев В. С. Имитационное моделирование в планировании и прогнозировании строительного производства. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2008. 147 с.
22. Kreiner Kristian Organizational Behavior in Construction // Construction Management and Economics. November 2013. Vol. 31, no. 11. P. 1165-1169(5).
23. Моделирование выполнения бригадами комплекса технологических процессов в организационно-технологическом проектировании / В.Я. Мищенко, Е.П. Горбанева, С.Ю. Арчакова, М.Г. Добросоцких // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия: научно-практический и методологический журнал. 2017. №6. С. 37-43.
24. Мищенко В.Я., Горбанева Е.П., Овчинникова Е.В. Повышение эффективности производства с использованием оптимального распределения ремонтно-строительных бригад с помощью алгоритма Литгла // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия: научно-практический и методологический журнал. 2018. №5. С. 30-36.
25. Генетические алгоритмы в решении многокритериальных задач оптимизации распределения ресурсов при пла-

нировании энергосберегающих мероприятий / В.Я. Мищенко, Е.П. Горбанева, А.Ю. Мануковский, А.О. Сафонов //

Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. 2014. №3(35). С.77-82.

Поступила в редакцию 28.11.18

UDC 69.05

**M. G. Dobrosotskikh**, Senior Lecturer, Voronezh State Technical University (Russia, 394026, Voronezh, Moskovsky prospect, 14) (e-mail: dobrmax@yandex.ru)

### CONSIDERATION OF STOCHASTIC IMPACTS IN THE CONSTRUCTION SCHEDULING

*There is show an experience of modern methods of scheduling in construction. There are reviewed existed scheduling methods: Critical Path Method, Constraints Programming, Job Shop Scheduling. Additionally there were reviewed methods with special edition for construction industry: shortest path planning, continue development frontline volume method, continue resources utilization method. All reviewed methods are simplified and don't consider stochastic factors. Specific of the construction operation is a especially strong influence of stochastic factors to the construction production processes. There were reviewed methods of time reserve utilization, which appears in different stages of operations. This time reserve could be used, in particular, for minimization of negative aftereffects of stochastic factor influence on elements of construction. For these purpose was created target function of negative aftereffects minimization task, which describes dynamic and stochastic loses. The contribution of stochastic factors is expressed by exponential functions. There is shown, that redistribution of time reserve allows without any dynamic loses, to decrease contribution of stochastic loses. There is shown, that in approximation of independent works, the optimal schedule is that, which considers increasing of time reserve on critical directions. There is showed on individual example of algorithm for negative factors aftereffect minimization. Using this algorithm allows to make schedule with details of minimal approximated stochastic loses. In opposite, having a possibility of resources redistribution to directions, associated by high risks and loses, the optimal schedule plan will be alternative schedule plan, considering a possibility of operative redistribution, even through risks rise on non-critical directions.*

**Key words:** optimization; construction; schedule plan; resource; rational meaning; time reserve; optimization; stochastic impact; redistribution of resources.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-61-71

**For citation:** Dobrosotskikh M. G. Consideration of Stochastic Impacts in the Construction Scheduling. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 6(81), pp. 61-71 (in Russ.).

\*\*\*

#### Reference

1. Dikman L.G., Dikman D.L. Organizatsiya stroitel'stva v SShA. Moscow, Assoziatsii stroitel'nyh vuzov Publ., 2004.
2. Weaver P. A. Brief History of Scheduling: Back to the Future, Hyatt, Canberra: Mosaic, Project Services Pty Ltd, pp. 4 – 6, April 2006.
3. Gantt H. L. Organizing for Work, USA, New York: Harcourt, Brace and Howe, 1919, 120 p.
4. Russell A. D., Wong W. C. M. New generation of planning structures. J. Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE, 119(2), 1993, pp. 196–214.
5. Reda R. M. RPM: Repetitive project modeling. J. Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE, 116(2), 1990, pp. 316–330.
6. Ah'judzha H. Setevye metody upravleniya v proektirovanii i proizvodstve. Moscow, Mir Publ., 1979, 641 p.
7. Skibniewski P, Mirosław J. Mobile and Pervasive Computing in Construction. Construction Management and Economics, 2 November 2014vol. 32, no. 11, , pp. 1148-1150(3).
8. Blazewicz J., Ecker K., Pesch E., Schmidt G., Weglarz J. Scheduling Computer and Manufacturing Processes. Springer Berlin, 1996.

9. Jain V., Grossmann I.E. Algorithms for hybrid MILP/CLP models for a class of optimization problems. *INFORMS J. Computing*, 2001, vol. 13, pp. 258 – 276.
10. Merkle D., Middendorf M., Schneck H. Ant Colony Optimization for Resource-Constrained Project Scheduling. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2002, vol. 6, no. 4, pp. 333–346.
11. Lenstra J.K., Rinnooy Kan A.H.G., Brucker P. Complexity of machine scheduling problems. *European Journal of Operational Research*, 2011, vol. 44, pp. 270–275.
12. Posypkin M.A., Sigal I. Kh. Speedup estimates for some variants of the parallel implementations of the branch-and-bound method. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*, 2006, vol. 46, no. 12, pp. 2189–2202.
13. Du J., Leung J. Y.-T. Minimizing total tardiness on one processor is NP-hard. *Math. Operation Research*, 1990, vol. 15, pp. 483–495.
14. Baptiste Ph., Le Pape C., Nuijten W. Constraint-based scheduling: applying constraint programming to scheduling problems. *Kluwer Academic Publishers*, 2001, 198 p.
15. Karp R. M., Reducibility among combinatorial problems, in *Complexity of Computer Computations* (R. E. Miller, ed.), Plenum Press. New York, 1992, pp. 85-104
16. Podchasova T.P., Portugal V.M., Shkuba V.V. Jevristicheskie metody kalendarного планирования. Kiev, Tehnika Publ., 1980, 144 p.
17. Mishhenko V.Ja., Preobrazhenskij M.A., Dobrosotkih M.G. Optimizacija kalendarного плана stroitel'nogo proizvodstva na osnove ucheta prostranstvenno-tehnologicheskikh svjazej. Problemy bezopasnosti stroitel'nyh kritichnyh infrastruktur (SAFETY2018). Mater. Mezhdunarodnoj konferencii; ed. by Alehin V.N. Ekaterinburg, 2018.
18. Fedjukin, V. K., Durnev V. D., Lebedev V. G. Metody ocenki i upravlenie kachestvom promyshlennoj produkcii. Moscow, Rilant Publ., 2005, 328 p.
19. Douglas Hubbard «How to Measure Anything: Finding the Value of Intangibles in Business» pg. 46, John Wiley & Sons, 2007.
20. Paul Stoneman et al., Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change, (Malden, MA: Basil Blackwell, 2005).
21. Hubbard D. The Failure of Risk Management: Why It's Broken and How to Fix It (Hoboken, NJ: Wiley, 2009), pp. 181–187.
22. Vorob'ev V. S. Imitacionnoe modelirovanie v planirovanii i prognozirovanii stroitel'nogo proizvodstva. Novosibirsk, 2008, 147 p.
23. Kreiner Kristian Organizational Behavior in Construction. *Construction Management and Economics*, november 2013, vol. 31, no. 11, pp. 1165-1169(5).
24. Mishhenko V.Ja., Gorbaneva E.P., Archakova S.Ju., Dobrosotkih M.G. Modelirovanie vypolnenija brigadami kompleksa tehnologicheskikh processov v organizacionno-tehnologicheskom proektirovanii. FJeS: Finansy. Jekonomika. Strategija. Nauchno-prakticheskij i metodologicheskij zhurnal, 2017, no. 6, pp. 37-43.
25. Mishhenko V.Ja., Gorbaneva E.P., Ovchinnikova E.V. Povyshenie jeffektivnosti proizvodstva s ispol'zovaniem optimal'nogo raspredelenija remontno-stroitel'nyh brigad s pomoshh'ju algoritma Littla. FJeS: Finansy. Jekonomika. Strategija. Nauchno-prakticheskij i metodologicheskij zhurnal, 2018, no.5, pp. 30-36.
26. Mishhenko V.Ja, Gorbaneva E.P., Manukovskij A.Ju., Safonov A.O. Geneticheskie algoritmy v reshenii mnogokriterial'nyh zadach optimizacii raspredelenija resursov pri planirovanii jenergosberegajushhij meroprijatij. Nauchnyj vestnik VGASU. Stroitel'stvo i arhitektura, 2014, no.3(35), pp.77-82.

**А.Л. Поздняков**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: dekanov@bk.ru)

**Е.В. Позднякова**, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: cat\_\_rin@mail.ru)

**Ю.В. Скрипкина**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: julia\_skr@mail.ru)

**Т.А. Ефанова**, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: tatyaevano@yandex.ru)

## **ТЕНДЕНЦИИ И ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ШКОЛ**

*В статье говорится о практике проектирования и строительстве современных общеобразовательных школ, а также о необходимости переосмысления материальной составляющей данного процесса, нового взгляда на принятие объемно-планировочных решений подобных учреждений, исходя из современных градостроительных и типологических требований к организации учебно-воспитательной работы, в том числе существующего уровня архитектурной и градостроительной науки. Целью исследования является анализ принципов и рекомендаций по архитектурному и планировочному формированию общеобразовательных школ, соответствующих специфике современного учебно-воспитательного процесса.*

*В ходе исследования изучаются вопросы формирования архитектурно-планировочных и функциональных решений школьных зданий на основе поиска новых подходов в проектировании. Проводится анализ современной системы образовательного процесса и его требований в разработке новой пространственной организации школьной среды. В дополнение к этому рассматривается существующая структура обучения в современных школах, которая в дальнейшем может повлиять на проектирование, изменить архитектурное качество и улучшить школьные здания. Объясняется, как пространство школы может внести образовательный смысл и каким оно должно для этого стать. Затрагивается проблема в реформировании современной российской школьной архитектуры, которая остановилась в своем развитии на советском этапе, к которому относят большинство школьных зданий типовой постройки.*

*В результате были изучены тенденции в проектировании общеобразовательных пространств и выявлены основные проблемы, возникающие при разработке новых планов в школах и предложены методы их решений. Показана необходимость введения модульного принципа проектирования школ с кардинальным отличием от типовой застройки. Каждый конкретный проект может содержать индивидуальность как в визуальном восприятии, так и в компоновке модулей, функциональном значении и масштабе.*

**Ключевые слова:** школа; проектирование; новое пространство; образовательное пространство; объемно-планировочные решения; архитектура; типы зданий.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-72-80

**Ссылка для цитирования:** Тенденции и принципы проектирования современных общеобразовательных школ / А.Л. Поздняков, Е.В. Позднякова, Ю.В. Скрипкина, Т.А. Ефанова // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 72-80.

\*\*\*

Образование – не только социальная, но и главнейшая функция общества, определяющая самые разные стороны его жизни: производительные силы, хозяйство, науку, культуру и т.д. Современный уровень социального развития предполагает дальнейшее увеличение доли общественного обучения и воспитания, которые реализуются в системах детских до-

школьных учреждений, общеобразовательных и специализированных школ, в учреждениях дополнительного образования, обуславливая необходимость непрерывного совершенствования этих учебных заведений [1].

С развитием как технического, так и социального прогресса образование подталкивает к модернизации в проектиро-

вании учебных заведений. Современные научные знания приводят к появлению новой системы образования, а значит к развитию пространственной и планировочной среды в школах. Постоянно увеличивающиеся требования общества к объёму образовательной подготовки учеников повышает и актуальность в изучении области формирования систем и типов зданий в учебно-воспитательной сфере.

По мнению ряда экспертов – именно принципиально новая школьная архитектура способна изменить типовые представления об образовании, сформировать гибкую систему обучения, которая будет направлена на раскрытие индивидуальности каждого ребенка [2].

Под «современной архитектурой школ» имеется в виду не только фасад, но и сложная структура взаимодействия многогранных функций учебного процесса со структурой самого здания, гармонией, а также рабочим процессом, которые способствуют развитию способностей и талантов у школьников.

Все же, несмотря на появление новых тенденций в градостроительстве, в России остается популярной советский тип квартальной и микрорайонной застройки территорий многоэтажными жилыми домами, ведь нормативные правила обязывают к наличию школ и детских садов.

Российские школы, как и в СССР, по-прежнему являются самыми крупными общественными объектами в микрорайоне. Строительный объём подобных зданий составляет в среднем более 30 000 м<sup>3</sup>, что намного превышает объёмы других объектов общественного назначения

в жилом образовании [2]. Здание школы чаще всего имеет достаточно большие размеры в плане, поэтому она служит неким центром композиции всей застройки микрорайона. Однако с недавнего времени стало популярно использовать новый тип здания, совмещающего в себе несколько направлений: детские дошкольные учреждения, центр досуга или кружковые помещения для дополнительного образования.

Высота современных школьных зданий принимается с учётом численности учащихся и степени огнестойкости: от одного до трёх этажей. Возможно строительство 4-этажных школ, но с существенными ограничениями – I, II степени огнестойкости, при этом на 4-ом этаже нельзя размещать первые классы, а остальных учебных помещений должно быть не более 25% [3].

Школьное образование становится все более разнонаправленным, что непосредственно отражается на внешнем виде и внутреннем устройстве школ. Для этого увеличивается количество дневного света, проникающего в аудитории и коридоры, совершенствуются связи между различными группами кабинетов, а также разрабатываются самые оптимальные решения пришкольных участков.

В настоящее время существуют самые разнообразные попытки решить проблему в проектировании современных школ. Еще во времена СССР в 60-х годах здания школ стали приобретать вид, напоминающий сегодняшние современные вузы – с отличительной архитектурой и технологиями как, например, гимназия при МГУ (рис. 1).



Рис. 1. Гимназия при университете МГУ имени М.В. Ломоносова

В школах США часто применяют такие пространства, где ученики могут чувствовать себя достойными участниками образования наравне со взрослыми, т.е. проектируют своеобразные школы-офисы, где у детей есть свое индивидуальное рабочее пространство. Здания такого типа стали появляться в 90-х годах (рис. 2). Такое решение не всегда играет в пользу ученика. С одной стороны, у ребенка есть свое персональное рабочее пространство, где он может сосредото-

читься на учебе. Однако, с другой стороны, подобная рабочая среда очень рано погружает ребенка во взрослый мир и в какой-то степени лишает возможности развития его способностей и самореализации как ребенка. Ведь основная задача школы – не полностью лишить его детства, а помочь насладиться им, при этом извлекая полезные и необходимые жизненные уроки. Пространство школы не должно подавлять ученика, а наоборот помогать ему оставаться самим собой.



Рис. 2. Школа-офис в Аризоне

В школе ребенок не только получает знания и проводит порядка десяти лет своей жизни, но и развивается, приобщаясь к социуму. В современном информационном обществе существует потребность в социализации, а это значит, что навыки общения должны прививаться в школе. Пространство, где ежедневно будут пересекаться все школьные потоки, являясь местом встреч не только со сверстниками, но и с одноклассниками, постепенно помогает ребенку осознать, что он – неотъемлемая часть большого сообщества [4].

На данный момент архитекторы стараются уйти от типовых планировочных решений школ с применением школьного коридора, где практически нет света, где всё зажато, и где коридор – это просто переход из одного класса в другой. Один из базовых принципов открытости состоит в том, чтобы обеспечить доступ ко всем учебным помещениям и позволить ученикам осваивать их в свободное вре-

мя. Одновременно с этим, каждый из нас имеет право на личное пространство и потребность в нём. И школьное здание должно обеспечить возможность уединиться, побыть наедине со своими мыслями или поговорить с кем-то наедине.

Хорошим примером современной школы служит Московская Хорошевская гимназия, чьи архитектурные и планировочные решения формируют развивающую среду, помогающую детям раскрывать свои способности (рис. 3). При создании проекта архитекторы работали совместно с педагогами, стараясь сделать не просто здание, а новую образовательную систему, обдумывая, как и чему необходимо учить детей в будущем. Архитекторы попытались сделать такое пространство, где дети могут проводить все 12 часов в день, сконцентрировав в одном здании все необходимое, что может потребоваться для воспитания личности ребенка и тем самым помочь их работающим родителям.



Рис. 3. «Хорошкола», Москва

По замыслу заказчика, школа должна стать социально-культурным центром квартала. Разделив ее на классы и публичные пространства, можно разработать сценарии использования последних после уроков. Тем самым здание максимально работает даже в вечернее время и в выходные [5].

Внутреннее устройство современных школ может удивить неподготовленного зрителя тем, насколько там просторно, насколько много там места, которое од-

новременно и функционально, и просто радует глаз, например, как в атриуме инженерного корпуса школы № 548 в Совхозе им. Ленина (рис. 4). Учебные классы в этой школе отделены от рекреационных зон прозрачной стеной таким образом, что границы между учебным помещением и коридором нет. Работая в группах, можно выйти в коридор, где тоже есть рабочие места — при этом учитель сохраняет визуальный контроль за всеми учащимися [6].



Рис. 4. Атриум инженерного корпуса школы № 548 в Совхозе им. Ленина

Еще в 2000-х годах атриумы были в новинку в нашей стране и начали использоваться только в первых торговых центрах с похожими пространствами. Однако с развитием технологий и пересмотром противопожарных норм все стало значительно проще.

Если посмотреть на интерьеры европейских школ и университетов, то очень часто территория атриума оказывается организованной в виде амфитеатра, кото-

рый становится местом встреч и коммуникаций. Прекрасная общественная функция, которую вполне можно устроить и в любой российской школе. Потому что амфитеатры запрещены не в принципе, а лишь на путях эвакуации [7]. В финских школах очень много всевозможных подиумов, амфитеатров, балконов, атриумов, галерей, переходов с этажа на этаж, «капитанских мостиков», откуда можно обозревать бурление школьной жизни [8].

Такой подход к школьной архитектуре гораздо больше соответствует мироощущению современного человека.

Безусловно, в просторном помещении больше красоты, но не все дети ощущают себя достаточно комфортно в открытых помещениях, они теряются в таком пространстве и чувствуют себя неуютно. Для таких детей нужна особая работа по адаптации к такому большому неконтролируемому пространству. Поэтому возникает потребность в пространствах, которые имели бы доступ не только к открытой территории для ребенка, но и для отдельной камерной обстановки.

Сегодня современные школы стремятся как к тому, чтобы отличаться от других школ, так и к тому, чтобы внутри себя иметь функциональное разнообразие. Безусловно, индивидуально спроектированное здание и увлекательное пространство, которое ребёнку будет интересно исследовать – это важный образовательный тренд. Но у креатива тоже должна быть определённая граница – граница разумности. Образование – это в том числе усвоение нормы, привыкание к функциональному использованию того или иного пространства, предмета.

Опять же, у детей с особенностями развития в «слишком креативном» пространстве возникают проблемы с адаптацией, потому что они не совсем понимают, что от них требуется и как использовать окружающий их интерфейс. Поэтому при создании образовательных пространств необходимо соблюдать некие условия:

- сочетание открытого пространства и одновременно психологической защищенности;

- возможность быть как на виду у публики, так и возможность уединения;

- создание пространств для свободного и ограниченного движения;

- использование функционального и в то же время креативного трансформируемого пространства.

Отсутствие этих условий – типичная ошибка многих школ, как классических, так и современных школ. Если пытаться сделать школу слишком закрытой, аскетичной и строгой, дети в ней будут чувствовать себя загнанными в узкие рамки системы. Если сделать школу сверхоткрытой, чистым экспериментом, то дети окажутся в очень сложной ситуации, когда пространство, вроде бы предназначенное для образования, будет непонятным и сложным к использованию. Сверхоткрытая, слишком просторная и до мозга костей креативная школа потеряет свою образовательную значимость и превратится просто в место временного содержания детей, не всегда при этом для них комфортного [9].

Адекватной задачей для школ является качественное описание особенностей образовательной среды конкретной школы, поскольку это может помочь школе осознать свои реальные внутренние цели и задачи, оценить адекватность используемых ею средств и, в случае необходимости, наметить пути коррекции [10]. При создании новых современных пространств нужно понимать, что в образовательном процессе могут использоваться такие элементы здания, которые изначально не рассматриваются как образовательные инструменты, например, задействовать лестницы, актовые залы и коридоры как полноценные образовательные пространства. Креативность такого рода может сделать здание школы интересным и одновременно полезным для обучения детей. Чем больше в школе будут исполь-

зоваться подобные непривычные на первый взгляд пространства, тем скорее она получит статус современного образовательного учреждения.

Таким образом, исходя из полученных сведений, в настоящее время предлагаются различные пути решения недостатков школьных зданий и организации учебного процесса. Для создания высокоэффективной образовательной среды и ее устойчивого развития необходимы комплексные решения, позволяющие применить все новейшие и доступные разработки. При таком подходе возможно создание самоорганизующихся пространственных и социальных систем, эффективно работающих для достижения главной цели – совершенствования интеллектуальных и творческих ресурсов человечества.

Следовательно, необходимо создавать школьные здания с индивидуальной архитектурой для создания адекватного, но нестандартного мировосприятия уже на ранних этапах обучения. Именно архитектура может дать стимул к познанию, интерес к различным образовательным дисциплинам, возникновению новых идей и поиску методов их воплощения в жизнь.

#### Список литературы

1. Славинский С.П. Система и типы зданий общеобразовательных школ в структуре большого города: дис. ... канд. архитектуры. СПб., 2007.
2. Умная архитектура школьных зданий. Современные тенденции и перспективы // Портал для специалистов архитектурно-строительной отрасли «Строительный эксперт» от 13.09.2016. URL: <https://ardexpert.ru/article/7311> (дата обращения 05.10.18).
3. Архитектура современных школьных зданий как актуальная проблема проектирования // Издательский дом Сорокиной. URL: <http://www.ids55.ru/ais/articles/architect/3057--lr-.html> (дата обращения 05.10.18)
4. Позднякова Е.В., Кобелев Н.С., Поздняков А.Л. Анализ некоторых методов проектирования и реконструкции зданий общеобразовательных школ // Известия Юго-Западного государственного университета. 2017. № 5(74). С. 62 – 69.
5. Школа жизни // Российский архитектурный web-портал Archi.ru от 13.05.18. URL: <https://archi.ru/projects/russia/10529/horoshevskaya-gimnaziya> (дата обращения 05.10.18).
6. Лежак вместо парты: как выглядят новые школы Москвы // сайт РБК от 01.09.17. URL: <https://realty.rbc.ru/news/59a91b009a79477b5b8d1393> (дата обращения 05.10.18)
7. Через «не могу»: мешают ли российские нормы проектировать современные школы // Интернет-издание об архитектуре, градостроительстве и дизайне speech: archspeech. URL: <https://archspeech.com/article/cherез-ne-mogu-meshayut-li-rossiyskie-normy-proektirovat-sovremennye-shkoly> (дата обращения 05.10.18)
8. Как нам обустроить школу? // Образовательный портал Newtonew от 18.10.18 URL: <https://newtonew.com/school/kakoy-dolzha-byt-sovremennaya-shkola> (дата обращения 21.10.18)
9. Какой должна быть современная школа? // Российский архитектурный web-портал Archi.ru от 13.05.18. URL: <https://archi.ru/russia/62002/kak-nam-obustroit-shkolu> (дата обращения 05.01.19)
10. Коптелов А.В., Зайцева Н.А., Шереметьева И.Ю. Особенности форми-

рования образовательной среды естественно-научной направленности в общеобразовательной организации // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 5. URL: [http://www.science-](http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=2699)

[education.ru/ru/article/view?id=2699](http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=2699) (дата обращения: 07.10.2018).

*Поступила в редакцию 10.11.18*

UDC 727.1

**A.L. Pozdnyakov**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: [decanov@bk.ru](mailto:decanov@bk.ru))

**E.V. Pozdnyakova**, Associate Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: [cat\\_\\_rin@mail.ru](mailto:cat__rin@mail.ru))

**J.V. Skripkina**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: [julia\\_skr@mail.ru](mailto:julia_skr@mail.ru))

**T.A. Efanova**, Student, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: [tatyafano@yandex.ru](mailto:tatyafano@yandex.ru))

## PRINCIPLES AND DESIGN TRENDS OF MODERN EDUCATIONAL SCHOOLS

*The article talks about the practice of designing and building modern secondary schools, as well as the need to rethink the material component of this process, a new look at the adoption of space-planning decisions of similar institutions, based on modern urban planning and typological requirements for the organization of educational work, including the existing level of architectural and urban science. The aim of the study is to analyze the principles and recommendations on the architectural and planning formation of secondary schools that correspond to the specifics of the modern educational process.*

*The study examines the formation of architectural-planning and functional solutions for school buildings based on the search for new approaches in design. The analysis of the modern system of the educational process and its requirements in the development of a new spatial organization of the school environment. In addition to this, the existing structure of education in modern schools is considered, which may further affect the design, change the architectural quality and improve school buildings. It explains how the school space can make an educational sense and what it should be for it to become. The article deals with the problem of reforming the modern Russian school architecture, which stopped in its development at the Soviet stage, which includes most of the school buildings of standard construction.*

*As a result, trends in the design of general education spaces were studied and the main problems encountered in the development of new plans in schools were identified and methods for their solutions were proposed. The necessity of introduction of the modular principle of designing schools with a fundamental difference from the standard building is shown. Each specific project may contain individuality both in visual perception and in the layout of the modules, functional meaning, scale.*

**Key words:** school; design; new space; educational space; space-planning solutions; architecture; building types.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-72-80

**For citation:** Pozdnyakov A.L., Pozdnyakova E.V., Skripkina J.V., Efanova T.A. Principles and Design Trends of Modern Educational Schools. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 6(81), pp. 72-80 (in Russ.).

\*\*\*

**Reference**

1. Slavinskij S.P. Sistema i tipy zdaniy obshheobrazovatel'nyh shkol v strukture bol'shogo goroda. Diss. kand. arhitektury. Saint-Petersburg, 2007.
2. Umnaja arhitektura shkol'nyh zdaniy. Sovremennye tendencii i perspektivy. Portal dlja specialistov arhitekturno-stroitel'noj otrasli «Stroitel'nyj jekspert» ot 13.09.2016. URL: <https://ardexpert.ru/article/7311> (data obrashhenija 05.10.18).
3. Arhitektura sovremennyh shkol'nyh zdaniy kak aktual'naja problema proektirovanija. Izdatel'skij dom Sorokinov. URL: <http://www.ids55.ru/ais/articles/architect/3057--lr-.html> (data obrashhenija 05.10.18).
4. Pozdnjakova E.V., Kobelev N.S., Pozdnjakov A.L. Analiz nekotoryh metodov proektirovanija i rekonstrukcii zdaniy obshheobrazovatel'nyh shkol. *Izvestija. Ju-go-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, no. 5(74), pp. 62 – 69.
5. Shkola zhizni. Rossijskij arhitekturnyj web-portal Archi.ru ot 13.05.18 URL: <https://archi.ru/projects/russia/10529/horoshesvskaya-gimnaziya> (data obrashhenija 05.10.18).
6. Lezhak vmesto party: kak vygljadjat novye shkoly Moskvу. Sajt RBK ot 01.09.17. URL: <https://realty.rbc.ru/news/59a91b009a79477b5b8d1393> (data obrashhenija 05.10.18).
7. Cherez «ne mogu»: meshajut li rossijskie normy proektirovat' sovremennye shkoly. Internet-izdanie ob arhitekture, gradostroitel'stve i dizajne speech: archspeech. URL: <https://archspeech.com/article/cherez-ne-mogu-meshayut-li-rossijskie-normy-proektirovat-sovremennye-shkoly> (data obrashhenija 05.10.18).
8. Kak nam obustroit' shkolu? Obrazovatel'nyj portal Newtonew ot 18.10.18 URL: <https://newtonew.com/school/kakoy-dolzha-byt-sovremennaya-shkola> (data obrashhenija 21.10.18).
9. Kakoj dolzhna byt' sovremennaja shkola? Rossijskij arhitekturnyj web-portal Archi.ru ot 13.05.18. URL: <https://archi.ru/russia/62002/kak-nam-obustroit-shkolu> (data obrashhenija 05.10.18).
10. Koptelov A.V., Zajceva N.A., Sheremet'eva I.Ju. Osobennosti formirovanija obrazovatel'noj sredy estestvennonauchnoj napravlenosti v obshheobrazovatel'noj organizacii. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*. 2017, no. 5. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=2699> (data obrashhenija: 07.10.2018).

УДК 628.12

**А.А. Акульшин**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: aculchinaa@mail.ru)

**В.И. Щербаков**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (Россия, 394026, Воронеж, ул. Московский проспект, 14) (e-mail: scher@vgasu.vrn.ru)

**И.Р. Яровой**, магистрант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: ilya\_yarovoy\_00@mail.ru)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ВОДОПОДЪЁМНЫМИ СТАНЦИЯМИ НА ДОСТРОИТЕЛЬНОЙ СТАДИИ**

*В данной работе рассмотрены задачи моделирования потокораспределения. Потребителями этой системы являются насосные станции и на первое место выдвигаются уже не социальные (как во втором подъёме), а экономические (энергетические) критерии.*

*Напоры воды на входах в насосы определяются геодезическими уровнями расположения насосов. В скважинах может устанавливаться различное насосное оборудование, отличающееся по напору и производительности, результатом чего имеет место значительное различие напоров, вырабатываемых насосным оборудованием.*

*В статье приводится преобразованная версия нелинейной и линейной моделей оперативного управления, применительно к водоподъемным станциям.*

*Модель управления позволяет отслеживать переход системы в новое состояние и изменение параметров по отдельным линиям в рамках этого перехода. При этом если от двух скважин подача воды в коллектор возрастает в соответствии с заданным прогнозом, то от третьей – подача воды уменьшается.*

*По результатам моделирования водопроводных станций может быть построена дроссельная характеристика.*

*Синтез дроссельных характеристик, полученных на основе модели оперативного управления, позволяет осуществлять оперативное управление режимами водоподдачи в РЧВ, что является альтернативой прямого моделирования. Оба метода могут быть реализованы в рамках функционирования автоматизированных систем управления для насосных станций I и II подъёма.*

*Наибольший интерес представляет схема водопроводных станций без противодавления с преимущественным расположением скважин с менее мощными погружными насосами ближе к области пониженных напоров в коллекторных узлах.*

*Результаты численного моделирования представлены в форме дроссельных характеристик, то есть расход воды, подаваемой из скважины погружным насосом через дроссель, зависит от его коэффициента гидравлического сопротивления.*

*Благодаря дроссельным характеристикам удаётся определить предельно большое значение расхода воды, поступающей в РЧВ, а также появляется возможность моделирования наиболее экономичного режима эксплуатации скважин.*

**Ключевые слова:** моделирование; потокораспределение; водопроводная станция; дроссельная характеристика; расход воды; напор.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-81-91

**Ссылка для цитирования:** Акульшин А.А., Щербаков В.И., Яровой И.Р. Моделирование потокораспределения и управление водоподъемными станциями на достроительной стадии // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 81-91.

\*\*\*

На многих водозаборах из подземных источников водоснабжения фактический расход гораздо ниже проектного. Моделирование направлено на определение причин данной разницы. Системы

водоснабжения первого подъёма в качестве приоритетной задачи рассматривают потокораспределение, поскольку потребителями этой системы являются насосные станции и на первое место выдвига-

ются уже не социальные (как во втором подъёме), а экономические (энергетические) критерии.

Рассматривается моделирование процесса управления системами водоснабжения первого подъёма, именуемыми водоподъемными станциями (ВПС). В качестве функциональных ограничений используется баланс водопотоков через си-

стему в целом. Схема системы (рис.1) включает три погружных центробежных насоса (поз. 1,2,3), установленных на определённых глубинах в скважинах и подающих воду в соответствующие коллекторные узлы (поз. 6,7), а водопотоки от этих узлов направляются в резервуар чистой воды (РЧВ) (поз. 9) по общему коллектору [1,2].

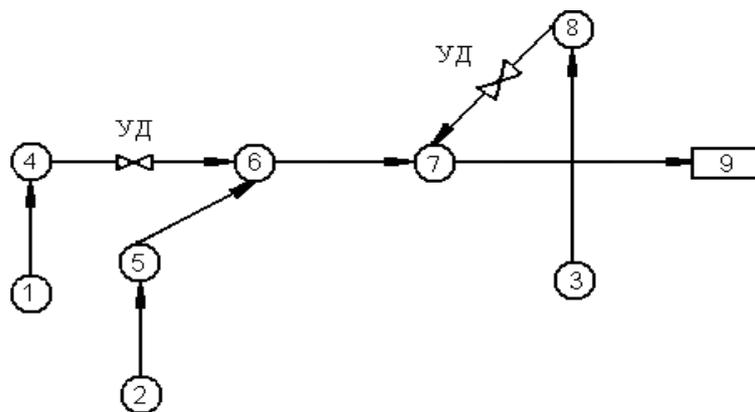


Рис. 1. Схема водоподъемной станции: 1, 2, 3 – погружные насосы, установленные в скважинах; 6, 7 – коллекторные узлы; 4, 5, 8 – узлы выхода из скважин; 9 – резервуар чистой воды; УД – управляемые дроссели

В коллекторный узел 6 вода поступает от двух скважин, а в узел 7 – от одной скважины. Напоры воды на входах в насосы определяются геодезическими уровнями расположения насосов. В скважинах может устанавливаться различное насосное оборудование, отличающееся по напору и производительности, результатом чего имеет место быть значительное различие напоров, вырабатываемых насосным оборудованием.

Согласно постановке задачи для принятой формы функциональных ограничений, управляемые дроссели устанавливаются на двух подающих линиях от скважин 1 и 3, от 2-й скважины установка УД не предусматривается.

Целью моделирования является анализ коллекторной схемы подачи воды в РЧВ, полагая, что последний служит источником питания СПРВ второго подъёма. Давление в РЧВ равно барометрическому.

Для упрощения задачи допускаем, что погружные насосы вырабатывают постоянные напоры в узлах 4, 5, 8, подающих воду в коллектор. То есть источники питания ВПС в упрощённой постановке отождествляются с узлами 4, 5, 8. Расчётная схема системы представлена на рис. 2.

Исходная информация, соответствующая установившемуся режиму перед началом управления, представлена в табл. 1.

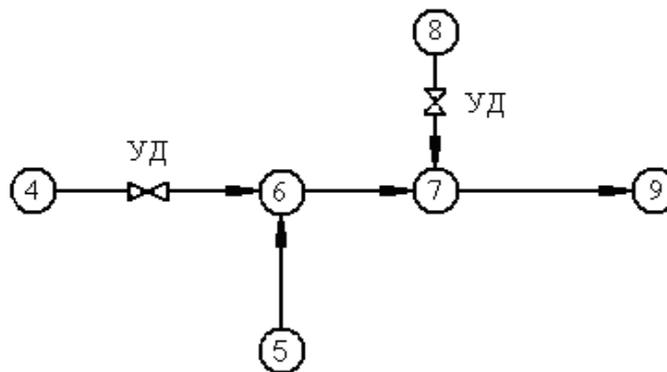


Рис. 2. Расчётная схема водоподъёмной станции:  
4, 5, 8 – узлы питания; 6, 7 – коллекторные узлы; 9 – РЧВ

Таблица 1

Исходная информация по водоподъёмной станции (рис. 2)

Обозначение участка	Q, л/с	S	h, м	Обозначение узла	(Z + H), м
4-6	50	0,0038	9,5	4	95
5-6	35	0,0024	3,0	5	88,5
6-7	85	0,00092	5,0	6	85,5
8-7	40	0,0028	4,5	7	80,5
7-9	125	0,000992	15,5	8	85
				9	65

Ниже приводится преобразованная версия нелинейной модели оперативного управления [3, 4], применительно к ВПС (рис. 2) обозначаемая нами как модель оперативного управления водоподачи от скважин:

$$[C_{p \times n1} | C_{p \times n1D}] \begin{bmatrix} h_{n1 \times 1} \\ h_{n1D \times 1} \end{bmatrix} = [M_{p \times g}] \begin{bmatrix} \hat{H}_{g \times 1} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$[A_{m \times n1} | A_{m \times n1D}] \begin{bmatrix} Q_{n1 \times 1} \\ Q_{n1D \times 1} \end{bmatrix} = [0], \quad (2)$$

$$[0_{(e-1) \times n1} | E_{(e-1) \times n1D}] \begin{bmatrix} 0 \\ Q_{n1D \times 1}^r \end{bmatrix} = [0_{(e-1) \times n1} | E_{(e-1) \times n1D}] \begin{bmatrix} 0 \\ Q_{n1D \times 1}^{rZ} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где [C], [A], [M] – матрицы независимых цепей, матрица инцидентности и матрица смежности; n1, n1D – число участков, ис-

ключая участки с УД; число участков с установленным УД соответственно; e – число энергоузлов - стоков (ЭУ) с фиксированным потенциалом; Q<sub>i</sub>, h<sub>i</sub> – расчётный расход и потери напора участка i; верхние индексы r и rZ – реальные участки и участки (реальные) на которых прогнозируется водоток; [E] – матрица составленная из единичных элементов, в каждой строке по два элемента противоположного знака; g – общее число энергоузлов, включая ЭУ – источники;  $\hat{H}_j$  – полный напор узла j.

Ниже приводится соответствующая линейная модель оперативного управления водоподачи от скважин (рис. 2) в относительных отклонениях, полученная путём линеаризации нелинейной модели (1)–(3) [3,5]:

$$\begin{aligned}
1. & 2h_{4-6}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{4-6}^{(k)} + 2h_{6-7}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{6-7}^{(k)} + \\
& + 2h_{7-9}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{7-9}^{(k)} + h_{4-6}^{(k-1)} \delta \bar{S}_{4-6}^{(k)} = 0, \\
2. & 2h_{5-6}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{5-6}^{(k)} + 2h_{6-7}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{6-7}^{(k)} + \\
& + 2h_{7-9}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{7-9}^{(k)} = 0, \\
3. & 2h_{8-7}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{8-7}^{(k)} + 2h_{7-9}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{7-9}^{(k)} + \\
& + h_{8-7}^{(k-1)} \delta \bar{S}_{8-7}^{(k)} = 0, \\
4. & Q_{4-6}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{4-6}^{(k)} - Q_{6-7}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{6-7}^{(k)} + \\
& + Q_{5-6}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{5-6}^{(k)} = 0, \\
5. & Q_{6-7}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{6-7}^{(k)} + Q_{8-7}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{8-7}^{(k)} - \\
& - Q_{7-9}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{7-9}^{(k)} = 0, \\
6. & Q_{4-6}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{4-6}^{(k)} - Q_{5-6}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{5-6}^{(k)} = \\
& = Q_{4-6}^{z(k-1)} \delta \bar{Q}_{4-6}^{z(k)} - Q_{5-6}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{5-6}^{(k-1)}, \\
7. & Q_{4-6}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{4-6}^{(k)} - Q_{8-7}^{(k-1)} \delta \bar{Q}_{8-7}^{(k)} = \\
& = Q_{4-6}^{z(k-1)} \delta \bar{Q}_{4-6}^{z(k)} - Q_{8-7}^{z(k-1)} \delta \bar{Q}_{8-7}^{z(k)}.
\end{aligned}$$

С позиции моделирования возмущённого состояния СПРВ гидравлическая модель водоподъёмной станции (рис. 1) представляет собой планарный незакольцованный граф с граничными условиями второго рода в узлах, поз. 1, 2, 3, рисунка и первого рода в узле, в поз. 9. Упрощение задачи привело к вырождению планарного в плоский незакольцованный граф с граничными условиями первого рода в узлах, поз. 4, 5, 8, 9 рис 2.

Как в первом, так и во втором случаях ВПС ограничена определёнными формами граничных условий, что позволяет

получить однозначное решение задачи, не прибегая к эквивалентированию.

Математическая модель (1)–(3) включает 3 цепных, 2 узловых балансовых и 2 нормальных уравнения в составе подмодели оперативного управления.

Поскольку прогноз водопотребления (водоподачи от скважин) в целом не может быть зафиксирован, ввиду отсутствия «долгосрочного» прогноза неуправляемого участка 5-6, задаёмся прогнозом через участки 4-6 и 8-7 с установленным УД (табл. 2).

Рассмотрим результаты моделирования с позиции экономической эффективности схемы транспортирования воды от скважин до РЧВ. Модель управления позволяет отслеживать переход системы в новое состояние и изменение параметров по отдельным линиям в рамках этого перехода. При этом если от двух скважин подача воды в коллектор возрастает в соответствии с заданным прогнозом, то от третьей – подача воды уменьшается. Это приводит к снижению темпа и величины водоподачи от РЧВ по сравнению с ожидаемыми значениями в новом состоянии. То есть, с точки зрения общей водоподачи, система управления оказывается недостаточно эффективной.

Результаты моделирования процесса управления водоподачей от 3-х скважин ВПС представлены в табл. 3,4.

Таблица 2

Прогноз водоподачи от ВПС (рис. 2)

Обозначение участка	До исполнения прогноза		
	Q, л/с	S×10 <sup>5</sup>	h, м
4-6	50	380	9,5
5-6	35	244,898	3,0
6-7	85	69,204	5,0
8-7	40	281,25	4,5
7-9	125	99,2	15,5

Таблица 3

Результаты моделирования по участкам  
процесса управления водоподачей ВПС (рис. 2)

Обозначение участка	До исполнения прогноза	После исполнения прогноза	
	Q, л/с	Q, л/с	$\Delta Q$ , %
4-6	50	60	+20
5-6	35	-	-
6-7	85	-	-
8-7	40	48	+20
7-9	125	-	-

Таблица 4

Результаты моделирования после исполнения прогноза

Обозначение участка	После исполнения прогноза		
	Q, л/с	$S \times 10^5$	h, м
4-6	59,373	222,462	7,842
5-6	24,798	244,898	1,506
6-7	83,266	69,204	4,798
8-7	47,183	125,536	2,794
7-9	131,662	99,2	17,196

Таблица 5

Результаты моделирования по узлам  
процесса управления водоподачей ВПС (рис. 2)

Обозначение узла	До исполнения прогноза	После исполнения прогноза
	(Z+H), м	(Z+H), м
4	95,0	95,0
5	88,5	88,5
6	85,5	87,1576
7	80,5	82,359
8	85	85
9	65	65

Подобные негативные проявления при функционировании ВПС можно объяснить тремя причинами. Первая – подача воды в РЧВ от нескольких скважин через общий коллектор, который гидравлически связан со всеми скважинами и является передающим звеном режимных возмущений одной группы скважин на другие. Причем в такой (зависимой) схеме водоподачи общий коллектор выступает не только как передающее, но и как тормозящее звено, так как при увеличе-

нии водоподачи от какой-то части скважин его сопротивление возрастает и тормозит увеличение водоподачи от остальной части скважин. При этом соответствующая часть насосного оборудования отклоняется от оптимальных режимов в сторону увеличения затрат электроэнергии, с одновременным увеличением энергозатрат на 1 м<sup>3</sup> воды, подаваемой в РЧВ. Такую картину демонстрируют результаты моделирования (табл. 3, 4): при увеличении расхода воды по линиям 4-6 и 8-7

за счёт раскрытия УД, увеличивается напор в узле 6 коллектора почти на 1,66 м, а в узле 7 уже на 1,86 м, причём в последнем случае рост напора происходит не только за счёт раскрытия УД на линии 8-7, но и за счёт повышения напора в узле 6. То есть в узле 7 коллектора произошло накопление возмущения от двух скважин.

Управляемый дроссель (регулятор) – дроссельное устройство с приводом, позволяющее оперативно изменять гидравлическое сопротивление дроссельного элемента.

Потери напора в дросселе определяются по формуле

$$h_D = \xi \frac{W_D^2}{2g} = S_D Q_D^2. \quad (4)$$

Для УД коэффициент гидравлического сопротивления  $S_D$  является переменной величиной, зависящей от возмущающего воздействия, передаваемого на привод дросселя.

По результатам моделирования ВПС, на основе (1)-(3), (4)-(6), может быть построена дроссельная характеристика  $Q_{Di} = \varphi_i(S_{Di})$ . Такая характеристика для каждого из 2-х управляющих дросселей, установленных на водоподающих от скважин линиях, представлена на рис. 3.

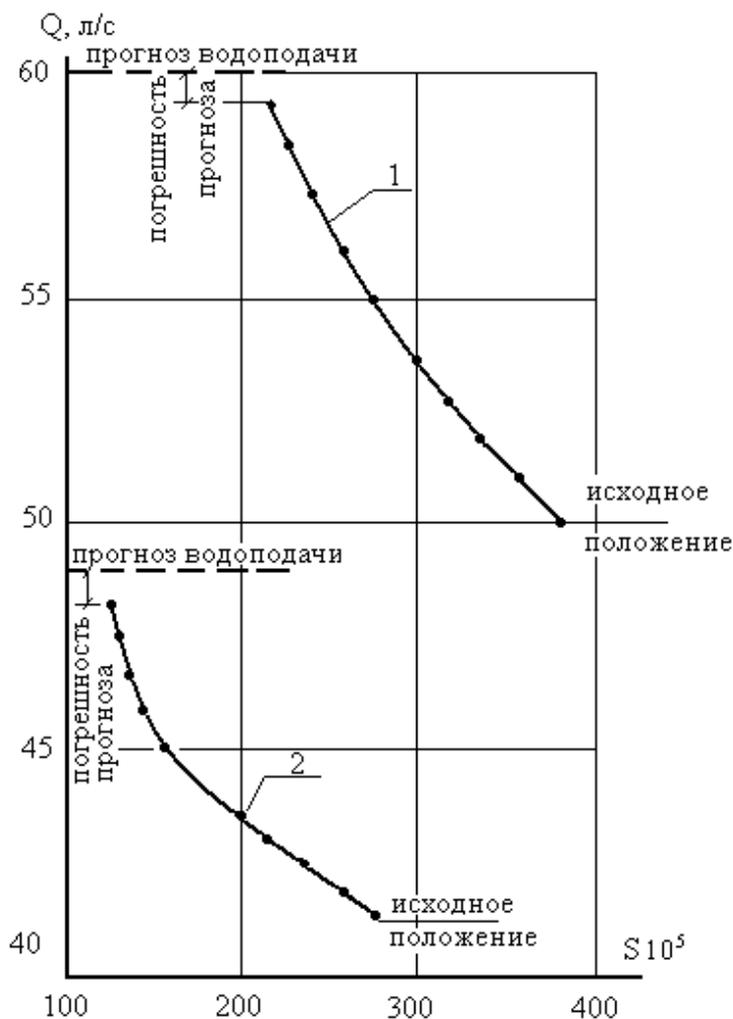


Рис. 3. Дроссельные характеристики водоподъемной станции (рис. 2): 1-участок 4-6; 2- участок 8-7

Синтез дроссельных характеристик, полученных на основе модели оперативного управления, позволяет осуществлять оперативное управление режимами водоподдачи в РЧВ, что является альтернативой прямого моделирования на основе (1)-(3). Оба метода могут быть реализованы в рамках функционирования АСУ ТП РВ для систем I и II подъема.

Предпочтительной с гидравлической точки зрения представляется независимая схема (рис. 4), в которой исключено взаимное влияние режима работы отдельных скважин и насосное оборудование каждой скважины может быть настроено на собственный оптимальный режим функционирования.

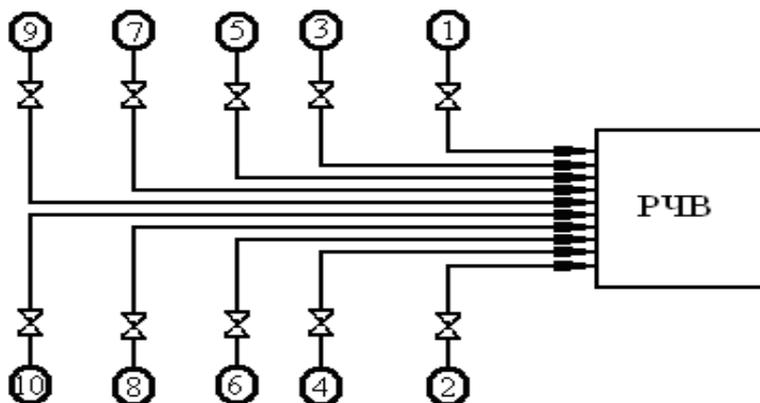


Рис. 4. Независимая схема водоподдачи в РЧВ водоподъемной станции

Такая схема позволяет добиваться минимальных энергозатрат на 1 м<sup>3</sup> воды, подаваемой в РЧВ. Однако независимая схема неприемлема из-за больших капитало- и металлоложений в сооружения ВПС. Очевидно, что в связи с наблюдаемой тенденцией роста стоимости электроэнергии, независимая схема становится всё более привлекательной. Вместе с тем, в дальнейшем анализе будем исходить из проектного варианта ВПС с общим коллектором.

Другой причиной энергетической неэффективности функционирования ВПС является различие в характеристиках насосного оборудования скважин, то есть многообразие номенклатуры погружных насосов. Так, согласно табл. 4, различие полных пьезометрических напоров узлов 4 и 5 (следствие различия в напорных характеристиках погружных насосов скважин 1 и 2) привело к уменьшению подачи

от скважины 2 более чем на 29%. При значительном отличии характеристик насосов возможно полное торможение водоподдачи от отдельных скважин с работой насосов в режиме с нулевым КПД и затратой подводимой энергии на нагрев воды в скважине. Это отразилось и на расходе воды на линии 6-7 коллектора, подающего воду в РЧВ. То есть подача воды в резервуар увеличилась всего лишь на 5,3%, за счёт уменьшения расхода по линии 6-7 на 2,04%. При этом водоподдача в коллектор от двух скважин, стимулированная системой управления, возросла на 18,4%. Иными словами, вода в коллекторе «теряется» по пути движения в резервуар.

Таким образом, приходим к третьей причине неэффективности функционирования системы управления и водоподдачи через общий коллектор. Эта причина кроется в схеме водоподдачи от скважины к коллектору и присуща именно общему коллектору (рис. 5).

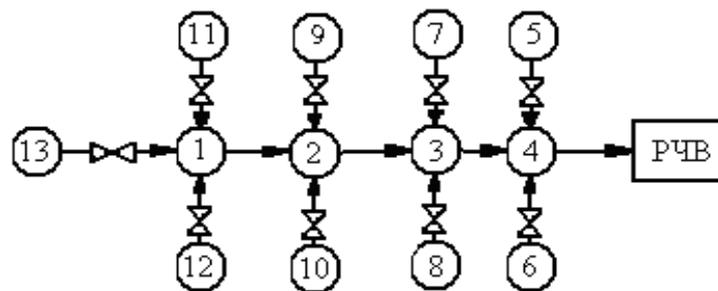


Рис. 5. Расчётная схема ВПС с противодавлением насосного оборудования:  
(1-4) – коллекторные узлы; (5-13) – скважины с погружными насосами

Для такой схемы характерна подача воды в один коллекторный узел от нескольких скважин, следствием чего является противодействие насосного оборудования, усугубляемое различием в вырабатываемых напорах. Такая схема водоподдачи в коллектор приводит к «передавлению» одной части насосного оборудования другой, более мощной, с переходом на неоптимальные режимы работы и повышением удельной стоимости воды,

подаваемой в резервуар. Элементы противодействия присутствуют и в схеме (см. рис. 5) с соответствующими негативными последствиями, выявленными по результатам моделирования [2, 4, 5, 6].

Наибольший интерес представляет схема ВПС без противодействия (рис. 6) с преимущественным расположением скважин с менее мощными погружными насосами ближе к РЧВ, то есть в области пониженных напоров в коллекторных узлах.

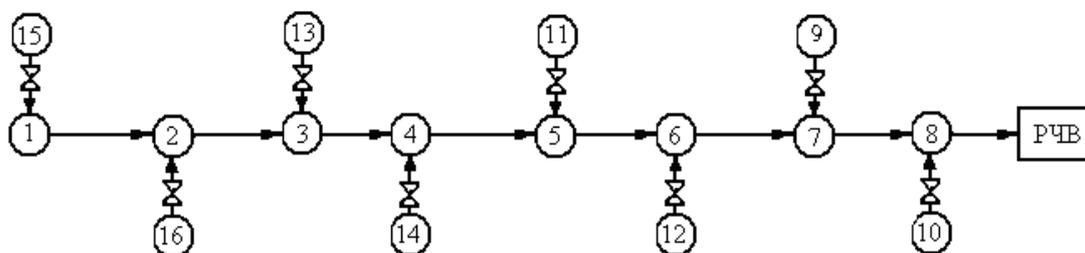


Рис. 6. Расчётная схема ВПС без противодействия насосного оборудования:  
(1-8) – коллекторные узлы; (9-16) – скважины с погружными насосами

Модель управления функционированием ВПС строится на основе модели возмущённого состояния для одномерного квазистационарного течения вязкой несжимаемой жидкости в трубах. Она включает систему уравнений Бернулли с определенной (благодаря определённым формам ГУ) правой частью, в форме цепных уравнений для системы линейно-независимых цепей; в качестве функциональных ограничений используется первый закон Киргофа в форме узловых ба-

лансовых уравнений для множества узлов с заданным потенциалом [1]:

$$\sum_{j \in J_p} \sum_{j \in J_\gamma} \text{sgn} \Delta P_{ij} = \sum_{j \in J_p} \sum_{j \in J_\gamma} \text{sgn} S_{ij} Q_{ij}^2 = \sum_{j \in J_p} [(Z + H)_N - Z_R]_j, \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J_\mu} \left( \sum_{j \in J_\epsilon} \text{sgn} Q_{ij} + q_j^z \right) = 0, \quad (6)$$

где  $J_p$ ,  $J_\gamma$  – множество независимых цепей, множество участков в составе независимой цепи  $j$  соответственно;  $S_{ij}$ ,  $Q_{ij}$  –

коэффициент гидравлического сопротивления и расчётный расход участка  $i$  в составе цепи  $j$ ;  $J_{\mu}$ ,  $J_{\varepsilon}$  – множество узлов с заданным потенциалом, множество участков, инцидентных узлу  $j$  соответственно;  $q_j^z$  – сосредоточенный заданный отбор (приток) от узла  $j$ ;  $(Z+H)_N$  – геодезический уровень установки и напор, вырабатываемый погружным насосом в составе цепи  $j$ ;  $Z_R$  – геодезиче-

ский уровень установки РЧВ в составе цепи  $j$ .

Результаты численного моделирования представлены в форме дроссельных характеристик, то есть зависимости расхода воды, подаваемой из скважины погружным насосом через дроссель, от его коэффициента гидравлического сопротивления (рис.7).

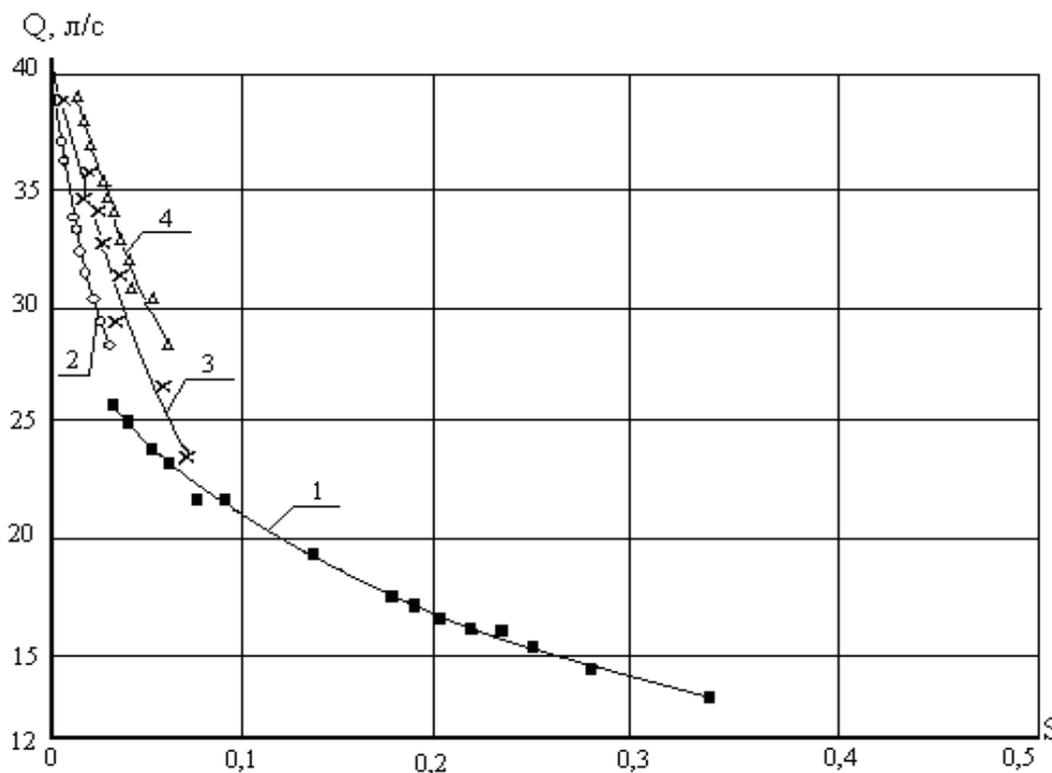


Рис. 7. Дроссельные характеристики управляемых из компьютерного центра дросселей: 1– (13-11); 2-(9-7); 3-(14-15); 4-(6-7)

Общее число расчётных точек на дроссельной характеристике  $K=10^4$ , однако для построения характеристик выбрано ограниченное их количество. Дисперсия дроссельной характеристики, отражающая взаимное влияние переменности настройки множества дросселей, не превышает 1%. Это свидетельствует об индивидуальной устойчивости конфигурации дроссельных характеристик в

условиях параметрических возмущений, вносимых в систему.

В соответствии с постановкой задачи одна подающая линия не оснащена управляющим дросселем и исполнение прогноза водоподачи по этой линии (из-за отсутствия механизма его исполнения) не реализуемо. Это недостаток данной модели, однако погрешность исполнения прогноза, обусловленная этой неконтро-

лируемой линией, уменьшается по мере увеличения масштабов системы, то есть количества скважин.

Благодаря дроссельным характеристикам удаётся определить предельно большое значение расхода воды, поступающей в РЧВ, а также появляется возможность моделирования наиболее экономичного режима эксплуатации скважин [7].

#### Список литературы

1. Щербаков В.И., Акульшин А.А. Водозаборные сооружения из подземных источников. Saarbrücken, 2017. 184 с.

2. Алексеев В.В, Сердюк Н.И. Рациональный выбор средств для подъема воды (раствора) по гидрологическим скважинам. М.:МГГРУ, 2005. 213 с.

3. Панов М.Я., Стогней В.Г., Петров Ю.Ф. Развитие теории управления функционированием гидравлических систем в приложении к водоподъёмным станциям. Воронеж: ВГТУ, 2009. 57 с.

4. Щербаков В.И., Пурусова И.Ю. Математическое моделирование оперативного управления водоподъёмными станциями // Современные проблемы анализа динамических систем: матер. междунар. конф. Воронеж, 2014.

5. Панов М.Я., Щербаков В.И., Пурусова И.Ю. Моделирование потокораспределения и управление водоподъёмными станциями // Вестник Воронежского технического университета, серия Энергетика. 2007. Т. 3, №6. 2007. С.182-185.

6. Щербаков В.И., Пурусова И.Ю., Помогаева В.В. Модель оперативного управления работой водоподъёмных скважин // Вестник МГСУ. 2015. № 12. С.118-127.

7. Pump life cycle costs: A guide to LCC analysis for pumping systems. Executive Summary. Hydraulic Institute, Euro-pump, U.S. Department of Energy's Office of Industrial Technologies (OIT), 2000, 16 p.

*Поступила в редакцию 02.11.18*

UDC 628.12

**A.A. Akulshin**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: aculchinaa@mail.ru)

**V. I. Shcherbakov**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: scher@vgasu.vrn.ru)

**I.R. Yarovoy**, Undergraduate, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: ilya\_yarovoy\_00@mail.ru)

#### MODELING THE FLOW DISTRIBUTION AND CONTROL VODOPJANIKHA STATIONS ON MASTROIANNI STAGE

*In this article the tasks of modeling the flow distribution are considered, and since the consumers of this system are pumping stations, the first place is put forward not social (as in the second rise), and economic (energy) criteria.*

*The water pressure at the pump inlets is determined by the geodesic levels of the pumps. In wells can be installed various pumping equipment, different in pressure and performance, resulting in a significant difference in the pressure produced by the pumping equipment. In the wells can be installed various pumping equipment, different in pressure and performance, as a result of which there is a significant difference in the pressure generated by the pumping equipment.*

The article presents a transformed version of the nonlinear and linear models of operational management as applied to water-lifting stations.

The governance model allows tracking the transition of the system to a new state and the change of parameters along individual lines within this transition. Herewith, if from two wells the water supply to the manifold increases in accordance with a given forecast, then from the third - the water supply decreases.

According to the results of modeling of water supply stations can be built throttle characteristic.

The synthesis of throttle characteristics obtained on the basis of the operational control model allows for the operational control of the water supply modes to the clean water tank, which is an alternative to direct modeling. Both methods can be implemented as part of the operation of automated control systems for pump stations I and II lifting.

The most interesting is the scheme of water supply stations without back pressure with the predominant location of wells with less powerful submersible pumps closer to the area of low pressures in the collector nodes.

The results of numerical simulation are presented in the form of throttle characteristics, that is, the dependence of the flow rate of water supplied from a well by a submersible pump through a choke, on its hydraulic resistance coefficient.

Due to the throttle characteristics, it is possible to determine the extremely high value of the water flow entering the clean water tank, as well as the possibility of modeling the most economical mode of operation of wells.

**Key words:** modeling; flow distribution; water supply station; throttle response; water flow; pressure.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-81-91

**For citation:** Akulshin A.A., Shcherbakov V. I., Yarovoy I.R. Modeling the Flow Distribution and Control Vodopjanikha Stations on Mastroianni Stage. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 6(81), pp. 81-91 (in Russ.).

\*\*\*

## Reference

1. Shherbakov V.I., Akul'shin A.A. Vodozabornye sooruzhenija iz podzemnyh istochnikov. Saarbrücken, 2017, 184 p.

2. Alekseev V.V, Serdjuk N.I. Racional'nyj vybor sredstv dlja pod#ema vody (rastvora) po gidrologicheskim skvazhinam. Moscow, MGGRU Publ., 2005, 213 p.

3. Panov M.Ja., Stognej V.G., Petrov Ju.F. Razvitie teorii upravlenija funkcionirovanijem gidravlicheskih sistem v prilozhenii k vodopod#jomnym stancijam. Voronezh, 2009, 57 p.

4. Shherbakov V.I., Purusova I.Ju. Matematicheskoe modelirovanie operativnogo upravlenija vodopod#emnymi stancijami. Sovremennye problemy analiza dinamich-

eskih sistem. Mater. mezhdunar. konf. Voronezh, 2014.

5. Panov M.Ja., Shherbakov V.I., Purusova I.Ju. Modelirovanie potokoraspre-delenija i upravlenie vodopod#emnymi stancijami. Vestnik Voronezhskogo tehniche-skogo universiteta, serija Jenergetika, 2007, vol. 3, no. 6, pp.182-185.

6. Shherbakov V.I., Purusova I.Ju., Pomogaeva V.V. Model' operativnogo upravlenija rabotoj vodopod#jomnyh skvazhin. Vestnik MGSU, no. 12, 2015, pp.118-127.

7. Pump life cycle costs: A guide to LCC analysis for pumping systems. Executive Summary. Hydraulic Institute, Euro-pump, U.S. Department of Energys Offise of Industrial Technologies (OIT), 2000, 16 p.

УДК 711.122

**Ю.В. Скрипкина**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: julia\_skr@mail.ru)

**Я.А. Лалыкина**, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: lalykina2016@yandex.ru)

### **ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЦЕНТРА ДЛЯ ЗАНЯТИЙ ЭКСТРЕМАЛЬНЫМИ ВИДАМИ СПОРТА В КУРСКЕ**

*Цель данной работы – выявить основные принципы формирования многофункционального центра для занятий экстремальными видами спорта. Она включает в себя: сравнительный анализ спортивных заведений экстремальной направленности в городе Курске, а также ряд предварительно изученных аналогичных проектов и существующих зданий на примерах российского и зарубежного архитектурного опыта.*

*Авторами статьи предложен спорткомплекс, вписанный в существующую застройку города Курска. В него внедрены абсолютно новые технологии для воплощения конструктивных решений таких сложных объектов, как аэродинамическая труба, глубоководный бассейн для дайвинга, большепролётный крытый скейт-холл с местами для зрителей и верхним светом. Все эти элементы сформировавшегося в итоге объекта были взяты из проектов известных архитектурных бюро, таких, как eXtreme Architects, White Studio, Moko Architects, а также иных зарубежных проектов датских и норвежских архитекторов. В качестве примеров выступают и работы по реконструкции промышленных сооружений, таких, как веерное депо или силосная башня, преобразованных в многофункциональные спортивные комплексы.*

*Рассмотрены социальные, экономические и экологические аспекты проектирования такого рода объекта. Приведена нормативная база, включающая в себя требования к пожарной безопасности, эксплуатации здания маломобильными группами населения (МГН), воздействию на окружающую среду, а также строительные правила, которые устанавливают требования к оборудованию, инвентарю и спортивному пространству целого комплекса.*

*В статье исследована значимость возведения многофункционального центра для занятий экстремальными видами спорта, а также подтверждена актуальность такого спорта в городе Курске.*

**Ключевые слова:** экстремальный спорт; спортивный комплекс; роллердром; скейтпарк; скалодром; профессиональный спорт; нормативная база; спортивные сооружения.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-92-102

**Ссылка для цитирования:** Скрипкина Ю.В., Лалыкина Я.А. Принципы формирования многофункционального центра для занятий экстремальными видами спорта в Курске // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 92-102.

\*\*\*

Экстремальность является неизбежной составляющей человеческой жизни [1]. Основной потребностью для представителей этой субкультуры является стремление к самореализации. Успехи в сфере экстремального досуга подталкивают человека к достижению целей в других сферах жизни, например в учёбе, в научной деятельности [2]. Для максималистов молодого поколения ближе по духу будет именно такой спорт, который помогает развивать характер, формировать, совершенствовать силу воли и одерживать победу над самим собой.

Сейчас экстремальный спорт насчитывает десятки видов: для категории любителей свободного падения и полётов – параглайдинг, банджи-джампинг и т.д.; для фанатов глубоководных погружений – дипдайвинг и фридайвинг, или просто для экстремальной молодёжи городской среды – скейтинг, роллерблейдинг, BMX-vert, BMX-street и паркур [3].

В статье рассматривается проблема востребованности спортивных центров со специализированным оборудованием для занятий экстремальными видами спорта,

пользующимися популярностью у большинства молодых людей от 14 до 25 лет [4].

Приведём анализ аналогичных центров с целью выявления достоинств и недостатков существующих и только разрабатываемых проектов.

Первый рассматриваемый концепт-проект парка экстремальных видов спорта представляет собой всесезонный спортивный комплекс, разработанный под брендом известного архитектурного бюро eXtreme Architects в городе Екатеринбурге (рис. 1, а). Состав комплекса и архитектурный облик могут быть различны в зависимости от географических, климатических условий и пожеланий заказчика. Данный объект представлен организацией как преимущественно новый сегмент на рынке проектируемых комплексов для развлечения и досуга, нацеленный на активный отдых и зрелищные мероприятия [5].

Следующий объект – шестиэтажный центр экстремальных видов спорта, планируемый в Москве. В комплексе предусмотрены аэротруба и серфинг-тренажер с искусственной волной. О его возведении сообщается на официальном портале мэра и правительства столицы. В проекте спортивного комплекса также предусмотрено наличие гимнастического зала и кафе. Площадь шестиэтажного спорт-комплекса составит 4 230 кв. м. Масштабы предприятия, несомненно, соответствуют масштабам города, поэтому если строить подобный объект в Курском регионе, занимаемая сооружением площадь будет значительно меньше [6].

Новое строительство ведётся не только в Москве. Часто инициатива о возведении новых досуговых учреждений поступает от самой молодёжи. К примеру, в республике Крым активисты обратились к правительству с просьбой о строительстве комплекса для развития BMX-спорта

(англ. Bicycle Motocross, «велосипедный мотокросс»), который не так давно был включён в состав олимпийских.

Ещё одним примером может служить город Зеленогорск, где 30.11.2018 года будет введён в эксплуатацию парк экстремального спорта «Золинский». По задумке организаторов сюда будут съезжаться спортсмены со всей России для участия в чемпионатах по мотокроссу, мотофристайлу, BMX, маунтинг-байку, сноубордингу, горным лыжам, на квадроциклах и даже снегоходах. В данном случае стоит отметить ориентацию центра на те виды спорта, в которых используется специализированный транспорт.

Все выше рассмотренные объекты имеют конкретную направленность. Наиболее близка к идеалу и весьма необычна с архитектурной точки зрения концепция проекта «Сочинского спортивного клуба IN WAVE» от московского архитектурного бюро White Studio (рис. 1, б). Уникальность проекта заключается в использовании эксплуатируемой кровли, которая имеет уклоны, представляющие собой спуски, по замыслу авторов используемые зимой для катания на лыжах и сноуборде, а летом – на роликах, горных велосипедах и лыжероллерах. Данный объект соответствует определению «многофункциональный». Всего заложено шесть спусков. Трасса самого длинного из них – 240 м, ширина спусков – 20 м; здание общей площадью 230 тысяч квадратных метров запроектировано по каркасной схеме с безбалочным перекрытием; наружные стены – типа «сэндвич», самонесущие; внешняя отделка выполнена из композитных панелей, благодаря чему возведение сооружения не будет затянута, что позволит быстро ввести в эксплуатацию данный комплекс [7].



Рис. 1. а – Всесезонный спортивный комплекс. Архитектурное бюро eXtreme Architects;  
б – Сочинский спортивный клуб. Архитектурное бюро White Studio

Архитектурный образ с использованием эксплуатируемой крыши отвечает современным тенденциям в архитектурном проектировании.

Существующий Центр Экстремального Sports (ЦЭС) «Спортэкс» является единственным подобным сооружением в России и крупнейшим в Европе (рис. 2). Это инновационный проект, предназначенный для развития современных и экстремальных видов спорта. Центр включает в себя скейт-парк, гимнастический и тренажёрный залы. Следует подчеркнуть схему работы данного комплекса, ис-

пользуемого не только как универсальный спортзал для свободного посещения, но и в качестве школы экстремального спорта, где происходит деление на виды дисциплин. В ЦЭС «Спортэкс» организованы тренировочные процессы по 17-ти дисциплинам: велосипед: ВМХ, МТВ, велотриал, флэтлэнд; ролики: агрессивные, фитнес; лыжный фристайл, сноуборд; паркур, фриран, акрофристайл, капзэйра; спортивная акробатика и спортивная гимнастика: мужская, женская, детская, трикинг, прыжки на батуте [8].



Рис.2. Центр экстремального спорта «Спортэкс» в Москве: а – фасад; б – интерьер

Не менее оригинальными являются проекты реконструкции. Во-первых, это работа варшавского архитектурного бюро Moko Architects, сумевшего преобразовать заброшенную силосную башню для хранения сыпучих веществ и совместить под одной крышей погружение под воду с аквалангом и имитацию свободного падения при прыжках с парашютом. В одной из двух частей башни будет устроен глубоководный (до 25-30 м) бассейн, а в другой – аэродинамическая труба. Снаружи старая башня будет «облеплена» грузовыми контейнерами, чтобы увеличить площадь здания. В контейнерах разместятся раздевалки, душевые, а также

небольшая гостиница-хостел, кафе и спортивные магазины [9]. Строительство экстремального центра было запланировано ещё в 2015 году (рис. 3, а).

Во-вторых, проект реконструкции старого веерного депо в датском Эсбьерге по проекту бюро EFFEKT так же в 2015 году. Новый спортивно-досуговый центр предназначен для поклонников современных танцев, скейтборда, стритарта, баскетбола и других видов спорта и искусства. Композиционным центром общественного сооружения является круглая площадка, вокруг которой сгруппированы все остальные зоны (рис. 3, б).



а)



б)

Рис.3. Реконструируемые под спортивные центры промышленные сооружения;  
а – силосная башня, Варшава; б – трамвайное депо, Эсбьерг

Вышеперечисленные проекты доказывают актуальность и свежесть идеи, которая активно поддерживается как государством, так и частными организациями.

Такие проекты требуют повышенного внимания и особого (инновационного) подхода к организации управления, требуют формирования многоуровневых управленческих структур. Финансирова-

ние этих проектов осуществляется с привлечением большого количества источников с применением сложных финансовых схем. Кроме того, они в значительной степени подвержены влиянию внешних экономических, политических и социальных факторов [10].

Обзор аналогов, расположенных на территории города Курска, приведён ниже в таблице.

## Анализ спортивных сооружений в городе Курске

Объект	Место расположения	Достоинства	Недостатки
Роллер-школа «Hardroll»	Зимой: улица Щепкина, 4Б, ТРЦ «Манеж» – роллердром 3 UROVEN; летом: парк «Боева Дача»	-прокат роликовых коньков; -сплочённый тренерский коллектив, состоящий из молодых активистов; - ведение занятий только на роликовых коньках и только по трём направлениям – слалом, -проведение обучающих фрискейт, шоу-программа, агрессив	-находится в комплексе торгового центра; -маленький роллердром с частым шагом колон; -большое расстояние между площадками для зимних и летних занятий; -отсутствие качественного оборудования для трюков (рампы, бордюры и т. д); - возможность катания и обучения только на роликовых коньках (т.е. однонаправленность)
Открытый роллердром на Льговском повороте	Проспект Ленинского Комсомола, 1А	-есть прокат роликов; -хороший асфальт ; -огромная площадка для катания; -есть навес от дождя для зрителей над трибунами; -территория роллердрома ограждена; -наличие роллерского кафе	-функционирование только в летний период; -отсутствие тренерского персонала; -старое оборудование для трюков (рампы и трамплинов); -архитектурно невыразительный образ
Скалодром «Курская стена»	Элеваторный проезд, 14В	-есть зал игровых видов спорта; -стены и рельефы высотой до 16 м; -более чем 850 кв.м. «скальных» поверхностей; -более 30 разнообразных трасс категорией сложности от 5с до 8b от лучших спортсменов и постановщиков трасс; -разминочный зал; -здание скалодрома оборудовано раздевалками, туалетными комнатами и душевыми	-неудобное расположение в городе; -архитектурно невыразительный образ; -однонаправленность (не выполняет иных функций в роде скейтпарка или роллердрома)

Окончание табл.

Объект	Место расположения	Достоинства	Недостатки
Батутный центр «Космос»	Карла Маркса, 68, ТРЦ Мегагринн	-27 батуттов; - мегатрамп; -наклонные секции; -батутная дорожка; -поролоновая яма; -скалодром; -специальное оборудование	-находится в комплексе торгового центра; -носит исключительно развлекательный характер
СРК «Седьмое небо»	проспект Кулакова, 146/з	-борды для прыжков – на батуте (баунсборды); -лонжа; -разминочная площадка; -наличие скалодрома; -наличие батутного центра	-невыразительный архитектурный образ здания; -отсутствие площадок для роллеров, скейтеров и трассы для ВМХ

В результате обзора получили список спортивных объектов, разбросанных по всему городу, предоставляющих услуги всего лишь по двум-трём видам интересующего спорта.

Исходя из рассмотренного материала, авторами более конкретно формируется концепция будущего объекта, очерчивается архитектурный и конструктивный образ центра, который совмещает лучшие идеи рассмотренных проектов и объединяет сразу несколько спортивных секторов.

Цель проекта проста – дать людям возможность профессионально заниматься тем или иным экстремальным видом спорта, тренироваться на специальном оборудовании, что позволит свести риск травматизма к минимуму [11].

Согласно общему алгоритму проектирования в первую очередь выбирается подходящий участок. Проанализировав некоторые варианты, было выбрано место в центральном районе города Курска у входа в парк «Боева Дача», расположенный между руслом реки Тускарь и малоэтажной частной жилой застройкой улицы Тускарной. По генеральному пла-

ну, между Центральным и Железнодорожным округами города Курска предусматривается сохранение пойменных природных территорий вдоль этой реки для рекреационных целей и развития жилых образований вокруг, поэтому такой масштабный спортивно-досуговый объект логично вписывается в рамки данной территории.

Вследствие огромной концентрации техногенных нагрузок в современных городах наблюдается нарушение водно-земельного режима, примитивности ничтожной биологической продуктивности урбоценоза, а сила и скорость антропогенных воздействий часто превышают темпы адаптации к этим воздействиям природной среды [12]. Учитывая это, объем здания выполнен как часть рельефа парковой зоны: фасад с вертикальным озеленением оснащён системой конденсирования, т.е. испаряющаяся влага питает растительный слой отделки (рис.4, а).

Проект имеет молодёжную направленность, а экстремальная деятельность требует экстремальных архитектурных образов. Композиционное решение здания спортивного комплекса навеяно мор-

ской тематикой. Скат, имеющий угловатую форму тела, на самом деле гибкое и плавное существо. Такие же качества имеет архитектура представленного центра. Три блока в плане имеют треугольную и призмобразную форму, но вид фасадов – это уже более текучий образ. Плавные волнообразные формы велодорожек и ограждающих поручней, а так же динамичные наклонные стены верхних этажей делают объект своеобразным и

необычным для восприятия зрителя, который заинтересовывается и внутренним пространством здания. В основе любой композиции лежит гармония и установление закономерного порядка в расположении частей композиции, число которых рекомендуется брать не менее трёх. Поэтому при изначальном формировании объёма здания за основу взяты три блока (рис. 4, б).



а



б

Рис.4. Многофункциональный спортивный комплекс для экстремальных видов спорта:  
а – план, б – фасад

Связь внешних объёмов и внутреннего пространства заключается в следующем функциональном зонировании здания:

1. Блок скейт-холла с раздевальными и трибунами для зрителей; имеет два надземных этажа высотой 4 и 3 метра, а также цокольный и подземный. На первом этаже – скейт-холл, на втором – трибуны для зрителей; на уровнях цокольного и подземного этажей устроены технические помещения, склады прокатного инвентаря и парковка.

2. Блок-связующее – имеет коммуникативную функцию, вмещает в себя общественную рекреационную и вестибюльную группу, тесно связан с 1-м блоком, поскольку они оба стоят на стилобате парковки. Интернет-кафе с просторным вестибюлем, парадной лестницей на первом этаже, ведущей на форум с устроенным амфитеатром и зимним садом на втором соединяются атриумом, сквозь который проходит верхний свет. Здесь могут проводиться собрания участников соревнований или иные мероприятия.

3. Блок тренировочных залов и водных видов спорта – самый крупный блок, имеющий 5 этажей разной высоты (в зависимости от тренировочных залов, расположенных на данном этаже); особенность этого блока – бассейн дайвинга, ванна которого проходит сквозь все этажи и ещё на 4 метра уходит под землю; общая глубина – 25 метров, вход в плавательный зал находится на верхнем 5-м этаже; в пределах уровня 5-го и 4-го этажей ванна имеет расширение и ступенчатую конфигурацию с увеличением глубины; с 3-го этажа и до дна (до отметки - 9700) ванна имеет цилиндрическую форму с окнами (иллюминаторами), проходящую сквозь все поэтажные уровни. Та-

кую сквозную планировку имеет не только зал дайвинга, но и скалолазный многоуровневый зал. Таким образом, решается задача вместимости большего числа занимающихся и их распределения по вертикальным уровням, что в свою очередь позволяет привлечь любителей и уже занимающихся спортсменов к освоению новых дисциплин и более высоких уровней сложности [11].

Открытая зона вело-, скейт- и роллер-спорта является главной особенностью центра и представлена велодорожками, огибающими фасад и стекающимися на единую спортивную экстремальную площадку, вокруг которой предусмотрены места для зрителей и отдыхающих спортсменов.

Занятия могут проводиться в любое время года и по разным дисциплинам. Спортивная дисциплина – это вид отдельных соревнований, упражнение или комплекс упражнений определённого вида спорта, перечень которых утверждается соответствующими спортивными федерациями. К числу летних видов спорта относятся скейтборд, ролики, BMX-велосипеды, а зимних – сноуборд и лыжи [11].

Эстетическая ценность данного центра, новые объёмно-планировочные решения, дерзкие и свежие идеи важны, особенно во взаимосвязи с соблюдением нормативной базы. Помимо основной документации, регламентирующей безопасность эвакуации, необходим учёт противопожарных норм, доступности маломобильных групп населения (МГН) и требований СП 31-115-2008 Открытые физкультурно-спортивные сооружения, часть 4 – «Экстремальные виды спорта».

Норматив содержит требования к сооружениям следующих направлений: велоспорта BMX, роллерспорта, скалолаза-

ния, скейтбординга, сноуборда и его различных дисциплин (слалом, бордер-кросс, биг-эйр, халф-пайп), фристайла, лыжной (воздушной) акробатики (могул, парный могул, скай-кросс, халф-пайп)

Отдельной главой вынесены специальные спортивные элементы в жилой застройке для занятий экстремальными видами спорта. К ним относятся:

-микрорайонные и районные площадки;

-скейтпарки;

-сооружения, трассы и площадки для зимних экстремальных видов спорта [13].

Современные изменения, происходящие в стране, вызвали к жизни новые виды и формы спортивных, физкультурно-оздоровительных и досуговых занятий, поэтому физкультурно-спортивные сооружения используются всеми возрастными и социальными группами населения – от абсолютно здоровых людей до инвалидов, от профессиональных спортсменов до лиц, использующих эти сооружения для досуга.

Такая школа экстрима вполне может стать центром молодежного движения городского и областного значения, местом проведения соревнований и показательных выступлений, что, в свою очередь, привлечёт внимание прессы. Ведь в 2014 году Курску уже выпадала честь проведения этапа Кубка России по роллер-спорту. Теперь же архитектурный образ центра, соответствующий современным тенденциям проектирования, сможет стать символом спортивного движения и поспособствовать развитию экстремального спорта.

#### Список литературы

1. Глушаченкова О.И., Моцовкина Е.В. Экстремальная субкультура скайдавинг:

мотивация к здоровой, спортивной жизни молодежи России // Инновационная наука. Серия: Культура. Культурология. 2016. № 3. С. 202–204. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/ekstremalnaya-subkultura-skaydaving-motivatsiya-k-zdorovoy-sportivnoy-zhizni-molodezhi-rossii> (дата обращения: 17.10.2018).

2. Еремин И.Б., Грук Д.В. Отношение школьников к занятиям экстремальными видами спорта // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. Серия: Народное образование. Педагогика. 2017. № 9. С. 87–91. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otnoshenie-shkolnikov-k-zanyatiyam-ekstremalnymi-vidami-sporta> (дата обращения 19.11.2018).

3. 11 самых экстремальных и опасных видов спорта // Online-журнал Mostrated. URL: <http://www.mostrated.ru/activity/sport/11-samih-ekstremalnih-vidov-sporta.html> (дата обращения 17.11.2018).

4. Крылова В.М. Пути формирования материально-технической базы для развития детско-юношеского спорта // Вестник спортивной науки. Серия: Физическая культура. Спорт. 2008. С. 54–57. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/puti-formirovaniya-materialno-tehnicheskoy-bazy-dlya-razvitiya-detsko-yunosheskogo-sporta> (дата обращения 19.10.2018).

5. Каратаев О.Р., Каратаева Е.С., Кузнецов А.С. Спортивные сооружения: учебник для вузов. Казань: Поволжская ГАФКСиТ, 2011. 274 с.

6. Шестиэтажный центр экстремальных видов спорта появится в Москве // Сайт Известия IZ. URL: <http://iz.ru/news/685493> (дата обращения 17.10.2018).

7. Спортивно-развлекательный комплекс «IN WAVE» для экстремальных видов спорта // Студия IN WAVE. URL:

<http://inwave-project.ru/design/sport-complex/> (дата обращения 17.10.2018).

8. Официальный сайт ЦЭС «Спорт-текс». URL: <http://sportex.pro/about/> (дата обращения: 17.10.2018).

9. Как совместить под одной крышей дайвинг и прыжки с парашютом, 16 мая 2013 // Online-журнал РБК. URL: <https://realty.rbc.ru/news/577d2b2e9a7947a78ce9473d>

10. Гусакова Е.А. Инновационные подходы к обеспечению конкурентоспособной стратегии российских строительных компаний в управлении сложными проектам // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2013. № 1. С. 176–182.

11. Лалыкина Я.А. Маркетинговое исследование проекта строительства мно-

гофункционального комплекса для занятий экстремальными видами спорта в Курске // Российские регионы как центры культурного развития в современном социокультурном пространстве: сборник. Курск, 2018. С. 97–103.

12. Поздняков А. Л., Самохвалов А.М. Урбанизация и ее влияние на экологию городов и поселений // Известия Юго-Западного государственного университета. 2014. № 6(57). С. 74–78.

13. СП 31-115-2008 Открытые физкультурно-спортивные сооружения, часть 4 – «Экстремальные виды спорта». М., 2008.

*Поступила в редакцию 30.10.18*

UDC 711.122

**J.V. Skripkina**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: [julia\\_skr@mail.ru](mailto:julia_skr@mail.ru))

**J.A. Lalykina**, Student, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: [lalykina2016@yandex.ru](mailto:lalykina2016@yandex.ru))

## PRINCIPLES OF FORMATION OF A MULTIFUNCTIONAL CENTERS FOR TRAINING EXTREME SPORTS IN KURSK

*The purpose of this paper is to identify the basic principles of formation of a multifunctional complex for extreme sports. It includes a comparative analysis of extreme sports facilities in Kursk as well as a number of previously studied similar projects and existing buildings by Russian and foreign architects.*

*The authors of the paper propose a sports complex that fits into the existing architecture of the city. New technologies have been introduced to implement the design of such complex objects as a wind tunnel, a deep-water diving pool, a large-span indoor skate hall with seats for spectators and overhead light. All these elements have been taken from the projects of well-known architectural firms, such as eXtreme Architects, White Studio, Moko Architects, as well as other foreign projects of Danish and Norwegian architects. The authors also considered some ideas on the reconstruction of industrial facilities, such as a fan depot or a silo tower, which were converted into multifunctional sports complexes.*

*The social, economic and environmental aspects of designing such an object have been taken into consideration. The authors give the regulatory framework including the fire safety requirements, requirements on building maintenance by limited mobility populations (MH), the impact on the environment. Moreover, the authors mention building regulations, which establish requirements to the equipment, inventory and the space of the whole complex.*

*The article examines the importance of building a multifunctional complex for practicing extreme sports, and also confirms the relevance of such sports in Kursk.*

**Key words:** extreme sports; sports complex; rollerdrome; skatepark; climbing wall; professional sports; regulatory framework, sports facilities.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-92-102

**For citation:** Skripkina J.V., Lalykina J.A. Principles of Formation of a Multifunctional Centers for Training Extreme Sports in Kursk. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 6(81), pp. 92-102 (in Russ.).

\*\*\*

## Reference

1. Glushachenkova O.I., Mocovkina E.V. Jekstremal'naja subkul'tura skajdaving: motivacija k zdorovoj, sportivnoj zhizni molodezhi Rossii. *Innovacionnaja nauka. Serija: Kul'tura. Kul'turologija*, 2016, no. 3, pp. 202–204. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/ekstremalnaya-subkultura-skaydaving-motivatsiya-k-zdorovoy-sportivnoj-zhizni-molodezhi-rossii> (data obrashhenija: 17.10.2018).
2. Eremin I.B., Gruk D.V. Otnoshenie shkol'nikov k zanjatijam jekstremal'nymi vidami sporta. *Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta. Serija: Narodnoe obrazovanie. Pedagogika*, 2017, no. 9, pp. 87–91. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otnoshenie-shkolnikov-k-zanyatijam-ekstremalnymi-vidami-sporta> (data obrashhenija 19.10.2018).
3. 11 samyh jekstremal'nyh i opasnyh vidov sporta. Online-zhurnal Mostrated. URL: <http://www.mostrated.ru/activity/sport/11-samih-ekstremalnih-vidov-sporta.html> (data obrashhenija 17.10.2018).
4. Krylova V.M. Puti formirovaniya material'no-tehnicheskoy bazy dlja razvitiya detsko-junosheskogo sporta. *Vestnik sportivnoj nauki. Serija: Fizicheskaja kul'tura. Sport*, 2008, pp. 54–57. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/puti-formirovaniya-materialno-tehnicheskoy-bazy-dlya-razvitiya-detsko-yunosheskogo-sporta> (data obrashhenija 19.11.2018).
5. Karataev O.R., Karataeva E.S., Kuznecov A.S. Sportivnye sooruzhenija. Kazan': Povolzhskaja GAFKSiT Publ., 2011, 274 p.
6. Shestijetazhnyj centr jekstremal'nyh vidov sporta pojavitsja v Moskve. Sajt Izvestija IZ. URL: <http://iz.ru/news/685493> (data obrashhenija 17.10.2018).
7. Sportivno-razvlekatel'nyj kompleks «IN WAVE» dlja jekstremal'nyh vidov sporta. Studija IN WAVE. URL: <http://inwave-project.ru/design/sport-complex/> (data obrashhenija 17.10.2018).
8. Oficial'nyj sajt CJeS «Sporteks». URL: <http://sportex.pro/about/> (data obrashhenija: 17.10.2018).
9. Kak sovместit' pod odnoj kryshej dajving i pryzhki s parashjutom, 16 maja 2013:.. Online-zhurnal RBK. URL: <https://realty.rbc.ru/news/577d2b2e9a7947a78ce9473d>
10. Gusakova E.A. Innovacionnye podhody k obespecheniju konkurentosposobnoj strategii rossijskih stroitel'nyh kompanij v upravlenii slozhnymi proektam. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii*, 2013, no. 1, pp. 176–182.
11. Lalykina Ja.A. Marketingovoe issledovanie proekta stroitel'stva mnogofunkcional'nogo kompleksa dlja zanjatij jekstremal'nymi vidami sporta v Kurske. Rossijskie regiony kak centry kul'turnogo razvitiya v sovremennom sociokul'turnom prostranstve. Sbornik. Kursk, 2018, pp. 97–103.
12. Pozdnjakov A. L., Samohvalov A.M. Urbanizacija i ee vlijanie na jekologiju gorodov i poselenij. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. 2014, no. 6(57), pp. 74–78.
13. SP 31-115-2008 Otkrytye fiz-kul'turnosportivnye sooruzhenija, chast' 4 – «Jekstremal'nye vidy sporta». Moscow, 2008.

УДК635.472.001

**В.А. Минко**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46) (e-mail: kobelevns@mail.ru)

**Н.С. Кобелев**, д-р техн. наук, профессор, заслуженный изобретатель РФ, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: kobelevns@mail.ru)

**В.М. Кретьова**, канд. биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: 325573@mail.ru)

**В.Н. Кобелев**, канд. техн. наук, доцент, Курский государственный политехнический колледж (Россия, 305018, Курск, ул. Народная, 8) (e-mail: kobelevns@mail.ru)

**В.Ю. Амелин**, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: amelin-46@yandex.ru)

**А.Д. Соловьев**, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: kobelevns@mail.ru)

### **ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ АДСОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ РЕЦИРКУЛЯЦИОННОГО ВОЗДУХА ДЛЯ ТЕРМОКАМЕР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ИЗДЕЛИЙ**

**Цель исследования:** дать научное обоснование энергосберегающего устройства для поддержания нормированных параметров рециркуляционного воздуха в специальных-«чистых» помещениях, вывести формулы для расчета адсорбционного материала в ходе эксплуатации установки. Новизна конструктивного решения защищена и подтверждена патентами РФ на изобретение.

**Методы.** Определенный по данной методике объем адсорбента размещается в емкости с рециркуляционным контуром, включающей в себя: сопло очистительного узла, внутренняя поверхность которого подпружинена сеткой, размещенной со стороны движущегося потока воздуха, и сетку по всему выходному сечению расширяющегося сопла. Подпружиненная сетка, размещенная со стороны движущегося потока воздуха, выполнена по профилю эпюры скоростей движущихся потоков воздуха, что обуславливается многообразным скоростным воздействием на зерна адсорбента, горизонтально расположенных его слоев с целью выравнивания поглощающей способности силикагеля КСМ-5 по всему объему осушающего устройства и использование в системе рециркуляции воздуха подаваемого вентилятором, приводит к вероятностному поступлению в очищаемый поток парообразной массы масла, а анализ научно-технической литературы показал отсутствие данных по характеру таких загрязнений зернистого фильтрующего материала, что привело к необходимости исследования процесса проникновения масла по объему адсорбента за цикл электрических испытаний электронных изделий в термокамере.

**Результаты.** На основании проведенного анализ известных зарубежных и отечественных теоретических и экспериментальных исследований выявлено отсутствие разработок, связанных с вибрационными воздействиями на эффективность адсорбционной осушки рециркуляционного воздуха для электрических термических испытаний электронных изделий. Разработана адсорбционная установка с горизонтальным расположением адсорбирующего вещества для обработки воздуха в условиях вибрационных воздействий.

**Заключение.** Разработанная авторами установка прошла лабораторно-промышленные испытания на заводе Маяк г. Курска и рекомендована к внедрению как ресурсосберегающее конструктивное решение, защищенное патентами Российской Федерации на изобретение.

**Ключевые слова:** специальные помещения; электрические испытания электронных изделий; рециркуляционный контур; термокамера; адсорбционная осушка; масляные загрязнения; адсорбционная установка.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-103-110

**Ссылка для цитирования:** Инновационные решения адсорбционной очистки рециркуляционного воздуха для термокамер электрических испытаний изделий / В.А. Минко, Н.С. Кобелев, В.М. Кретьова, В.Н. Кобелев, В.Ю. Амелин, А.Д. Соловьев // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 103-110.

\*\*\*

Условием надежной эксплуатации несущих элементов конструкции является устранение воздействия температурно-влажностных параметров воздушной среды, которые отрицательно влияют на прочностные параметры здания в целом, особенно в зоне контакта с остеклением.

Это может быть достигнуто в результате обработки атмосферного воздуха, поступающего в специальные помещения, что способствует увеличению энергоемкости производства воздуха избыточного давления к 10-20-кратному увеличению, по сравнению с системами вентиляции офисных и жилых помещений [1, 2, 3]. Проведенные патентно-технические и теоретические исследования условий тепломассообмена позволили автором решить проблему очистки вентиляционного атмосферного воздуха направляемого в специальные помещения в качестве рециркуляционного, в устройствах электрических испытаний электронных изделий. Для подтверждения теоретических положений тепломассооб-

менных процессов проведены экспериментальные исследования, которые показали высокую степень сходимости результатов [4,5]. При этом экспериментальная установка состоит (рис. 1) из горизонтально расположенного на выходе расширяющегося сопла 2 и последовательно соединенного с ним суживающегося диффузора 1 [6].

В связи с вибрационным воздействием на слои адсорбента в установке 3 по осушке рециркуляционного воздуха рассмотрена возможность её горизонтального расположения в отличие от известных, используемых в вертикальном положении. Для этого осуществлено размещение адсорбирующего вещества в осушивающей установке в виде емкости, выходное отверстие которой закрыто сеткой, а профиль имеет конструктивное исполнение по контуру эпюра скоростей обрабатываемого воздуха, перемещающегося во внутреннем объеме расширяющейся части осушивающего устройства.

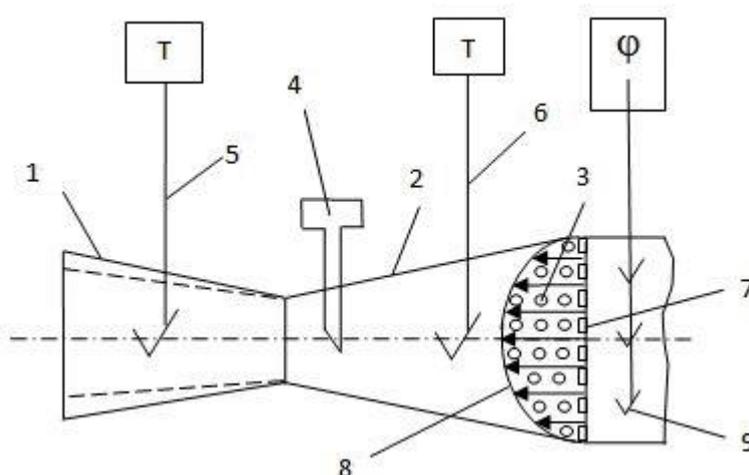


Рис. 1. Экспериментальный узел очистки рециркуляционного воздуха с осушивающей емкостью, заполненной адсорбентом: 1 – суживающийся диффузор; 2 – расширяющееся сопло; 3 – осушивающее устройство, заполненное силикагелем КСМ-5; 4 – влагораспределитель; 5 и 6 – датчики температуры осевого потока в суживающемся диффузоре и расширяющемся сопле; 7 – выход расширяющегося сопла; 8 – контурная сетка емкости осушивающего устройства, заполненная адсорбентом; 9 – датчики влажности  $\varphi$ , размещенные по выходному сечению в трёх точках: одна в центре и две по периферии

Конструктивные особенности адсорбционной установки выполнены в следующих соотношениях: внутренний диаметр выхода расширяющегося сопла 120 мм, активная длина адсорбирующего слоя 370 мм, степень поглощения паровоздушной влаги-осушки  $-40^{\circ}\text{C}$ , т.е. до проскока паровоздушной влаги при максимальной насыщенности атмосферного воздуха  $\varphi = 90\text{--}100\%$  в течение 18 часов.

В связи с особенностью эксплуатации «чистых помещений» по производству и электрическому испытанию электронных осуществлены изменения размеров адсорбционно-осушивающей установки, которые должны соответствовать возможности её расположения в помещении. Это стало основой создания конструкции осушивающей адсорбционной установки для проведения экспериментальных исследований с учетом уравнения материального баланса и изменяющихся аэродинамических условий перемещения атмосферного воздуха в качестве рециркуляционного, поступающего на обработку для достижения нормированных параметров по влажности и температуре. Известные теоретические положения отечественных и зарубежных исследователей не учитывали интенсивность износа адсорбционного вещества под действием вибрационных воздействий.

Авторами на основании известных теоретических положений и с учетом специфики эксплуатации термокамер для испытаний электронных изделий в условиях вибрационных воздействий предложен новый метод определения активной массы адсорбирующего вещества в зависимости от количества электронных изделий, подвергающихся термическому испытанию с изменяющимся объемом рециркуляционного воздуха:

$$G_a = \frac{\tau_{\text{адс}} G (d_n - d_k)}{Z_a}, \quad (1)$$

где  $\tau_{\text{адс}}$  – время адсорбционной очистки рециркуляционного воздуха;

$G$  – расход рециркуляционного воздуха, проходящего через осушивающее устройство;

$d_n$  и  $d_k$  – влагосодержание воздуха до и после емкости с адсорбентом;

$Z_a$  – влагоемкость адсорбента.

В настоящее время сложность в использовании уравнения (1) связана с вычислением  $Z_a$ . Следующая формула была выведена на основании информации, взятой из технических изданий, и экспериментальных исследований  $Z_a$ :

$$Z_a = Z_{a.n} (\eta_c - \eta_{i.c}) \eta_p \eta_{об}, \quad (2)$$

где  $Z_{a.n}$  – влагоемкость свежего, не бывшего в работе адсорбента;

$\eta_c$  – коэффициент, учитывающий разрушение или «старение» адсорбента, вызываемое адсорбционно-десорбционным процессом, и равный 0,7;

$\eta_{i.c}$  – коэффициент, учитывающий интенсивность «старения» адсорбента в зависимости от вибрационного воздействия при эксплуатации термокамеры для испытания электронных изделий, потери экспериментального  $\eta_{i.c} = 0,05\text{--}0,15$ ;

$\eta_p$  – коэффициент, предусматривающий снижение поглощающих способностей адсорбента в связи с нагревом слоя в процессе адсорбции;

$\eta_{об}$  – коэффициент, предусматривающий понижение активности в результате неполной обработки слоя (понижение конечной скорости массообменных процессов).

Можно принять, что  $\eta_p \eta_{об} = 0,4\text{--}0,6$ , тогда влагоемкость адсорбента определяется после решения уравнения (2) как  $Z_a = Z_{a.n} (0,39 - 0,22)$ .

Рассчитанный в результате теоретических исследований объем адсорбента располагается в устройстве подготовки рециркуляционного воздуха, который расположен между соплом очистительного узла и подпружиненной сеткой. Подпружиненная сетка выполнена по профилю эпюр скоростей движущегося потока воздуха, что обуславливается многообразным скоростным воздействием на зерна адсорбента горизонтально расположенных его слоев с целью выравнивания поглощающей способности силикагеля по всему объему осушающего устройства.

Наличие вентилятора в качестве агрегата по перемещению рециркуляционного воздуха в устройстве электрических испытаний электронных изделий способствует вероятности поступления в обрабатываемый поток атмосферного воздуха парообразной массы масла.

Проведенный анализ научно-технической документации выявил отсутствие данных по степени загрязнения парами масла зернистого адсорбирующего вещества, что потребовало проведения исследования процесса проникновения их паров по объему адсорбента за цикл обработки электронных изделий в термокамере.

Количество масла, поступающего с 1 кг обрабатываемого воздуха, определили по формуле [7]

$$d_{\text{м.к}} = \frac{0,035P_{\text{н.м}}}{P_1 - P_{\text{н.м}}} + d_{\text{д.м}}, \quad (3)$$

где  $P_{\text{н.м}}$  – парциальное давление насыщенного пара масла;

0,035 – значение, показывающее отношение произведения массы и газовой постоянной парообразного масла к массе и газовой постоянной влажного воздуха;

$d_{\text{д.м}}$  – количество масла в дисперсном состоянии.

Экспериментальные исследования проводились на основании разработанной авторами методики. В прозрачный корпус адсорбционной установки при её горизонтальном расположении и теоретически обоснованных параметрах, расположения узла очистки нагнетательной камеры патрубка, засыпается предварительно высушенное и взвешенное адсорбирующее вещество (КСМ-5). После чего определяется расход и температура рециркуляционного обрабатываемого воздуха, его влагосодержание путём использования психрометра с автоматизированной системой контроля скорости движущегося потока. Количество адсорбирующего вещества определялось с использованием точного взвешивания в соответствии с нормами по ТУ 104-93. Насыщенность адсорбирующего вещества с течением времени проведения электрических испытаний электронных изделий определялась с промежутком в один час. При этом исследовалось изменение параметров рециркуляционного воздуха на выходе из устройства осушки и визуально по длине прозрачного корпуса, в результате чего рассчитывалась глубина «проскока» масляных загрязнений. После проведения экспериментальных исследований, заключающихся в измерении глубины проскока, т.е. замасливания адсорбента, замерялась масса гранул, загрязненных маслом, которая убиралась из цилиндрического стеклянного корпуса для визуального определения «неработающего» адсорбирующего вещества и проводилось взвешивание отработанной массы силикагеля. При этом визуально в осушающем устройстве определялась длина замасленных слоев адсорбирующего вещества в корпусе осушителя. Для устранения случайных погрешностей по ин-

тервалам каждого из температурных изменений, было выполнено по 3 опыта, средние значения которых были нанесе-

ны на график проникновения паров масла по длине адсорбента (рис. 2).

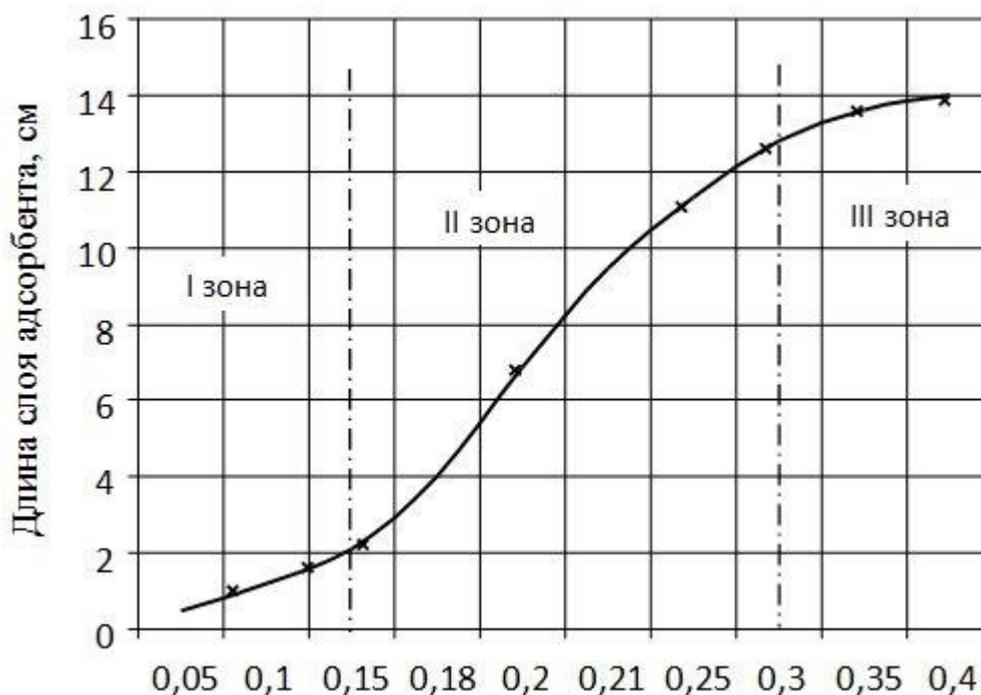


Рис. 2. Характер проникновения паров масла и замасливание зёрен адсорбента по длине очищающего устройства

Экспериментальные исследования подтвердили высокую сходимость результатов с теоретически выявленной закономерностью появления масляного загрязнения, которая графически изображается в виде кривой и характеризуется множественными зонами активности.

В начале процесса обработки рециркуляционного воздуха наблюдаются плавные изменения кривой интенсивности поглощения паров влаги адсорбирующим веществом (см. рис.2.), которая осуществляется в пределах от значений 0,13 до 0,17, относительной длины поглощающего слоя (первая стадия).

На второй стадии резкое возрастание, поглощающая способность обусловлена изменением скоростного напора и наблюдается до значений от 0,27 до 0,33 (вторая стадия).

Последующее насыщение гранул адсорбирующего вещества (КСМ-5) приводит к плавному процессу остаточного поглощения парообразной влаги. Кривая имеет выпуклый характер (третья стадия).

**Выводы**

На основании проведенного анализа известных зарубежных и отечественных теоретических и экспериментальных исследований выявлено отсутствие разработок, связанных с вибрационными воздействиями на эффективность адсорбционной осушки рециркуляционного воздуха для электрических термических испытаний электронных изделий.

Разработана адсорбционная установка с горизонтальным расположением адсорбирующего вещества для обработки

воздуха в условиях вибрационных воздействий.

Созданная на основании теоретических исследований и экспериментально проверенная лабораторно-промышленная установка показала удовлетворительную сходимость результатов. Установка прошла промышленные испытания на заводе Маяк г. Курска и рекомендована к внедрению как ресурсосберегающее конструктивное решение, защищенное патентами Российской Федерации на изобретение [8, 9, 10, 11].

### Список литературы

1. Чистые помещения: [пер. с япон.] / под ред. И. Хаякавы. М.: Мир, 1990. 456 с.
2. Кобелев Н.С. Тепловлажностной режим вентилируемой воздушной прослойки // Известия Курского государственного технического университета. 2010. № 1. С. 73–77.
3. Бабаянц В.А. Расчет параметров воздушной среды в чистых производственных помещениях // Обзоры по электронной технике. Серия 7: Технология, организация производства и оборудование. Вып. 1(146). М.: ЦНИИ «Электроника», 1988. С. 59-63.
4. Батурин В.В., Акинчев Н.В. Моделирование механической и естественной вентиляции // Сб. науч. тр. Института охраны труда ВЦСПС. 1961. №3. С. 18-21.
5. Ильичев В.А. Биосферная совместимость: Технология внедрения инноваций. Города, развивающие человека. М.: Книжный дом «Либроком», 2011. 240 с.
6. Карпис Е.Е. Повышение эффективности работы систем кондиционирования воздуха. М.: Стройиздат, 1977. 191 с.
7. Кобелев В.Н. Аэродинамика вентилируем. воздуха в устройствах для очистки от мелкодисперсной влаги // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия «Строительство и архитектура». 2009. № 1. С. 15-21.
8. Пат. 2437864 Пат. 87831 Российская Федерация: МПК7 Н 01 L 21/66. Термокамера для испытания электронных изделий / Емельянов С.Г., Кобелев В.Н. [и др.]; заявитель и патентообладатель Курск. гос. техн. ун-т. №2009114608/22; заявл. 17.04.2009; опубл. 20.10.2009, Бюл. № 29.
9. Пат. 2134781 Российская Федерация: МПК7 Н 01 L 21/66. Термокамера для испытания электронных изделий / Кобелев В.Н., Емельянов С.Г., Кобелев В.Н. [и др.]; заявитель и патентообладатель Курск. гос. техн. ун-т. №2009114608/22; заявл. 17.04.2009; опубл. 20.10.2010, Бюл. № 9.
10. Пат. 2384794 Российская Федерация: МПК7 F 24 F 7/06, F 24 F 1/01. Устройство для вентиляции помещения / Кобелев В.Н. Н.С. Кобелев.[и др.]; заявитель и патентообладатель Курск. гос. техн. ун-т. № 2008138479/06; заявл. 26.09.2008; опубл. 20.03.2010, Бюл. №8.
11. Пат. 95831 Российская Федерация: МПК7 Н 01 L 21/66. Термокамера для испытания электронных изделий / Емельянов С.Г., Кобелев В.Н. [и др.]; заявитель и патентообладатель Курск. гос. техн. ун-т. №2009114608/22; заявл. 17.04.2009; опубл. 20.10.2012, Бюл. № 8.

*Поступила в редакцию 24.11.18*

UDC 635.472.001

**V.A. Minko**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova str., 46) (e-mail: kobelevns@mail.ru)

**N.S. Kobelev**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Honored Inventor of Russian Federation, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: kobelevns@mail.ru)

**V.M. Kretova**, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: 325573@mail.ru)

**V.N. Kobelev**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Kursk State Polytechnic College (Russia, 305040, Kursk, Narodnaya str., 8) (e-mail: kobelevns@mail.ru)

**V.Yu. Amelin**, Post-Graduate Student, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: amelin-46@yandex.ru)

**A.D. Soloviev**, Post-Graduate Student, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: kobelevns@mail.ru)

### **INNOVATIVE SOLUTIONS OF ADSORPTION CLEANING RECIRCULATING AIR FOR ELECTRIC TESTS OF ELECTRIC PRODUCT TESTS**

*The purpose of the study of this work: to provide a scientific justification for the energy-saving device to maintain the normalized parameters of the recirculated air in special "clean" rooms, to derive formulas for calculating the adsorption material during the operation of the installation. The novelty of the constructive solution is protected and confirmed by patents of the Russian Federation for the invention.*

*Methods. The volume of adsorbent determined by this method is placed in a tank with a recirculation loop, which includes: a cleaning unit nozzle, the inner surface of which is spring-loaded with a grid placed on the side of a moving air flow and a grid around the entire outlet section of the expanding nozzle. Spring-loaded mesh, placed on the side of a moving air flow, is made according to the profile of the velocity profile of the moving air flow, which is caused by the manifold speed impact on the adsorbent grains, horizontally arranged layers in order to level the absorbing capacity of silica gel KSM-5 throughout the drying device and use in the system recirculation of the air supplied by the fan leads to a probable entry of the vaporous mass of oil into the stream being cleaned, and the analysis of scientific and technical oh showed no literature data on the nature of such contaminants granular filter material, resulting in the need to study the penetration of the oil by volume adsorbent per cycle electrical testing of electronic devices in a heat chamber.*

*Results. Based on the analysis of well-known foreign and domestic theoretical and experimental studies, there was no development related to vibration effects on the efficiency of adsorption drying of recirculated air for electrical thermal testing of electronic products. An adsorption unit has been developed with a horizontal arrangement of an adsorbing substance for treating air under conditions of vibration effects.*

*Conclusion The installation developed by the authors passed laboratory and industrial tests at the Mayak plant of Kursk and was recommended for implementation as a resource-saving constructive solution protected by patents of the Russian Federation for invention. Keywords: special premises electrical testing of electronic products, recirculation circuit in the chamber for temperature testing - heat chamber, adsorption drying, transparent body of the drying device, oil contamination.*

**Key words:** special rooms; electrical testing of electronic products; recirculation circuit; thermal chamber; adsorption drying; oil pollution; adsorption installation.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-103-110

**For citation:** Minko V.A., Kobelev N.S., Kretova V.M., Kobelev V.N., Amelin V.Yu., Soloviev A.D. Innovative Solutions of Adsorption Cleaning Recirculating Air for Electric Tests of Electric Product Tests. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 6(81), pp. 103-110 (in Russ.).

\*\*\*

**Reference**

1. Chistyje pomeshhenija: [perevod s japon]; ed. by Hajakavy I. Moscow, Mir Publ., 1990, 456 p.
2. Koblelev N.S. Teplovlazhnostnoj rezhim ventiliruemoj vozduшной proslojki. *Izvestija Kurskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*, 2010, no. 1, pp. 73–77.
3. Babajanc V.A. Raschet parametrov vozduшной sredy v chistyh proizvodstvennyh pomeshhenijah. *Obzory po jelektronnoj tehnikе. Serija 7: Tehnologija, organizacija proizvodstva i oborudovanie*. Is. 1(146). Moscow, Jelektronika Publ., 1988, pp. 59-63.
4. Baturin V.V., Akinchev N.V. Modelirovanie mehanicheskoj i estestvennoj ventiljacii. *Sb. nauch. tr. Instituta ohrany truda VCSPS*, 1961. no.3, pp. 18-21.
5. Il'ichev V.A. Biosfernaja sovместimost': Tehnologija vnedrenija innovacij. Goroda, razvivajushhie cheloveka. Moscow, Knižnyj dom «Librokom» Publ., 2011, 240 p.
6. Karpis E.E. Povыshenie jeffektivnosti raboty sistem kondicionirovanija vozduha. Moscow, Strojizdat Publ., 1977, 191 p.
7. Koblelev V.N. Ajerodinamika ventiliruem. vozduha v ustrvah dlja ochistki ot melkodispersnoj vlagi. *Nauchyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Serija «Stroitel'stvo i arhitektura»*, 2009, no. 1, pp. 15-21.
8. Pat. 2437864 Pat. 87831 Rossijskaja Federacija: MPK7 H 01 L 21/66. Termokamera dlja ispytanija jelektronnyh izdelij. Emel'janov S.G., Koblelev V.N. [i dr.]; zaja-vitel' i patentoobladatel' Kursk. gos. tehn. un-t. №2009114608/22; zaja-vl. 17.04.2009; opubl. 20.10.2009, Bjul. no. 29.
9. Pat. 2134781 Rossijskaja Federa-cija: MPK7 H 01 L 21/66. Termokamera dlja ispytanija jelektronnyh izdelij. Koblelev V.N., Emel'janov S.G., Koblelev V.N. [i dr.]; zaja-vitel' i patentoobladatel' Kursk. gos. tehn. un-t. №2009114608/22; zaja-vl. 17.04.2009; opubl. 20.10.2010, Bjul. no. 9.
10. Pat. 2384794 Rossijskaja Federa-cija: MPK7 F 24 F 7/06, F 24 F 1/01. Us-vo dlja ventiljacii pomeshhenija. Koblelev V.N., Koblelev N.S. [i dr.]; zaja-vitel' i pa-tentoobladatel' Kursk. gos. tehn. un-t. no. 2008138479/06; zaja-vl. 26.09.2008; opubl. 20.03.2010, Bjul. no. 8.
11. Pat. 95831 Rossijskaja Federacija: MPK7 H 01 L 21/66. Termokamera dlja ispytanija jelektronnyh izdelij. Emel'janov S.G., Koblelev V.N. [i dr.]; zaja-vitel' i paten-toobladatel' Kursk. gos. tehn. un-t. №2009114608/22; zaja-vl. 17.04.2009; opubl. 20.10.2012, Bjul. no. 8.

УДК 725.8

**Ю.В. Скрипкина**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: julia\_skr@mail.ru)

**Т.О. Цурик**, канд. культурологии, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: tsurikto@yandex.ru)

**М.М. Звягинцева**, канд. культурологии, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: m\_zvjagintseva@mail.ru)

**В.А. Волкова**, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: valentina\_volkova\_95@mail.ru)

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КРЫТЫХ ВСЕСЕЗОННЫХ ГОРНОЛЫЖНЫХ КОМПЛЕКСОВ

*Данная статья рассматривает проблему проектирования и строительства всесезонных горнолыжных комплексов. В настоящее время активно развивается спорт и с каждым годом всё больше людей проявляют свой интерес к горнолыжным видам спорта. Как самостоятельный вид спорта он сформировался в Европе приблизительно в середине XX века, и быстро завоевал много поклонников во всём мире. На данный момент общее число катающихся оценивается в 80-100 миллионов человек. Любители и спортсмены сталкиваются с проблемой тренировок в летнее время года, так как большие горнолыжные комплексы в нашей стране могут полноценно работать только с ноября по май, в период, когда в горах выпадает достаточно снега. Проектирование спортивных комплексов для всесезонных занятий зимними видами спорта в настоящее время является актуальной проблемой, приобретающей особую важность в связи с развитием горнолыжного спорта.*

*Проведен анализ таких крытых горнолыжных комплексов, как "Снеж.Ком", "Ski-Dubai" и "Snow World Lundgraaf", расположенных в России и за рубежом.*

*До недавнего времени в состав горнолыжных комплексов входили только плоскостные сооружения, такие как: благоустроенные подготовленные лыжные трассы, катки и сноупарки с линиями трамплинов. Но были изобретены специальные установки, которые смогли создавать устойчивый снежный покров внутри здания, и это повлекло за собой появление нового объемного типа спортивных сооружений - крытых горнолыжных комплексов. Внутри этих сооружений создается искусственная среда, обладающая специальными геометрическими характеристиками, пригодная для создания и круглогодичного поддержания устойчивого снежного покрова, который позволяет заниматься зимними видами спорта, такими, как горнолыжный, санный спорт, сноубординг.*

**Ключевые слова:** архитектура; горнолыжный комплекс; большепролетные конструкции; высотное здание; спортивный комплекс; ледовая арена.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-6-111-117

**Ссылка для цитирования:** Особенности проектирования крытых всесезонных горнолыжных комплексов / Ю.В. Скрипкина, Т.О. Цурик, М.М. Звягинцева, В.А. Волкова // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 111-117.

\*\*\*

На данный момент в мире существует около пятидесяти крытых всесезонных горнолыжных комплексов и еще несколько десятков находятся на стадии проектирования и строительства [1]. В России такой только один, находится в г. Красногорске, входит в рейтинг лидеров среди современных крытых горнолыжных комплексов (КГЛК).

Во многих регионах зимой открываются зимние базы отдыха, на которых есть небольшие подготовленные склоны, но такие далеко не везде. Здесь же, зимний сезон для катания начинается в среднем с декабря-января и заканчивается уже в феврале-марте [6]. Такие ближайшие от нашего региона базы находятся в городах Орёл, Воронеж и Белгород.

Рост популярности этого вида спорта дал импульс значительным коммерческим инвестициям в строительство на территории России лыжных баз и новых, технически совершенных комплексов. Растут объемы инвестиций в развитие этого вида спорта со стороны государства [10].

Разрабатываемый объект представляет собой крытый всесезонный горнолыжный комплекс. Он включает в себя: горнолыжный спуск с тремя трассами различной сложности и сноупарком, крытый каток, горнолыжную школу, кафе, магазин спортивных товаров, пункт проката спортивного снаряжения.

Проектируемый всесезонный горнолыжный комплекс, работающий на коммерческой основе круглогодично, имеет целостную функциональную и архитектурно-пространственную организацию разнообразных форм досуга для посетителей. Создание крытого всесезонного горнолыжного комплекса позволит создать на своей базе горнолыжную школу, где смогут набираться группы для детей и проводиться индивидуальные и групповые курсы тренировок для взрослых.

На сегодняшний день КГЛК по своему основному назначению можно классифицировать на: многофункциональные, учебно-тренировочные, спортивно-развлекательные.

По градостроительному принципу КГЛК могут быть: пригородные, городские.

По объемно-планировочному решению КГЛК подразделяются на: совмещенные (застраивается пространство под спуском), линейные (пространство под спуском не застраивается), компактные.

КГЛК могут располагаться как на плоском рельефе (в таком случае уклон трассы формируется из строительных

конструкций), так и на активном рельефе (в этом случае естественный рельеф служит опорной конструкцией для трассы, либо частично совмещается со строительными конструкциями)[8].

Посетители КГЛК в зависимости от времени пребывания подразделяются: краткосрочное (нахождение на склоне от 2-х до 4-х часов), среднесрочное (нахождение на склоне в течение 1 дня), долгосрочное (нахождение в комплексе более суток).

Примером крытого всесезонного горнолыжного комплекса может служить "Снеж.Ком", расположенный в Московской области, г.Красногорск, ул. Красногорский бульвар, 4 (рис. 1). Это первый в России всесезонный горнолыжный комплекс, построенный в 2007 году. Здание имеет высоту 97 м, и имеет габариты 450×70 м. Сам склон для катания размером 60×380 м, что дает возможность одновременно находиться на склоне до 600 человек. От Европейских аналогов этот комплекс отличает форма горы. Крытые трассы во всех странах сегодня прямоугольной формы, а "Снеж.ком" же имеет технически более сложную форму эллипса.

Трассы КГЛК по максимуму удовлетворяют требованиям горнолыжников и сноубордистов. Впервые в российской истории были абсолютно точно рассчитаны и соотнесены масштабы сооружения, геометрия склона, температурные и силовые нагрузки. В ведущем российском институте в области строительства ЦНИИСК им. Кучеренко была сделана модель комплекса и испытана в аэродинамической трубе МГУ. Так были определены ветровые и снеговые нагрузки, а также учтены сложные грунтовые условия [4]. Плавная кривая трассы – это точный математический расчет движения лыжника.



Рис. 1. Общий вид КГЛК "Снеж.Ком"

К услугам посетителей не только горнолыжный спуск, но и ледовый центр, и развлекательно-оздоровительный комплекс, включающий фитнес-зону, аквазону с бассейнами и национальными банями, спортивно-игровые автоматы, боулинг.

К самому необычному из самых уникальных горнолыжных комплексов можно отнести "Ski-Dubai", расположенный в городе Дубай (Объединенные Арабские Эмираты) (рис. 2). В стране, где температура достигает +50 градусов, такое место со снегом является настоящей экзотикой.

Интерьер этого строения украшают альпийские пейзажи. Так же там живут настоящие пингвины и растут сосны, что только добавляет уникальности этому проекту.

Всесезонный горнолыжный комплекс "Snow World Lundgraaf" находится в Нидерландах (рис. 3). Эта страна также является лидером по количеству снежных комплексов в Европе. В комплексе есть 5 трасс, самая длинная 520 метров [11]. В комплексе так же находится крупнейший в Европе искусственный сноупарк.



Рис. 2. Внешний вид КГЛК "Ski-Dubai"

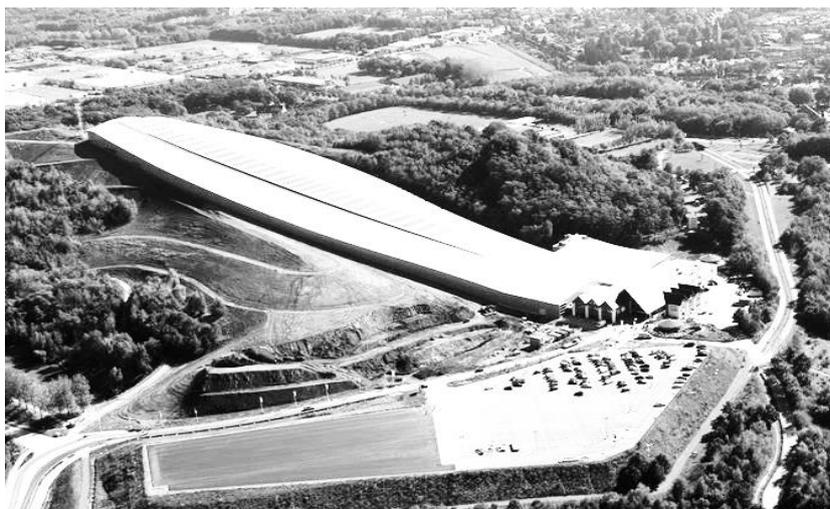


Рис. 3. Внешний вид КГЛК "Snow World Lundgraaf"

По ландшафтному признаку участки под строительство крытых горнолыжных комплексов можно разделить: с уклоном в одном направлении и равнинные. Если на участке имеется ярко выраженный рельеф, природный или искусственный, то это дает преимущество при проектировании использовать этот рельеф как частичную или полную опору конструкции [7]. Благодаря этому можно снизить затраты на строительство и эксплуатацию сооружения.

Для создания небольших горнолыжных комплексов районного значения подходит использование естественного рельефа. Такие комплексы могут размещаться в межсезонье на уже существующих склонах горнолыжных баз.

Строительство КГЛК подразумевает идею создания искусственной среды, поэтому многие крытые комплексы проектируются в странах, где отсутствует природная зона для катания: в районах с жарким климатом и невыраженным рельефом, например, Объединенные Арабские Эмираты, Испания, Сингапур и т.д. Появление в таких странах КГЛК показывает интеграцию научных достижений [9].

Архитектурный образ всепогодного горнолыжного комплекса по своему объему и колоритному решению напоминает

ледяную гору, которая будет ассоциироваться у человека с зимой и холодом, ведь всепогодный горнолыжный комплекс и является местом вечной мерзлоты даже знойным летом. Эта архитектурная концепция предлагает по-другому посмотреть на архитектуру и внешний вид спортивных комплексов.

КГЛК обычно проектируются как единый комплекс, объединяющий различные спортивные зоны в один комплекс и единую архитектурную композицию.

Стильное индивидуальное архитектурное решение проекта выполняет свои задачи как вблизи (на уровне входных групп), так и на удаленном расстоянии за счет выразительного силуэтного решения, которое гармонично связано с окружающим ландшафтом.

Открытые горнолыжные комплексы могут окупать себя только при 7 месяцах работы в год. На территории России это горнолыжные склоны Красной Поляны и Кавказа [12]. Горнолыжные склоны в городах, где снег лежит не более 4-х месяцев в году, проектируются на базах отдыха, которые зимой получают прибыль с катающихся, а с весны по осень сдают на выходные домики и беседки для отдыха в выходной день.

Форма фасадов здания КГЛК складывается за счет конструктивных решений, которые включают в себя складчатую конструкцию и жесткий металлический каркас. Здание всесезонного горнолыжного комплекса в основном имеют сложную конфигурацию, которая обусловлена геометрией склона и объемами помещений ледовой арены.

Выбор композиционной схемы зависит от общей функциональной направленности сооружения и характера участка. Объемно-пространственное решение всесезонного горнолыжного комплекса формируется, исходя из самой линейной формы здания, для создания на участке компактной застройки.

Конструктивное решение любого общественно-спортивного комплекса всегда очень сложное не только в сборке, но и в исполнении. Все конструкции индивидуальны и характерны только для своего объекта: совокупность ферм, монолитные перекрытия и рамы, которые различны по своей высоте и наклону к поверхности земли [3]. Все это сочетается с огромной площадью остекления стен и атриумов в вестибюлях.

Во многих КГЛК искусственный снег изготавливается методом распыления воды, в закрытых склонах это дает высокую влажность в помещении и происходит оледенение металлических конструкций. Из-за влажности на трассе так же образуется туман, который портит катание.

Сегодня разработана новая технология – система (Ice-crash) искусственного оснежения, которая и закладывается в проект. Обоснованность выбора и применения того или иного материала или технологии является еще одним важнейшим фактором, влияющим на соблюдение экологических требований [5]. Эта технология не приводит к повышению влаж-

ности воздуха на склоне. Она циркулирует воздух, осушая его. Все это дает идеальные комфортные климатические параметры для нахождения на склоне. Производство снега происходит путем размола тонких ледяных пластин до мелкой фракции снега в специальных ледогенераторах. Эта система может производить до 90 тонн снега в сутки. После размола снег пневматически транспортируется на склон по пластиковым трубам. Для поддержания климата постоянно работают охладители, они же и осушают воздух.

Все современные крытые горнолыжные комплексы представляют собой сложные технические сооружения. Наружная поверхность склона закрывает все фермы, благодаря чему обеспечивает экранирование панелей потолка холодного помещения от радиационного солнечного излучения и дает нам уникальное архитектурное решение [2].

Не только в Европе, но и во всем мире заметна тенденция на строительство всесезонных горнолыжных комплексов. Существует огромное количество проектных разработок, но многое так и остается нереализованным.

В настоящее время в мире архитектуры существует множество тенденций формирования архитектуры современных общественно-спортивных комплексов. Новая техногенная тенденция в архитектуре в нашей стране не развита. Она технически не поддерживается и не востребована заказчиком. Практически все крытые комплексы не имеют ярких и оригинальных архитектурных образов. Возможно, что причина в том, что известным архитекторам не интересна тема подобных сооружений. Создание таких объектов с искусственной средой и имитацией рельефа – это достойная задача для архитектора. Строительство всесезонных гор-

нолыжных комплексов сопряжено с неизменными трудностями. Это связано с объемом проектирования, количеством факторов, которые надо учесть.

Горнолыжный спорт с каждым годом становится доступнее, эта индустрия развивается довольно стремительно. Разрабатываются новые технологии, которые рожают идеальные снежные склоны для катания в любое время года и любую погоду. Они позволяют спортсменам и любителям не терять свои навыки и форму и дают возможность заниматься любимым делом в любое время.

#### Список литературы

1. Волков Ю.Ф. Введение в гостиничный и туристический бизнес. Ростов н/Д: Изд-во «Феникс», 2003.
2. Еремеев П.Г. Современные стальные конструкции большепролетных покрытий уникальных зданий и сооружений: монография. М.: Изд-во АСВ, 2011. 336 с.
3. Липилина Н.А. Крытые горнолыжные комплексы: особенности проектирования и современные тенденции. М.: Изд-во ТМА, 2010.
4. Осадин Б. Горы становятся доступнее // Российская туристская газета. № 44.

5. Поздняков А.Л., Позднякова Е.В. Объемно-планировочные и конструктивные решения производственных зданий с точки зрения требований экологической безопасности // Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. № 6 (69). С. 94-100.

6. Пяртель В. М. Горнолыжные курорты северо-запада // Туристские фирмы. Вып. 19. С.243-247.

7. Рыбицкий В. Горнолыжные курорты. Снега обетованные. М.: Изд-во АиФ Тур, 2002. №1-2.

8. Соколова М.В. История туризма. М.: Изд-во Академия, 2004.

9. Тюляков Р. Горнолыжные курорты Восточной // Туристический Бизнес. 2000. № 11 (34).

10. Тюляков Р. Россия становится горнолыжной // Туристический Бизнес. 2001. № 01 (36).

11. Хвилер Я. Горнолыжные туры. Альпийские страны // Туристический Бизнес. 1999. № 10 (21).

12. Хвилер Я. Горные лыжи в России: маршрутов прибавилось // Туристический Бизнес. 1999. № 12.

*Поступила в редакцию 14.11.18*

UDC 725.8

**J.V. Skripkina**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: julia\_skr@mail.ru)

**T.O. Tsurik**, Candidate of Cultural Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: tsurikto@yandex.ru)

**M.M. Zvyagintseva**, Candidate of Cultural Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: m\_zvyagintseva@mail.ru)

**V.A. Volkova**, Student, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: valentina\_volkova\_95@mail.ru)

#### FEATURES OF THE DESIGN OF COVERED ALL-SEASON SKI COMPLEXES

*This article deals with the problem of designing and building all-season ski resorts. Currently, the sport is actively developing and every year more and more people show their interest in alpine skiing sports. As an*

independent sport, it was formed in Europe around the middle of the twentieth century, and quickly quickly won many fans around the world. At the moment, the total number of skiers is estimated at 80-100 million people. Amateurs and athletes face the problem of training in the summer, as large ski resorts in our country can work fully only from November to May, when there is enough snow in the mountains. The design of sports complexes for all-season winter sports is currently an urgent problem, acquiring particular importance in connection with the development of alpine skiing.

Analysis of such indoor ski resorts as "Sneg.Com", "Ski-Dubai" and "Snow World Lundgraaf" located in Russia and abroad promote the idea of creating an artificial environment where there is no natural area for skiing, which proves the integration of scientific achievements.

Until recently, the structure of the ski complexes included only planar structures, such as: well-equipped prepared ski slopes, skating rinks and snowparks with springboard lines. But special installations were invented that were able to create a steady snow cover inside the building, and this led to the emergence of a new volumetric type of sports facilities - indoor ski resorts. An artificial environment with special geometric characteristics is created inside these structures, suitable for creating and maintaining year-round sustainable snow cover, which allows you to engage in winter sports such as skiing, tobogganing, and snowboarding.

**Key words:** architecture of winter sports complexes; ski resorts; all-season ski resorts; indoor ski resorts; long-span structures; snowmaking; high-rise building; sports complex; ice arena.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-111-117

**For citation:** Skripkina J.V., Tsurik T.O., Zvyagintseva M.M., Volkova V.A. Features of the Design of Covered All-Season Skin Complexes. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 6(81), pp. 111-117 (in Russ.).

\*\*\*

## Reference

1. Volkov Ju.F. Vvedenie v gostinichnyj i turisticheskij biznes. Rostov-on-Don, Feniks Publ., 2003.

2. Eremeev P.G. Sovremennye stal'nye konstrukcii bol'sheproletnyh pokrytij unikal'nyh zdanij i sooruzhenij. Moscow, ASV Publ., 2011., 336 p.

3. Lipilina N.A. Krytye gornolyzhnye komplekсы: osobennosti proektirovanija i sovremennye tendencii. Moscow, TMA Publ., 2010.

4. Osadin B. Gory stanovjatsja dostupnee. Rossijskaja turistiskaja gazeta, no. 44.

5. Pozdnjakov A.L., Pozdnjakova E.V. Ob#emno-planirovochnye i konstruktivnye reshenija proizvodstvennyh zdanij s tochki zrenija trebovanij jekologicheskoj bezopasnosti. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, no. 6 (69), pp. 94-100.

6. Pjartel' V. M. Gornolyzhnye kurorty severo-zapada. *Turistskie firmy*, is. 19, pp.243-247.

7. Rybickij V. Gornolyzhnye kurorty. Snega obetovannye. Moscow, AiF Tur Publ., 2002, no. 1-2.

8. Sokolova M.V. Istorija turizma. Moscow, Akademija Publ., 2004.

9. Tjuljakov R. Gornolyzhnye kurorty Vostochnoj. *Turisticheskij Biznes*, 2000, no. 11 (34).

10. Tjuljakov R. Rossija stanovitsja gornolyzhnoj. *Turisticheskij Biznes*, 2001, no. 01(36).

11. Hviler Ja. Gornolyzhnye tury. Al'pijskie strany. *Turisticheskij Biznes*, 1999, no. 10(21).

12. Hviler Ja. Gornye lyzhi v Ros-sii: marshrutov pribavilos'. *Turisticheskij Biznes*, 1999, no. 12.

---

## ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

---

УДК 004.942

**Р.У. Стативко**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46) (e-mail:stativko1@mail.ru)

**Е.П. Коломыцева**, аспирант, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46) (e-mail:creame2005@yandex.ru)

### РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОБХОДИМОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТИПОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДАТЧИКОВ

*Целью данной работы является разработка подходов к автоматизации процесса установки датчиков для мониторинга «умного дома». В статье кратко говорится о возникновении системы «умный дом» и о дальнейшем распространении этой системы в России. «Умный дом» – это система управления домом, обеспечивающая автоматическую и слаженную работу целого комплекса систем, в частности, управление освещением, что требует использования правильной расстановки датчиков. Такая система может дать преимущества для людей с ограниченными возможностями.*

*Расстановка датчиков позволит оптимизировать потребление энергоресурсов. В работе дана краткая характеристика классических наборов датчиков для умного дома. Классическим набором для умного дома являются: центр управления, камеры, модули в розетку, настенные выключатели, модули управления и различные датчики. Приведена классификация датчиков по разным признакам и по способу подключения.*

*В статье сделан акцент на расстановку датчиков движения и освещенности, которые зачастую являются основой «умного дома» и используются для управления различными устройствами. В работе дано описание классической схемы «Умный дом» и перечислены ее основные компоненты.*

*Предложен алгоритм определения необходимости использования типовых моделей датчиков движения и освещенности и их количественного соотношения в зависимости от анализа помещения, а именно: тип помещения (жилое, нежилое), размер помещения, наличие оконных и дверных проемов. Представленный алгоритм содержит следующие этапы: предварительный анализ помещения, в котором необходимо установить датчики движения и освещенности, учет характеристик датчиков. Приведены краткие результаты тестирования.*

*Данная работа показывает, что комплекс «Умный дом» вполне реально устроить в индивидуальном жилом строении.*

**Ключевые слова:** система «Умный дом»; датчики движения и освещенности; установка датчиков; типы датчиков; система автоматики; комплекс автоматизированных систем дома; типовые модели датчиков; алгоритм использования типовых моделей датчиков движения.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-6-118-126

**Ссылка для цитирования:** Стативко Р.У., Коломыцева Е.П. Разработка алгоритмов определения необходимости использования типовых моделей датчиков // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 118-126.

\*\*\*

#### Введение

Система «Умный дом» (от английского *smarthouse*) зародилась в США в середине XX века и со временем получила обширное распространение во многих других странах мира. Ситуация в корне

изменилась с развитием электроники и в настоящее время такие системы хоть и не получили большую популяризацию, но уже и не воспринимаются как диковинка. В России спрос на данную технологию возрос сравнительно недавно. Рынок «умных домов» пока что находится толь-

ко на стадии развития, что подтверждается Указом Президента Российской Федерации от 9 мая 2017г. № 203 "О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 годы" [1]. В этом документе определена идея «умного города», основанного на максимальной комфортности, безопасности, энергоэффективности и экологичности окружающего пространства. Модель умного города, элементы которого окружают человека дома, на улице и в общественных местах, создает основу для формирования инновационной среды и последующего перевода экономики на новую ступень развития [1]. Объединение концепции «умных домов» в одном месте приводит к развитию «умного города».

Под понятием «умного дома», будем подразумевать наличие программно-аппаратного комплекса, позволяющего автоматизировать и упростить управление различными системами, а также другим оборудованием жилого или нежилого помещения.

«Умный дом» – это система управления домом, обеспечивающая автоматическую и слаженную работу целого комплекса систем: освещение, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха, и других систем, которые обеспечивают комфорт, энергоэффективность, безопасность и упрощают быт человека [2]. Необходимо отметить, что для некоторых категорий населения (пожилых людей, инвалидов) это система может стать необходимой, т.к. она способна самостоятельно отслеживать изменения в доме и реагировать на них, приводя в действие необходимые устройства. Наличие такого комплекса автоматизированных систем дома позволяет эффективно расходовать ресурсы и их стоимость, а

также помогает обезопасить дом от взлома, пожара, протечек и замерзания труб.

Классическим набором для умного дома являются: центр управления, камеры, модули в розетку, настенные выключатели, модули управления и различные датчики (рис.1).



Рис. 1. Схема системы «Умный дом»

#### Постановка задачи

Целью данной работы является разработка подходов к автоматизации процесса установки датчиков для мониторинга «умного дома» для повышения эффективности обслуживания и удовлетворения нужд населения.

На этапе выбора датчика нужно учитывать особенности каждой модели и отдавать предпочтение тому, что лучше всего подходит для рассматриваемого пространства, где необходима работа датчика движения и конечно же его стоимости.

Датчики являются неотъемлемой частью любой системы автоматизации. Их главная задача – преобразование любых физических величин в сигнал, удобный для использования [3]. Датчики имеют очень большой спектр функций и могут классифицироваться по разным признакам.

Анализ существующих подходов к решению задачи [4-6] показал, что, как правило, даются рекомендации без анализа типа помещения, размера и наличия оконных и дверных проемов.

В данной статье предлагаются подходы к реализации алгоритма определения необходимости использования типовых моделей датчиков движения и освещенности в зависимости от анализа помещения, а именно: тип помещения (жилое, нежилое), размер помещения, наличие оконных и дверных проемов. Разрабатываемый алгоритм содержит такие этапы, как: предварительный анализ помещения (длина (а) и ширина (b)), в котором необходимо установить датчики движения и освещенности, учет характеристик датчиков.

В данной работе предложено применение датчиков движения и освещенности, которые зачастую являются основой «умного дома» и используются для управления различными устройствами (к примеру, вентиляцией, автоматическими дверьми и окнами) [7].

Мы будем рассматривать следующую классификацию датчиков [8]: инфракрасные ( $c_1$ ), акустические ( $c_2$ ), мик-

роволновые ( $c_3$ ), ультразвуковые ( $c_4$ ), комбинированные ( $c_5$ ). Друг от друга они отличаются принципом работы и точностью фиксации сигналов.

По типу установки рассматриваемые датчики можно разделить на внешние и внутренние, а по способу подключения датчики делятся на проводные и беспроводные. Так же при выборе датчика необходимо учесть угол обзора, который может быть в горизонтальной плоскости от  $90^\circ$  до  $360^\circ$  (для помещения, в котором датчик устанавливается на стене, достаточно будет  $180^\circ$ ) и по вертикали –  $15-20^\circ$  (в дорогостоящих моделях угол обзора может охватывать до  $180^\circ$  и такие датчики обычно ставят в охранных системах).

При подборе датчиков необходимо учесть дальность действия, которая зависит от места их использования, а именно, в помещении будет устанавливаться датчик движения или на улице. Для помещения достаточно будет радиуса действия в 5-7 метров, а для улицы, конечно же, с наибольшим радиусом [9].

На рис.2 показана модель процесса расстановки типовых моделей датчиков движения и освещенности в помещении.

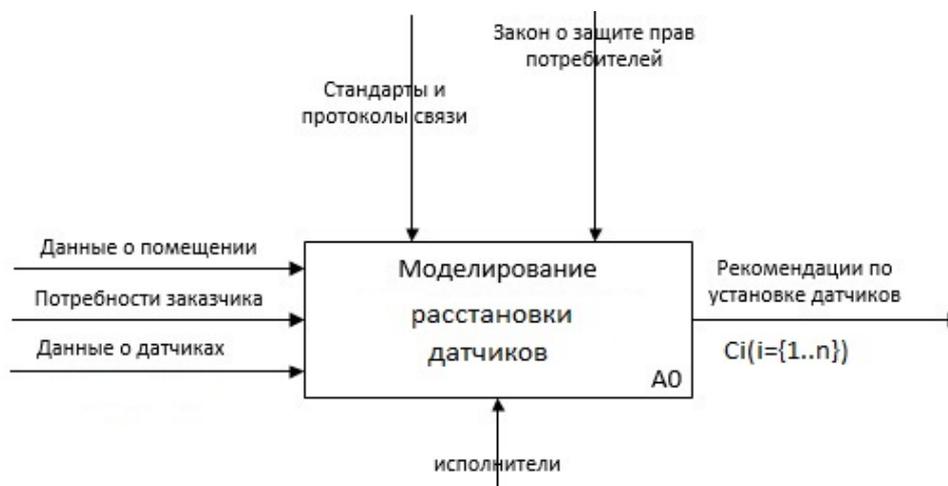


Рис.2. Модель процесса расстановки датчиков

Не просто назвать необходимое количество датчиков в «умном доме», потому, что все зависит от цели и задач, предъявляемых к конкретному объекту.

### **Разработка алгоритма**

В ходе установки системы «умного дома», может возникнуть необходимость правильного расчёта расположения датчиков, при котором они будут работать корректно [11-14].

Во-первых, требуется выполнить анализ помещения, в котором необходимо установить датчики движения и освещенности. А именно, тип помещения (жилое, нежилое), размер помещения, наличие оконных и дверных проемов.

Во-вторых, при выборе места установки датчика движения нужно учитывать поле обзора датчика (перегородки, полки, растения и т.д. могут ограничить зону контроля). Вблизи не должны располагаться осветительные приборы (подвесные светильники могут затенять зону контроля датчика, если они расположены слишком близко) и отопительные приборы (так как датчики движения реагируют на потоки воздуха), а также не должны попадать большие объекты, которые могли бы вызывать ложное срабатывание. В помещениях с большей площадью целесообразно устанавливать датчик на потолке, при этом угол обзора должен быть 360° и по центру, чтобы «мертвая зона» была минимальной.

В-третьих, помимо правильного размещения, очень важным также является надежное крепление датчика. Датчик должен быть надежно прикреплен к поверхности, поэтому перед установкой нужно предварительно удостовериться, что поверхность, на которой будет располагаться датчик, надёжная и стойкая.

В-четвертых, установив датчик, рекомендуется протестировать его работоспособность и удостовериться, что установка была проведена корректно.

В-пятых, не следует устанавливать датчики слишком близко друг к другу, так как это может приводить к возникновению помех.

Также перед установкой датчика необходимо обязательно прочесть руководство по установке, которое поможет быстро разобраться во всех тонкостях.

Стоит упомянуть, что, устанавливая датчик для «Умного дома», нельзя забывать, что «Умный дом» – это в первую очередь система, в которой все элементы взаимосвязаны, а, следовательно, датчик должен правильно работать вместе со всеми другими устройствами, входящими в эту систему.

Вариаций построения «умного дома» существует большое множество. На сегодняшний день существует огромный выбор решений на любой вкус и конечно же стоимость данного решения.

Согласно концепциям структурного моделирования [10] выполним детализацию входящих процессов в следующем представлении (рис.3).

Разработанный в данной работе алгоритм определения необходимости использования типовых моделей датчиков движения и освещенности и их количественного соотношения в зависимости от анализа помещения представлен на рис.4.

### **Тестирование алгоритма**

Согласно разработанному алгоритму для помещения, план которого приведен на рис.5, в таблице указаны результаты тестирования по типу и габаритам помещения.

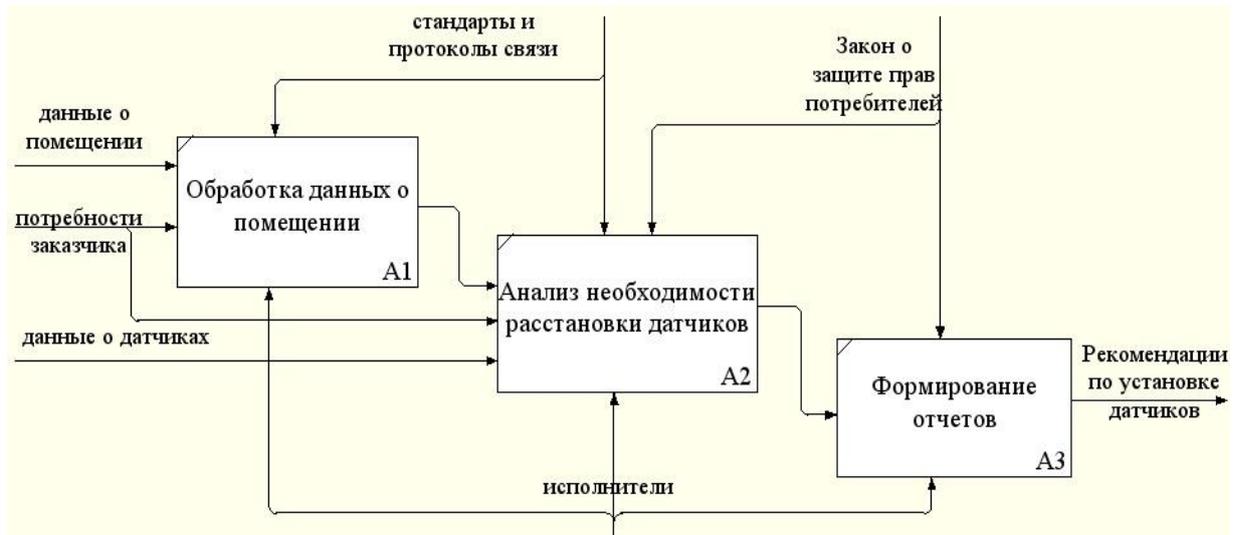


Рис. 3. Детализация моделирования процессов расстановки датчиков

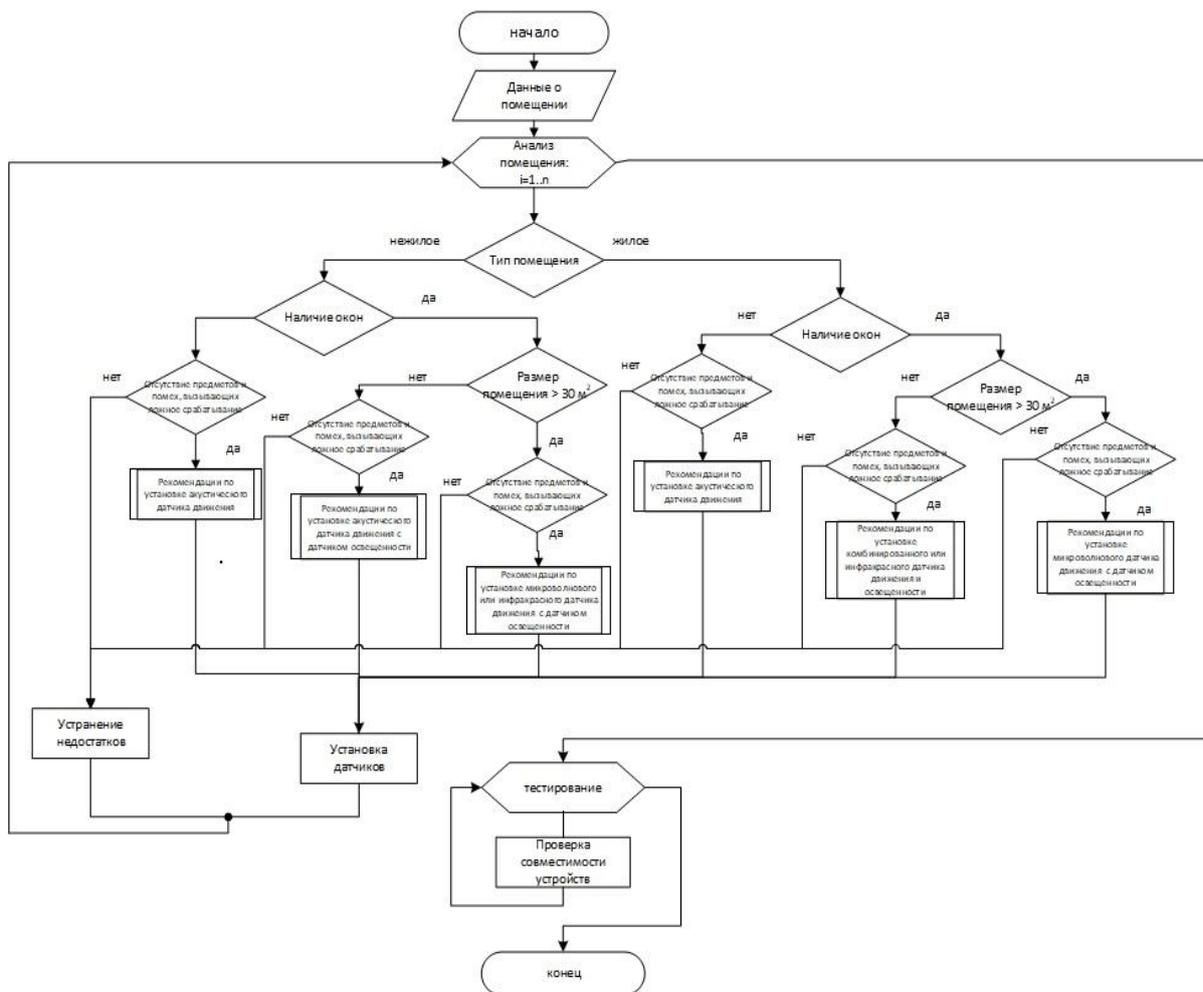


Рис. 4. Блок-схема алгоритма определения необходимости использования типовых моделей датчиков движения и освещенности

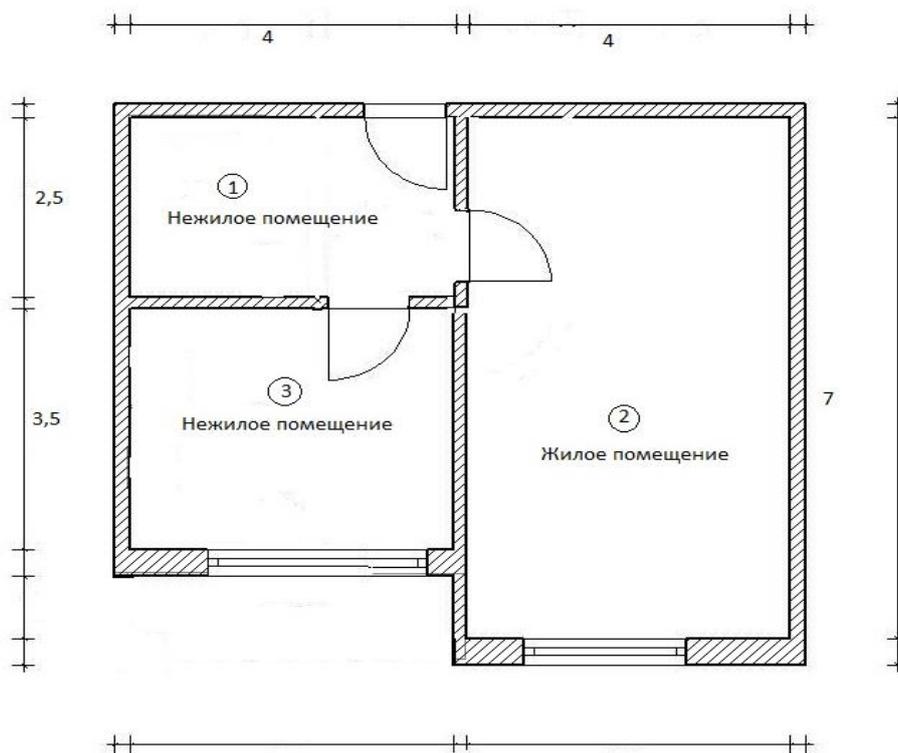


Рис.5. План тестируемого помещения

## Результаты тестирования алгоритма

№ пом.	Данные о помещении				Рекомендации по установке
	Тип помещения	Наличие окон	Размер		
			длина	ширина	
1	нежилое	нет	2,5	4	Акустический датчик движения ( $c_2$ )
2	жилое	есть	7	4	Комбинированный или инфракрасный датчик движения и освещенности ( $c_1, c_5$ )
3	нежилое	есть	3,5	4	Акустический датчик движения и освещенности ( $c_2$ )

В таблице, согласно этапам алгоритма определения необходимости типовых моделей датчиков (рис.4), выполнен анализ помещения, содержащего 3 комнаты. Помещение содержит 2 нежилых помещения, из которых в одном нет окна, во втором – окно присутствует. Соответственно параметрам помещения получена рекомендация по установке датчиков ( $c_2$ ). Для жилого помещения, согласно его ха-

рактеристикам, также получена рекомендация ( $c_1, c_5$ ).

**Выводы**

Для реализации системы «Умный дом» необходимо выполнить анализ помещения. По результатам анализа помещения выполняется расстановка датчиков движения и освещенности согласно разработанному алгоритму по их характеристикам.

В итоге, можно сделать вывод, что данный комплекс вполне реально устроить в индивидуальном жилом строении. Однако нужно быть готовым к тому, что на внедрение даже самой простейшей системы «умного дома» уйдет немало времени. Следует внимательно отнестись при выборе датчиков ко всем характеристикам помещения, а также к необходимому оборудованию для данного помещения. Данная статья будет полезна пользователям, заинтересованным в установке датчиков.

### Список литературы

1. О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 годы: Указ Президента Российской Федерации от 9 мая 2017 г. № 203. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Сопер М.Э. Практические советы и решения по созданию «Умного дома». М.: НТ Пресс, 2007. 432 с.
3. Густав Олссон, Джангуидо Пиани Цифровые системы автоматизации и управления. СПб.: Невский Диалект, 2001. 557с.
4. Tapia E. M., Intille S. S., Larson K. Activity recognition in the home using simple and ubiquitous sensors // International conference on pervasive computing. Springer, Berlin, Heidelberg, 2004. P. 158-175.
5. Lu J. et al. The smart thermostat: using occupancy sensors to save energy in homes // Proceedings of the 8th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems. ACM, 2010. P. 211-224.
6. Li M., Lin H. J. Design and implementation of smart home control systems based on wireless sensor networks and power line communications // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2015. Vol. 62. № 7. P. 4430-4442.
7. Датчики движения. Основные виды и их особенности, области применения. URL: <https://rozetkaonline.ru/poleznieshati-o-rozetkah-i-vikluchateliah/item/54-datchiki-dvizheniya-osnovnyye-vidy-i-ikh-osobennosti-oblasti-primeneniya>.
8. Барыкин Ф.С. Схема подключения датчика движения для освещения. URL: <https://elektro.guru/osveschenie/shema-podklyucheniya-datchika-dvizheniya-dlya-osvescheniya.html#hcq=hcvL8Fq>.
9. Тесля Е.А. «Умный дом» своими руками. Строим интеллектуальную цифровую систему в своей квартире. СПб., 2008. 224 с.
10. ГОСТ Р 50.1.028-2001 Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. М., 2002.
11. Установка датчиков сигнализации. Основные рекомендации. URL: <http://www.autoelectric.ru/advice/advice1.htm>.
12. Стативко Р.У., Коломыцева Е.П. / Моделирование процессов расстановки датчиков с использованием программного продукта «Ramus Educational» [Электронный ресурс] // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород, 2018. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
13. Hamed B. Design & implementation of smart house control using LabVIEW // International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE). 2012. Vol. 1. № 6. P. 98-106.
14. Alami A., Benhlima L., Bah S. An overview of privacy preserving techniques in smart home wireless sensor networks // Intelligent Systems: Theories and Applications (SITA), 2015 10th International Conference on. IEEE, 2015. P. 1-4.

*Поступила в редакцию 29.11.18*

UDC 004.942

**R. W. Stativko**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova str., 46) (e-mail:stativko1@mail.ru)

**E. P. Kolomytseva**, Post-Graduate Student, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova str., 46) (e-mail:creame2005@yandex.ru)

## DEVELOPMENT OF ALGORITHMS TO DETERMINE WHEN TO USE GENERIC MODELS OF THE SENSORS

*The aim of this work is to develop approaches to automate the process of installing sensors for monitoring "smart home". The article briefly describes the emergence of the smart home system and the further spread of this system in Russia. "Smart Home" is a home control system that provides automatic and well-coordinated operation of a whole complex of systems, in particular, lighting control, which requires the use of correct placement of sensors. Such a system can provide benefits for people with disabilities.*

*The sensor layout will optimize energy consumption. The paper gives a brief description of the classic sensor sets for a smart home. A classic set for a smart home are: control center, cameras, modules in the socket, wall switches, control modules and various sensors. The classification of sensors according to various characteristics and the method of connection is given.*

*The article focuses on the placement of motion and light sensors, which are often the basis of a "smart home" and are used to control various devices. This paper describes the classic smart home circuit and lists its main components.*

*An algorithm is proposed for determining the need for using standard models of motion and illumination sensors and their quantitative ratio from the room analysis, namely: the type of room (residential, non-residential), the size of the room, the presence of window and door openings. The presented algorithm contains the following steps: preliminary analysis of the room in which it is necessary to install motion and light sensors, take into account the characteristics of the sensors. Brief results of testing are given.*

*This work shows that it is quite possible to arrange a "smart home" complex in an individual residential structure.*

**Key words:** *system "smart home"; motion and light sensors; installation of sensors; types of sensors; automation system; complex of automated systems at home; typical models of sensors; algorithm of using typical models of motion sensors.*

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-118-126

**For citation:** Stativko R. W., Kolomytseva E. P. Development of Algorithms to Determine When to Use Generic Models of the Sensors. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 6(81), pp. 118-126 (in Russ.).

\*\*\*

### Reference

1. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 9 maja 2017g. № 203. O Strategii razvitija informacionnogo obshhestva v Rossijskoj Federacii na 2017-2030 gody. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Kon-sul'tantPljus».

2. Soper M. Je. Prakticheskie soveti i reshenija po sozdaniju «Umnogo doma». Moscow, 2007, 432 p.

3. Gustav Olsson, Dzhanguido Piani Cifrovye sistemy avtomatizacii i upravlenija Saint-Petersburg, Nevskij Dialekt Publ., 2001, 557 p.

4. Tapia E. M., Intille S. S., Larson K. Activity recognition in the home using simple and ubiquitous sensors. International conference on pervasive computing. Springer, Berlin, Heidelberg, 2004, pp. 158-175.
5. Lu J. et al. The smart thermostat: using occupancy sensors to save energy in homes. Proceedings of the 8th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, ACM, 2010, pp. 211-224.
6. Li M., Lin H. J. Design and implementation of smart home control systems based on wireless sensor networks and power line communications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2015, vol. 62, no. 7, pp. 4430-4442.
7. Datchiki dvizhenija. Osnovnye vidy i ih osobennosti, oblasti primeneniya. URL: <https://rozetkaonline.ru/poleznie-stati-o-rozetkah-i-vykluchateliah/item/54-datchiki-dvizheniya-osnovnye-vidy-i-ikh-osobennosti-oblasti-primeneniya>.
8. Barykin F.S. Shema podkljucheniya datchika dvizhenija dlja osveshhenija. URL: <https://elektro.guru/osveschenie/shema-podklyucheniya-datchika-dvizheniya-dlya-osvescheniya.html#hcq=hcvL8Fq>.
9. Teslja E.A. «Umnyj dom» svoimi rukami. Stroim intellektual'nuju cifrovuju sistemu v svoej kvartire. Sankt-Peterburg, 2008, 224 p.
10. GOST R 50.1.028-2001. Informacionnye tehnologii podderzhki zhiznennogo cikla produkcii. Metodologija funkcionalnogo modelirovaniya. Moscow, 2002.
11. Ustanovka datchikov signalizacii. Osnovnye rekomendacii. URL: <http://www.autoelectric.ru/advice/advice1.htm>.
12. Stativko R.U., Kolomyceva E.P. Modelirovanie processov rasstanovki datchikov s ispol'zovaniem programmogo produkta «Ramus Educational». Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija molodyh uchenyh BGTU im. V.G. Shuhova. Belgorod, 2018.
13. Hamed B. Design & implementation of smart house control using LabVIEW. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, 2012. vol. 1, no. 6, pp. 98-106.
14. Alami A., Benhlima L., Bah S. An overview of privacy preserving techniques in smart home wireless sensor networks. Intelligent Systems: Theories and Applications (SITA), 2015 10th International Conference on. IEEE, 2015, pp. 1-4.

УДК 303.733.4

**Р.Н. Яковлев**, мл. научный сотрудник, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской Академии наук (Россия, 199178, Санкт-Петербург, 14 линия В.О., 39) (e-mail: iakovlev.r@mail.ru)

## **ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СКЛАДА**

*Данная работа посвящена актуальной на сегодняшний день проблематике – оптимизации складского хозяйства. Непосредственно в работе рассматривался процесс приемки и отправки грузов на некотором складском помещении среднего масштаба. В рамках исследования, по результатам проведения предварительного анализа, были выбраны показатели, необходимые для применения средств интеллектуального анализа с целью прогнозирования количества сотрудников на складских подъездах. В соответствии с поставленной целью были сформированы модели по прогнозированию необходимого числа сотрудников на подъездах для обеспечения работы последних в режиме, соответствующем оптимальному значению показателя «загруженность подъезда». Для решения данной задачи рассмотрено применение различных методов машинного обучения, таких как дерево решений, регрессор на основе метода ближайших соседей, случайный лес, нейронная сеть прямого распространения. Каждая из задействованных моделей проходила обучение с различными значениями гиперпараметров модели, которые выбирались как в ручном режиме на основе эвристик, так и с использованием специализированных программных средств перебора по сетке GridSearchCV из библиотеки scikitlearn, предназначенных для поиска оптимальных значений гиперпараметров. С использованием автоматизации поиска гиперпараметров при обучении моделей было достигнуто меньшее значение среднеквадратической ошибки по сравнению с ручным выбором гиперпараметров. По результатам проведенного анализа качества прогнозов моделей было установлено, что спрогнозированные значения числа сотрудников в большей степени соответствуют реальной ситуации нежели плановые значения, используемые компанией на данный момент. На основе анализа полученных результатов были составлены рекомендации для оценки роста экономической эффективности предприятия.*

**Ключевые слова:** средства интеллектуального анализа; складское хозяйство; экономическая эффективность; управление персоналом.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-127-135

**Ссылка для цитирования:** Яковлев Р.Н. Применение средств интеллектуального анализа для решения задач оптимизации деятельности склада // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 127-135.

\*\*\*

### **Введение**

В рамках данной работы рассматривается проблема управления и оптимизации складского хозяйства. На протяжении многих лет оптимизация складского хозяйства не теряет своей актуальности [1, 2]. Множеством исследователей для решения задач в рамках данной проблематики применялись различные группы подходов и методов, в числе которых: игровые методы, применение которых рассмотрено в работе [3], логистический подход к оптимизации складской грузопереработки, представленный, в частности, в [4], а также подходы, связанные с

применением имитационных моделей, задействованные в [5].

Целью данной работы является формирование решений по оптимизации процессов приемки и отправки грузов с применением средств интеллектуального анализа данных. В качестве исходных данных были взяты сведения о складе, который относится к складским помещениям класса В+ (по классификации Knight Frank и Swiss Realty Group) [6]. Анализируемый склад имеет шесть подъездов для загрузки и разгрузки грузов. При этом подъезды отличаются уровнем технологического оснащения, что позво-

ляет принимать к погрузке/разгрузке только определенные виды продукции.

### Постановка задачи

При первичном анализе складского хозяйства было выявлено, что одним из ключевых факторов, влияющих на скорость погрузки/разгрузки, является число сотрудников на подъезде, также скорость разгрузки зависит и от физических свойств продукции. На данный момент в соответствии с внутренними инструкциями организации все сотрудники работают по сменам (длительность смены 4 часа), а их число на конкретном подъезде определяется в соответствии с планом. Данный план составляется на основе величины среднемесячной загруженности. На данный момент в компании применяется подход по ликвидации очередей, который имеет определенные недостатки, в частности, из-за отсроченной реакции на возникновение очередей происходит рост издержек:

- связанных с временем ожидания и временем проведения погрузок/разгрузок;
- связанных с необходимостью в содержании потенциально избыточного персонала;
- связанных с необходимостью по внеплановому вызову дополнительных сотрудников (по более высокой ставке на оплату труда работника).

Исходя из результатов первичного анализа цель работы была детализована следующим образом:

1. На основе исторических данных, сформировать модели по прогнозированию необходимого числа сотрудников на подъездах для обеспечения работы последних в режиме, соответствующем оптимальному значению показателя «загруженность подъезда».

2. Обозначить возможности по оценке потенциального экономического эффекта от применения полученных моделей.

### Исследование загруженности подъезда. Построение и обучение моделей

Для достижения поставленных в работе целей был проведен предварительный анализ статистики по подъезду с целью выбора показателей, которые будут использованы для прогнозирования оптимального числа сотрудников на подъезде. На основании предварительного анализа был сформирован итоговый список параметров для дальнейшего построения моделей по прогнозированию оптимального числа сотрудников на подъезде. В него вошли следующие показатели: число поступивших за смену машин; вес поступившего за смену груза; загруженность подъезда (внутренний показатель, используемый компанией для оценки интенсивности рабочего процесса, а также при принятии решений относительно изменения числа работников на подъезде, определяется по окончанию смены начальником смены); календарный месяц; порядковый номер смены; плановое число сотрудников. Выбор параметров обосновывается тем, что их либо можно определить заранее с высокой точностью, либо у них имеется целевое значение, в частности, для показателя «загруженность подъезда» целевым значением является «оптимальная нагрузка». В рамках рассматриваемых задач, отдельные подъезды являются независимыми единицами, а потому дальнейшее исследование и прогнозирование проводилось только для одного из подъездов.

Прогнозирование осуществлялось с использованием 4 различных типов моделей:

- дерево решений;
- регрессор на основе метода ближайших соседей;
- случайный лес;
- нейронная сеть прямого распространения.

Каждая из представленных моделей базируется на различных принципах и широко используется в области интеллектуального анализа данных в задачах прогнозирования. Несмотря на то, что первые две модели являются более простыми, они, тем не менее, не теряют своей актуальности и часто демонстрируют весьма высокие показатели качества работы [7–9]. Две другие используемые модели (случайный лес [10] и нейронная сеть прямого распространения) являются более сложными и трудно интерпретируемыми для пользователя, и преимущественно используются как «черный ящик» при формировании прогнозов, однако данные модели могут достигать более высоких показателей качества работы [11–14], чем и обусловлено их применение в данном исследовании.

В данной работе для каждой из первых трех моделей была проведена следующая последовательность действий:

- Исходная выборка делилась на обучающую и тестовую в соотношении 75 к 25.

- Модель обучалась на обучающей выборке с произвольно выбранными параметрами, после чего проводилась ее проверка на тестовой выборке, качество модели оценивалось посредством определения значения коэффициента детерминации между спрогнозированными и реальными значениями.

- Далее с использованием возможностей библиотеки `scikit-learn` [15] проводилась подборка наилучших параметров для модели (с использованием кросс-валидации) и обучение модели с нуля с уже оптимальными параметрами. Качество такой модели также оценивалось с помощью коэффициента детерминации.

Поскольку целевой параметр является целочисленным, вычисление коэффициента детерминации также проводилось и после округления прогнозных значений «фактического числа сотрудников на подъезде».

В рамках четвертого подхода с использованием программного средства `matlab` была создана и обучена нейронная сеть прямого распространения со следующей архитектурой (рис. 1).

Таблица 1

Результаты обучения и проверки качества модели №1 (дерево решений)

Формат результатов	Максимальная глубина дерева	Число используемых признаков	Коэффициент детерминации ( $R^2$ )
Дерево решений с параметрами, выбранными вручную			
Исходные результаты (вещественные числа)	5	-	0.72
Результаты после округления (натуральные числа)	5	-	0.65
Дерево решений с оптимальными параметрами			
Исходные результаты (вещественные числа)	7	4	0.73
Результаты после округления (натуральные числа)	7	4	0.66

Таблица 2

Результаты обучения и проверки качества модели №2 (метод ближайших соседей)

Формат результатов	Число рассматриваемых соседей	Коэффициент детерминации ( $R^2$ )
Метод ближайших соседей с параметрами, выбранными вручную		
Исходные результаты (вещественные числа)	10	0.61
Результаты после округления (натуральные числа)	10	0.55
Метод ближайших соседей с оптимальными параметрами		
Исходные результаты (вещественные числа)	9	0.73
Результаты после округления (натуральные числа)	9	0.66

Таблица 3

Результаты обучения и проверки качества модели №3 (случайный лес)

Формат результатов	Максимальная глубина деревьев	Число используемых признаков	Коэффициент детерминации ( $R^2$ )
Случайный лес с параметрами, выбранными вручную			
Исходные результаты (вещественные числа)	7	-	0.73
Результаты после округления (натуральные числа)	7	-	0.67
Случайный лес решений с оптимальными параметрами			
Исходные результаты (вещественные числа)	10	3	0.76
Результаты после округления (натуральные числа)	10	3	0.69

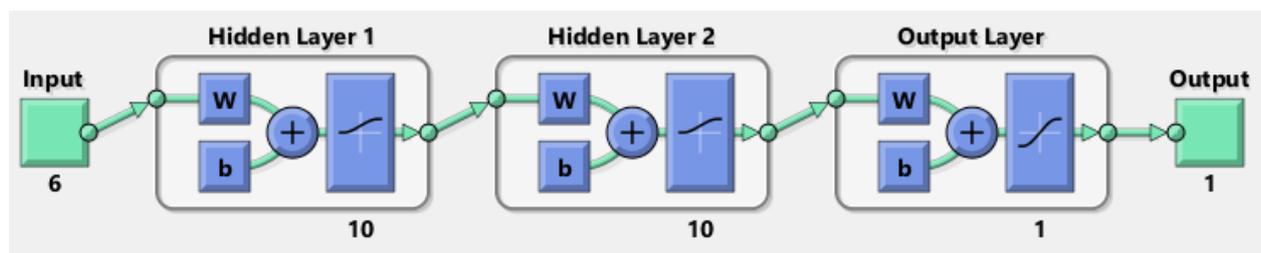


Рис. 1. Архитектура нейронной сети прямого распространения

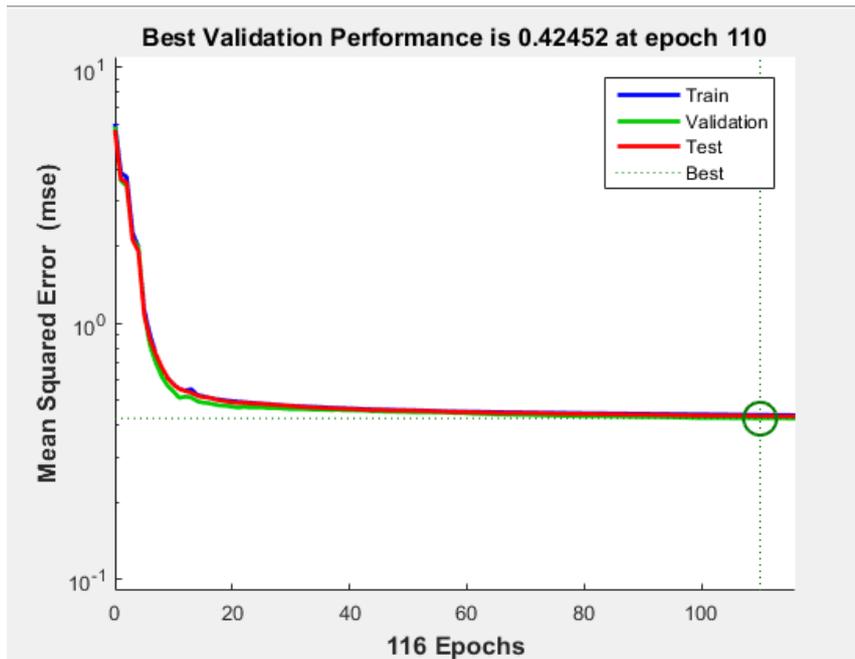


Рис. 2. Величина среднеквадратической ошибки в процессе обучения модели

Вычисленные значения показателей качества моделей ( $R^2$  и среднеквадратической ошибки) позволяют нам сделать вывод о состоятельности построенных моделей, а соответственно и об их пригодности к дальнейшему прогнозированию. Стоит отметить, что при проверке на тестовой выборке показатели качества работы дерева решений, регрессора на основе метода ближайших соседей и случайного леса существенно возросли после обучения данных моделей с оптимальными параметрами (рис. 2).

### Прогнозирование оптимального числа сотрудников

После завершения процессов построения и обучения моделей было осуществлено непосредственное прогнозирование значений числа сотрудников на подъезде. Прогнозы формировались на период с 01.10.2018 по 31.10.2018 включительно, соответственно значения за данный период не входили в выборку, на основе которой проводилось обучение моделей. Данный период был выбран поскольку в та-

ком случае появляется возможность сравнить спрогнозированные значения величин с их реальными значениями.

Прогнозное число сотрудников может быть принято в качестве оптимального с высокой долей вероятности, поскольку на весь прогнозируемый период показателю «загруженность подъезда» было присвоено оптимальное значение.

Полученные результаты прогнозирования представлены на рисунке 3 ниже.

На основе спрогнозированных и реальных значений показателя «число сотрудников на подъезде» по каждой модели были определены величины среднеквадратической ошибки MSE полученных прогнозов.

Кроме того, в целях формирования более обоснованного заключения относительно целесообразности использования разработанных моделей, дополнительно был построен график загруженности подъезда на основе реальных данных и данных, использованных при прогнозировании числа сотрудников на подъезде, представленный на рисунке 4.

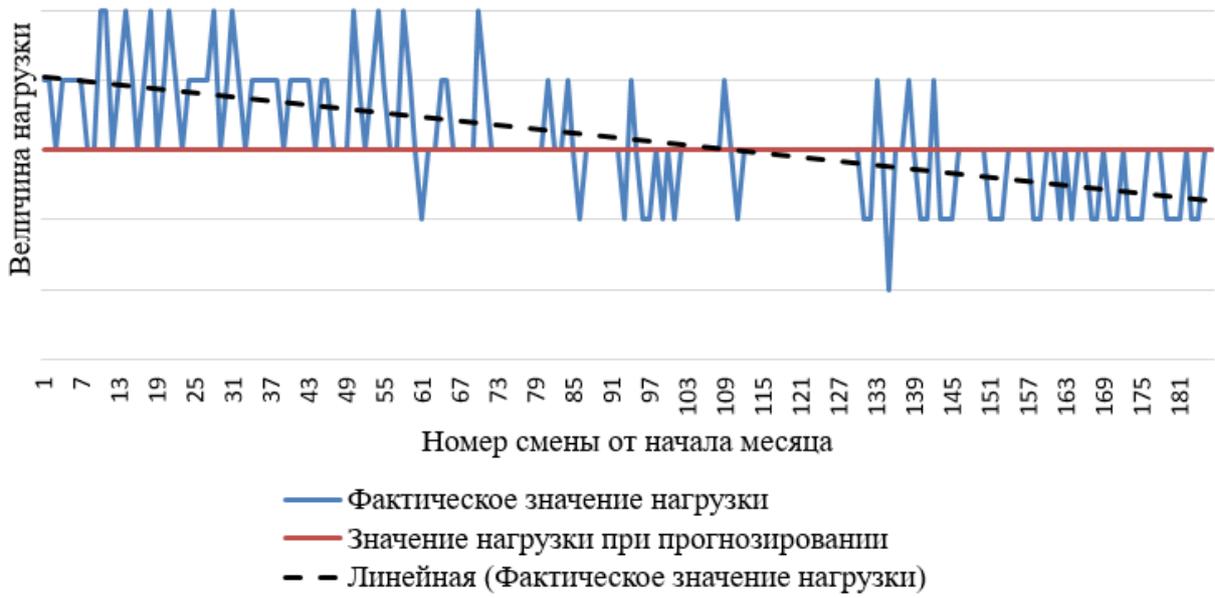


Рис. 3. Результаты прогнозирования фактического числа сотрудников

Таблица 4

Величины среднеквадратических ошибок прогнозирования и планирования

	Дерево решений	Метод ближайших соседей	Случайный лес	Нейронная сеть	Плановые значения
MSE	0,28	0,32	0,31	0,49	0,5

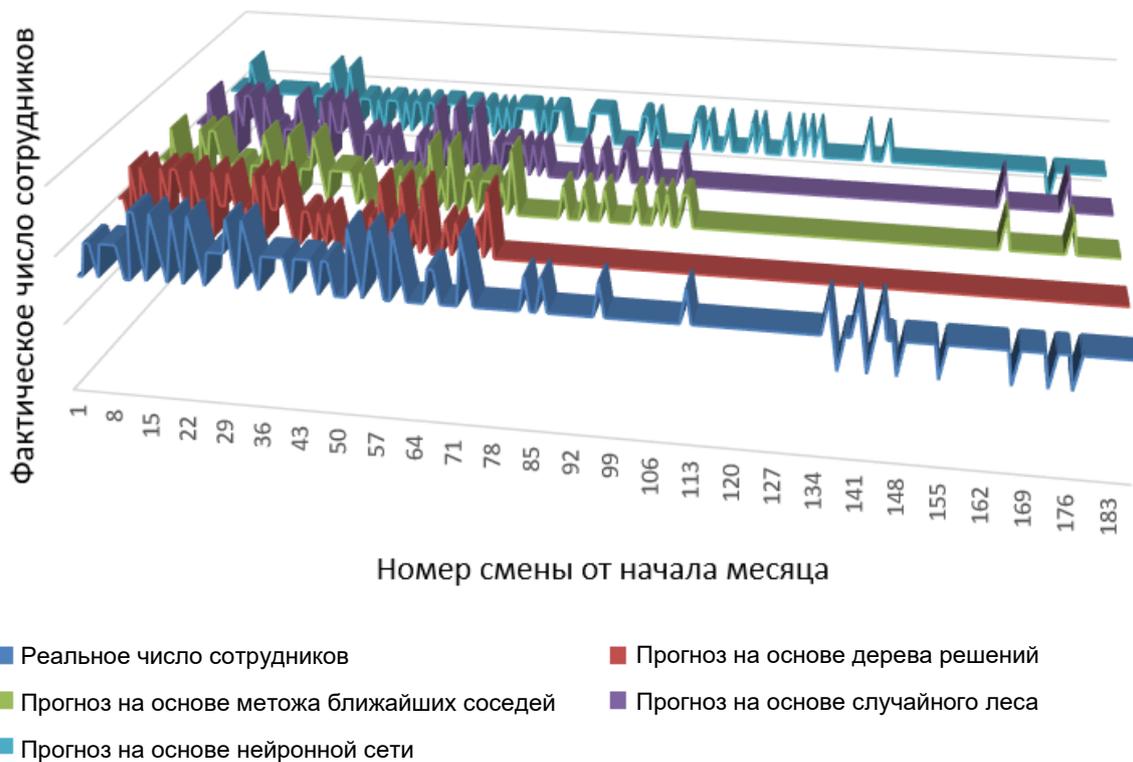


Рис. 4. Величина загруженности за рассматриваемый период

Анализируя графики, представленные на рисунках 3 и 4, можно заметить, что в первой половине рассматриваемого периода фактическое число сотрудников на подъезде зачастую было существенно больше планового. Тем не менее, исходя из значений фактической загруженности подъезда на данном временном промежутке можно сделать вывод о том, что число сотрудников в определенные смены оказывалось недостаточным. Следовательно, можно предположить, что разумное превышение прогнозного числа сотрудников над фактическим числом сотрудников на подъезде на данном временном отрезке является свидетельством более высокого качества модели. Для второй половины рассматриваемого периода ситуация иная, фактическое число сотрудников преимущественно равнялось плановому. Стоит отметить, что исходя из графика загруженности подъезда можно сделать вывод о том, что фактическое число сотрудников зачастую было даже несколько избыточным. Таким образом, превышение прогнозного значения фактическим на данном временном промежутке можно трактовать как свидетельство более низкого качества модели.

Необходимо также отметить, что в течение всего прогнозного периода наблюдаются тренды к уменьшению загруженности подъезда и к уменьшению числа сотрудников, работающих на подъезде. При этом тренд к уменьшению загруженности подъезда сохраняется, даже несмотря на постепенное снижение числа сотрудников.

Исходя из графиков, представленных на рис. 3, можно утверждать, что результаты, спрогнозированные для каждой из разработанных моделей, значительно лучше соответствуют описанным выше трендам и зависимостям в сравнении со стабильными плановыми значениями. Принимая во внимание рассчитанные ранее значения среднеквадратической

ошибки, можно заключить, что использование разработанных моделей по прогнозированию числа сотрудников на подъезде является целесообразным.

### **Выводы**

Основываясь на результатах, полученных в ходе интеллектуального анализа, представляется возможным в дальнейшем оценить изменения в фонде рабочего времени сотрудников. В том случае, если фонд рабочего времени снизился или же не изменился, но эффективность работы при этом увеличилась, то предложенное решение по определению оптимального числа сотрудников на подъезде улучшило работу предприятия. В качестве параметра, определяющего экономическую эффективность работы подъезда, предприятию предлагается использовать параметр выработки, характеризующий производительность труда.

Отметим также, что использование разработанных прогнозных моделей потенциально позволит снизить очереди на погрузку и разгрузку машин, что может стать конкурентным преимуществом, т.к. логистические компании смогут снизить свои издержки, связанные с доставкой грузов: зарплата водителя-экспедитора; бензина; простой машины, как следствие задержка исполнения следующего заказа.

### **Благодарности**

*Исследование выполнено в рамках бюджетной темы (№АААА-А16-116033110095-0).*

### **Список литературы**

1. Ложечник Е.А. Оптимизация складского комплекса предприятия на основе рационализации и автоматизации основных процессов // Транспортное дело России. 2010. № 3.

2. Karásek J. An overview of warehouse optimization // International journal of advances in telecommunications, electro-

technics, signals and systems. 2013. Vol. 2. No. 3. P. 111–117.

3. Оптимизация складского хозяйства предприятий автомобильного транспорта использованием игровых методов / Е.В. Агеева, С.В. Пикалов, И.П. Емельянов, Е.В. Агеев // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2015. №. 1. С. 21–28.

4. Андрианов А.Ю., Киселева О.М. Использование логистических подходов в управлении складом временного хранения // Вестник университета. 2016. №. 1.

5. Kofjač D., Kljajić M., Rejec V. The anticipative concept in warehouse optimization using simulation in an uncertain environment // European Journal of Operational Research. 2009. Vol. 193. No. 3. P. 660–669.

6. Классификация складских помещений от агентства Swiss Realty Group. URL: <http://www.galaxylogistics.ru/slovar-logistiki/k-ru/klassifikatsiya-skladskih-pomescheniy-ot-agentstva-swiss-realty-group.html> (дата обращения 15.10.2018).

7. Построение деревьев решений и извлечение правил из обученных нейронных сетей / В.Н. Гридин, В.И. Солодовников, И.А. Евдокимов, С.В. Филиппков // Искусственный интеллект и принятие решений. 2013. №. 4. С. 26.

8. Воронцов К.В. Математические методы обучения по прецедентам (теория обучения машин). М., 2011. С. 119–121.

9. An empirical comparison of machine learning models for time series forecasting / N.K. Ahmed, A.F. Atiya, N.E. Gayar, H. El-Shishiny // Econometric Reviews. 2010. Vol. 29. No. 5-6. P. 594–621.

10. Чистяков С.П. Случайные леса: обзор // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2013. №. 1.

11. Liaw A., Wiener M. Classification and regression by randomForest // R news. 2002. Vol. 2. No. 3. P. 18–22.

12. Arulampalam G., Bouzerdoum A. A generalized feedforward neural network architecture for classification and regression // Neural networks. 2003. Vol. 16. №. 5-6. P. 561–568.

13. Бобырь М.В. Метод нелинейного обучения нейро-нечеткой системы вывода // Искусственный интеллект и принятие решений. 2018. № 1. С. 67–75.

14. Бобырь М.В. Проектирование нейронных и нечетких моделей в области вычислительной техники и систем управления. М.: Аргамак-Медиа, 2018. 110 с.

15. Scikit-learn. Machine Learning in Python. URL: <https://scikit-learn.org/stable/documentation.html> (дата обращения 15.10.2018).

*Поступила в редакцию 16.11.2018*

UDC 303.733.4

**R.N. Yakovlev**, Junior Researcher, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy Of Sciences (Russia, 199178, St. Petersburg, 14 line V. O., 39) (e-mail: iakovlev.r@mail.ru)

#### **APPLICATION OF INTELLECTUAL ANALYSIS TOOLS FOR SOLVING WAREHOUSE OPERATION OPTIMIZATION PROBLEMS**

*This work is devoted to the currently relevant issues - optimization of warehousing. Cargo receiving and dispatch processes held in a medium-sized warehouse are being considered in this work in detail. Based on the results of preliminary analysis, several indicators were selected, necessary for the usage of intellectual analysis tools in order to predict the required number of employees at the warehouse entrances. In accordance with the purpose set, models for predicting the required number of employees at the entrances were created to ensure the working process in a way, which corresponds to the optimal value of the indicator "workload of the entrance". Various methods of machine learning, such as decision tree, k-nearest neighbors regression, random forest, and feedforward neural network are considered in the context of the problem, mentioned above. Each of the models was trained with*

different values of the model's hyperparameters, which were selected in both manual heuristic-based mode and using specialized software tools for grid search (GridSearchCV) from the scikit-learn library, designed to find the optimal values of the hyperparameters. Using the automated search for hyperparameters when training models yields to a smaller mean-square error in comparison with manual selection of hyperparameters. According to the analysis results of the model prediction quality, it was found that the predicted number of employees closely corresponds to the real situation in comparison with the planned values being used by the company. Based on the obtained results, several recommendations were made to assess the growth of the economic efficiency of the enterprise.

**Key words:** data mining tools; warehousing; economic efficiency; Human Resource management.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-127-135

**For citation:** Yakovlev R.N. Application of Intellectual Analysis Tools for Solving Warehouse Operation Optimization Problems. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 6(81), pp. 127-135 (in Russ.).

\*\*\*

## References

1. Lozhechnik E.A. Optimizacija sklad-skogo kompleksa predprijatija na osnove racionalizacii i avtomatizacii osnovnyh processov. *Transportnoe delo Rossii*, 2010, no. 3.
2. Karásek J. An overview of warehouse optimization. *International journal of advances in telecommunications, electro-technics, signals and systems*, 2013, vol. 2, no. 3, pp. 111–117.
3. Ageeva E.V., Pikalov S.V., Emel'janov I.P., Ageev E.V. Optimizacija sklad-skogo hozjajstva predprijatij avtomobil'nogo transporta ispol'zovaniem igrovyyh metodov. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii*, 2015, no. 1, pp. 21–28.
4. Andrianov A.Ju., Kiseleva O.M. Ispol'zovanie logisticheskikh podhodov v upravlenii skladom vremennogo hranenija. *Vestnik universiteta*, 2016, no. 1.
5. Kofjač D., Kljajić M., Rejec V. The anticipative concept in warehouse optimization using simulation in an uncertain environment. *European Journal of Operational Research*, 2009, vol. 193, no. 3, pp. 660–669.
6. Klassifikacija sklad-skikh pomeschenij ot agentstva Swiss Realty Group. URL: <http://www.galaxylogistics.ru/slovar-logistiki/k-ru/klassifikatsiya-sklad-skikh-pomeschenij-ot-agentstva-swiss-realty-group.html> (data obrashhenija 15.10.2018).
7. Gridin V.N., Solodovnikov V.I., Evdokimov I.A., Filippkov S.V. Postroenie derev'ev reshenij i izvlechenie pravil iz obuchennyh nejronnyh setej. *Iskusstvennyj intellekt i prinjatje reshenij*, 2013, no. 4, pp. 26.
8. Voroncov K.V. Matematicheskie metody obuchenija po precedentam (teorija obuchenija mashin). Moscow, 2011, pp. 119–121.
9. Ahmed N.K., Atiya A.F., Gayar N.E., El-Shishiny H. An empirical comparison of machine learning models for time series forecasting. *Econometric Reviews*, 2010, vol. 29, no. 5-6, pp. 594–621.
10. Chistjakov S.P. Sluchajnye lesa: obzor. *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, 2013, no. 1.
11. Liaw A., Wiener M. Classification and regression by randomForest. *R news*. 2002, vol. 2, no. 3, pp. 18–22.
12. Arulampalam G., Bouzerdoum A. A generalized feedforward neural network architecture for classification and regression. *Neural networks*, 2003, vol. 16, no. 5-6, pp. 561–568.
13. Bobyr' M.V. Metod nelinejnogo obuchenija nejro-nechetkoj sistemy vyvoda. *Iskusstvennyj intellekt i prinjatje reshenij*, 2018, no. 1, pp. 67–75.
14. Bobyr' M.V. Proektirovanie nejronnyh i nechetkih modelej v oblasti vychislitel'noj tehniki i sistem upravlenija. Moscow, Argamak-Media Publ., 2018, 110 p.
15. Scikitlearn. Machine Learning in Python. URL: <https://scikit-learn.org/stable/documentation.html> (data obrashhenija 15.10.2018).

**Е. С. Маклаков**, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: maklak007\_92@mail.ru)

**А.А. Гуламов**, д-р физ.-мат. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (тел. +7 (4712) 22-26-82)

### УЗЕЛ СБОРА ИНФОРМАЦИИ ДИСПЕТЧЕРСКОГО ЦЕНТРА

*Рассмотрен вариант построения последних миль до операторов связи, в соответствии с требованиями по построению последних миль диспетчерских центров в электроэнергетике. Предложен вариант построения типового узла сети последних миль диспетчерского центра с учетом всех необходимых интерфейсов для передачи каналов диспетчерской телефонной связи, каналов передачи телеметрической информации, а также служебных каналов связи и обмена информацией между субъектами электроэнергетики и диспетчерскими центрами. Описан вариант построения и топологии последних миль диспетчерского центра, методы резервирования каналов до узлов доступа. Определены все типы и виды интерфейсов, которые необходимо использовать для организации каналов диспетчерской связи и передачи телеметрической информации в диспетчерских центрах регионального уровня. Подробно описано применение различных видов интерфейсов для служебных целей. Отдельные виды интерфейсов применяются для передачи голоса и для каналов диспетчерской связи с объектами. Описаны варианты использования аналоговых интерфейсов для передачи телеметрической информации по соответствующим каналам связи, которые используются для аппаратуры центра с аналоговыми выходами. Предусмотрено несколько видов резервирования каналов связи, для обеспечения бесперебойной работы диспетчерского центра и исключения возможности вывода из строя одновременно основного и резервного каналов при работе с определенным объектом. Резервирование аппаратной части осуществляется за счёт установки дополнительных плат в оборудование узлов в холодный резерв. Резервирование по электропитанию осуществляется за счёт наличия минимум двух блоков питания оборудования, для подключения от двух различных источников системы бесперебойного электроснабжения. Предусмотрен резерв по оптическим волокнам последних миль до узлов доступа, что, в свою очередь, позволяет изменить транспортную линию передачи, в случае отказа действующей.*

**Ключевые слова:** диспетчерский центр; узел доступа; последние мили; транспортная сеть; каналы диспетчерской связи; каналы передачи телеметрической информации.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-6-136-142

**Ссылка для цитирования:** Маклаков Е. С., Гуламов А.А. Узел сбора информации диспетчерского центра // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 136-142.

\*\*\*

### Введение

В настоящее время достаточно остро стоит вопрос организации последних миль диспетчерских центров. Вследствие долгосрочного использования, существующие технологии построения линий до операторов связи весьма разнообразны, начиная от каналов связи, соединяющих конечное оборудование диспетчерского центра с узлом доступа в точке присутствия оператора связи (последние мили (рекомендация МСЭ-Т G.983.1)), организованных по медным жилам и радиорелейным каналам, до волоконно-оптической линии связи (ВОЛС).

Последние мили диспетчерского центра представляют собой каналы связи до операторов связи, с целью сбора всей необходимой информации от субъектов электроэнергетики. Самой основной задачей диспетчерского центра является построение двух последних миль, до различных операторов связи, имеющих точки присутствия в регионе. Такой подход обеспечит резервирование каналов связи и передачу данных в случае выхода из строя одной из последних миль. Расположение удалённых узлов доступа определяется оптимальными точками присутствия операторов связи, до которых дис-

петчерский центр имеет возможность организовать каналы связи.

### Постановка задачи

Для построения новых последних миль и модернизации старых предлагается вариант построения на базе ВОЛС с высокими показателями отказоустойчивости, надежности и скорости передачи, которые будут соответствовать современным стандартам.

В соответствии с СТО 70238424.17.220.20.005-2011 (Системы связи для сбора и передачи информации в электроэнергетике. Условия создания. Нормы и требования.) определены жесткие требования по типу последних миль, для каждого из каналов передаваемой информации. Так же определены характеристики каналов.

Использование минимум двух различных операторов связи необходимо для повышения отказоустойчивости системы. В случае сбоя или выхода из строя оборудования или сети одного из операторов связи в диспетчерском центре остаются каналы, обеспечиваемые вторым оператором связи. Оптические линии до выбранных точек присутствия операторов связи могут быть арендованными или собственными.

Основным критерием, при построении последних миль до удаленного узла, должны быть заданное качество и характеристики каналов, обеспечивающие работоспособность как каналов диспетчерской связи, так и передачи телеметрической информации согласно СТО 70238424.17.220.20.005-2011. Для диспетчерских каналов Е&М должна быть обеспечена передача сигналов с требуемым уровнем. При этом количество единиц оборудования для решения задачи, с

целью обеспечения отказоустойчивости каналов должно быть минимальным.

### Метод, предложенный в статье

При построении последних миль до удаленных узлов диспетчерского центра, следует учитывать наличие магистральных оптических соединений между удаленными узлами, что обеспечит резервирование по топологии кольцо, в случае выхода из строя какой-либо единицы оборудования. Количество жил волоконно-оптического кабеля должно быть равным четырём. Это обусловлено необходимостью резервирования каждой единицы оборудования оптическим соединением. Для подключения мультиплексора с одной контрольной картой необходимо 2 жилы, с двумя соответственно 4, одна из карт находится в режиме горячего резервирования.

На рисунке 1 приведен вариант типовой схемы организации последних миль диспетчерского центра.

Для сбора информации от субъектов, оборудование, установленное в удаленных узлах доступа, должно иметь интерфейс подключения различных протоколов передачи данных. На рисунке 2 приведена схема типового удаленного узла доступа.

Для приёма телеметрической информации и организации каналов диспетчерской связи необходимо наличие различных интерфейсов на удаленном узле. По протоколу Ethernet передаётся телеметрическая информация от субъектов, а также вся необходимая служебная информация в современных протоколах. Приём голосовых каналов от субъектов осуществляется так же по протоколу Ethernet (VoIP) или посредством выделения таймслота из потока Е1.

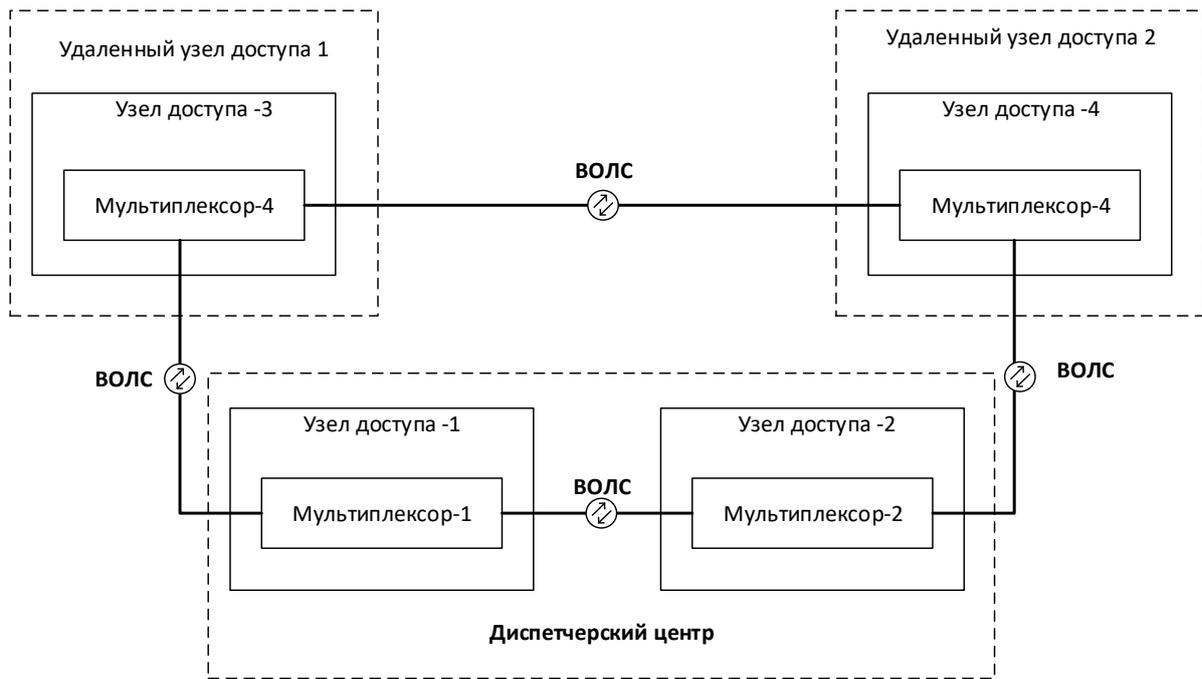


Рис. 1. Типовая схема организации последних миль диспетчерского центра

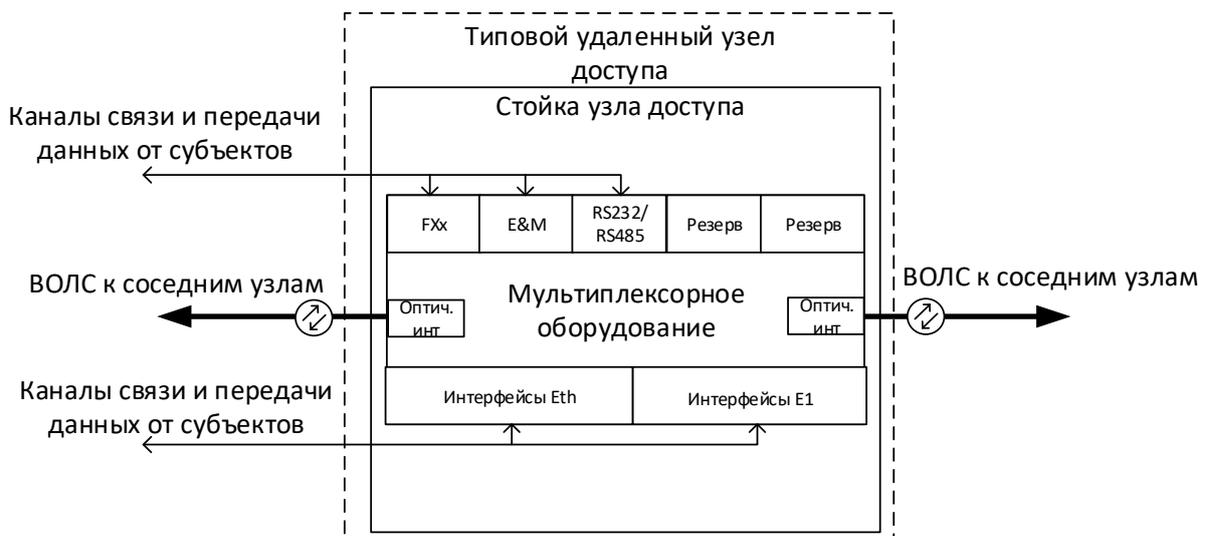


Рис. 2. Интерфейсы типового удалённого узла доступа

Таким образом, типовой узел сбора информации должен быть оборудован возможностью подключения потоков E1. В этом случае цифровой интерфейс подразумевает передачу до 30 голосовых каналов. В другой терминологии данный интерфейс может быть назван ИКМ-30. Каждый голосовой канал занимает поло-

су 64 кбит/с, при этом отдельный канал используется для синхронизации и отдельный канал – для передачи управляющих сигналов. Таким образом, всего поток E1 содержит 32 канала по 64 кбит/с, что соответствует скорости 2 Мбит/с. При передаче голоса по E1 может использоваться сигнализация CAS,

эмулирующая FXO, E&M или FXS, или сигнализация ISDN PRI. Некоторые типы оборудования позволяют использовать E1 и для передачи данных. В этом случае, как правило, объединяется несколько каналов по 64 кбит/с в один виртуальный порт с пропускной способностью Nx64 кбит/с.

Для приёма старых протоколов телеметрической информации, от субъектов, не имеющих возможность модернизации оборудования, необходимы интерфейсы RS232/RS485.

Интерфейс RS-232 работает в дуплексном режиме, что позволяет передавать и принимать информацию одновременно, так как используются разные линии для приема и передачи. В промышленности чаще всего используется интерфейс RS-485 (EIA-485), потому что в RS-485 используется многоточечная топология, что позволяет подключить несколько приемников и передатчиков.

Кроме того, необходимо отметить наличие интерфейсов E&M для подклю-

чения диспетчерских каналов и так же приёма данных по протоколу АДАСЭ, разработанному специально для связи в электроэнергетике.

Минимизация количества используемого оборудования на удаленном узле, обеспечивается поддержкой одной единицы оборудования, мультиплексором, всех вышеперечисленных типов интерфейсов каналов передачи данных, в том числе и магистральных линий. Это обеспечивает более высокие показатели надежности узлов.

#### Численное моделирование (эксперимент)

В рамках данной работы был проведен анализ передачи канала по интерфейсу E&M от узла доступа до диспетчерского центра. При этом на мультиплексоре данный интерфейс был погружен в VC-12 контейнер, что доказывает в свою очередь и работоспособность транспортной сети SDH. Результат численного моделирования данного измерения отражен в таблице.

Результаты измерений канала E&M

Частота F(кГц)	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0	1.3	1.6	1.8	2.1	2.4
Затухание – Диспетчерский центр – узел доступа, дБм	+4,2	+4,1	+4,0	+4,0	+4,0	+4,0	+4,2	+4,2	+4,2	+4,2
Затухание – Узел доступа – диспетчерский центр, дБм	+4,2	+4,1	+4,0	+4,0	+4,0	+4,0	+4,2	+4,2	+4,2	+4,2

В таблице представлены результаты измерения канала E&M на различных частотах. Эталонным значением измерения, при подаче сигнала величиной -13 дБм в передачу канала на удаленном узле, на приеме ответной части канала в диспетчерском центре должно быть значение

+4.0 дБм. Частота, используемая для работы каналов, как правило, 800 Гц. На основании вышеизложенных данных можно сделать вывод о хорошем качестве организованного канала.

Для приёма современных голосовых каналов должны присутствовать абонент-

ские и стационарные окончания интерфейсов Fxx.

FXS (Foreign Exchange Subscriber) и FXO (Foreign Exchange Office) – наименования интерфейсов, к которым осуществляется подключение аналоговых телефонных линий общего пользования или телефонных линий удаленной АТС.

#### Обсуждение результатов и заключение

Предложенная типовая схема узла доступа диспетчерского центра может быть реализована на базе любого типа оборудования. Так же следует отметить, что минимизация количества оборудования способствует повышению надежности и снижению экономических затрат. Схема имеет гибкую структуру, следовательно, подойдет для реализации в различных условиях.

Таким образом, предложен вариант построения типового узла диспетчерского центра регионального уровня и вариант организации последних миль. В типовом узле предусмотрено наличие всех необходимых интерфейсов для сбора и передачи всей необходимой информации. Обеспечивается высокий показатель резервирования как по оптическим линиям, так и по системе электропитания. Так же в предложенной системе присутствует аппаратное резервирование, реализованное на холодном резерве оптических плат оборудования. Предложенная схема организации последних миль предназначена для диспетчерских центров регионального уровня, соответствует стандартам по организации сетей в электроэнергетике и может найти применение в смежных областях.

Предложенная схема построения узла доступа диспетчерского центра имеет практическую реализацию и на практике доказывает удобство, надежность и боль-

шой запас при организации дополнительных каналов для новых объектов. Это обусловлено наличием большого количества интерфейсов на узлах доступа и сниженным показателем отказов.

#### Список литературы

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов. 4-е изд. СПб.: Питер, 2010.

2. “Coexistence with Current Systems-10GE-PON System Configuration”, IEEE802.3. Plenary Meeting, Orlando, FL, March 12-16, 2007.

3. СТО 70238424.17.220.20.005-2011. Системы связи для сбора и передачи информации в электроэнергетике. Условия создания. Нормы и требования. М., 2012.

4. Маклаков Е.С., Гуламов А.А., Применение технологии FTTH в современных городских сетях доступа // Инфокоммуникации и информационная безопасность: состояние, проблемы и пути решения: материалы I Всероссийской научно-практической конференции. Курск, 2014. С. 206-210.

5. Маклаков Е.С., Гуламов А.А. Варианты модернизации пассивных оптических сетей доступа в городских районах // Инфокоммуникации и информационная безопасность: состояние, проблемы и пути решения. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции. Курск, 2015. С. 134-138.

6. Бондарев Д.И., Гуламов А. А. Вариант построения системы оперативной связи энергогенерирующей компании // Инфокоммуникации и информационная безопасность: состояние, проблемы и пути решения: материалы III Всероссийской науч.-практ. конф. Курск, 2016. С.168-172.

7. Маклаков Е.С., Гуламов А.А. Повышение эффективности функциониро-

вания мультисервисных оптических сетей доступа путем применения технологии IP/MPLS. // Инфокоммуникации и информационная безопасность: состояние, проблемы и пути решения: материалы III Всероссийской науч.-практ. конф. Курск, 2016. С.269-273.

8. Маклаков Е.С., Гуламов А.А. Применение технологии WDM PON в оптических сетях доступа к инфокоммуникационным услугам // Инфокоммуникации и информационная безопасность: состояние, проблемы и пути решения: материалы III Всероссийской науч.-практ. конф. Курск, 2016. С.274-279.

9. Эскобар О.К., Гуламов А.А. Организация оптической мультисервисной се-

ти университетского городка // Инфокоммуникации и космические технологии: состояние, проблемы и пути решения: сб. науч. ст. по материалам I Всерос. науч.-практ. конф: в 2 ч. Курск, 2017. С. 111-117.

10. Маклаков Е.С., Гуламов А.А. Вариант организации передачи данных служебной информации в системе электроэнергетического комплекса регионального уровня // Передовые информационно-коммуникационные технологии: сб. науч. трудов. по материалам I междунар. науч. – практ. конф. СПб., 2018. С. 14-18.

*Поступила в редакцию 19.10.18*

---

UDC 004.725.4

**E. S. Maklakov**, Post-Graduate Student, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail:maklak007\_92@mail.ru)

**A. A. Gulamov**, Doctor of Phisico-Mathematical Sciences, Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (tel. +7 (4712) 22-26-82)

#### THE COLLECTION OF INFORMATION CONTROL CENTER

*Consider the option of building the last miles to telecom operators, in accordance with the requirements for the construction of the last miles of control centers in the power industry. A variant is proposed for constructing a typical network node of the last miles of the control center, taking into account all the necessary interfaces for the transmission of dispatch telephone communication channels, telemetry information transmission channels, as well as service communication channels and information exchange between electric power entities and dispatch centers. A variant of the construction and topology of the last miles of the control center, methods of reservation of channels to access nodes are described. All types and types of interfaces that are necessary to use for the organization of dispatch communication channels and the transmission of telemetric information in the dispatch centers of the regional level have been determined. The use of various types of interfaces for service purposes is described in detail. Separate types of interfaces are used for voice transmission and for dispatch communication channels with objects. The variants of using analog interfaces for transmitting telemetry information via corresponding communication channels, which are used for cent equipment with analog outputs, are described. There are several types of redundancy of communication channels to ensure uninterrupted operation of the control center and to exclude the possibility of disabling the main and backup channels at the same time when working with a particular object. The redundancy of the hardware is carried out by installing additional cards in the equipment of the nodes in the cold reserve. Power redundancy is carried out due to the presence of at least two power supply units of the equipment for connection from two different sources of the uninterruptible power supply system. There is a reserve for the optical fibers of the last miles to the access nodes, which in turn allows you to change the transport transmission line in case of failure of the current one.*

**Key words:** control center; node access; last mile; transport network; dispatch communication channels; transmission channels of telemetry information.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-136-142

**For citation:** Maklakov E. S., Gulamov A. A. The Collection of Information Control Center. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 6(81), pp. 136-142 (in Russ.).

\*\*\*

## Reference

1. Olifer V.G., Olifer N.A. Kom-p'juternye seti. Principy, tehnologii, protokoly. Saint-Petersburg, Piter Publ., 2010.
2. Coexistence with Current Systems-10GE-PON System Configuration, IEEE802.3. Plenary Meeting, Orlando, FL, March 12-16, 2007.
3. STO 70238424.17.220.20.005-2011 Sistemy svjazi dlja sbora i peredachi informacii v jelektrojenergetike. Uslovija sozdanija. Normy i trebovanija. Moscow, 2012.
4. Maklakov E.S., Gulamov A.A. Primenenie tehnologii FTTH v sovremennyh gorodskih setjah dostupa. Infokommunikacii i informacionnaja bezopasnost': sostojanie, problemy i puti reshenija. Materialy I Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Kursk. 2014, pp. 206-210.
5. Maklakov E.S., Gulamov A.A. Varianty modernizacii passivnyh opticheskikh setej dostupa v gorodskih rajonah. Infokommunikacii i informacionnaja bezopasnost': sostojanie, problemy i puti reshenija. Materialy II Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Kursk, 2015, pp. 134-138.
6. Bondarev D.I., Gulamov A. A. Variant postroenija sistemy operativnoj svjazi jenerogenerirujushhej kompanii. Infokommunikacii i informacionnaja bezopasnost': sostojanie, problemy i puti reshenija. Materialy III Vserossijskoj nauch.-prakt. konf. Kursk, 2016, pp.168-172.
7. Maklakov E.S., Gulamov A.A. Povyshenie jeffektivnosti funkcionirovanija mul'tiservisnyh opticheskikh setej dostupa putem primenenija tehnologii IP/MPLS. Infokommunikacii i informacionnaja bezopasnost': sostojanie, problemy i puti reshenija. Materialy III Vserossijskoj nauch.-prakt. konf. Kursk, 2016, pp.269-273.
8. Maklakov E.S., Gulamov A.A. Primenenie tehnologii WDM PON v opticheskikh setjah dostupa k infokommunikacionnym uslugam. Infokommunikacii i informacionnaja bezopasnost': sostojanie, problemy i puti reshenija. Materialy III Vserossijskoj nauch.-prakt. konf. Kursk, 2016, pp.274-279.
9. Jeskobar O.K., Gulamov A.A. Organizacija opticheskoi mul'tiservisnoj seti universitetskogo gorodka. Infokommunikacii i kosmicheskie tehnologii: sostojanie, problemy i puti reshenija. Sb. nauch. st. po materialam I Vseros. nauch.-prakt. konf. Kursk, 2017, pp. 111-117.
10. Maklakov E.S., Gulamov A.A. Variant organizacii peredachi dannyh sluzhebnoj informacii v sisteme jelektro-jenergeticheskogo kompleksa regional'nogo urovnja. Peredovye informacionno-kommunikacionnye tehnologii. Sb. nauch. trudov. po materialam I mezhd. nauch.-prakt. konf. Saint-Petersburg, 2018, pp. 14-18.

УДК 004.832.32

**С.А. Зинкин**, д-р техн. наук, профессор, Пензенский государственный университет (Россия, 440026, Пенза, ул. Красная, 40) (e-mail: zsa49@yandex.ru)

**Мустафа Садек Джафар**, аспирант, Пензенский государственный университет (Россия, 440026, Пенза, ул. Красная, 40) (e-mail: mustafajaafar221087@gmail.com)

**Н.С. Карамышева**, канд. техн. наук, доцент, Пензенский государственный университет (Россия, 440026, Пенза, ул. Красная, 40) (e-mail: karamyshevans@yandex.ru)

### **КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И МОДИФИКАЦИИ СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ ПРИЛОЖЕНИЙ В ОБЛАСТИ СИНТЕЗА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЫ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ**

**Актуальность и цель.** Объектом исследования является функциональная архитектура распределенных вычислительных систем с переменной (реконфигурируемой) структурой, характерной для гибридных систем облачно-сетевого (грид) типа. Несмотря на то, что сети Петри издавна исследуются как в теоретическом, так и в практическом планах, методы их интерпретации продолжают интенсивно развиваться. В настоящее время в недостаточной степени исследована проблема вложения сетей Петри в архитектуру распределенных сетевых приложений, используемых для реализации глобальных вычислений в современных смешанных облачных, грид и кластерных системах. Показано, что в современных исследованиях сети Петри используются в основном при моделировании дискретных систем и процессов, а не в качестве основы для формализованных спецификаций при разработке распределенных приложений. В этой связи актуальной является интерпретация сетей Петри в приложениях к функциональной архитектуре распределенных вычислительных систем с переменной структурой, основанной на сетевом программном обеспечении промежуточного класса (класса *middleware*). Целью работы являлась интеграция графических представлений концептуальных графов, семантических сетей, сценариев и сетей Петри, что позволило создать эффективный инструментарий с графической поддержкой для проектирования функциональной архитектуры распределенных вычислительных систем с переменной структурой и, в частности, облачной архитектуры вида *NCaaSOD* – *Network Computing as a Service on Demand* (сетевые вычисления как облачный сервис по требованию пользователя).

**Материалы и методы.** Использованы концептуальные модели распределенных процессов, являющиеся графической интерпретацией исчисления предикатов первого порядка. Предложены концептуальные графы для распределенных сетей Петри смешанного типа, которые позволяют описывать с целью последующей реализации вычислительные процессы в глобальных вычислительных сетях.

**Результаты.** На основе интеграции графических представлений концептуальных графов, семантических сетей, сценариев и сетей Петри предложены концептуальные представления распределенных реконфигурируемых сетей Петри, позволяющие реализовать их непосредственное вложение в архитектуру вычислительной сети.

**Выводы.** Предложены новые концептуально-поведенческие модели на основе концептуальных графов распределенных сетей Петри для определения системной и функциональной архитектур распределенных вычислительных систем с переменной структурой, предоставляемой пользователю по его требованию в качестве гибридного облачно-сетевого сервиса; данные модели отличаются возможностью оперативной реконфигурации и непосредственной исполнимостью. Предложена и формализована методика вложения концептуальных сетей Петри в архитектуру облачно-сетевых компьютерных систем типа *NCaaSOD* – сетевые (облачные) вычисления как сервис, организуемый по запросу пользователя. Предложены правила получения отношений связности между позициями и переходами сети Петри, размещаемыми на узлах физической компьютерной сети.

**Ключевые слова:** распределенные сетевые вычисления; функциональная архитектура; концептуальные сети Петри смешанного типа; реконфигурация сетевых моделей; вложение сетей Петри в архитектуру компьютерной сети.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-143-167

**Ссылка для цитирования:** Зинкин С.А., Мустафа Садек Джафар, Карамышева Н.С. Концептуальные представления и модификации сетей Петри для приложений в области синтеза функциональной архитектуры распределенных вычислительных систем с переменной структурой // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 143-167.

## Введение

При реализации сетевых приложений, как основы реализации функциональной архитектуры распределенных вычислительных систем с переменной (реконфигурируемой) структурой, возможно использовать различные модификации сетей взаимодействующих автоматов, сетей Петри и других исполнимых сетевых моделей.

Сеть Петри является одной из широко известных и распространенных моделей распределенных и параллельных систем. Сеть Петри представляет собой ориентированный двудольный граф с вершинами, называемыми переходами и позициями. Позиции в сети представляют условия и могут содержать метки. Дуги в таком графе показывают, какие пре- и постусловия соответствуют переходам, представляющим события, происходящие в сети. Сети Петри были первоначально определены К. А. Петри [1]. Приведем распространенное определение сетей Петри с кратными дугами, например, из работы [2], которое в дальнейшем потребуется при определении новых модификаций сетей Петри и их сетевых интерпретаций в компьютерной сетевой архитектуре:

“Сеть Петри формально определяется как пятерка

$$PN = (P, T, F, H, M_0),$$

где  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$  – конечное множество позиций;

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  – конечное множество переходов, причем  $P \cup T \neq \emptyset$ , и  $P \cap T = \emptyset$ ;

$F: P \times T \rightarrow N$  – “входная” функция инцидентности, определяющая число дуг, ведущих от позиций к переходам; где  $N$  –

множество неотрицательных целых чисел;

$H: T \times P \rightarrow N$  – “выходная” функция, определяющая число дуг, ведущих от переходов к позициям;

$M_0: P \rightarrow N$  – функция начальной разметки”.

Работа сети Петри определяется числом и распределением меток в позициях. Переход готов к срабатыванию при условии  $(\forall p \in P)[M(p) \geq F(p, t)]$ . После срабатывания перехода текущая разметка сети Петри изменяется следующим образом:  $(\forall p \in P)[M'(p) = M(p) - F(p, t) + H(t, p)]$ .

Аналогичные определения сетей Петри даны и в других работах, например в [3, 4]. Изменение разметки позиций легко воспроизводится в имитационных моделях сетей Петри. В приложениях к компьютерным сетям большой интерес представляют ординарные сети Петри (без кратных дуг). Для ординарных сетей Петри  $F: P \times T \rightarrow \{0, 1\}$ ,  $H: T \times P \rightarrow \{0, 1\}$ . Для безопасных, или бинарных, сетей Петри, широко используемых в системах логического управления, далее будут использованы следующие предикаты  $F: P \times T \rightarrow \{\text{true}, \text{false}\}$ ,  $H: T \times P \rightarrow \{\text{true}, \text{false}\}$ ,  $M_0: P \rightarrow \{\text{true}, \text{false}\}$ .

Несмотря на то, что сети Петри издавна исследуются как в теоретическом, так и в практическом планах, методы их интерпретации продолжают интенсивно развиваться. Обширный обзор современных работ приведен в книге [5]. В настоящее время в недостаточной степени исследована проблема вложения сетей Петри в архитектуру распределенных сетевых приложений, используемых для реализации глобальных вычислений в смешанных облачных, грид и кластерных системах. Однако в современных исследо-

ваниях, например, на сайте [6] и в трудах конференций [5 – 11], сети Петри используются в основном при моделировании дискретных систем и процессов, а не в качестве основы для формализованных спецификаций при разработке распределенных приложений.

Модели, основанные на сетях Петри, обладают расширенными возможностями описания параллельно и асинхронно взаимодействующих подсистем сложных систем, в том числе и распределенных вычислительных систем с переменной структурой. Актуальной является интерпретация сетей Петри в приложениях к функциональной архитектуре распределенных вычислительных систем с переменной структурой, основанной на сетевом программном обеспечении промежуточного класса (класса *middleware*).

Основой для построения реконфигурируемых сетей Петри (РСП, или RPN – reconfigurable Petri net) являются обычные, живые и безопасные (1-ограниченные) сети Петри, не имеющие ограничений на конфигурации и кратность дуг в которых не превышает единицы. Основные сведения, касающиеся живости, безопасности и хорошей сформированности сетей РСП соответствуют принятым в работах [12, 13, 14].

В работах [14, 15] развиты технологии, основанные на применении логических сетей Петри для приложений в области микропрограммирования и промышленной автоматизации. Однако проблемы интерпретации сетей Петри для создания распределенных приложений в данных работах не затрагиваются. В отличие от данных работ, интерпретация РСП в дальнейшем может базироваться на продукционных и логико-алгебраических представлениях, пригодных для

использования бинарных и других типов сетей Петри как основы для технологии создания распределенных сетевых приложений.

Основные свойства сетей Петри были детально рассмотрены в работе [16], в том числе рассмотрены проблемы, связанные с построением графов достижимости и покрытия, с ограниченностью, живостью, консервативностью, *P*-инвариантами и *T*-инвариантами, параллелизмом, разрешением конфликтов и с решением других задач анализа свойств сетей Петри. Исследованию структурных свойств сетей Петри, посвящена работа [17].

В статье [18] рассматривается организация супервизорного управления в параллельных системах, поведение которых описано бинарными сетями Петри на основе использования структурного подхода. В этой статье рассматривается формальный подход к разработке средств, при помощи которых возможно автоматически проектировать супервизоры на основе предложенных формализованных спецификаций сетей Петри. Рассматриваются также проблемы обеспечения противодействия блокировкам и обеспечение живости сетей Петри.

В статье [19] авторы рассматривают различного рода модификации сетей Петри для обеспечения их возможностей моделирования самоорганизующихся сетей мобильной связи, и, в частности, модификации, позволяющие учитывать динамику моделируемых процессов. Особо отмечается, что решение данных проблем становится все более важным при организации современных коммуникационных сетей.

В статье [20] рассмотрены самомодифицируемые сети Петри, кардинальность дуг в которых зависит от марки-

ровки позиций. Цветные темпоральные, или временные, сети Петри с переменной структурой предложены в статье [21].

Управляемые сети Петри, рассмотренные в работе [22], представляют собой класс сетей Петри с внешними условиями включения, названными управляющими позициями, которые позволяют внешнему контроллеру управлять перемещением меток в сети. Впервые такие сети были введены в работах [23] и [24].

Авторы статьи [25] предложили аналогичную концепцию модифицированной бинарной сети Петри. Идея концепции состоит в использовании традиционных спусковых механизмов сетей Петри при ограничении, чтобы в каждой позиции сети было не более одной метки. Некоторые разновидности бинарных сетей Петри также рассматриваются в работе [26]. Однако в рассматриваемых сетях не используются ингибиторные и информационные дуги.

В статье [27] подтверждается тот факт, что моделирование адаптации системы к изменяющейся среде приобретает все большее значение. Области применения охватывают, например, скоординированную работу компьютеров в распределенной системе, многоагентные системы, динамические процессы поиска данных и сети с мобильными объектами. Основная идея сетевых преобразований в работах [27, 28] заключается в распространении классической теории сетей Петри на совокупность правил, которые позволяют моделировать изменения в сетевой структуре.

Работа [29] посвящена использованию системы Matlab при построении инструментального комплекса Pmediteur для исследования сетей Петри. Комплекс позволяет исследовать сети Петри на

ограниченность и недопущение тупиковых ситуаций. Метод, как и во многих других инструментальных комплексах, основан на построении графа достижимых состояний и анализе инвариантов в сетях Петри. Ряд полезных систем и инструментальных комплексов для исследования сетей Петри представлен на вебсайте [30]. Одним из апробированных инструментальных средств для работы с сетями Петри в настоящее время являются пакеты CPN Tools (URL: <http://cpntools.org>) и PIPE (URL: <http://pipe2.sourceforge.net>).

Недостатком методов, предложенных в перечисленных работах, является ограниченность интерпретации описанных модификаций сетей Петри для компьютерных сетей. В настоящей работе преследуется цель – предложить такие интерпретации реконфигурируемых сетей Петри, которые после этапа формализации могли бы служить исполнимыми спецификациями для создаваемого и перенастраиваемого сетевого программного обеспечения распределенных облачно-сетевых вычислительных систем.

В работах [31 – 39] уделяется большое внимание использованию аппарата сетей Петри в качестве языка спецификаций для создания программного обеспечения ЭВМ. Однако в данных работах практически не затрагиваются вопросы применения исполнимых спецификаций для создаваемого и перенастраиваемого сетевого программного обеспечения для современных распределенных облачно-сетевых вычислительных систем.

В книге [40] описаны ставшие уже традиционными вопросы генерации кодов программ на основе диаграмм языка UML 2. Целью настоящей работы является возможная генерация программ для распределенных приложений на основе концептуальных графов сетей Петри.

Предлагаемая в настоящей работе интеграция графических представлений концептуальных графов, семантических сетей, сценариев и сетей Петри позволяет создать эффективный инструментарий с графической поддержкой для проектирования функциональной архитектуры распределенных вычислительных систем с переменной структурой и, в частности, облачной архитектуры вида NCaaS/D – Network Computing as a Service on Demand (сетевые вычисления как облачный сервис по требованию пользователя).

### 1. Определение сетей Петри смешанного типа

Для многих приложений сетей Петри в области вычислительной техники необходимо определять несколько типов позиций. Например, возможно вводить позиции типа “очередь”, в которых может находиться несколько возможно упорядоченных меток, а также возможно использовать простые позиции, число меток в которых не превышает единицы. Такие позиции возможно использовать при необходимости отметки состояний или событий моделируемой системы. Поскольку далее будут использованы различные модификации подобных сетей; для систематизации представления дадим формальное определение смешанных сетей Петри (ССП или MPN-сети, англ. вариант: MPN – Mixed Petri Nets), основанное на отмеченных выше известных определениях обычных и бинарных, или логических, сетей Петри.

Смешанная (ординарная) сеть Петри представляется кортежем

$$MPN = (P, P_a, P_b, T, F_a, H_a, F_b, H_b, F_{Inh_a}, F_{Inh_b}, F_{Inf_a}, F_{Inf_b}, M_{0a}, M_{0b}), \quad (1)$$

где  $P = P_a \cup P_b$  – конечное множество позиций двух типов;

$P_a = \{p_{a1}, p_{a2}, \dots, p_{am}\}$  – конечное множество позиций, в которых могут находиться по несколько меток (“арифметические” позиции);

$P_b = \{p_{b1}, p_{b2}, \dots, p_{bk}\}$  – конечное множество позиций, в которых могут находиться не более чем по одной метке (“логические” позиции);

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  – конечное множество переходов, причем  $P \cup T \neq \emptyset$ , и  $P \cap T = \emptyset$ ;

$F_a: P_a \times T \rightarrow \{\text{true}, \text{false}\}$  – “входная” высказывательная функция инцидентности (бинарный предикат), определяющая дуги, ведущих от позиций из множества  $P_a$  к переходам;

$H_a: T \times P_a \rightarrow \{\text{true}, \text{false}\}$  – “выходная” высказывательная функция (бинарный предикат), определяющая дуги, ведущих от переходов к позициям из множества  $P_a$ ;

$F_b: P_b \times T \rightarrow \{\text{true}, \text{false}\}$  – “входная” высказывательная функция инцидентности (бинарный предикат), определяющая дуги, ведущих от позиций из множества  $P_b$  к переходам;

$H_b: T \times P_b \rightarrow \{\text{true}, \text{false}\}$  – “выходная” высказывательная функция (бинарный предикат), определяющая дуги, ведущих от переходов к позициям из множества  $P_b$ ;

$M_{0a}: P_a \rightarrow N$  – функция начальной разметки позиций из множества  $P_a$ , где  $N$  – множество неотрицательных целых чисел;

$M_{0b}: P_b \rightarrow \{\text{true}, \text{false}\}$  – функция начальной разметки позиций из множества  $P_b$ ;

$F_{Inh_a}: P_a \times T \rightarrow \{\text{true}, \text{false}\}$  – ингибиторная высказывательная функция инцидентности (бинарный предикат), определяющая ингибиторные (сдерживающие) дуги, ведущие от позиций из множества

$P_a$  к переходам; данные дуги на графе сети Петри изображаются стрелками с кружками на концах; ингибиторная дуга, связывающая позицию  $p_i \in P_a$  с переходом  $t_j$  считается активированной, то есть разрешающей срабатывание инцидентного ей перехода, при  $M_a(p_i) = 0$ ; после срабатывания перехода  $t_j$  разметка  $M_a(p_i)$  позиции  $p_i$  не изменяется;

$F_{Inh_b}: P_b \times T \rightarrow \{\text{true}, \text{false}\}$  – ингибиторная высказывательная функция инцидентности (бинарный предикат), определяющая ингибиторные (сдерживающие) дуги, ведущие от позиций из множества  $P_b$  к переходам; данные дуги на графе сети Петри, как и в предыдущем случае, изображаются стрелками с кружками на концах; ингибиторная дуга, связывающая позицию  $p_m \in P_b$  с переходом  $t_j$  считается активированной, то есть разрешающей срабатывание инцидентного ей перехода, при  $M_b(p_m) = \text{false}$ ; после срабатывания перехода  $t_j$  разметка  $M_b(p_m)$  позиции  $p_m$  не изменяется;

$F_{Inf_a}: P_a \times T \rightarrow \{\text{true}, \text{false}\}$  – информационная высказывательная функция инцидентности (бинарный предикат), определяющая информационные дуги, ведущие от позиций из множества  $P_a$  к переходам; данные дуги на графе сети Петри изображаются стрелками с зачерненными кружками на концах; информационная дуга, связывающая позицию  $p_k \in P_a$  с переходом  $t_j$  считается активированной, то есть разрешающей срабатывание инцидентного ей перехода, при  $M_a(p_k) \neq 0$ ; после срабатывания перехода  $t_j$  разметка  $M_a(p_k)$  позиции  $p_k$  не изменяется;

$F_{Inf_b}: P_b \times T \rightarrow \{\text{true}, \text{false}\}$  – информационная высказывательная функция инцидентности (бинарный предикат), определяющая информационные (сдерживающие) дуги, ведущие от позиций из

множества  $P_b$  к переходам; данные дуги на графе сети Петри, как и в предыдущем случае, изображаются стрелками с зачерненными кружками на концах; информационная дуга, связывающая позицию  $p_n \in P_b$  с переходом  $t_j$  считается активированной, то есть разрешающей срабатывание инцидентного ей перехода, при  $M_b(p_n) = \text{true}$ ; после срабатывания перехода  $t_j$  разметка  $M_b(p_n)$  позиции  $p_n$  не изменяется.

В качестве иллюстрирующего примера рассмотрим срабатывание перехода  $t_1$  с входными связями всех шести типов (входные позиции  $p_1 \in P_a$ ,  $p_2 \in P_b$ ,  $p_3 \in P_a$ ,  $p_4 \in P_b$ ,  $p_5 \in P_a$  и  $p_6 \in P_b$ ) и с выходными связями двух типов (выходные позиции  $p_7 \in P_a$  и  $p_8 \in P_b$ ). Входные и выходные связи для перехода  $t_1$  задаются истинностью следующих высказываний:

$$\begin{aligned} F_a(p_1, t_1) &= \text{true}, F_b(p_2, t_1) = \text{true}, \\ F_{Inh_a}(p_3, t_1) &= \text{true}, F_{Inh_b}(p_4, t_1) = \text{true}, \\ F_{Inf_a}(p_5, t_1) &= \text{true}, F_{Inf_b}(p_6, t_1) = \text{true}, \\ H_a(t_1, p_7) &= \text{true}, H_b(t_1, p_8) = \text{true}. \end{aligned}$$

Продукционное правило (2) срабатывания перехода  $t_1$  имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} r_{t_1}: (M_a(p_1) > 0) \& M_b(p_2) \& (M_a(p_3) = 0) \& \\ & \& M_b(p_4) \& (M_a(p_5) > 0) \& M_b(p_6) \rightarrow \\ \rightarrow M_a(p_1) := & M_a(p_1) - 1, M_b(p_2) := \text{false}, \\ M_a(p_7) := & M_a(p_7) + 1, M_b(p_8) := \text{true}. \quad (2) \end{aligned}$$

Определенные таким образом сети ССП возможно использовать при построении концептуальных и исполнимых моделей распределенных вычислительных систем с переменной структурой, а также различных моделей обмена данными между узлами в вычислительных сетях.

## 2. Концептуальные графы для распределенных сетей Петри

В отличие от известных работ, посвященных интерпретациям сетей Петри, в данной работе предлагается концептуальное представление сетей Петри, поз-

воляющее определить все отношения между переходами и позициями и роли данных объектов применительно к конкретной предметной области – функциональной архитектуре распределенных вычислительных систем с переменной структурой, реализуемой в рамках архитектуры NСaaSoD в сетевой компьютерной среде. В связи с тем, что ранее было дано определение сетей Петри смешанного типа, дальнейшее рассмотрение концептуальных представлений сетей Петри целесообразно рассмотреть на основе полного набора примеров.

В настоящей работе графика сетей Петри используется совместно с графикой концептуальных графов, что позволяет повысить информативность дискретных моделей вычислительных систем и процессов, протекающих в них. Расширяя понятия сетей Петри, возможно определять места размещения объектов, реализуемых в компьютерной сети, типы и свойства объектов. С другой стороны, в

семантических сетях естественно внедряется процедурная составляющая модели представления знаний, основанная на описании событий, ресурсов и процессов в сетях Петри логико-алгебраическими операционными выражениями. В процессе построения концептуальных графов использован графический редактор CharGer, нашедший широкое применение в международной практике [41, 42]. В литературе нередко термин «концептуальный граф» относят также и к семантической сети; строго говоря, семантическая сеть является суперпозицией нескольких концептуальных графов.

Концептуальные графы сетей Петри (КГ СП) построены на основе определения (1) для смешанных сетей Петри. Вначале рассмотрим простой пример концептуального графа  $CG_1$  ординарной (без кратных дуг) «арифметической» сети Петри, представленного на рисунке 1.

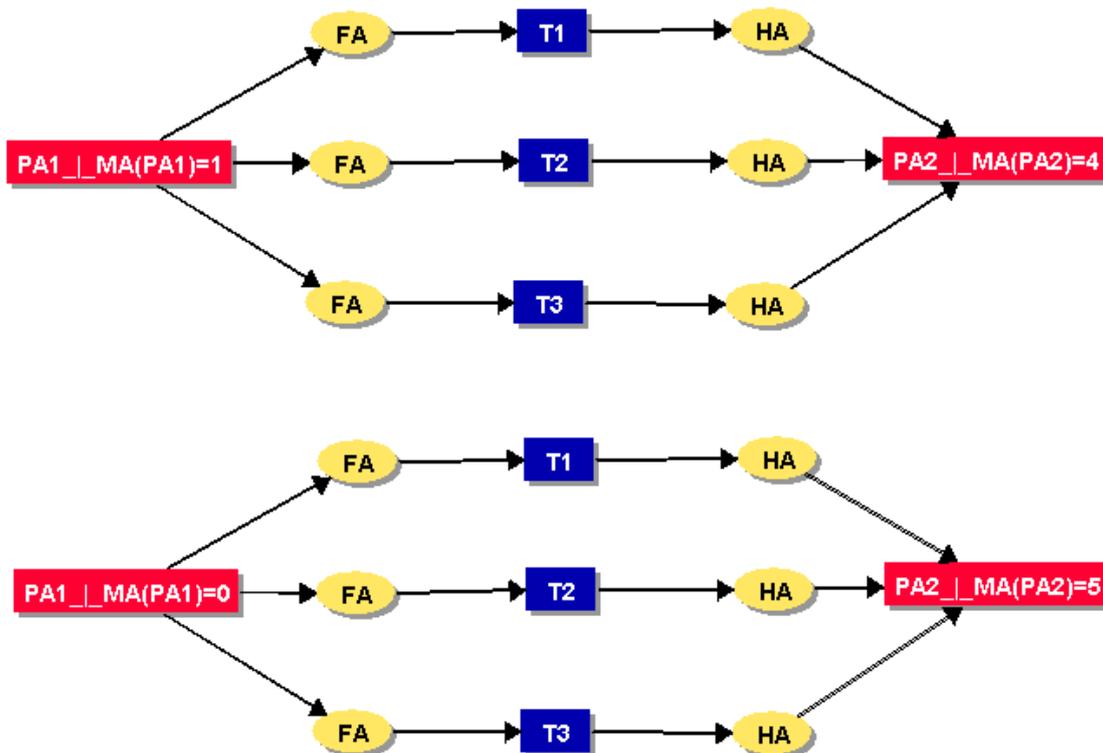


Рис. 1. Концептуальный граф  $CG_1$  сети Петри до и после срабатывания одного из переходов

На данном рисунке концептами представлены “арифметические” позиции PA1, PA2 (с указанием текущей маркировки  $MA(PA1)=1$  и  $MA(PA2)=4$  до срабатывания одного из переходов в верхней части рисунка 1 и после срабатывания перехода  $MA(PA1)=0$  и  $MA(PA2)=5$  в нижней части рисунка 1) и переходы T1, T2, T3, связанные отношениями FA и HA с соответствующими позициями. Такие сети, в отличие от бинарных, или логических, условно названы “арифметическими”, поскольку областью значений функ-

ции разметки MA здесь является множество неотрицательных целых чисел. Вторая буква A в записи имен объектов – позиций и отношений, здесь и далее отражает этот факт.

Здесь и далее в концептуальных графах сетей Петри и в их описаниях по тексту используются имена объектов – позиций, переходов и отношений связности, соответствующие возможностям редактора CharGer. Как на рисунках, так и в формулах принято использовать одинаковый прямой шрифт.

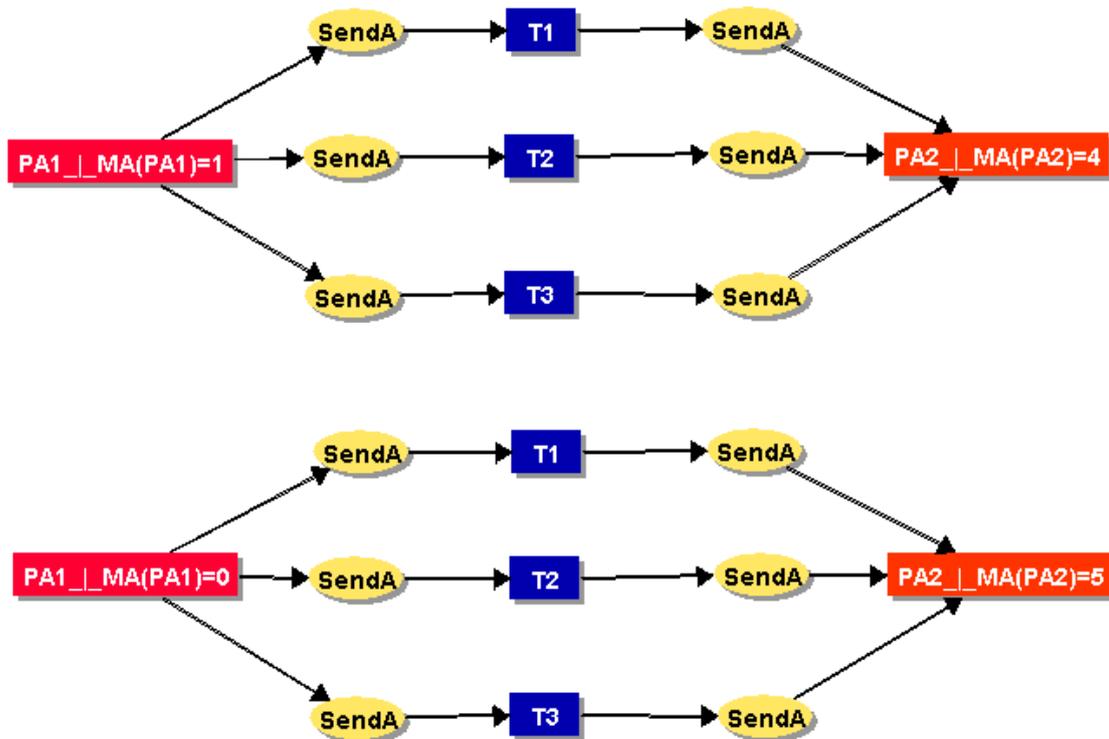


Рис. 2. Концептуальный граф  $CG_2$  распределенной сети Петри, предназначенной для “вложения” в компьютерную сеть, до и после срабатывания одного из переходов

### 3. Методика отображения концептуальной сети Петри на архитектуру компьютерной сети

На рисунке 2 представлен концептуальный граф  $CG_2$  распределенной сети Петри (КГ РСП), предназначенной для “вложения” в компьютерную сеть, до и после срабатывания одного из переходов. Его отличительной особенностью является

интерпретация отношения SendA, связывающего позиции и переходы. Например, истинность высказывания  $SendA(PA1, T1)$  означает, что метка передается от позиции PA1 к переходу T1. В компьютерных сетях позиции и переходы представляются объектами соответствующих классов сетевого приложения, а метки представляются сообщениями.

Методику непосредственного отображения фрагмента другой концептуальной сети Петри в архитектуру TCP/IP сети иллюстрирует рисунок 3. Пусть некоторая сеть содержит переход  $nt1$  с тремя входными  $np1$ ,  $np2$ ,  $np3$  и одной выходной позицией  $np4$ . Отношения  $F$  и  $H$  задают виртуальные связи позиций и пере-

ходов. В реальной сети этим отношениям соответствуют реальные маршруты передачи сообщений-меток. На рисунке 3 указаны также условные IP-адреса для узлов TCP/IP сети, на которые отображены позиции и переходы концептуальной сети Петри.

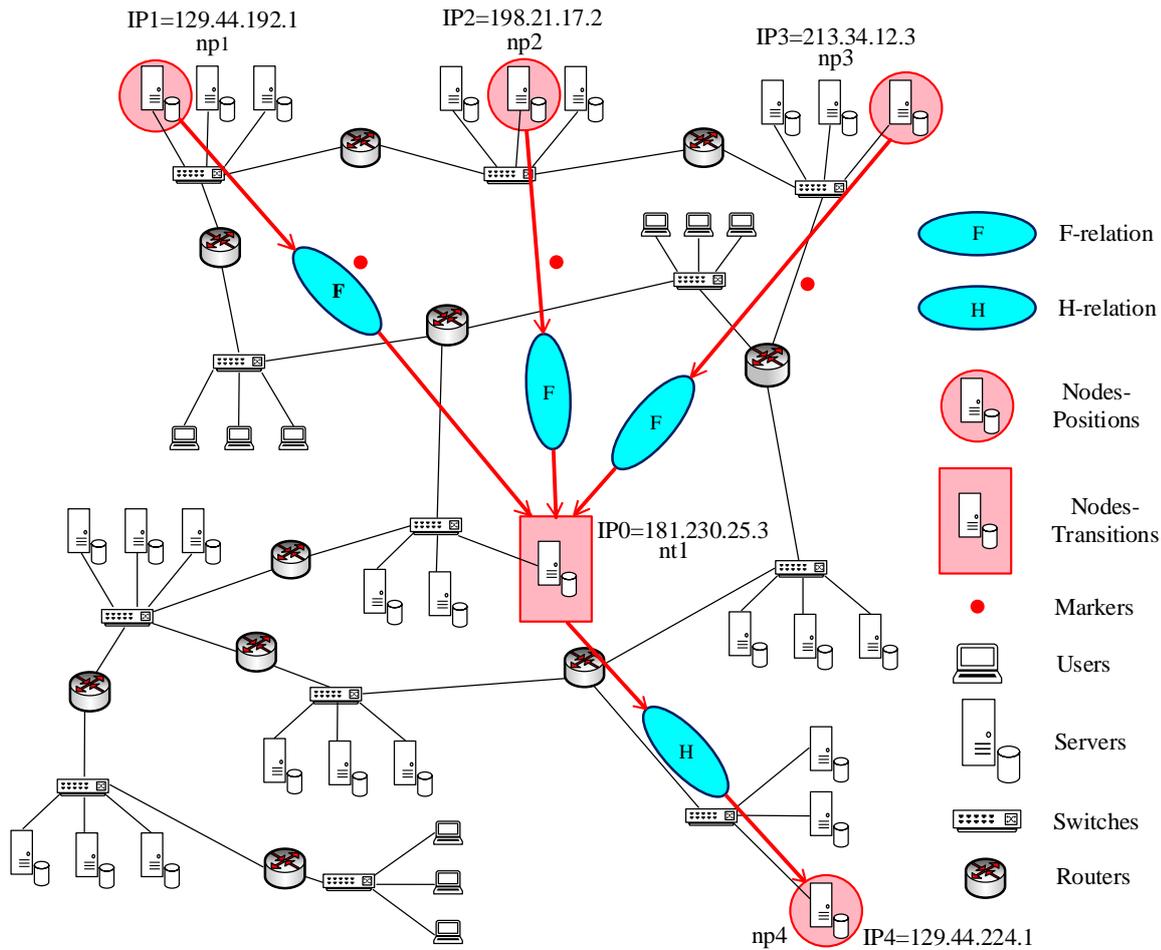


Рис. 3. Вложение концептуальной сети Петри в распределенную вычислительную систему на базе TCP/IP сети

Здесь стрелками представлены виртуальные дуги, связывающие позиции и переходы, а реальные пути перемещения меток в виде сообщений через маршрутизаторы и коммутаторы составной сети определяются сетевыми IP адресами узлов и таблицами маршрутизации. Размещение отдельных позиций и переходов, или целых фрагментов сети Петри на фи-

зических узлах компьютерной сети осуществляется аналогично размещению логических узлов распределенной вычислительной системы на реальной сетевой архитектуре.

Вложение логической структуры сети Петри в физическую осуществляется на основе выражений (3), (4), (5), (6) и (7) следующим образом. Провайдером об-

лачного сервиса, или автоматически, заранее формируется информационный объект на основе унарной функции

$$\text{Map}: P \cup T \rightarrow IPaddr, \quad (3)$$

где  $P$  – множество позиций размещаемой сети Петри,  $T$  – множество ее переходов;  $IPaddr$  – множество IP-адресов физических узлов ТСП/IP сети, выделенных для реализации сервиса NaaS/D. Для перехода от логической структуры сети Петри к физической структуре сети Петри, “вложенной” в вычислительную сеть, определены следующие правила вывода:

$$(\forall p \in P)(\forall t \in T)[F(p, t) \rightarrow \rightarrow \text{PhSendPT}(\text{Map}(p), \text{Map}(t))]; \quad (4)$$

$$(\forall t \in T)(\forall p \in P)[H(t, p) \rightarrow \rightarrow \text{PhSendTP}(\text{Map}(t), \text{Map}(p))], \quad (5)$$

где  $\text{PhSendPT}: IPaddr \times IPaddr \rightarrow \{\text{true}, \text{false}\}$  – бинарный предикат, область истинности которого задает отношение, связывающее по передаче сообщений узлы-позиции и узлы-переходы в физической вычислительной сети;  $\text{PhSendTP}: IPaddr \times IPaddr \rightarrow \{\text{true}, \text{false}\}$  – бинарный предикат, область истинности которого задает отношение, связывающее по передаче сообщений узлы-переходы и узлы-позиции в физической вычислительной сети; предикаты  $F: P \times T \rightarrow \{\text{true}, \text{false}\}$ ,  $H: T \times P \rightarrow \{\text{true}, \text{false}\}$  задают логические связи между переходами и позициями в исходной ординарной безопасной сети Петри.

Данные правила реализуются программно на уровне сетевых приложений. В реальном приложении компьютером провайдера облачного сервиса должна быть реализована специальная программа-парсер (программа-разборщик), которая выявляет в исходном запросе клиента

на заданную архитектуру связей в сети Петри логические имена и заменяет их на IP-адреса исполнительной вычислительной сети.

Запросом клиента может быть также сетевое приложение с логическими адресами узлов. В этом случае программа-парсер выявляет в исходном запросе, то есть в сетевом приложении клиента логические имена и заменяет их на IP-адреса исполнительной вычислительной сети.

Для явного описания операционной семантики формирования отношения  $\text{PhSendPT}$  введем следующее логико-алгебраическое операционное выражение (ЛАОВ):

$$[(\exists_{\text{Sel\_all}} (p, t) \in P \times T) F(p, t)](\text{PhSendPT}(\text{Map}(p), \text{Map}(t)) \Leftarrow \text{true} \vee E), \quad (6)$$

где  $\exists_{\text{Sel\_all}}$  – оператор выбора всех кортежей вида  $(p, t) \in P \times T$  из области истинности предиката  $F(p, t)$ ;  $\text{PhSendPT}(\text{Map}(p), \text{Map}(t)) \Leftarrow \text{true}$  – оператор формирования области истинности предиката  $\text{PhSendPT}$  для всех выбранных пар  $(p, t)$ ;  $E$  – пустой оператор.

Аналогично, для формирования отношения  $\text{PhSendTP}$  введем следующее ЛАОВ:

$$[(\exists_{\text{Sel\_all}} (t, p) \in T \times P) H(t, p)](\text{PhSendTP}(\text{Map}(t), \text{Map}(p)) \Leftarrow \text{true} \vee E), \quad (7)$$

где оператор  $\exists_{\text{Sel\_all}}$  выбирает все кортежи вида  $(t, p) \in T \times P$  из области истинности предиката  $H(t, p)$ ;  $\text{PhSendTP}(\text{Map}(t), \text{Map}(p)) \Leftarrow \text{true}$  – оператор формирования области истинности предиката  $\text{PhSendTP}$  для всех выбранных пар  $(t, p)$ .

Символом дизъюнкции “ $\vee$ ” здесь обозначена операция альтернативного выбора одного из действий, в зависимости от истинности или ложности условия в квадратных скобках. В данных выраже-

ниях эти условия заключаются в завершении выбора всех пар  $(p, t) \in P \times T$  и  $(t, p) \in T \times P$  из областей истинности соответствующих бинарных предикатов  $F(p, t)$  и  $H(t, p)$ .

Данную методику можно распространить также и на неординарные сети Петри – для этого при реализации приложения необходимо указать вес каждой дуги, что должно соответствовать ее кратности и числу передаваемых меток.

#### 4. Концептуальные графы для распределенных логических сетей Петри

Следующие рисунки 4 и 5 иллюстрируют формирование концептуальных графов  $CG_3$  и  $CG_4$  для бинарных, или логических, сетей Петри. Буква В в именах позиций означает логическую интерпретацию их разметки. Функция разметки

МВ принимает значения в двухэлементном множестве  $\{true, false\}$ . Вложение логических сетей Петри в архитектуру распределенную вычислительной системы осуществляется аналогично предыдущему примеру при учете того факта, что в узле-позиции может размещаться не более одной метки.

Отношение SendB означает возможность передачи метки, несущей логическое значение. Как и в предыдущем случае (см. рис. 2), на одном и том же узле компьютерной сети могут разворачиваться как отдельные переходы и позиции, так и целые фрагменты распределенной сети Петри. Такие сети удобны для реализации систем логического управления на уровне промежуточного программного обеспечения *middleware* в облачных сервисах системах типа NCaaSOD.

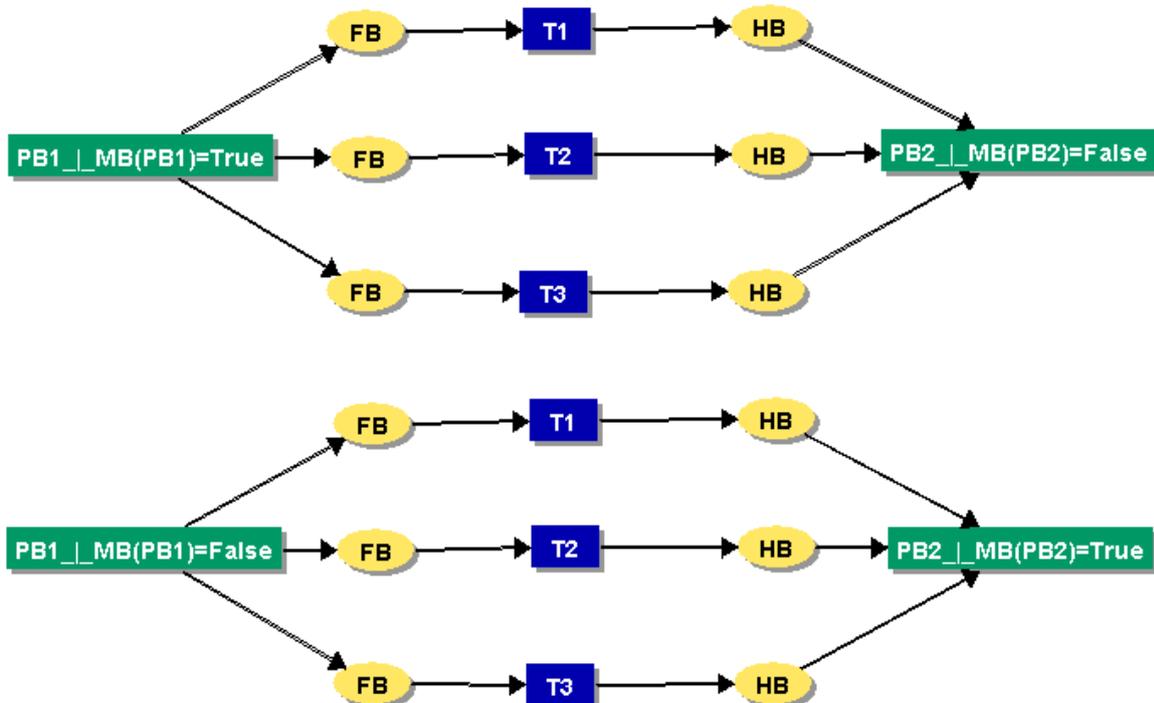


Рис. 4. Концептуальный граф  $CG_3$  логической сети Петри до и после срабатывания одного из переходов

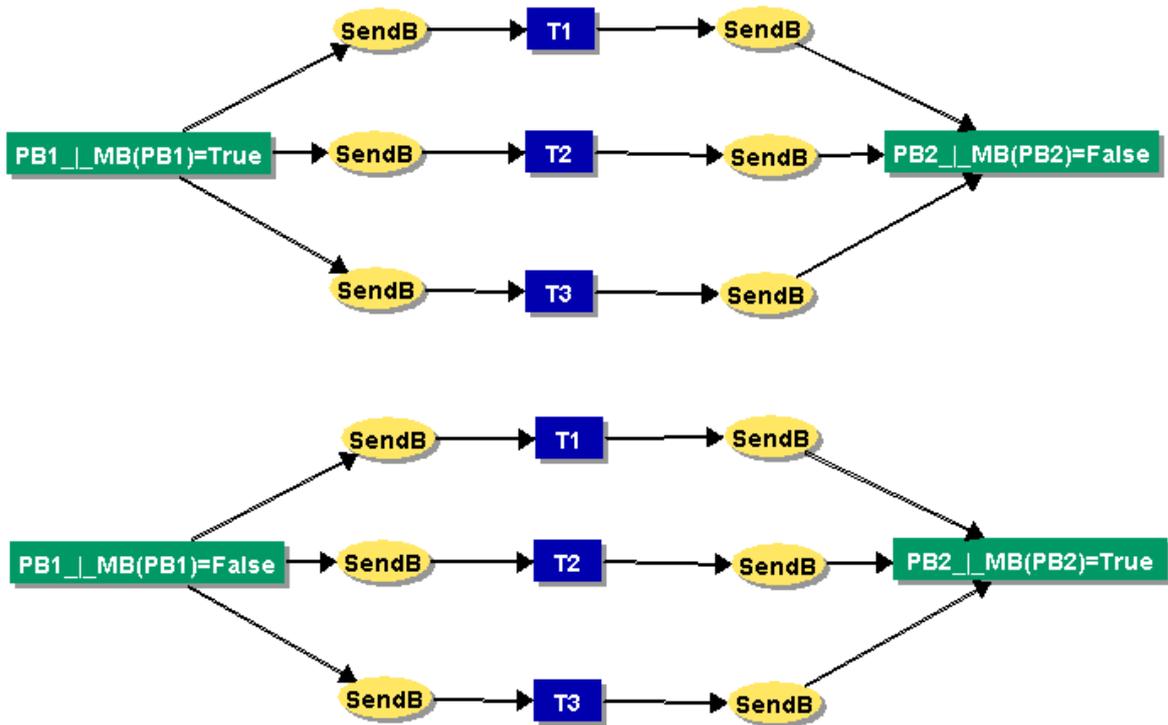


Рис. 5. Концептуальный граф  $CG_4$  распределенной логической сети Петри до и после срабатывания одного из переходов

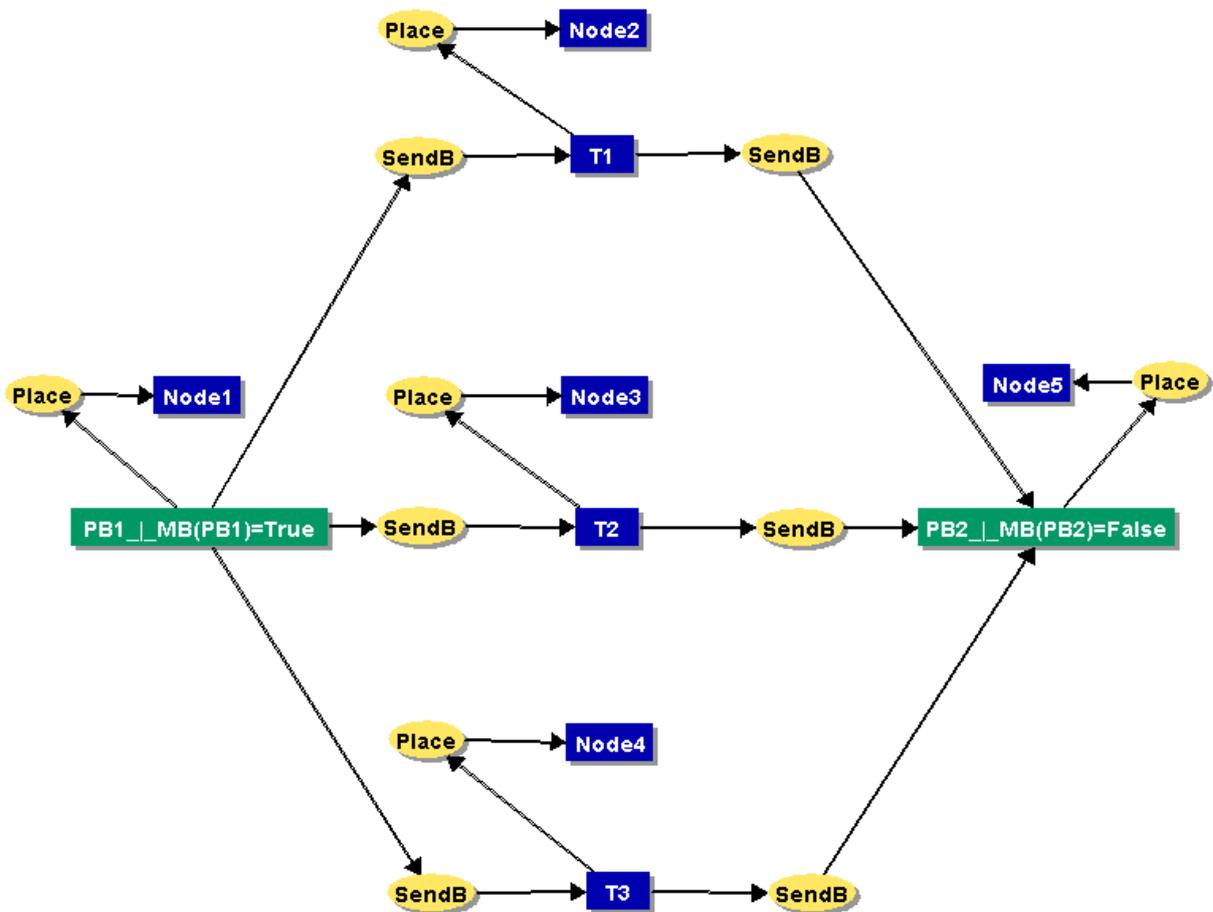


Рис. 6. Концептуальный граф  $CG_5$  распределенной логической сети Петри

Как видно из предыдущих примеров, при вложении распределенных сетей Петри в логическую или физическую архитектуру распределенной вычислительной системы необходимо учитывать месторасположение объектов – переходов, позиций и меток (маркеров). Концептуальное представление сети Петри возможно дополнить новыми концептами – например, концептами, представляющими логические или физические узлы вычислительной системы. Полученный таким образом объект похож на семантическую сеть с событиями и его можно назвать “концептуальной распределенной сетью Петри” (КР СП). Пример такой сети с новыми дополнительными концептами Node1, Node2, ..., Node5 и новым отношением Place представлен на рисунке 6. Например, истинность высказывания Place(T1, Node2) означает, что переход T1 размещен на логическом узле Node2 при реализации сети Петри в вычислительной среде NCaaSOD. Здесь и далее в определениях, касающихся КР СП, будет использован прямой шрифт для лучшего соответствия графическим представлениям.

Развивая принципы построения КР СП, рассмотрим пример вложения сети Петри в вычислительную среду компьютерной сети с возможностью перераспределения позиций и переходов. Введем новое отношение NewPlace для перераспределения позиций и переходов на новые места и построим новый граф  $CG_6$  на основе графа  $CG_5$  (рис. 7). Особенностью графа  $CG_6$  является то, что в нем представлено как старое отношение развертывания Place, так и новое NewPlace. Для перераспределения объектов необходимо разорвать старое отношение и конкретизировать новое, то есть необходимо ис-

пользовать процедуру перераспределения объектов.

Эта процедура сначала должна разорвать старые связи:

Place(PB1, Node1) ← false;  
 Place(T1, Node2) ← false;  
 Place(T2, Node3) ← false;  
 Place(T3, Node4) ← false;  
 Place(PB2, Node5) ← false,

а затем установить новые связи:

NewPlace(PB1, Node6) ← false;  
 NewPlace(T1, Node7) ← false;  
 NewPlace(T2, Node8) ← false;  
 NewPlace(T3, Node9) ← false;  
 NewPlace(PB2, Node10) ← false.

Указанные действия выполняются программой компьютера – провайдера облачных сервисов.

Следующий пример иллюстрирует не менее важное свойство концептуальных сетей Петри: свойство реконфигурируемости структуры самой сети. Реконфигурация в общем случае может затронуть отношения, связывающие позиции и переходы.

На рисунке 8 представлена концептуальная распределенная сеть Петри  $CG_7$  с переменной структурой. При замене отношений FB1 и HB1 на отношения FB2 и HB2 сеть будет функционировать по-другому. Данным концептуальным графом описывается ситуация, когда необходимо перейти от барьерной синхронизации трех процессов к их независимому выполнению. Начальная структура сети задается конкретизацией отношения FB1:

FB1(PB1, Gather) ← true;  
 FB1(PB2, Gather) ← true;  
 FB1(PB3, Gather) ← true;  
 HB1(Gather, PB4) ← true;  
 HB1(Gather, PB5) ← true;  
 HB1(Gather, PB6) ← true.

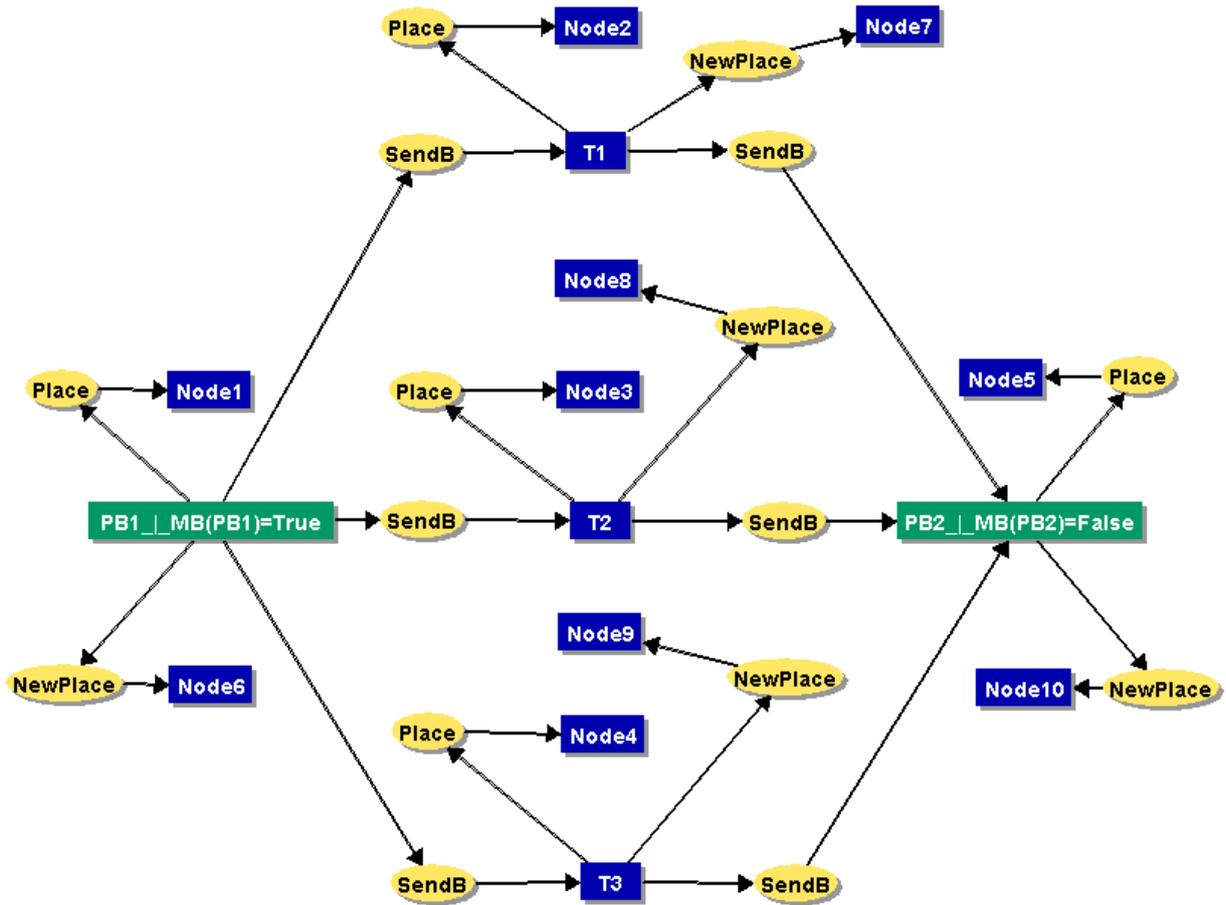


Рис. 7. Концептуальный граф  $CG_6$  концептуальной распределенной сети Петри с возможным перемещением позиций и переходов

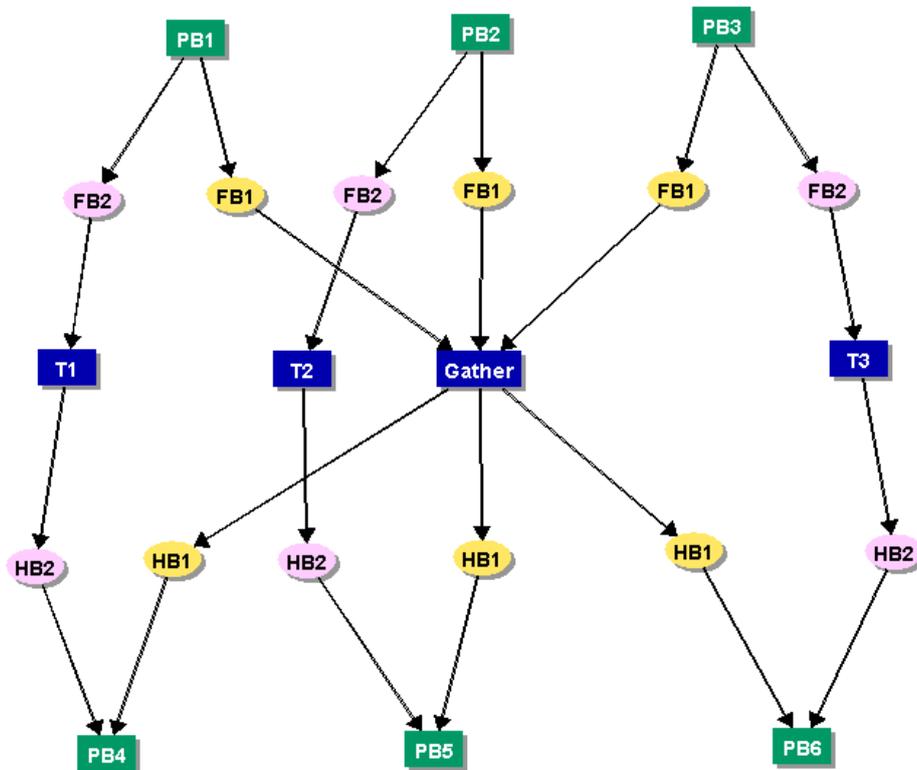


Рис. 8. Концептуальная распределенная сеть Петри  $CG_7$  с переменной структурой

Для разрыва данных связей необходимо выполнить следующие действия:

FB1(PB1, Gather)  $\leftarrow$  false;  
 FB1(PB2, Gather)  $\leftarrow$  false;  
 FB1(PB3, Gather)  $\leftarrow$  false;  
 HB1(Gather, PB4)  $\leftarrow$  false;  
 HB1(Gather, PB5)  $\leftarrow$  false;  
 HB1(Gather, PB6)  $\leftarrow$  false.

Для создания новых связей необходимо конкретизировать отношения FB2 и HB2:

FB2(PB1, T1)  $\leftarrow$  true;  
 FB2(PB2, T2)  $\leftarrow$  true;  
 FB2(PB3, T3)  $\leftarrow$  true;  
 HB2(T1, PB4)  $\leftarrow$  true;  
 HB2(T2, PB5)  $\leftarrow$  true;  
 HB2(T3, PB6)  $\leftarrow$  true.

### 5. Концептуальные графы для распределенных сетей Петри смешанного типа

На рисунках 9 и 10 представлены примеры концептуальных графов  $CG_8$  и  $CG_9$  для распределенных сетей Петри (до и после срабатывания перехода T1), соответствующих определению (1) смешанной сети с простыми, ингибиторными и информационными дугами. Соответствующие связи представлены на рисунках 9 и 10. Сначала рассмотрим связи, представленные в графе  $CG_8$  на рисунке 9. В общем случае при наличии связи типа FA\_INH (ингибиторной) утверждается, что для срабатывания перехода необходимо, чтобы в его входной позиции не было ни одной метки. При наличии связи типа FA\_INF (информационной) утверждает, что для срабатывания перехода необходимо, чтобы в его входной позиции находилось не менее одной метки. Связь типа FA была охарактеризована ранее. Указанные отношения связывают “арифметические” позиции смешанной сети Петри с переходом. Остальные от-

ношения FB\_INH, FB\_INF и FB в смешанной сети Петри связывают “логические” позиции с переходом. При наличии связи вида типа FB\_INH (ингибиторной) утверждается, что для срабатывания перехода необходимо, чтобы в его входной позиции не находилась метка, то есть необходимо выполнение условия  $MB(PB4)=false$ . При наличии связи вида типа FB\_INF (информационной) утверждается, что для срабатывания перехода необходимо, чтобы в его входной позиции находилась метка, то есть необходимо выполнение условия  $MB(PB5)=true$ ; кроме того, эта метка должна остаться в указанной позиции и после срабатывания перехода. Связь типа FB была охарактеризована ранее.

Концептуальный граф  $CG_9$  распределенной сети Петри смешанного типа, представленный на рисунке 10, в отличие от концептуального графа  $CG_8$  на рисунке 9, содержит отношения SendA\_INH, SendA\_INF, SendA, SendB\_INH, SendB\_INF, SendB, задаваемые путем передачи соответствующих сообщений от позиций к переходу. Эти сообщения “информируют” переход о выполнении условий, необходимых для его срабатывания. В остальном сеть  $CG_9$  функционирует аналогично предыдущей сети  $CG_8$ .

Рисунок 11 иллюстрирует работу распределенной концептуальной сети Петри  $CG_{10}$  (построенной на основе сетей  $CG_8$  и  $CG_9$ ) после ее вложения в логическую архитектуру компьютерной сети. При реализации распределенного приложения необходимо учесть, что в ряде случаев необходимая информация должна запрашиваться. Этот факт не был отражен в примерах графов  $CG_8$  и  $CG_9$ . Поэтому в концептуальный граф  $CG_{10}$  введены новые отношения Q1 и Q2.

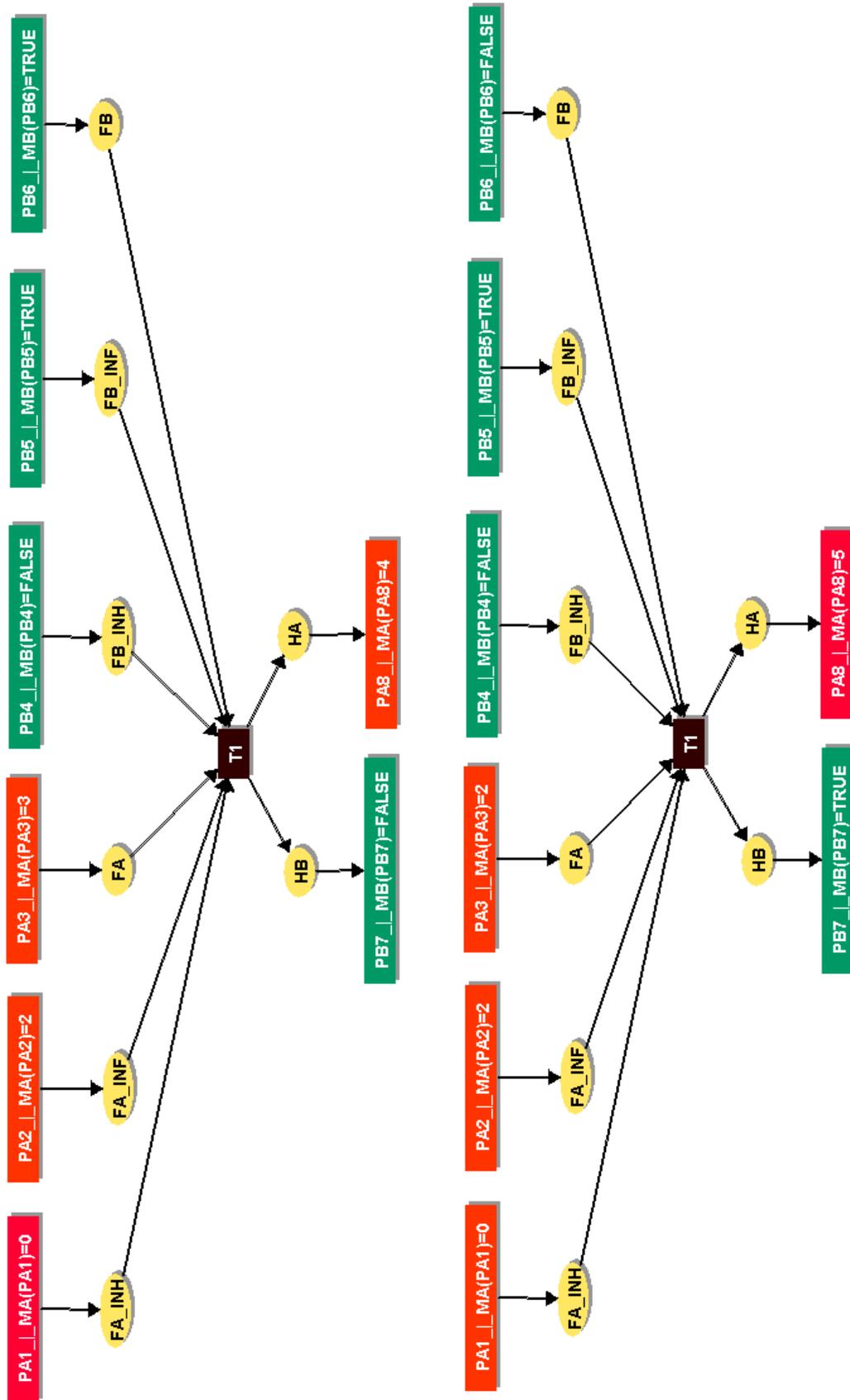


Рис. 9. Концептуальная смешанная сеть Петри  $CG_8$

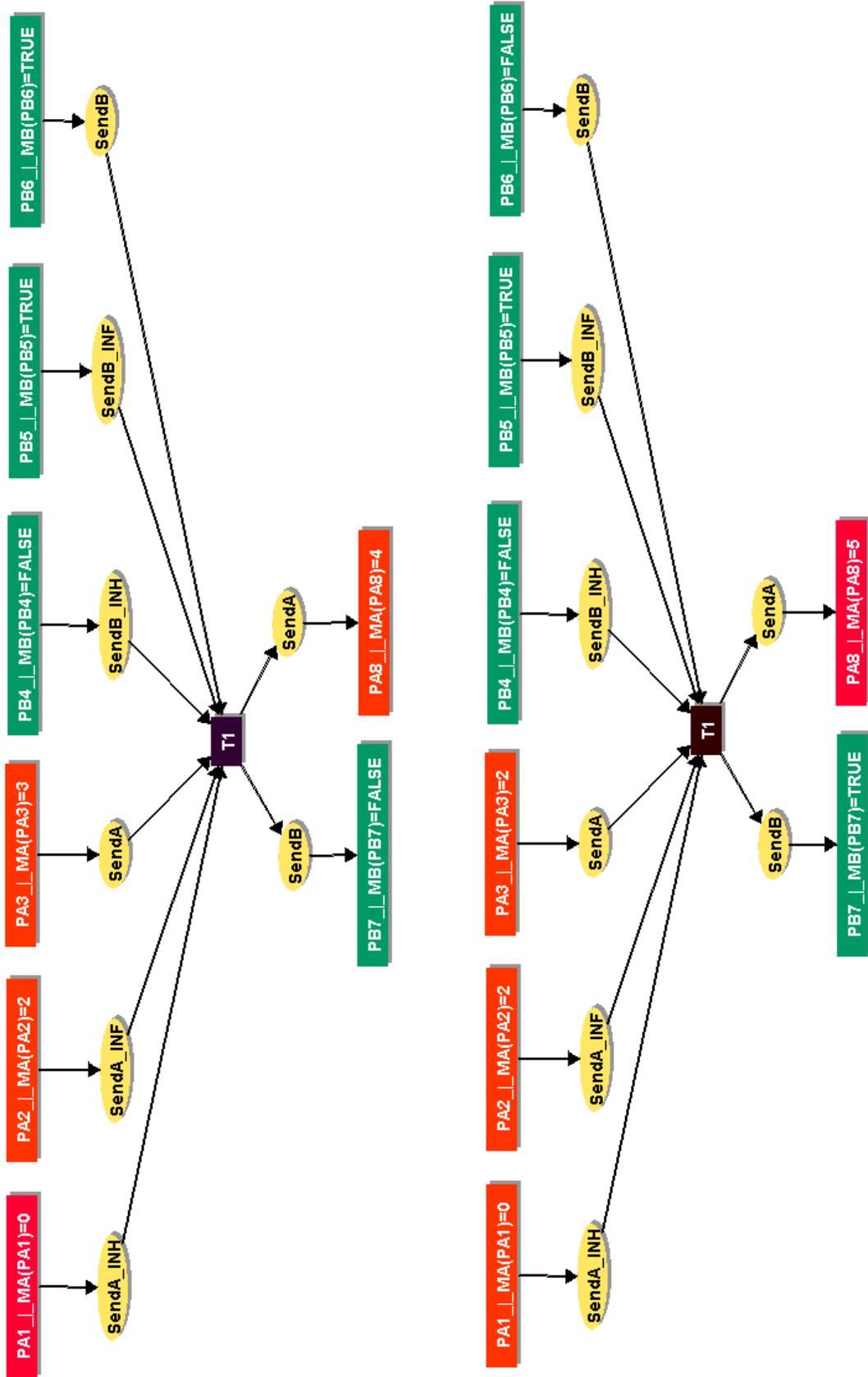


Рис. 10. Концептуальная распределенная смешанная сеть Петри  $SG_9$

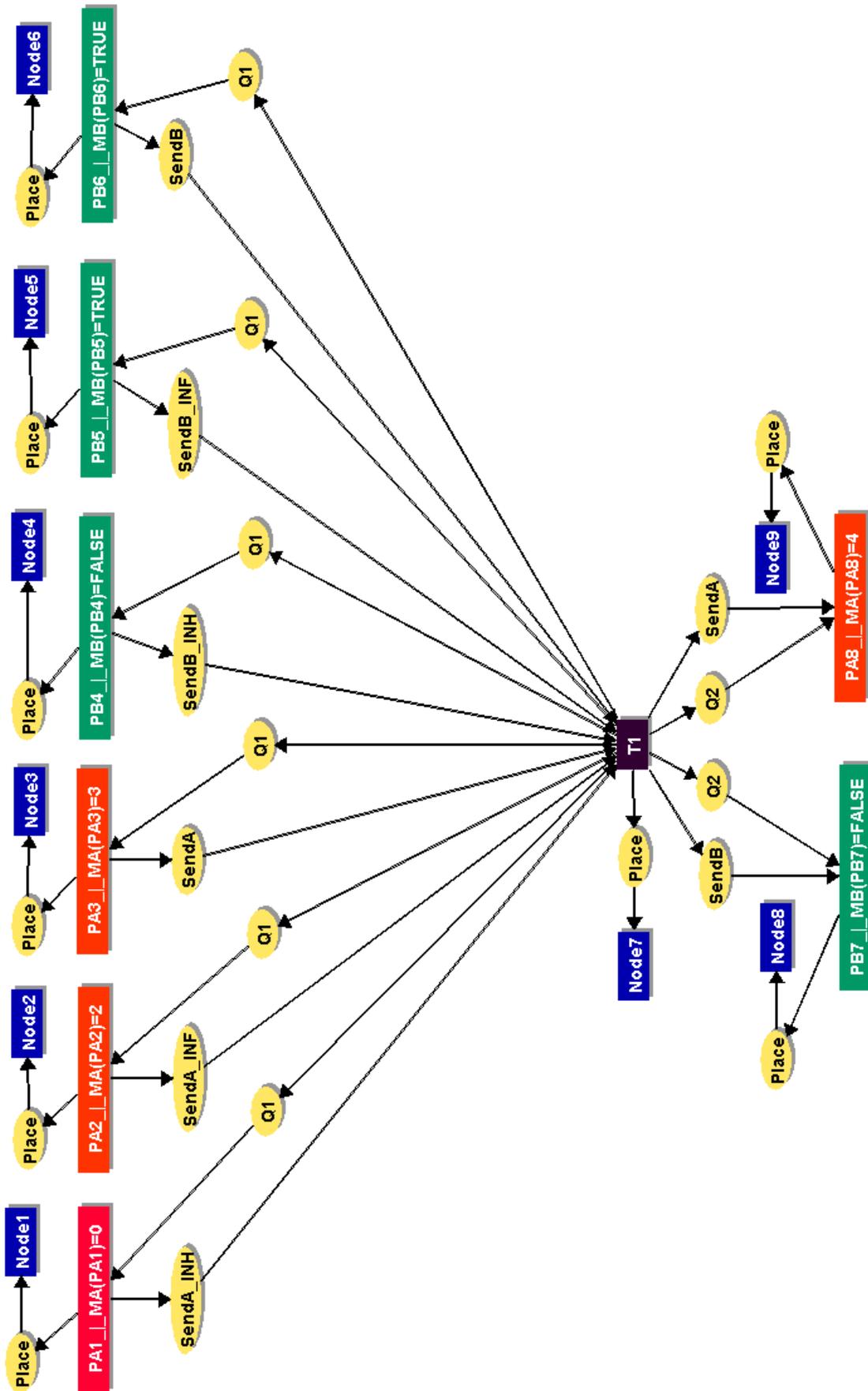


Рис. 11. Концептуальная распределенная сеть Петри  $CG_{10}$  с новыми связями

Кроме того, введено отношение Place и концепты-узлы, задающее размещение позиций и переходов в логической структуре компьютерной сети. До срабатывания перехода T1 реализующая его процедура запрашивает информацию о состоянии входных позиций. На абстрактном уровне этот факт сопровождается конкретизацией отношения Q1.

Получение ответов переходом T1 на абстрактном уровне сопровождается конкретизацией отношений SendA\_INH, SendA\_INF, SendA, SendB\_INH, SendB\_INF, SendB, а на физическом уровне – путем передачи сообщений от размещенных в компьютерной сети позиций к переходу. Конкретизация дополнительного отношения Q2 соответствует запросам процедуры перехода T1 о состоянии выходных позиций P<sub>В7</sub> и P<sub>А8</sub> (“способны” ли они принять метки). Таким образом, концептуальный граф смешанной распределенной сети Петри представляет собой семантическую сеть с процедурами, способную описать работу распределенного сетевого приложения на прикладном и транспортном уровнях, а также на уровне промежуточного программного обеспечения *middleware*.

### Заключение

1. Предложены новые концептуально-поведенческие модели на основе концептуальных графов распределенных сетей Петри (КГ РСП) для определения системной и функциональной архитектур распределенных вычислительных систем с переменной структурой, предоставляемой пользователю по его требованию в качестве гибридного облачно-сетевого сервиса; данные модели отличаются возможностью оперативной реконфигурации и непосредственной исполнимостью.

2. На основе известных определений бинарных (логических) и обычных ординарных сетей Петри дано определение и концептуально-поведенческое представление сетей Петри смешанного типа, позволяющие синтезировать сети Петри, вложимые в архитектуру компьютерных сетей.

3. Предложена методика вложения концептуальных сетей Петри в архитектуру облачно-сетевых компьютерных сетей типа NCaaSOD – сетевые (облачные) вычисления как сервис, организуемый по запросу пользователя. Предложены правила получения отношений связности между позициями и переходами сети Петри, размещаемыми на узлах физической компьютерной сети.

### Список литературы

1. Petri C.A. Kommunikation mit Automaten. English Translation, 1966: Communication with Automata, Technical Report RADG-TR-65-377, Rome Air Dev. Center, New York.
2. Wang Jiacun. Petri Nets for Dynamic Event-Driven System Modeling / Published in Handbook of Dynamic System Modeling. Department of Software Engineering. Monmouth University, West Long Branch, NJ 07764, 2007. P. 1-17.
3. Murata T. Petri Nets: Properties, Analysis and Applications // Proceedings of the IEEE. April 1989. Vol. 77, No. 4. P. 541-580.
4. Peterson J. L. Petri Net Theory and the Modeling of Systems. N.J.: Prentice-Hall, 1981. 288 p.
5. Дубинин В.Н., Зинкин С.А. Сетевые модели распределенных систем обработки, хранения и передачи данных. Пенза: Изд-во «Приволжский Дом Знаний», 2013. 452 с.
6. Welcome to the Petri Nets World. [Web resource]. URL: <http://www.informatik.uni->

- hamburg.de/TGI/PetriNets/index.php. Free admission. Access date: 10.11.2018.
7. Applications and Theory of Petri Nets and Concurrency // Proc. 35th International Conference, PETRI NETS 2014, Tunis, Tunisia, June 2014 / Ed. by Ciardo G., Kindler E. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 8489. Berlin.: Springer. 2014. 395 p.
  8. Application and Theory of Petri Nets and Concurrency: Proc./36th International Conference, PETRI NETS 2015, Brussels, Belgium, June 2015 / Ed. by Devillers R., Valmari A. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 9115. Berlin.: Springer, 2015. 351 p.
  9. Application and Theory of Petri Nets and Concurrency // Proc. 37th International Conference, PETRI NETS 2016, Torun, Poland, June 2016 / Ed. by Kordon F., Moldt D. Lecture Notes in Computer Science. – Vol. 9698. Berlin.: Springer, 2016. 345 p.
  10. Application and Theory of Petri Nets and Concurrency // Proc. 38th International Conference, PETRI NETS 2017, Zaragoza, Spain, June 2017 / Ed. by Van Der Aalst W., Best E. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 10258. Berlin.: Springer, 2017. 351 p.
  11. Application and Theory of Petri Nets and Concurrency // Proc. 39th International Conference, PETRI NETS 2018, Bratislava, Slovakia, June 2018 / Ed. by Khomenko V., Roux O. H. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 10877. Berlin.: Springer, 2018. 427 p.
  12. Котов В.Е. Сети Петри. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. 160 с.
  13. Peterson J. L. Petri Nets // ACM Computing Surveys. 1977. 9 (3). P. 223–252.
  14. Методы параллельного микропрограммирования / под ред. О. Л. Бандман. Новосибирск: Наука, 1981. 182 с.
  15. Юдицкий С. А., Магергут В. З. Логическое управление дискретными процессами. Модели, анализ и синтез. М.: Машиностроение, 1987. 178 с.
  16. W. M. P. van der Aalst. A class of Petri nets for modeling and analyzing business processes // Computing Science Reports 95/26, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 1995. P. 1-25.
  17. Hruz B., Zhou M. C. Modeling and Control of Discrete-event Dynamic Systems with Petri Nets and Other Tools. Springer-Verlag, London, 2007. 351 p.
  18. Iordache M. V., Antsaklis P. J. Supervisory Control of Concurrent Systems. A Petri Net Structural Approach. Boston: Birkhauser, 2006. 281 p.
  19. On Modification in Petri Nets / R. Jahns, M. Becker, T. Bessey, H. Szczerbicka // Journal Proc. Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (SPECTS), 2002. 5 p.
  20. Valk R. Self-modifying Nets // Report Bericht Nr. 34, IFI-HH-B-34/77, from the Institute of Informatics, University of Hamburg, Schluterstrasse 70, Hamburg 13, D-2000, West Germany, July 1977. 36 p.
  21. Temporized Colored Petri Nets with Changeable Structure (TCPN-CS) for the Performance Modeling of Dynamic Production Systems / Jiang Z., Zuo M. J., Fung R. Y. K., Tu P. Y. // International Journal of Production Research 2000. 38, No. 8. P. 1917-1945.
  22. Holloway L. E., Krogh B. H., Giua A. A Survey of Petri Net Methods for Controlled Discrete Event Systems // Discrete Event Dynamic Systems: Theory and Applications, 7, Kluwer Academic Publishers, Boston. Manufactured in The Netherlands, 1997. P. 151-190.
  23. Krogh B. H. Controlled Petri nets and maximally permissive feedback logic // Proc. 25th Annual Allerton Conference, University of Illinois, Urbana, 1987. P. 317-326.
  24. Ichikawa A., Hiraishi K. Analysis and control of discrete event systems represented by

Petri nets // Discrete Event Systems: Models and Applications. Varaiya P., and Kurzhanski A. B. eds. Lecture Notes in Control and Information Sciences. Vol. 103, New York: Springer Verlag, 1988. P. 115-134.

25. Omar Yaqub, Lingxi Li. Modeling and Analysis of Connected Traffic Intersections Based on Modified Binary Petri Nets // Hindawi Publishing Corporation, International Journal of Vehicular Technology. Vol. 2013, Article ID 192516, 2013. 10 p.

26. Jianxin Liao, Yuting Zhang, Xiaomin Zhu. An Inter-Working Petri Net Model between SIMPLE and IMPS for XDM Service // Chapter from the book "Petri Net, Theory and Applications", pp. 73-90. Downloaded from URL: [http://www.intechopen.com/books/petri\\_net\\_theory\\_and\\_applications](http://www.intechopen.com/books/petri_net_theory_and_applications). [Web resource]. Source: Petri Net, Theory and Applications. Book edited by: Vedran Kordic, ISBN 978-3-902613-12-7, 534 p., February 2008, I-Tech Education and Publishing, Vienna, Austria.

27. Petri Net Transformations / H. Ehrig, K. Hoffmann, J. Padberg, C. Ermel, U. Prange, E. Biermann, T. Modica // Chapter from the book "Petri Net, Theory and Applications", pp. 1 – 16. Downloaded from URL: [http://www.intechopen.com/books/petri\\_net\\_theory\\_and\\_applications](http://www.intechopen.com/books/petri_net_theory_and_applications). [Web resource]. Free admission. Access date: 10.11.2018. Source: Petri Net, Theory and Applications, Book edited by: Vedran Kordic, ISBN 978-3-902613-12-7, 534 p., February 2008, I-Tech Education and Publishing, Vienna, Austria.

28. Petri Nets Fundamental Models, Verification and Applications / Edited by Michel Diaz. John Wiley & Sons, 2009. 585 p.

29. Svadova M., Hanzalek Z. Matlab Toolbox for Petri Nets. URL1: <https://simonline.akademitelkom.ac.id/dosen/riset/smartgrid/Bukan/Hanzalek01a.pdf>. URL2: <http://www.academia.edu/7645464/>

MATLAB\_TOOLBOX\_FOR\_PETRI\_NET S. [Web resource]. Free admission. (Access date: 10.11.2018).

30. Petri Nets Tools Database Quick Overview. URL: <http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets/tools/quick>. [Web resource]. Free admission. (Access date: 10.11.2018).

31. Component-based synthesis for complex APIs. / Yu Feng, Ruben Martins, Yuepeng Wang, Isil Dillig, Thomas W. Reps // Newsletter, ACM SIGPLAN Notices - POPL '17. Vol. 52. Issue 1, January 2017. P. 599-612.

32. Samokhvalov D.I., Dworzanski L.W. Automatic Code Generation from Nested Petri nets to Event-based Systems on the Telegram Platform // Trudy ISP RAN / Proc. RAS. 2016. Vol. 28. Is. 3. P. 65-84.

33. Petri Nets and Ladder Logic for Fully-Automating and Programmable Logic Control of Semi-Automatic Machines and Systems / Mahmoud A. Barghash, Osama M. Abuzeid, Anas N. Al-Rabadi, Ahmad M. Jaradat // American J. of Engineering and Applied Sciences 2011. №4 (2). P. 252-264.

34. Conway C., Cheng-Hong Li, Megan Pengelly M. Pencil: A Petri Net Specification Language for Java. 3 December 2002 [Web resource]. URL: <http://www.cs.columbia.edu/~sedwards/classes/2003/w4115/conway-report.pdf>. Free admission. (Access date: 10.11.2018).

35. PetriNetExec: Java Embeddable Petri Nets: PetriNetExec a library for embedding Petri Nets into Java applications. Last Update: 2013-05-30. [Web resource]. URL: <https://sourceforge.net/projects/petrinetexec/> Free admission. (Access date: 10.11.2018).

36. Jai Manral. Automated Test Case Generation using Petri Nets. [Web resource]. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1509/1509.08401.pdf>. Free admission. (Access date: 10.11.2018).

37. Wang L., Jiesong Y., Xiaofeng Y., Jun H., Xuandong L., Guoliang Z. Generating test cases from UML activity diagram based on Gray-box method // Software Engineering Conference. Nov. 2004. P. 284-291.

38. Masahiro Osogami, Teruya Yamanishi, Katsuji Uosaki. Input-Output Conditions for Automatic Program Generation Using Petri Nets // International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems / Lecture Notes in Computer Science. Vol. 6881. Berlin.: Springer, 2011. P. 296-305.

39. A Guide to Modelling and Control with Modules of Signal Nets. Jörg Desel, Hans-Michael Hanisch, Gabriel Juhás, Robert Lorenz, Christian Neumair // Lecture Notes in

Computer Science. Vol. 3147. Berlin, Heidelberg: Springer, 2004. P. 270-300.

40. Arlow J., Neustadt I. UML 2 and the Unified Process: Practical Object-Oriented Analysis and Design. 2nd Edition. New Jersey: Pearson Education Inc., Addison-Wesley Professional. 2005. 624 p.

41. CharGer Manual v3.5b1 2005-11-30. P. 1–58. URL: [http:// charger.sourceforge.net/](http://charger.sourceforge.net/). [Web resource]. Free admission. (Access date: 10.11.2018).

42. Delugah H. CharGer – A Conceptual Graph Editor written by Harry Delugah. URL: <http://www.cs.uah.edu/~delugach/CharGer/>. [Web resource]. Free admission. (Access date: 10.11.2018).

*Поступила в редакцию 26.11.18*

UDC 004.832.32

**S.A. Zinkin**, Doctor of Engineering Science, Professor, Penza State University (Russia, 440026, Penza, Krasnaya str., 40) (e-mail: zsa49@yandex.ru)

**Mustafa Sadeq Jaafar**, Post-Graduate Student, Penza State University (Russia, 440026, Penza, Krasnaya str., 40) (e-mail: mustafajaafar221087@gmail.com)

**N.S. Karamysheva**, Candidate of Engineering Sciences, Associated Professor, Penza State University (Russia, 440026, Penza, Krasnaya str., 40) (e-mail: karamyshevans@yandex.ru)

#### **CONCEPTUAL REPRESENTATIONS AND MODIFICATIONS OF PETRI NETS FOR APPLICATIONS IN THE AREA OF SYNTHESIS OF A FUNCTIONAL ARCHITECTURE OF DISTRIBUTED COMPUTATIONAL SYSTEMS WITH VARIABLE STRUCTURE**

**Background.** *The object of the research is the functional architecture of distributed computing systems with a variable (reconfigurable) structure characteristic of hybrid systems of cloud-network (grid) type. Despite the fact that Petri nets have long been studied both theoretically and practically, the methods of their interpretation continue to develop intensively. At present, the problem of embedding Petri nets in the architecture of distributed network applications used to implement global computing in modern mixed cloud, grid and cluster systems has not been sufficiently studied. It is shown that in modern studies, Petri nets are used mainly in the simulation of discrete systems and processes, and not as the basis for formalized specifications in the development of distributed applications. In this regard, the interpretation of Petri nets in applications to the functional architecture of distributed computing systems with a variable structure based on the network software of the intermediate class (middleware class) is relevant. The aim of the work was the integration of graphical representations of conceptual graphs, semantic networks, scenarios and Petri nets, which made it possible to create effective tools with graphical support for designing a functional architecture of distributed computing systems with a variable structure and, in particular, a cloudy architecture of the NCaaS type - Network Computing as a Service on Demand (network computing as a cloud service at the request of the user).*

**Materials and methods.** *The conceptual models of distributed processes that are a graphical interpretation of the first-order predicate calculus are used. Conceptual graphs for distributed Petri nets of mixed type have been proposed, which allow describing computation processes in global computational networks with a view to their subsequent implementation.*

**Results.** Based on the integration of graphical representations of conceptual graphs, semantic networks, scenarios and Petri nets, conceptual representations of distributed reconfigurable Petri nets are proposed, allowing them to be directly integrated into the architecture of the computer network.

**Results.** New conceptual-behavioral models based on conceptual graphs of distributed Petri nets have been proposed to determine the system and functional architectures of distributed computing systems with a variable structure provided to the user as a hybrid cloud-based network service; these models are distinguished by the possibility of operational reconfiguration and immediate execution.

**Conclusion.** A method was proposed and formalized for embedding conceptual Petri nets into the architecture of cloud-networked computer systems such as NCaaS — network (cloud) computing as a service organized at the user's request. The rules for obtaining relations of connectivity between the positions and transitions of the Petri net, placed on the nodes of the physical computer network, are proposed.

**Key words:** distributed network computing; functional architecture; conceptual Petri nets of mixed type; reconfiguration of network models; embedding Petri nets into the computer network architecture.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-143-167

**For citation:** Zinkin S.A., Mustafa Sadeq Jaafar, Karamysheva N.S. Conceptual Representations and Modifications of Petri Nets for Applications in the Area of Synthesis of a Functional Architecture of Distributed Computational Systems with Variable Structure. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 6(81), pp. 143-167 (in Russ.).

\*\*\*

## Reference

1. Petri C.A. Kommunikation mit Automaten. English Translation, 1966: Communication with Automata, Technical Report RADC-TR-65-377, Rome Air Dev. Center, New York.
2. Wang Jiacun. Petri Nets for Dynamic Event-Driven System Modeling. Published in Handbook of Dynamic System Modeling. Department of Software Engineering. Monmouth University, West Long Branch, NJ 07764, 2007, pp. 1-17.
3. Murata T. Petri Nets: Properties, Analysis and Applications. *Proceedings of the IEEE*. April 1989, vol. 77, no. 4, pp. 541-580.
4. Peterson J. L. Petri Net Theory and the Modeling of Systems. N.J.: Prentice-Hall, 1981, 288 p.
5. Dubinin V.N., Zinkin S.A. Setevye modeli raspredelennyh sistem obrabotki, hranenija i peredachi dannyh. Privolzhskij Dom Znaniy Publ., 2013, 452 p.
6. Welcome to the Petri Nets World. [Web resource]. URL: [http:// www. informatik. uni-hamburg.de/TGI/PetriNets/index.php](http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets/index.php). Free admission. (Access date: 10.11.2018).
7. Applications and Theory of Petri Nets and Concurrency. Proc. 35th International Conference, PETRI NETS 2014, Tunis, Tunisia, June 2014; ed. by Ciardo G., Kindler E. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 8489. Berlin, Springer Publ., 2014, 395 p.
8. Application and Theory of Petri Nets and Concurrency: Proc./36th International Conference, PETRI NETS 2015, Brussels, Belgium, June 2015; ed. by Devillers R., Valmari A. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 9115, Berlin, Springer Publ., 2015. 351 p.
9. Application and Theory of Petri Nets and Concurrency. Proc. 37th International Conference, PETRI NETS 2016, Torun, Poland, June 2016; ed. by Kordon F., Moldt D. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 9698, Berlin, Springer Publ., 2016, 345 p.
10. Application and Theory of Petri Nets and Concurrency // Proc. 38th International Conference, PETRI NETS 2017, Zaragoza, Spain, June 2017; ed. by Van Der Aalst W., Best E. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 10258, Berlin, Springer Publ., 2017, 351 p.
11. Application and Theory of Petri Nets and Concurrency. Proc. 39th Interna-

tional Conference, PETRI NETS 2018, Bratislava, Slovakia, June 2018. Ed. by Khomenko V., Roux O. H. Lecture Notes in Computer Science, vol. 10877, Berlin: Springer., 2018, 427 p.

12. Kotov V.E. Seti Petri. Moscow, Nauka Publ.. Glavnaja redakcija fiziko-matematicheskoy literatury, 1984, 160 p.

13. Peterson J. L. Petri Nets. ACM Computing Surveys, 9 (3), 1977, pp. 223–252.

14. Metody parallel'nogo mikro-programmirovaniya, ed. by Bandman O. L. Novosibirsk, Nauka Publ., 1981, 182 p.

15. Judickij S. A., Magergut V. Z. Logicheskoe upravlenie diskretnymi procesami. Modeli, analiz i sintez. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1987, 178 p.

16. W. M. P. van der Aalst. A class of Petri nets for modeling and analyzing business processes. Computing Science Reports 95/26, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 1995, pp. 1-25.

17. Hruz B., Zhou M. C. Modeling and Control of Discrete-event Dynamic Systems with Petri Nets and Other Tools. Springer-Verlag. London, 2007, 351 p.

18. Iordache M. V., Antsaklis P. J. Supervisory Control of Concurrent Systems. A Petri Net Structural Approach. Boston: Birkhauser Publ., 2006, 281 p.

19. Jahns R., Becker M., Bessey T., Szczerbicka H. On Modification in Petri Nets. *Journal Proc. Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (SPECTS)*, 2002, 5 p.

20. Valk R. Self-modifying Nets. Report Bericht Nr. 34, IFI-HH-B-34/77, from the Institute of Informatics, University of Hamburg, Schluterstrasse 70, Hamburg 13, D-2000, West Germany, July 1977, 36 p.

21. Jiang Z., Zuo M. J., Fung R. Y. K., Tu P. Y. Temporized Colored Petri Nets with Changeable Structure (TCPN-CS) for the Performance Modeling of Dynamic Production Systems. *International Journal of Production Research*, 2000, 38, no. 8, pp. 1917-1945.

22. Holloway L. E., Krogh B. H., Giua A. A Survey of Petri Net Methods for Controlled Discrete Event Systems. *Discrete Event Dynamic Systems: Theory and Applications*, 7, Kluwer Academic Publishers, Boston. Manufactured in The Netherlands, 1997. pp. 151-190.

23. Krogh B. H. Controlled Petri nets and maximally permissive feedback logic. Proc. 25th Annual Allerton Conference, University of Illinois, Urbana, 1987. pp. 317-326.

24. Ichikawa A., Hiraishi K. Analysis and control of discrete event systems represented by Petri nets. *Discrete Event Systems: Models and Applications*. Varaiya P., and Kurzhanski A. B. eds. Lecture Notes in Control and Information Sciences, vol. 103, New York, Springer Verlag, 1988, pp. 115-134.

25. Omar Yaqub, Lingxi Li. Modeling and Analysis of Connected Traffic Intersections Based on Modified Binary Petri Nets. Hindawi Publishing Corporation, International Journal of Vehicular Technology. Vol. 2013, Article ID 192516, 2013, 10 p.

26. Jianxin Liao, Yuting Zhang, Xiaomin Zhu. An Inter-Working Petri Net Model between SIMPLE and IMPS for XDM Service. Chapter from the book “Petri Net, Theory and Applications”, pp. 73-90. Downloaded from URL: [http://www.intechopen.com/books/petri\\_net\\_theory\\_and\\_applications](http://www.intechopen.com/books/petri_net_theory_and_applications). [Web resource]. Source: Petri Net, Theory and Applications. Book edited by: Vedran Kordic, ISBN 978-3-902613-12-7, 534 p., February 2008, I-Tech Education and Publishing, Vienna, Austria.

27. Ehrig H., Hoffmann K., Padberg J., Ermel C., Prange U., Biermann E., Modica T. Petri Net Transformations. Chapter from the book “Petri Net, Theory and Applications”, pp. 1 – 16. Downloaded from URL: [http://www.intechopen.com/books/petri\\_net\\_theory\\_and\\_applications](http://www.intechopen.com/books/petri_net_theory_and_applications). [Web resource]. Free admission. Access date: 10.11.2018. Source: Petri Net, Theory and Applications, Book edited by: Vedran Kordic, ISBN 978-3-902613-12-7, 534 p., Feb-

ruary 2008, I-Tech Education and Publishing, Vienna, Austria.

28. Petri Nets Fundamental Models, Verification and Applications. ed. by Michel Diaz. John Wiley & Sons, 2009. 585 p.

29. Svadova M., Hanzalek Z. Matlab Toolbox for Petri Nets. URL1: <https://simononline.akademitelkom.ac.id/dosen/riset/smartgrid/Bukan/Hanzalek01a.pdf>. URL2: [http://www.academia.edu/7645464/MATLAB\\_TOOLBOX\\_FOR\\_PETRI\\_NETS](http://www.academia.edu/7645464/MATLAB_TOOLBOX_FOR_PETRI_NETS). [Web resource]. Free admission. (Access date: 10.11.2018).

30. Petri Nets Tools Database Quick Overview. URL: <http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets/tools/quick>. [Web resource]. Free admission. (Access date: 10.11.2018).

31. Component-based synthesis for complex APIs. / Yu Feng, Ruben Martins, Yuepeng Wang, Isil Dillig, Thomas W. Reps. Newsletter, ACM SIGPLAN Notices - POPL '17, Vol. 52. Issue 1, January 2017, pp. 599-612.

32. Samokhvalov D.I., Dworzanski L.W. Automatic Code Generation from Nested Petri nets to Event-based Systems on the Telegram Platform. Trudy ISP RAN. Proc. RAS, 2016, vol. 28, is. 3, pp. 65-84.

33. Mahmoud A. Barghash, Osama M. Abuzeid, Anas N. Al-Rabadi, Ahmad M. Jaradat Petri Nets and Ladder Logic for Fully-Automating and Programmable Logic Control of Semi-Automatic Machines and Systems. *American J. of Engineering and Applied Sciences*, 2011, no. 4 (2), pp. 252-264.

34. Conway C., Cheng-Hong Li, Megan Pengelly M. Pencil: A Petri Net Specification Language for Java. 3 December 2002 [Web resource]. URL: <http://www.cs.columbia.edu/~sedwards/classes/2003/w4115/conway-report.pdf/>. Free admission. (Access date: 10.11.2018).

35. PetriNetExec: Java Embeddable Petri Nets: PetriNetExec a library for embed-

ding Petri Nets into Java applications. Last Update: 2013-05-30. [Web resource]. URL: <https://sourceforge.net/projects/petrinetexec/>. Free admission. (Access date: 10.11.2018).

36. Jai Manral. Automated Test Case Generation using Petri Nets. [Web resource]. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1509/1509.08401.pdf>. Free admission. (Access date: 10.11.2018).

37. Wang L., Jiesong Y., Xiaofeng Y., Jun H., Xuandong L., Guoliang Z. Generating test cases from UML activity diagram based on Gray-box method. Software Engineering Conference, Nov. 2004, pp. 284-291.

38. Masahiro Osogami, Teruya Yamashiki, Katsuji Uosaki. Input-Output Conditions for Automatic Program Generation Using Petri Nets. International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems. Lecture Notes in Computer Science, vol. 6881, Berlin, Springer Publ., 2011, pp. 296-305.

39. A Guide to Modelling and Control with Modules of Signal Nets. Jörg Desel, Hans-Michael Hanisch, Gabriel Juhás, Robert Lorenz, Christian Neumair. Lecture Notes in Computer Science, vol. 3147. Berlin, Heidelberg, Springer Publ., 2004, pp. 270-300.

40. Arlow J., Neustadt I. UML 2 and the Unified Process: Practical Object-Oriented Analysis and Design. 2nd Edition. New Jersey: Pearson Education Inc., Addison-Wesley Professional, 2005, 624 p.

41. CharGer Manual v3.5b1 2005-11-30. P. 1-58. URL: <http://charger.sourceforge.net/>. [Web resource]. Free admission. (Access date: 10.11.2018).

42. Delugach H. CharGer – A Conceptual Graph Editor written by Harry Delugach. URL: <http://www.cs.uah.edu/~delugach/CharGer/>. [Web resource]. Free admission. (Access date: 10.11.2018).

## УДК 681.3

**Д.Б. Борзов**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: borzovdb@kursknet.ru)

**И.И. Масюков**, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: ilmas46ru@gmail.com)

### ПЛАНИРОВАНИЕ ЗАГРУЗКИ ПРОЦЕССОРОВ В МУЛЬТИПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ КРИТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*В настоящее время широко используются мультипроцессорные системы критического характера. Такие системы применяются при слежении, прицеливании, наблюдении и т.п. Подобные задачи, как правило, требуют максимального увеличения производительности и уменьшения времени решения задачи. Для этих целей используется первоначальное выделение независимых линейных, условных и циклических участков последовательных программ [1]. Это выполняется для высвобождения фрагментов программ, которые возможно назначать для исполнения на процессоры таким образом, чтобы при исполнении они как можно меньше обменивались данными с соседними процессорами [2]. За счет этого возможно частичное повышение производительности мультипроцессорной вычислительной системы вместе с уменьшением общего времени выполнения всей задачи в целом.*

*Для систем рассматриваемого характера процессора всей системы желательно назначать фрагментами программ так, чтобы они были постоянно загружены на протяжении решения всей задачи. Это является другим способом повышения производительности мультипроцессорной системы. Очевидно, что использования для этих целей программных средств нереально из-за критичности временного параметра. Следовательно, актуальным является использование методов и соответствующих аппаратно-ориентированных алгоритмов планирования загрузки процессоров, что является предметом исследований в данной статье.*

*В статье показана актуальность постоянной загрузки процессоров мультипроцессорных систем с высоким коэффициентом готовности. Обоснована необходимость составления плана загрузки процессоров для поддержания этого коэффициента. Предложен соответствующий метод и алгоритм для мультипроцессорных систем критического назначения (системы слежения, наблюдения, прицеливания и т.п.).*

**Ключевые слова:** теория расписаний хост-процессор; мультипроцессорные системы; параллельная обработка; системы высокой готовности; критические системы.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-168-174

**Ссылка для цитирования:** Борзов Д.Б., Масюков И.И. Планирование загрузки процессоров в мультипроцессорных системах критического назначения // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 168-174.

\*\*\*

#### Введение

В критических мультипроцессорных системах (наблюдение, слежение, прицеливания, управляющие системы и т.п.) часто возникает необходимость моделирования решаемых задач. Применение для этих целей программных средств неприемлемо из-за временных ограничений, накладываемых мультипроцессорной системой и прогнозируемого роста аппаратной сложности мультипроцессорной системы при увеличении времени выполняемых задач [1-3].

Наибольшее распространение получило несколько алгоритмов планирования, к которым относятся алгоритмы «первым пришел, первым обслужен» и его модификация, в которой все процессы построены по циклической схеме, алгоритм гарантированного планирования и приоритетного планирования.

Описанные подходы являются узкоспециализированными и не подходят для применения в мультипроцессорных системах критического назначения. Вследствие этого, актуальным является поиск

соответствующего метода и алгоритма планирования загрузки.

Алгоритмы, соответствующие методы и устройства распараллеливания последовательных программ [4-6], как правило, не адаптированы для мультипроцессорных систем критического характера в связи с отсутствием учета числа процессоров мультипроцессорной системы, игнорированием приоритета команд и т.п. Более того, это приводит к увеличению времени выполнения всей задачи в целом и уменьшению производительности системы.

Таким образом, можно говорить об актуальности разработки метода, алгоритмов, ориентированных на их аппаратную реализацию, и соответствующих специализированных устройств планирования загрузки процессоров.

На основе вышесказанного можно сделать вывод об актуальности разработки метода и алгоритмов планирования загрузки процессоров. Работа основана на исследованиях [4-7].

#### Постановка задачи

Введем ряд обозначений и определений.

Проектом будем называть загрузку процессоров, ограниченных связностью данных работ. В данном случае задачей является построение расписания выполнения работ проекта с учетом возможности предшествования и ограничений на ресурсы (Resource-Constrained Project Scheduling Problem, RCPSP).

Алгоритм распределения построен на основе идей метода RCPSP теории расписаний (рис. 1) [8-10].

Алгоритм, представленный на рисунке 1а, состоит из трех операторов: 1, 2 и 3.

Хост-компьютером предусмотрен оператор 4, который должен быть выполнен вне зависимости от каких-либо условий.

Трудоёмкость вычислений сопоставляется с индивидуальным оператором. Это значение проставлено цифрой сверху над кружком с номером оператора.

В суммарной загрузке процессора четвертый оператор вычисляется индивидуально. Два варианта расписаний процессоров изображены на рисунках 1б и 1в. Расписание, показанное на рисунке 1б, равно одиннадцати и является неоптимальным. Данный вариант улучшается до девяти, как показано на рисунке 1в. Это возможно выполнить с помощью предложенного в данной статье метода плана загрузки процессоров.

Пусть даны задачи  $\{G_{nm}\} = \{1, \dots, n\}$  и  $P$  обновляемых ресурсов (процессоров) где  $k = 1, \dots, P$ . Считается, что в каждый момент времени  $t$  предоставляется  $P_k$  единиц ресурса  $k$ .

Пусть первоначально задана продолжительность обслуживания  $d_i \geq 0$  для любой задачи  $i = 1, \dots, n$ . В течение обработки задачи  $i$  необходимо  $q_{ik} \leq P_k$  единиц ресурса  $k = 1, \dots, P$ . После окончания решения всех задач, свободные в данный момент процессоры могут быть назначены на выполнение других.

Считаем, что пары задач связаны между собой соотношением предшествования:  $i \rightarrow j$  означает, что обработка задачи  $j$  начинается после окончания обработки задачи  $i$  на ветви  $Vr$ .

Считаем, что задачи обрабатываются с момента времени  $t = 0$  и при этом прерывание на обработку других задач запрещена.

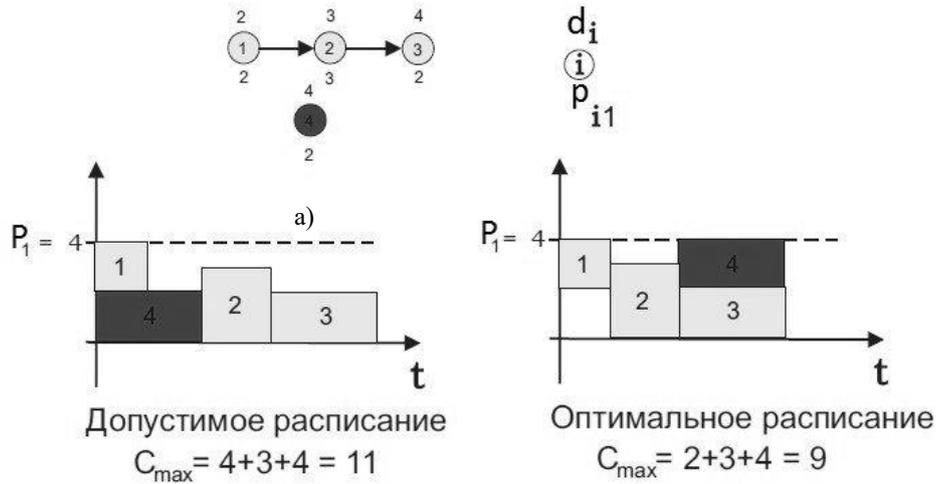


Рис. 1. Пример задачи составления оптимально расписания

Пусть необходимо определить время начала обработки задач  $S_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) таким образом, чтобы  $C_{\max} = \max_{i=1, \dots, n} \{C_i\}$  ( $C_i = S_i + d_i$ ) с учетом выполнения ограничений:

1) необходимо выполнение в произвольное время  $t \in [0, C_{\max})$  условия

$$\sum_{i=1}^n g_{ik} \varphi_i(t) \leq P_k, k=1, \dots, P, \text{ где } \varphi_i(t) = 1, \text{ если } i\text{-я задача обрабатывается в } t\text{-е время и}$$

$\varphi_i(t) = 0$  – в альтернативном случае. Таким образом, задачи в процессе вычисления необходимы быть обеспечены процессором  $P$ ;

2) между задачами не должно быть нарушено отношение предшествования, т.е.

$$S_i + d_i \leq S_j, \text{ если } i \rightarrow j \text{ для } i, j \in G.$$

Происходит распараллеливание для любого яруса  $Y_{ar}$ , из-за чего зависимость от  $V_r$  является минимальной.

#### Математическая модель и алгоритм

Представим множество  $\{G_{nm}\}$  как входную матрицу команд, состоящую из  $Y_{ar}$  и  $V_r$ .  $\{S_{so}\}$  состоит из  $Y_{ar_i}$ ,  $t_{ij}$  – плановый срок (момент времени, к которому  $i$ -я задача должна быть выполнена),

$\{S^k_{so}\}$  – множество  $\{S_{so}\}$ , ограниченное количеством процессоров  $\{P\}$ . Подмножество  $\{S^k_{p_i}\}$  устанавливает расписание команд для определенного  $P$ ,  $\{G'_{nm}\}$  – содержит план загрузки процессоров в мультипроцессорных критических системах.

Таким образом, алгоритм может быть описан следующей последовательностью шагов:

1. Получить граф  $YB$ .
2. Преобразовать граф  $YB$  в множество  $\{G_{nm}\}$ .
3. Разбить  $\{G_{nm}\}$  на подмножества  $\{S_{so}\}$ .
4. Отсортировать операции в подмножестве  $\{S_{so}\}$  по уменьшению  $t_{ij}$ .
5. Разбить подмножества  $\{S_{so}\}$  на  $\{S^k_{so}\}$ , где  $k=1 \dots m$ ,  $m$  – ограничение на количество процессоров.
6. Установить соответствие операций определенному процессору  $\{S^k_{p_i}\}$ ,  $k=1 \dots m$ .
7. На каждом временном отрезке множество  $\{S_{so}\}$  отсортировать по возрастанию  $t_{ij}$ .

8. При  $t = 0$  для процессора  $m$  загрузить операцию подмножества  $\{S^k_{p_i}\}$ .
  9. Записать в  $\{G'_{nm}\}$  новый результат.
  10. Повторять п. 5-9 пока  $\{S_{so}\} \neq \emptyset$ .
- Конец.

**Моделирование представленного метода и алгоритма**

Проведено моделирование разработанного метода и алгоритма с целью анализа скорости обработки задач на про-

цессорах мультипроцессорной системы (рис. 2) и увеличения количества процессоров при определенном количестве информации для одной последовательной ветви алгоритма задачи (рис. 3). Исследования проходили при исходных данных  $Yar = \{1...20\}$  и  $Br = \{1...20\}$ . Выбраны длительности операций для моделирования  $t = \{1...16\}$ , которые присваиваются произвольно.

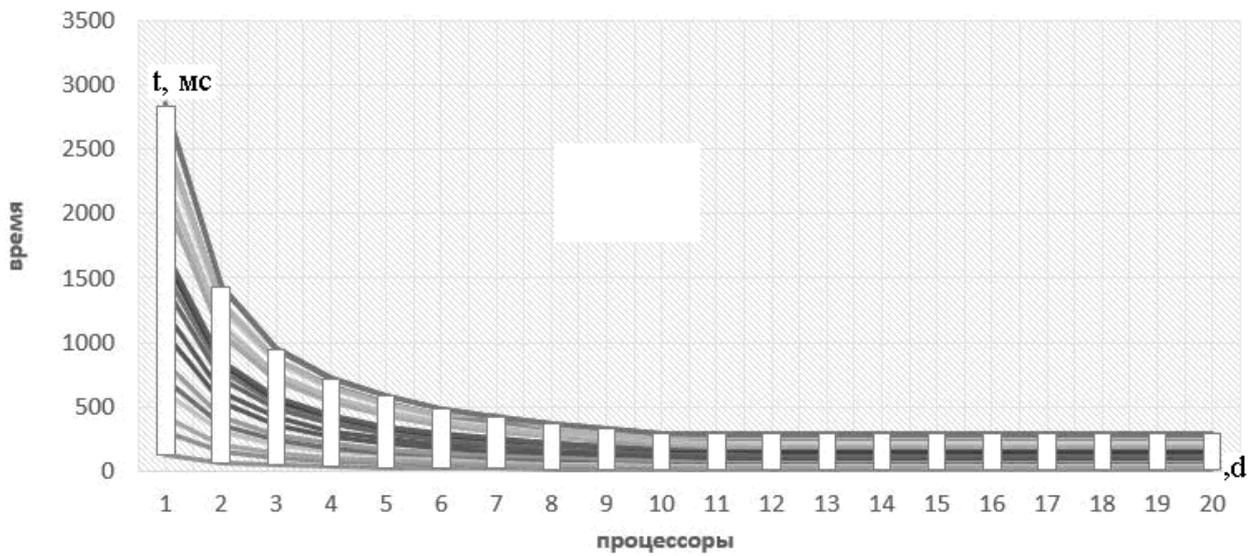


Рис. 2. График загрузки процессоров

График (см. рис. 2) показывает изменение времени  $d = \sum_{i=1}^n t_i$  в зависимости от количества процессоров. Анализ зависимости показывает, что изменение показателя  $d = [2; 4]$  уменьшает время выполнения в 5 раз, по сравнению с  $d = [1; 2]$  при последовательной обработке данных. Активность  $d = [10; 20]$  показывает наступление равенства во времени, причем дальнейшее увеличение процессоров не влияет на производительность мультипроцессорной системы. Это доказывает справедливость закона Амдала [7], который гласит, что решаемая задача с адап-

тированным для нее числом процессоров остается неизменной.

Программный код решаемой задачи состоит из двух частей: последовательной и распараллеливаемой. Доля операций, которые должны выполняться последовательно, обозначены  $f$ , где  $0 \leq f \leq 1$ . Доля, приходящаяся для распараллеливания, обозначается  $1 - f$  ( $f=0$ , если задачи распараллелены,  $f=1$ , если данные последовательны). Распараллеливаемая часть программы равномерно распределяется по всем процессорам.

С учетом этого имеем:

$$I_p = f \times I_s + \frac{(1 - f) \times I_s}{n} \tag{1}$$

В результате (1) получается формулировка Амдала, выражающая ускорение, которое может быть достигнуто для  $n$  процессоров:

$$S = \frac{T_s}{T_p} = \frac{n}{1 + (n-1) \times f}. \quad (2)$$

Если в (2) принять  $n \rightarrow \infty$ , получим:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} s = \frac{1}{f}. \quad (3)$$

Из (3) следует, что если в программе 10% последовательных операций ( $f=0,1$ ), то при любом числе процессоров, ускорение в 10 раз невозможно при пределе теоретической оценки, равной 10.

Распараллеливание ведет к издержкам, связанным с распределением задач по процессорам, и составление такого плана загрузки может загрузить систему так, чтобы освободить ресурсы для выполнения других задач.

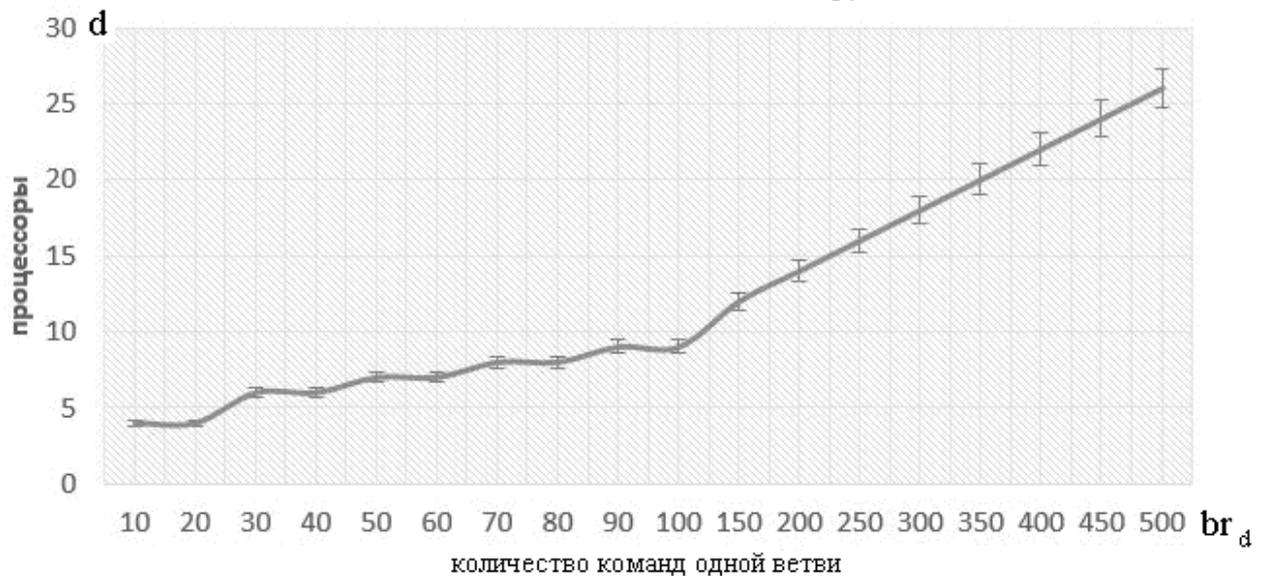


Рис. 3. График влияния команд одной ветви на количество процессоров

График (см. рис. 3) показывает необходимое и достаточное число процессоров для обработки определенного количества информации. Из анализа рисунка 4 можно заключить, что при изменении количества команд с 10 до 500, увеличение количества процессоров возрастает примерно в 6 раз, что является необходимым фактором для оптимальной загрузки.

### Выводы

Задача поиска необходимого и достаточного количества процессоров для обработки информации стоит в оптимизации загрузки процессоров на 70-80%. Данное исследование и предложенный

метод могут быть использованы для процессоров критических мультипроцессорных систем высокой готовности. Ресурсы хост-процессора могут быть использованы для поиска оптимально количества процессоров, необходимого для обработки информации, и при построении расписания исходя из ограниченности мультипроцессорных систем.

Основываясь на анализе проблемной области [7-10], можно сделать вывод, что задача оптимизации и ускорения работы процессоров в критических системах актуальна. Для решения задачи планирования загрузки процессоров в мультипроцессорной системе, в дальнейшем разра-

ботанные алгоритмы могут быть взяты за основу при построении специализированного вычислительного устройства [12], позволяющего оптимизировать как общее время исполнения, так и подобрать необходимое количество процессоров для максимальной нагрузки.

### Список литературы

1. Воеводин В.В. Параллельные вычисления. СПб.: БХВ – Петербург, 2002. 608 с.

2. Трахтенгерц Э.А. Введение в теорию анализа и распараллеливания программ ЭВМ в процессе трансляции. М.: Наука, 1981. 254 с.

3. Корнеев В.В. Параллельные вычислительные системы. М.: Нолидж, 1999. 340 с.

4. Дюбрюкс С.А., Борзов Д.Б. Метод выявления параллелизма внутри линейных участков последовательных программ и его аппаратная реализация // Известия вузов. Приборостроение. 2008. Т.2. С. 34–38.

5. Ткачев П.Ю., Борзов Д.Б. Метод и алгоритм поиска линейных участков внутри циклов с последующим распараллеливанием // Известия Юго-Западного государственного университета. 2015. №5(62). С. 16-21.

6. Борзов Д.Б., Дюбрюкс С.А., Титов В.С. Выявление параллелизма внутри линейных участков последовательных программ со связями по управлению // Машиностроение и техносфера XXI века: сборник трудов XIV Международной научно-технической конференции. Т2. Донецк, 2007. С. 26–30.

7. Бабаян Б.А., Бочаров А.В. Многопроцессорные ЭВМ и методы их проектирования / под ред. Ю.М. Смирнова. М.: Высшая школа, 1990. 142 с.

8. Танаев В.С., Ковалев М.Я. Теория расписаний. Групповые технологии. Минск: Институт технической кибернетики НАН Беларуси, 1998. 290 с.

9. Лазарев А.А., Гафаров Е.Р. Теория расписаний: задачи и алгоритмы. М., 2011. С.31-32.

10. Конвей Р.В., Максвелл В.Л., Миллер Л.В. Теория расписаний. М.: Наука, 1975. 365 с.

11. Антонов А. Под законом Амдала (рус.) // Компьютерра. 11.02.2002. № 430.

12. Амамия М., Танака Ю. Архитектура ЭВМ и искусственный интеллект. М.: Мир, 1993. 400 с.

*Поступила в редакцию 26.11.18*

UDC 681.3

**D.B. Borzov**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: borzovdb@kursknet.ru)

**I.I. Masyukov**, Post-Graduate Student, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: ilmas46ru@gmail.com)

### PLANNING OF DOWNLOAD PROCESSORS IN MULTIPROCESSOR SYSTEMS OF CRITICAL PURPOSE

*At present, multiprocessor systems of a critical nature are widely used. Such systems are used for tracking, aiming, observing, etc. Such tasks, as a rule, require maximizing productivity and reducing the time to solve a problem. For these purposes, the initial selection of non-dependent linear, conditional and cyclic sections of sequential programs is used [1]. This is done to release fragments of programs that can be assigned to execution on processors in such a way that during execution they exchange data with neighboring processors as little as possible*

[2]. Due to this, it is possible to partially improve the performance of a multiprocessor computing system, together with a decrease in the overall execution time of the entire task as a whole.

For systems of the considered nature of the processor of the entire system, it is desirable to assign program fragments so that they are constantly loaded throughout the solution of the entire problem. This is another way to improve the performance of a multiprocessor system. It is obvious that the use of software for this purpose is not real due to the criticality of the time parameter. Therefore, it is relevant to use methods and corresponding hardware-oriented algorithms for scheduling processor loads, which is the subject of research in this article.

The article shows the relevance of the constant loading of processors of multiprocessor systems with a high availability factor. The necessity of drawing up a plan for loading processors to support this coefficient is substantiated. An appropriate method and algorithm for multiprocessor systems for critical purposes (tracking systems, surveillance, aiming, etc.) are proposed.

**Key words:** scheduling theory; host processor; multiprocessor systems; parallel processing; high availability systems; critical systems.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-168-174

**For citation:** Borzov D.B., Masyukov I.I. Planning of Download Processors in Multiprocessor Systems of Critical Purpose. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 6(81), pp. 168-174 (in Russ.).

\*\*\*

## Reference

1. Voevodin V.V. Parallel'nye vychislenija. Saint-Petersburg, BHV – Peterburg Publ., 2002, 608 p.

2. Trahtengerc Je.A. Vvedenie v teoriju analiza i rasparallelivanija programm JeVM v processe transljaccii. Moscow, Nauka Publ., 1981, 254 p.

3. Korneev V.V. Parallel'nye vychislitel'nye sistemy. Moscow, Nolidzh Publ., 1999, 340 p.

4. Djubryuks S.A., Borzov D.B. Metod vyjavlenija parallelizma vnutri linejnyh uchastkov posledovatel'nyh programm i ego apparatnaja realizacija. *Izvestija vuzov. Priborostroenie*, 2008, vol. 2, pp. 34–38.

5. Tkachev P.Ju., Borzov D.B. Metod i algoritm poiska linejnyh uchastkov vnutri ciklov s posledujushhem rasparallelivaniem. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, no.5(62), pp. 16-21.

6. Borzov D.B., Djubryuks S.A., Titov V.S. Vyjavlenie parallelizma vnutri linejnyh uchastkov posledovatel'nyh pro-

gramm so svjazjami po upravleniju. Mashinostroenie i tehnosfera XXI veka. Sbornik trudov XIV Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. Doneck, 2007, vol. 2. pp. 26–30.

7. Babajan B.A., Bocharov A.V. Mnogoprocessornye JeVM i metody ih proektirovanija; ed. by Smirnov Ju.M. Moscow, Vysshaja shkola Publ., 1990, 142 p.

8. Tanaev V.S., Kovalev M.Ja. Teorija raspisanij. Gruppovyje tehnologii. Minsk, 1998, 290 p.

9. Lazarev A.A., Gafarov E.R. Teorija raspisanij: zadachi i algoritmy. Moscow, 2011, pp.31-32.

10. Konvej R.V., Maksvell V.L., Miller L.V. Teorija raspisanij. Moscow, Nauka Publ., 1975, 365 p.

11. Antonov A. Pod zakonom Amdala (rus.). *Komp'juterra*. 11.02.2002, no. 430.

12. Amamija M., Tanaka Ju. Arhitektura JeVM i iskusstvennyj intellekt. Moscow, Mir Publ., 1993, 400 p.

УДК 004.032.26

**В.П. Добрица**, д-р физ.-мат. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: dobritsa@mail.ru)

**Е.И. Горюшкин**, канд. пед. наук, доцент, Курский государственный медицинский университет (Россия, 305041, Курск, ул. К. Маркса, 3) (e-mail: goryushkin@list.ru)

## УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ УЧЕБНО-ВОСПИТАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

**Введение.** Использование средств информационно-коммуникационных технологий позволяет преподавателю актуализировать содержание обучения. Успешность учебного процесса во многом определяется от ИКТ-компетентности и ИКТ-грамотности преподавателя. В качестве одного из элементов информационно-коммуникационных технологий может быть использован интеллектуальный анализ данных на основе искусственных нейронных сетей. Основное направление применения тестов заключается в измерении уровня знаний учащихся. Большой объем накопленных результатов тестирования при должной обработке способен предоставить преподавателю дополнительные (скрытые) данные. Использование искусственной нейронной сети для анализа результатов тестирования дает возможность расширить исследуемое тестами направление. **Методы.** Теоретическая основа исследования базируется на комплексе научных положений отечественных и зарубежных ученых в области образования и искусственного интеллекта. Практические методы исследования основаны на эксперименте по созданию теста по информатике, тестировании студентов и накоплению полученных данных, а также их обработки смоделированной искусственной нейронной сетью. **Результаты.** В статье рассмотрен процесс анализа полученных результатов тестирования средствами программы SPSS STATISTICA 20. Был осуществлен поиск скрытых закономерностей теста, проверена достоверность полученных результатов. **Обсуждение.** Предложена возможность дальнейшего применения полученных результатов в управлении учебно-воспитательным процессом. Полученные результаты могут быть использованы для поиска и корректировки трудных или легких тестовых заданий, замены провальных тестовых заданий. У преподавателя появляется возможность перераспределить временной ресурс для изучения трудно усваиваемых тем, за счет легко усваиваемых. Предложена идея комплексного подхода по использованию искусственных нейронных сетей в образовании.

**Ключевые слова:** информационно-коммуникационные технологии; искусственная нейронная сеть; информатика; компетентность; тестирование.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-6-175-182

**Ссылка для цитирования:** Добрица В.П., Горюшкин Е.И. Управление качеством учебно-воспитательного процесса на основе анализа тестовых заданий с помощью искусственного интеллекта // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 175-182.

\*\*\*

### Введение

Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) тесно связаны с компьютеризацией общества. И чем сильнее этот процесс выражен, тем актуальнее и масштабнее выглядит использование ИКТ в повседневной жизни. В связи с чем, наиболее важно становится применение ИКТ в учебно-воспитательном процессе (в ФГОС закреплены рекомендации по использованию информационно-коммуникационных технологий в

преподавании). К нему относят: поиск необходимой информации в сети; использование 3D технологий для визуализации; интеллектуальный анализ данных; обучающие программы, тесты и т.д.

За основу термина «информационно-коммуникационные технологии» возьмем следующее определение. «Информационно-коммуникационные технологии представляют собой овладение технологией работы в интегрированной среде мультимедиа, реализующей дальнейшее развитие идеи ассоциативно связанной инфор-

мации, получаемой, обрабатываемой и предъявляемой в различных формах с учётом психолого – педагогических основ использования средств – ИКТ в учебном процессе» [5]. Уже сегодня термин ИКТ тесно связан с такими определениями, как ИКТ-компетентность преподавателя и ИКТ-грамотность.

«ИКТ-компетентность преподавателя развивается и формируется в процессе обучения, повышения квалификации и самообучения информатике как способность к выполнению педагогической деятельности с помощью информационно-коммуникационных технологий» [6].

Выбор вида ИКТ и способа дальнейшего его использования зависит от уровня грамотности преподавателя. Если говорить об информатике, то одними из основных элементов ИКТ будут выступать компьютерные элементы (группы компьютерных программ, сетевые ресурсы и т.д.) и различные виды тестирования (как компьютерного, так и на бумажном носителе). «Информатика – предметная область, где тестирование наиболее актуально и востребовано по ряду объективных причин» [2].

### Постановка задачи

Первоочередная задача тестирования – это проверка уровня знаний тестируемого в соответствующей области. Несмотря на то, что на сегодняшний день существует довольно большое разнообразие тестов (по целям, видам, формам, способам применения, роду деятельности и т.д.) направленных на изучение или измерение различных показателей, не следует упускать из вида и тот факт, что иногда сами тестовые задания не соответствуют поставленной цели. Например, изначальная трудность задания теста не

является объективной или само задание представляется малозначимым для текущего исследования (поиск скрытых закономерностей).

Одним из вариантов исправления данного факта может служить применение одного из видов интеллектуального анализа данных, а именно – с помощью искусственных нейронных сетей (ИНС).

Целью нашего исследования является использование искусственного интеллекта (искусственных нейронных сетей) для анализа полученных результатов тестирования и поиска скрытых взаимосвязей между элементами теста.

### Методы

Теоретическая основа исследования базируется на комплексе научных положений отечественных и зарубежных ученых в области образования и искусственного интеллекта. Практические методы исследования основаны на эксперименте по созданию теста по информатике, эмпирическом (тестировании студентов), статистическом (накоплении полученных данных и их обработка с помощью ИНС) анализе.

### Численное моделирование

На сегодняшний день искусственный интеллект проник во все сферы человеческой деятельности и широко используется в повседневной жизни, в том числе и в образовании [11].

Вопросы, связанные с искусственными нейронными сетями, рассматриваются в работах зарубежных (Р. Земел, Ф. Розенблатт, Д. Хинтон, Дж. Холанд, Д. Левитин [11], А. Урман [8] и др.) и отечественных (П.П. Кольцов, И.Б. Захарова [3], В.Г. Царегородцев, А.А. Павлюк [7], А.В. Усачев [9] и др.) ученых.

В Курском государственном медицинском университете тестам уделяется особое внимание. В качестве среды разработки и тестирования используется программа Adit Testdesk, позволяющая создавать различные виды тестов, легко вносить правки и изменения в них. Эти тесты применяются для анкетирования, проверки входного и выходного уровня знаний по отдельным дисциплинам и занятиям, в качестве контрольной проверки уровня знаний по разделам дисциплин и предэкзаменационной готовности студентов к экзаменам. По форме – это классические стандартные дисциплинарные тесты, т.к. они не требуют последующих доработок (в отличие от адаптивного тестирования). Таким образом, в университете накопилось множество данных результатов различных тестов. Однако редко кто из преподавателей обращает внимание на них и использует в своей дальнейшей деятельности. Раз в пару лет происходит обновление базы тестовых заданий. Но и тут преподаватели предпочитают не обращать внимание на результаты тестов (замену ряда заданий, их переформулирование и т.д.), а лишь расширяют базу заданий.

Не все полученные результаты представляют явные данные, на основании которых можно осуществлять дальнейшие действия. Некоторые из них требуют дополнительную обработку. Есть определенные статистические показатели, характеристики, формулы, позволяющие это осуществить.

В качестве примера рассмотрим тест по информатике для проверки полученных знаний на практическом занятии. Созданный тест состоит из 21 тестового задания нескольких видов (выбор одного правильного ответа; выбор нескольких

правильных ответов; заполнить пропуски, ранжирование, соответствие), посвященных изучению MS Excel. Некоторые из них приведены в таблице 1.

Таблица 1

Примеры тестовых заданий

УКАЖИТЕ ПРАВИЛЬНЫЙ ОТВЕТ КАКИЕ ИЗ НИЖЕПРИВЕДЕННЫХ АДРЕСОВ ЯЧЕЕК ЯВЛЯЮТСЯ ПРАВИЛЬНЫМИ? а) B1256 б) 123C в) B1A г) A12C	
ВЫБЕРИТЕ ПРАВИЛЬНЫЙ ОТВЕТ ИЗ СПИСКА ЕСЛИ НЕОБХОДИМО, ЧТОБЫ ССЫЛКИ В MS EXCEL НЕ ИЗМЕНЯЛИСЬ ПРИ КОПИРОВАНИИ ФОРМУЛЫ В ДРУГУЮ ЯЧЕЙКУ, НУЖНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ АДРЕСАЦИЮ.	
РАСПОЛОЖИТЕ В ПРАВИЛЬНОЙ (сверху вниз в убывающей) ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СИНТАКСИС ЛОГИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ «ЕСЛИ» логическое выражение; значение да; если( значение нет)	
УСТАНОВИТЕ СООТВЕТСТВИЕ МЕЖДУ ОСНОВНЫМИ ЛОГИЧЕСКИМИ ФУНКЦИЯМИ В ПРОГРАММЕ MS EXCEL И В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛОГИКЕ	
НЕ ИЛИ И	Конъюнкция Дизъюнкция Инверсия

Тестирование проводилось на лечебном факультете с количеством участников – 399 человек.

Для того чтобы найти связь и значимые элементы вопросов теста будем использовать один из методов data mining [10] – искусственные нейронные сети (ИНС). Среди основных преимуществ ИНС в диссертационном исследовании [1] были выделены следующие:

– возможность поиска нестандартного решения стандартных задач;

– одна нейронная сеть способна решать сразу несколько задач классификации или прогноза;

– нейронная сеть способна к обобщению, обучению и самообучению на основе полученных данных (в том числе по результатам тестирования).

Существует огромное количество классификаций ИНС (однослойные, многослойные, сеть Дж. Хопфилда, Т. Кохонена, полносвязные, слабосвязные и т.д.). При построении ИНС важно подобрать правильную структуру сети, количество слоев и нейронов. Однако не стоит забывать о второй важной составляющей – это обучение искусственной нейронной сети. Оно бывает с учителем (когда на вход подаётся вектор входных значений и соответствующий ему желаемый выходной вектор значений, на этих парах и происходит обучение – настройка весовых коэффициентов), без учителя (выходные значения формируются только на основе входных) и смешанное.

После того, как были получены результаты тестирования, найдем связь между вопросами теста и проверим их значимость. Для этого возьмем модуль программы SPSS STATISTICA 20 - Neural Networks, который содержит нелинейные процедуры моделирования на основе многослойного персептрона. Тип обучения, который там используется – с учителем, на основе алгоритма обратного распространения ошибок. Программа сама определяет архитектуру ИНС, однако частично есть возможность задать ее вручную, указав количество скрытых слоев и функцию активации [4].

Первое, что необходимо сделать в программе SPSS STATISTICA 20 – это

правильно обозначить шкалы входных данных. От этого зависит корректность дальнейших результатов. В нашем случае все шкалы были обозначены как номинальные и только результирующая – как порядковая. В ИНС был использован один входной, один скрытый и выходной слои. Весь набор данных был разделен на следующие подмножества: 60% данных определено в качестве обучающей выборки; 20% – в качестве контрольной; 20% – в качестве проверочной. После настройки параметров и запуска программы на анализ определения взаимосвязей с помощью нейронной сети (многослойный персептрон) были получены следующие результаты:

– для обработки наблюдений были использованы ответы 399 студентов, все они были признаны программой SPSS валидными. Для текущей модели были получены следующие величины (табл. 2). Полученная модель имеет лишь 7% неверных предсказаний в контрольной выборке, что характеризует ее как качественную. Уже в контрольной выборке она составила 6%, что говорит о хорошем результате и качественной полученной модели;

Таблица 2

## Сводка для модели

Обучающая	Ошибка суммы квадратов	2,293
	Процент неверных предсказаний	7
Контрольная	Ошибка суммы квадратов	2,313
	Процент неверных предсказаний	6%

– количество нейронов во входном слое – 42, в первом скрытом – 5, во втором скрытом – 4, а в выходном – 4;

– отдельное внимание необходимо уделить функциям активации (скрытых и выходных слоев) и ошибкам. От них зависит качество полученных результатов. В нашем случае были задействованы в качестве функций активации скрытых и выходного слоев – гиперболический тангенс, а в качестве ошибки – ошибка суммы квадратов отклонений;

– исследование величины показателя площади под ROC-кривой позволяет судить о достоверности исходных данных или полученных результатов. В нашем

случае, при рассмотрении кластеризации по оценкам, она варьируется от 0,975 до 0,999 что говорит об очень хорошей достоверности полученных данных;

– итоговое распределение нормализованной важности показало следующие значения (рис.). Согласно полученным данным можно сделать вывод о том, что нет сильного перекоса по величине важности тестовых заданий, следовательно, задания подобраны корректно. Однако можно выделить тестовые задания, которые были наиболее и наименее важны для исследования (ими оказались тестовые задания под номером 6 и 3).

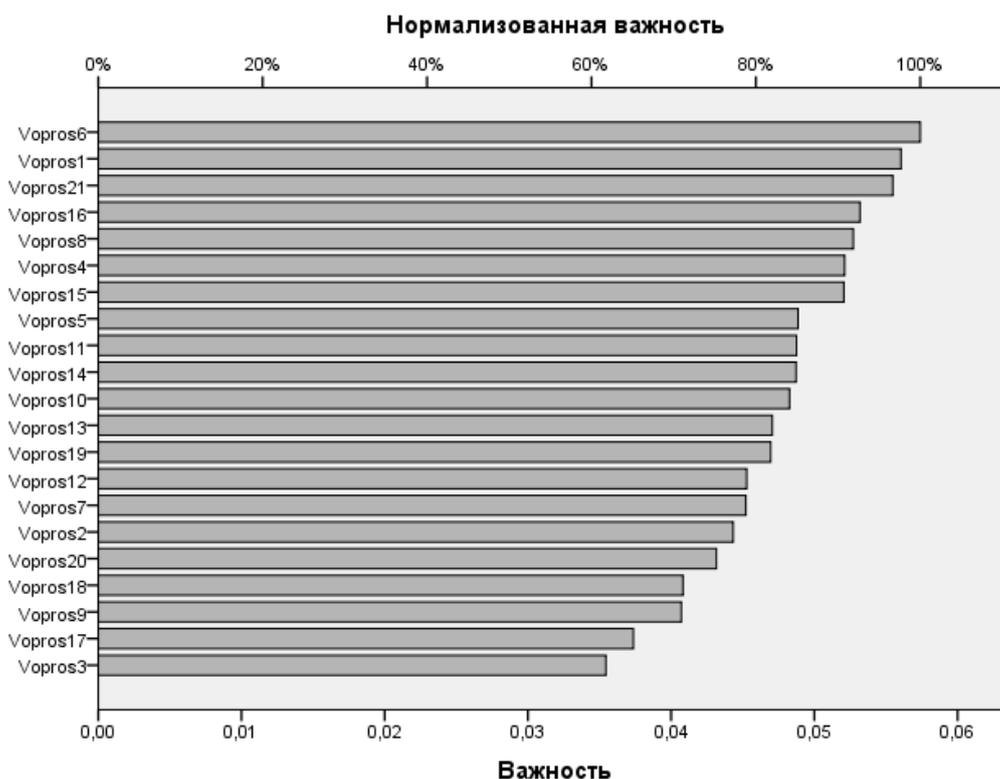


Рис. Итоговое распределение нормализованной важности тестовых заданий

## Обсуждение

В системе образования постоянно накапливается большой объем данных, которые могут быть как структурирова-

ны, так и разрознены. Способность их обработки предоставляет новые возможности по изменению процесса обучения. Одним из вариантов обработки этих данных выступает искусственный интеллект (в частности ИНС).

Представленный в статье подход по использованию искусственного интеллекта для поиска скрытых закономерностей тестовых заданий и оценки анализа достоверности полученных результатов позволяет улучшить качество учебно-воспитательного процесса. Это дает возможность перераспределять временной ресурс между темами.

В разрозненных исследованиях доказаны преимущества применения ИНС в образовании с целью улучшения качественных показателей.

Наблюдающаяся тенденция в системе западного образования по адаптации процесса обучения показывает комплексную возможность преимуществ использования ИНС в системе образования.

### Заключение

Таким образом, по результатам исследования можно говорить о следующих фактах:

- учебный процесс зависит от применения ИКТ и ИКТ-грамотности преподавателя;
- используя возможности программы SPSS STATISTICA 20 можно построить ИНС на примере классического персептрона для анализа данных;
- на примере применения ИНС для анализа данных результатов тестирования была подтверждена корректность подборки тестовых заданий;
- использование интеллектуального анализа данных в образовании позволяет расширить выбор стратегии построения образовательного процесса. Анализ этих данных может позволить:
- в ряде случаев уменьшить время тестирования, заменив классические тесты адаптивными;

- вносить корректировку в структуру изучения дисциплины (можно перераспределить временной ресурс для изучения трудно усваиваемых тем за счет легко усваиваемых);

- осуществлять индивидуальный подход на основе знаний, полученных ранее;

- находить и заменять «провальные» тестовые задания;

- изменять уровни трудности тестового задания.

### Список литературы

1. Горюшкин Е.И. Использование нейросетевых технологий в теории адаптивного тестирования по информатике в вузе: дис. ... канд.пед.наук. М., 2009. С. 174.
2. Горюшкин Е.И., Чистяков М.В. Роль информационно-коммуникационных технологий и ИКТ-компетентности преподавателя в процессе обучения медицинской информатике и информатике. Курск, 2016. Т. 2. С. 417-419.
3. Захарова И.Г., Плотоненко Ю.А., Тарасова О.В. Прогнозирование качества высшего образования на основе технологий машинного обучения // Информатизация непрерывного образования – 2018. М.: РУДН, 2018. Т.1. С. 60-64.
4. Модуль IBM SPSS Neural Networks. URL: [http://www.predictive.ru/software/neural\\_networks.htm](http://www.predictive.ru/software/neural_networks.htm).
5. Нестерова И.А. Информационно-коммуникативные технологии // Образовательная энциклопедия ODiplom.ru. URL: <http://odiplom.ru/lab/informacionno-kommunikativnye-tehnologii.html> (дата обращения: 03.09.2018)
6. Оразгалиева М.Д. Информационно-коммуникативные технологии в обра-

зовательном процессе. URL: [https:// infourok.ru/informacionnokommunikativnietechnologii-v-obrazovatelnom-processe-545531.html](https://infourok.ru/informacionnokommunikativnietechnologii-v-obrazovatelnom-processe-545531.html) (дата обращения: 03.09.2018)

7. Павлюк А.А. Система интеллектуального анализа данных для прогнозирования успешности учебной деятельности: дис. ... канд.техн.наук. М.: РГБ, 2005. 116 с.

8. Урман А. Нейросеть вместо преподавателя, игра вместо зубрежки: как искусственный интеллект изменит образование. URL: <https://knife.media/ai-education/> (дата обращения: 02.10.2018)

9. Усачев А.В. Нейросетевая мультилингвистическая система адаптивного обучения терминологической лексике: дис. ... канд.техн.наук. М.: РГБ, 2005. 158 с.

10. Чубукова И.А. Data Mining. М.: НОУ «Интуит», 2016. 471 с.

11. Daniel J Levitin Q&A. Why the modern world is bad for your brain. URL: <https://www.theguardian.com/science/2015/jan/18/modern-world-bad-for-brain-daniel-j-levitin-organized-mind-information-overload> (дата обращения: 04.10.2018)

Поступила в редакцию 26.10.18

---

UDC 004.032.26

**V.P. Dobritsa**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: [dobritsa@mail.ru](mailto:dobritsa@mail.ru))

**E.I. Goryushkin**, Candidate of Pedagogical Science, Associate Professor, Kursk State Medical University (Russia, 305041, Kursk, K. Marksa str., 3) (e-mail: [goryushkin@list.ru](mailto:goryushkin@list.ru))

## QUALITY MANAGEMENT OF THE EDUCATIONAL PROCESS ON THE BASIS OF THE ANALYSIS OF TEST TASKS BY USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

*Introduction. The use of information and communication technologies allows the teacher to update the content of training. The success of the educational process is largely determined by the ICT competence and ICT literacy of the teacher. Data mining based on artificial neural networks can be used as one of the elements of information and communication technologies. The main direction of application of tests is to measure the level of knowledge of students. A large amount of accumulated test results with proper processing can provide the teacher with additional (hidden) data. The use of an artificial neural network for the analysis of test results makes it possible to expand the direction of the tests. Methods. The theoretical basis of the study is based on a complex of scientific statements of domestic and foreign scientists in the field of education and artificial intelligence. Practical research methods are based on an experiment in creating a test in computer science, testing students and accumulating data, as well as their processing simulated artificial neural network. Results. The article describes the process of analyzing the results of research using the SPSS STATISTICA 20 programs. The search for hidden patterns of the test was carried out, the reliability of the results obtained was verified. Discussion. There was suggested the possibility of further application of the results obtained in the educational process. The results obtained can be used to search for and correct difficult or easy test items, and to replace failed test tasks. The teacher has the opportunity to redistribute the time resource for the study of difficult digestible topics, due to easily digestible. The idea of an integrated approach to the use of artificial neural networks in education is proposed.*

**Key words:** information and communication technologies; artificial neural networks; computer science; competence; testing.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-175-182

**For citation:** Dobritsa V.P., Goryushkin E.I. Quality Management of the Educational Process on the Basis of the Analysis of Test Tasks by Using Artificial Intelligence. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 6(81), pp. 175-182 (in Russ.).

\*\*\*

## Reference

1. Gorjushkin E.I. Ispol'zovanie nejrosetevykh tehnologij v teorii adaptivnogo testirovanija po informatike v vuze. Diss. kand.ped.nauk. Moscow, 2009, p. 174.
2. Gorjushkin E.I., Chistjakov M.V. Rol' informacionno-kommunikacionnykh tehnologij i IKT-kompetentnosti prepodavatelja v processe obuchenija medicinskoj informatike i informatike. Kursk, 2016, vol. 2, pp. 417-419.
3. Zaharova I.G., Plotonenko Ju.A., Tarasova O.V. Prognozirovanie kachestva vysshego obrazovanija na osnove tehnologij mashinnogo obuchenija. Informatizacija nepreryvnogo obrazovanija – 2018. Moscow, RUDN Publ., 2018, vol.1, pp. 60-64.
4. Modul' IBM SPSS Neural Networks. URL: [http://www.predictive.ru/software/neural\\_networks.htm](http://www.predictive.ru/software/neural_networks.htm)
5. Nesterova I.A. Informacionno-kommunikativnye tehnologii. Obrazovatel'naja jenciklopedija ODiplom.ru. URL: <http://odiplom.ru/lab/informacionno-kommunikativnye-tehnologii.html> (data obrashhenija: 03.09.2018).
6. Orazgalieva M.D. Informacionno-kommunikativnye tehnologii v obrazovatel'nom processe. URL: <https://infourok.ru/informacionnokommunikativnie-tehnologii-v-obrazovatel'nom-processe-545531.html> (data obrashhenija: 03.09.2018)
7. Pavljuk A.A. Sistema intellektual'nogo analiza dannykh dlja prognozirovaniya uspešnosti uchebnoj dejatel'nosti. Diss. kand.ped.nauk. Moscow, 2005, 116 p.
8. Urman A. Nejroset' vmesto prepodavatelja, igra vmesto zubrezhki: kak iskusstvennyj intellekt izmenit obrazovanie. URL: <https://knife.media/ai-education/> (data obrashhenija: 02.12.2018)
9. Usachev A.V. Nejrosetevaja multilingvističeskaja sistema adaptivnogo obuchenija terminologičeskoj leksike. Diss. kand.ped.nauk. Moscow, 2005, 158 p.
10. Chubukova I.A. Data Mining. Moscow, 2016, 471 p.
11. Daniel J Levitin Q&A. Why the modern world is bad for your brain. URL: <https://www.theguardian.com/science/2015/jan/18/modern-world-bad-for-brain-daniel-j-levitin-organized-mind-information-overload> (data obrashhenija: 04.10.2018)

УДК 004.9

**В.С. Панищев**, канд. техн. наук, с.н.с., Центр информационных технологий в проектировании Российской Академии наук (Россия, 143000, Одинцово, Московская обл., ул. Маршала Жукова, 30а) (e-mail: gskunk@yandex.ru)

## АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПИКСЕЛЕЙ ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

*В работе рассмотрен алгоритм восстановления изображений, поврежденных в результате воздействия шумов различной природы. Отмечены преимущества и недостатки существующих подходов, а также перспективность использования искусственных нейронных сетей. В качестве инструмента восстановления изображения используется двухслойная нейронная сеть, при этом предполагается, что расположение поврежденных пикселей известно. Нейрон представлен в виде массива 3x3, где каждый элемент массива имеет значение цвета пикселя, которое соответствует значению данного цвета в палитре. Нейросеть обучается на неповрежденных изображениях, при этом в качестве критерия обучения выступает цветовая разница пикселей. Для более точного восстановления рекомендовано на этапе обучения подбирать изображения, схожие по гамме цветов с поврежденным. На этапе восстановления вокруг поврежденных пикселей формируются нейроны (3x3), так что поврежденный пиксель находится посередине массива данных нейрона. Поврежденному пикселю в зависимости от среднего значения матрицы весов присваивается значение нейрона. Разработан алгоритм восстановления пикселей, а также выполнена его программная реализация. Моделирование проводилось в палитре RGB отдельно по каждому каналу. Для оценки качества восстановления были подобраны группы изображений с различной степенью повреждений. В отличие от существующих решений алгоритм обладает простотой реализации. Результаты исследования свидетельствуют, что независимо от степени повреждения (в пределах 50%), восстанавливаются около 70% поврежденных пикселей. Дальнейшие исследования предполагают модификацию алгоритма для восстановления изображений с увеличенными областями повреждений, а также адаптацией его для восстановления трехмерных изображений.*

**Ключевые слова:** обработка изображений; восстановление; фильтрация; нейронная сеть; сравнение изображений.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-183-188

**Ссылка для цитирования:** Панищев В.С. Алгоритм восстановления пикселей изображения на основе нейронной сети // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 183-188.

\*\*\*

### Введение

Вопросы восстановления поврежденных пикселей на изображениях широко представлены в литературе [1-6] и, как правило, решаются применением различных алгоритмов фильтрации для устранения шумов на изображениях. При этом используется два подхода: 1) расчет и применение фильтров подавления шумов; 2) локализация поврежденных пикселей и их восстановление. Преимуществом второго подхода является сохранение неповрежденных частей изображения [2, 3].

Существует достаточно много алгоритмов восстановления поврежденных пикселей с известным расположением,

рассмотренных в литературе, в частности восстановление по ближайшим соседям (тот же принцип используется при интерполяции изображений), медианная фильтрация, усредняющие фильтры, нейросетевые алгоритмы [1-6]. В качестве недостатков использования фильтров дополнительно отмечают неравномерность заполнения областей, нарушение структуры границ, сглаживание границ. При этом, одним из наиболее перспективных решений области является использование искусственных нейронных сетей [1-3, 7-9].

### Постановка задачи

Задачей исследования является разработка алгоритма восстановления избоб-

ражений, поврежденных в результате воздействия шумов. Для решения этой задачи в статье использован нейросетевой подход.

#### **Алгоритм восстановления повреждённых пикселей на основе нейронной сети**

В общем случае, сеть состоит из произвольного количества слоев нейронов. Нейроны каждого слоя соединяются с нейронами предыдущего и последующего слоев по принципу «каждый с каждым» (рассматриваем полносвязную структуру) [10]. Первый слой является входным, внутренние слои – скрытыми, последний – выходным. Количество нейронов в слоях определяется областью восстановления. Обычно во всех скрытых слоях одинаковое количество нейронов. Обозначим количество слоев и нейронов в слое. Входной слой:  $N_i$  нейронов;  $N_h$  нейронов в каждом скрытом слое;  $N_o$  выходных нейронов:  $x$  – вектор входных сигналы сети,  $y$  – вектор выходных сигналов.

Для исследования использовалась двухслойная нейронная сеть. Нейрон представлен в виде массива  $3 \times 3$ , где каждый элемент массива имеет значение цвета пикселя, которое соответствует значению данного цвета в палитре.

Первое значение матрицы данных нейрона сравнивается с первым другого нейрона, второй со вторым и так пока не сравнятся все значения, причём среднее значение матриц данных не учитывается. После сравнения мы получаем проценты различия между значениями, которые записываются в матрицу весов. Чем больше итераций обучения произойдет, тем лучше обучится сеть, и меньшими будут показатели в матрице весов.

Матрица весов показывает, насколько точно совпадение можно найти в

обученной сети. То есть при дальнейшем восстановлении будет подбираться именно такая точность.

При обучении выбирался произвольный нейрон (первый слой) и сравнивался поочередно с другими нейронами (второй слой), а именно, сравниваются данные, хранящиеся в нейронах. Это происходит по формуле

$$Wn = \frac{c_{1n} - c_{2n}}{256} \times 100\%,$$

где  $c_{1n}$  – цвет первого пикселя нейрона 1;  $c_{2n}$  – цвет первого пикселя нейрона 2;  $Wn$  – вес (процент сходства по цвету); 256 – максимальное кол-во цветов файла.

После сравнения мы получаем массив весов. Для каждого массива высчитывается средний вес. Расчет производится по формуле

$$W_{cp} = \frac{\sum_{i=0}^m (W_i)}{256},$$

где  $m=8$  (поскольку рассматриваем окно  $3 \times 3$ ),  $W_i$  –  $i$ -й вес нейрона, полученный при сравнении нейронов первого и второго слоя, 256 – количество цветов (моделирование проводилось в палитре RGB отдельно по каждому каналу).

Обучение проводится по любому изображению, но для более точного восстановления стоит подбирать изображения, схожие по гамме цветов с повреждённым.

Восстановление. Вокруг поврежденных пикселей создаются нейроны ( $3 \times 3$ ), так что поврежденный пиксель находится посередине массива данных нейрона, эти нейроны будут составлять первый слой нейронной сети. Оставшееся изображение делится на нейроны с данными такого же типа, они будут составлять второй слой нейронной сети. Данные, хранящиеся в нейронах, равны соответствующим цветам из палитры.

Далее веса нейронов с поврежденными пикселями (первый слой) сравниваются с весами нейронов второго слоя и если различие меньше или равно среднему значению матрицы весов, то поврежденному пикселю присваивается значение центрального нейрона сравниваемого изображения, если же после того, как

блок с битым пикселем была сравнена со всеми картами сети и различие между ними были больше среднего значения матрицы весов, то поврежденному пикселю присваивается значение центрального нейрона с наименьшим различием.

На рисунке 1 показан алгоритм восстановления изображения.

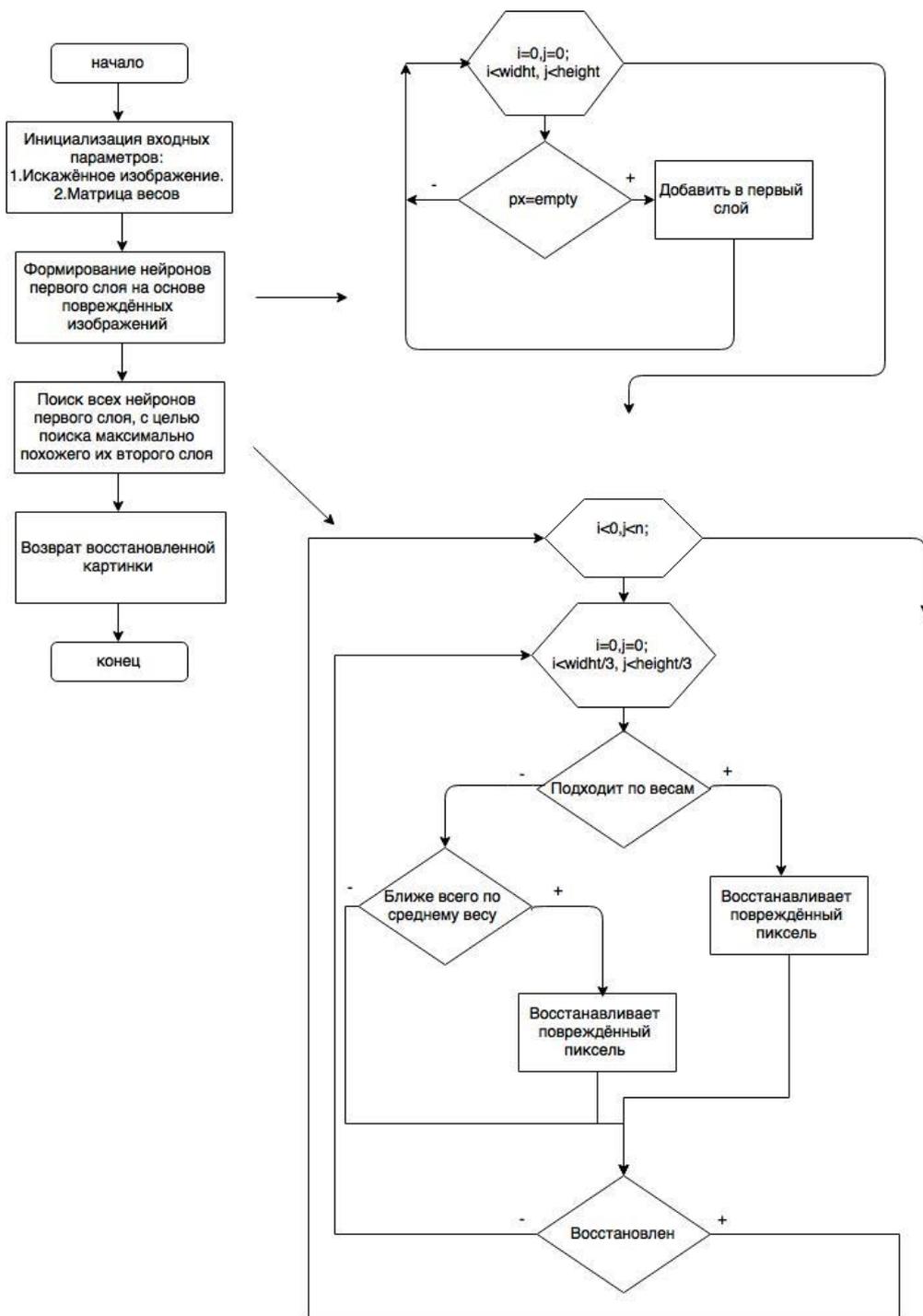


Рис. 1. Алгоритм восстановления повреждённых пикселей на основе нейронной сети

На основе разработанного алгоритма была написана программа для восстановления поврежденных пикселей с известным расположением на основе нейронной сети.

### Моделирование

Для оценки качества восстановления были подобраны 4 группы разных изображений. Первая группа изображений была

повреждена на 10%, вторая – на 25%, третья – на 40%, и четвертая – на 55%.

После восстановления предложенным методом между восстановленными изображениями и исходными был проведен сравнительный анализ. Результаты анализа сведены в таблицу. На рисунке 2 приведены гистограммы восстановления наиболее поврежденного изображения.

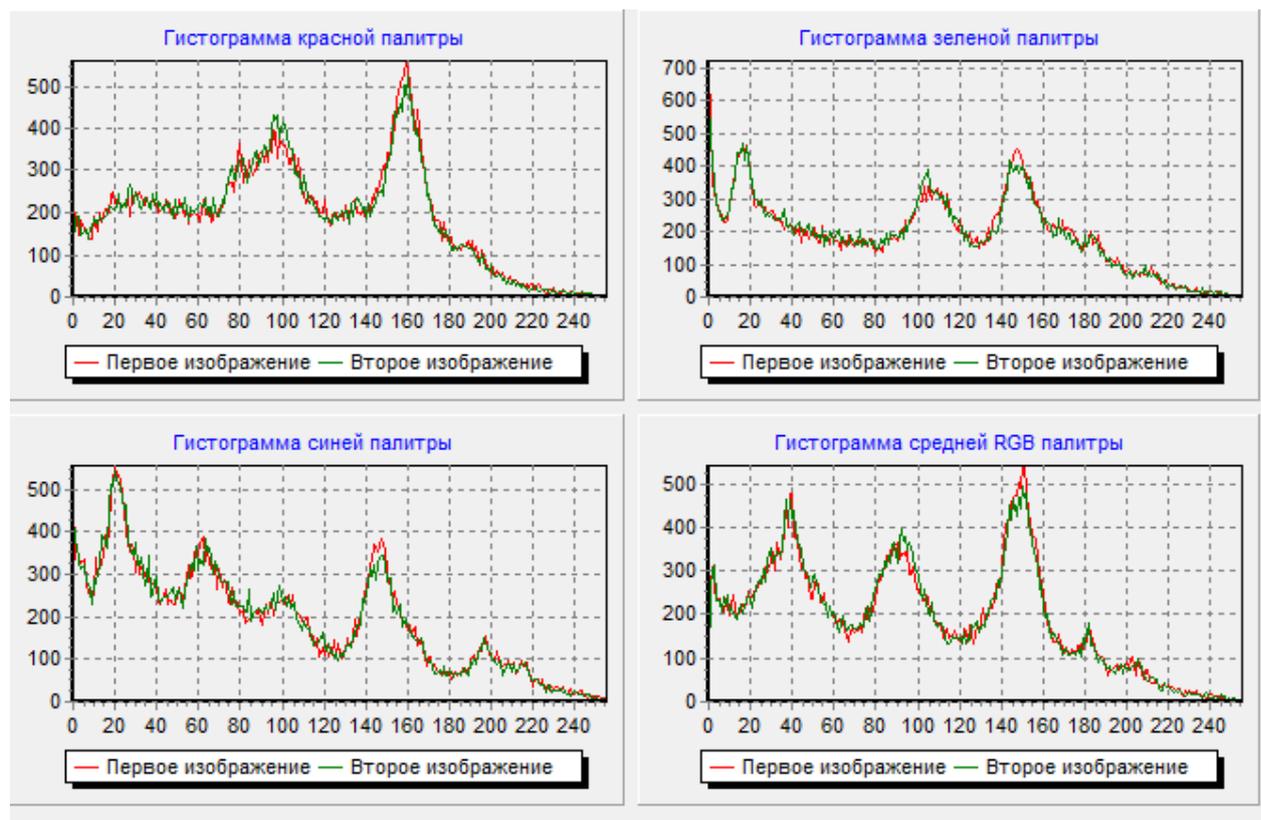


Рис. 2. Гистограммы сравнения наиболее восстановленного изображения с соответствующим исходным

### Результаты исследования

№ изображения	1	2	3	5
Повреждения, %	10	25	40	55
Схожесть с исходным изображением, %	97	92	88	83
Средний процент восстановления, %	70	68	72	69

При повреждении изображения на 55%, результат работы алгоритма схож с

исходным изображением на 83%, что свидетельствует о том, что успешно восстановлено 69% повреждённых пикселей. Экспертные оценки качества подтверждают улучшение изображения. Опираясь на полученные в ходе исследования данные, можно сделать вывод, что при повреждении изображения в пределах 50%, восстанавливается около 70% повреждённых пикселей, что свидетельствует о стабильной работе алгоритма.

Улучшение качества работы алгоритма возможно при использовании комбинированных подходов [2- 4, 7-9]. Дальнейшие исследования алгоритма будут связаны с модификацией алгоритма для восстановления изображений с увеличенными областями повреждений, а также анализом применимости при восстановлении трехмерных изображений.

#### Благодарности

*Работа выполнена в рамках темы 0071-2018-001.*

#### Список литературы

1. Gonzalez R. C., Woods R. E. Digital Image Processing, 4th ed. / Pearson/Prentice Hall, NY, 2018, 1168 p.
2. Белим С. В., Селиверстов С. А. Алгоритм восстановления поврежденных пикселей на зашумленных изображениях на основе метода анализа иерархий // Наука и Образование: электрон. журн. 2014. № 11. С. 521-534.
3. Белим С. В., Майоров-Зильбернагель А. О. Алгоритм поиска поврежденных пикселей и удаления импульсного шума на изображениях с использованием метода ассоциативных правил // Наука и Образование: электрон. журн. 2014. № 12. С. 128-136.
4. Chan R., Ho C., Nikolova M. Salt-and-pepper noise removal by median-type noise detectors and detail-preserving regularization // IEEE Transactions on Image Processing. 2005. Vol. 14, no. 10. P. 1479 - 1485.
5. Sonka M., Hlavac V., Boyle R. Image Processing, Analysis, and Machine Vision. 1st ed. Cambridge., 2008. 920 p.
6. Kam H.S., Tan W.H. Noise detection fuzzy (NDF) filter for removing salt and pepper noise // In: Zaman H.B., Robinson P., Petrou M., Olivier P., Schrder H., Shih T.K., eds. Visual Informatics: Bridging Research and Practice. Springer Berlin Heidelberg, 2009. P. 479-486.
7. Ларионов И.Б. Карты Кохонена как способ восстановления мультимедийной информации // Журнал Радиоэлектроники. 2010. №10.
8. Yoav Goldberg. Neural Network Methods in Natural Language Processing, 2017, 310 P.
9. Петрияненко Т.М., Чернышева М. И., Чернышев Д. Н. Комбинированные методы на основе двумерных Фурье и вейвлет-преобразований при анализе цветных изображений // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2016. №3 (20). С.13-19.
10. Tariq Rashid Make Your Own Neural Network. Kindle Edition, 2016. 252 pp.

*Поступила в редакцию 21.11.18*

UDC 004.9

**V.S. Panishchev**, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, Design Information Technologies Center of Russian Academy of Sciences (Russia, 143000, Odintsovo, Moscow region, Marshal Zhukov str., 30a) (e-mail: info@ditc.ras.ru)

#### **AN ALGORITHM FOR THE RESTORATION OF PIXELS IMAGE BASED ON THE NEURAL NETWORK**

*In work the algorithm of restoration of the images damaged as a result of influence of noise of various nature is considered. The advantages and disadvantages of the existing approaches, as well as the prospects of using artificial*

neural networks, are noted. A double-layer neural network is used as an image restoration tool, and it is assumed that the location of the damaged pixels is known. A neuron is represented as a 3x3 array, where each element of the array has a pixel color value that corresponds to the value of that color in the palette. The neural network is trained on intact images, while the color difference of pixels acts as a learning criterion. For a more accurate restoration, it is recommended at the training stage to select images similar in color to damaged ones. At the recovery stage, neurons (3x3) are formed around the damaged pixels, so that the damaged pixel is located in the middle of the neuron data array. The damaged pixel is assigned a neuron value depending on the average value of the weights matrix. An algorithm for the restoration of pixels, as well as its software implementation. The simulation was carried out in the RGB palette separately for each channel. To assess the quality of the recovery were selected groups of images with varying degrees of damage. Unlike existing solutions, the algorithm has the simplicity of implementation. The research results show that regardless of the degree of damage (within 50%), about 70% of damaged pixels are restored. Further studies suggest a modification of the algorithm to restore images with enlarged areas of damage, as well as adapting it to restore three-dimensional images.

**Key words:** image processing; restoration; filtering; neural network; image comparison.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-183-188

**For citation:** Panishchev V.S. An Algorithm for the Restoration of Pixels Image Based on the Neural Network. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 6(81), pp. 183-188 (in Russ.).

\*\*\*

## Reference

1. Gonzalez R. C., Woods R. E. Digital Image Processing, 4th ed. Pearson/Prentice Hall, NY, 2018, 1168 p.
2. Belim S. V., Seliverstov S. A. Algoritm vosstanovlenija povrezhdennykh pikselej na zashumlennykh izobrazhenijah na osnove metoda analiza ierarhij. *Nauka i Obrazovanie*, 2014, no. 11, pp. 521-534.
3. Belim S. V., Majorov-Zil'bernagel' A. O. Algoritm poiska povrezhdennykh pikselej i udalenija impul'snogo shuma na izobrazhenijah s ispol'zovaniem metoda asociativnykh pravil. *Nauka i Obrazovanie*, 2014, no. 12, pp. 128-136.
4. Chan R., Ho C., Nikolova M. Salt-and-pepper noise removal by median-type noise detectors and detail-preserving regularization. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2005, vol. 14, no. 10, pp. 1479 - 1485.
5. Sonka M., Hlavac V., Boyle R. Image Processing, Analysis, and Machine Vision. 1st ed. Cambridge, 2008, 920 p.
6. Kam H.S., Tan W.H. Noise detection fuzzy (NDF) filter for removing salt and pepper noise. In: Zaman H.B., Robinson P., Petrou M., Olivier P., Schrder H., Shih T.K., eds. Visual Informatics: Bridging Research and Practice. Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 479-486.
7. Larionov I.B. Karty Kohonena kak sposob vosstanovlenija mul'timedijnoj informacii. *Zhurnal Radioelektroniki*, 2010, no.10.
8. Yoav Goldberg. Neural Network Methods in Natural Language Processing, 2017, 310 p.
9. Petrijanenko T.M., Chernysheva M.I., Chernyshev D. N. Kombinirovannye metody na osnove dvumernykh Fur'ei vejvlet-preobrazovanij pri analize cvetnykh izobrazhenij. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie*, 2016, no.3 (20), pp.13-19.
10. Tariq Rashid Make Your Own Neural Network. Kindle Edition, 2016, 252 pp.

УДК 004.9

**Е.С. Сирота**, канд. мед. наук, с.н.с., ФГБУН "Центр информационных технологий в проектировании Российской академии наук" (Россия, 143000, Одинцово, Московская обл., ул. Маршала Жукова, 30а) (e-mail: info@ditc.ras.ru)

**М.И. Труфанов**, канд. техн. наук, с.н.с., ФГБУН "Центр информационных технологий в проектировании Российской академии наук" (Россия, 143000, Одинцово, Московская обл., ул. Маршала Жукова, 30а) (e-mail: info@ditc.ras.ru)

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ ПАЦИЕНТА ПО ДАННЫМ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОГО И КОМПЬЮТЕРНОГО ТОМОГРАФОВ**

*В работе представлены алгоритм и структурно-функциональная организация устройства для визуализации внутренних органов на основе построения объемной модели анализируемого пространства посредством анализа данных магнитно-резонансных и компьютерных томографов. Принцип обработки томографических изображений базируется на разделении органов и тканей внутрибрюшной полости на основе выделения их контуров на отдельных оптических срезах и последующем объединении контуров отдельных объектов на смежных оптических срезах в единые объекты. Для отнесения ткани к одному из априори заданных классов биологических объектов используется информация о распределении локальных спектральных характеристик участка изображения, уточняемая адаптивно с учетом параметров текущих обрабатываемых изображений. Разработанное решение позволяет осуществлять ввод данных, оценку статистических характеристик распределения шума, оценку яркости, оценку разрешающей способности приборов, обеспечивших получение томографических изображений; предварительную сегментацию объектов; вычисление порогов адаптивной пороговой обработки границ сегментов и построение контуров; анализ связности и непрерывности контуров на отдельных кадрах и на смежных кадрах; отображение объектов с использованием алгоритмов и библиотек трехмерной графики.*

*Отличительной особенностью предложенного метода является повышенная точность локализации объектов за счет предварительной декомпозиции объектов с учетом их локальных свойств и уточняющего вычисления порога, определяющего границы областей изображения, соответствующих различным биологическим структурам. Разработан макет программного обеспечения для проверки разработанных алгоритмов синтеза биологических объектов внутрибрюшного пространства. Выполненные экспериментальные исследования построения рабочей сцены внутрибрюшного пространства подтвердили адекватность созданных теоретических подходов и алгоритмического обеспечения. Предложено специализированное устройство, позволяющее реализовать предложенный алгоритм на аппаратном уровне. Разработанные технические решения могут быть использованы для подготовки и визуализации данных при диагностике и планировании операций в хирургии.*

**Ключевые слова:** обработка изображений; хирургия; модель; роботоассистированный; контурный анализ; сегментация.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-189-197

**Ссылка для цитирования:** Сирота Е.С., Труфанов М.И. Разработка алгоритмического обеспечения и специализированного устройства для визуализации внутренних органов пациента по данным магнитно-резонансного и компьютерного томографов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 189-197.

\*\*\*

### **Введение**

Основным направлением развития методов и средств совершенствования средств повышения качества проведения хирургических операций в различных областях медицины является внедрение информационных технологий для формиро-

вания признаков и решения задач диагностики [1-4]. Важной задачей в этой сфере является построение и визуализация объемных сцен, отображающих расположение внутренних органов и тканей и позволяющих врачу с большей наглядностью выполнить диагностику состояния паци-

ента или разработать план хирургического вмешательства [4-8].

К настоящему времени в некоторой степени развиты зарубежные средства автоматизации анализа томографических данных, позволяющие визуализировать анализируемое внутреннее пространство для диагностических целей. Однако, как правило, данные средства не удовлетворяют объективным потребностям по точности локализации органов, или требуют использования значительных вычислительных ресурсов. Кроме того, данные программные средства весьма дороги для российского потребителя.

Так, например, существует способ для генерации двумерных и трехмерных карт на основе данных магнитно-резонансного томографа [9], особенностью которого является извлечение данных о пикселях (вокселях) посредством анализа уровня сигнала магнитно-резонансных изображений. Недостатком данного метода является недостаточная точность трехмерной реконструкции внутренних органов.

Другим типичным представителем известных решений является способ и устройство [10] для автоматизированной обработки изображений мозга. Недостатками данного решения являются малое быстродействие устройства и низкая точность построения модели пространства, что весьма важно для синтеза качественной объемной модели для задач традиционной и роботизированной хирургии.

Анализ других зарубежных научно-технических источников в данной предметной области в целом подтверждает недостатки, представленные на примере двух вышеуказанных технических решений. Отечественные программные средства практически не развиты, или же

обеспечивают решение лишь частных задач [11, 12].

### **Постановка задачи**

Таким образом, очевидна необходимость создания алгоритмического, программного обеспечения и специализированного устройства, которые позволят реализовать посредством анализа томографических изображений качественную, с точки зрения точности локализации внутренних органов, визуализацию внутрибрюшного пространства.

### **Метод решения**

Предлагаемое решение позволяет синтезировать объемную модель внутрибрюшного пространства для задач диагностики и оперативного вмешательства. Отличительной особенностью разработанного алгоритма является возможность работы не только с томографическими данными, полученными магнитно-резонансным томографом, но и с компьютерным томографом. При этом, по сравнению с аналогами, разработанный алгоритм обеспечит более высокую точность локализации границ поверхностей внутренних органов.

Метод решения основан на анализе серий томографических изображений и визуализации изображений биологических объектов.

Разработанный метод включает следующие основные этапы обработки:

- ввод исходных данных и оценку статистических характеристик распределения шума, оценку яркости, оценку разрешающей способности приборов, обеспечивших получение томографических изображений;
- предварительную сегментацию объектов на каждом кадре для оценки

общего количества классов сегментированных объектов, которые далее будут использованы для декомпозиции областей изображений на отдельные ткани всех кадров. Это сократит объем вычислений и при этом позволит реализовать необходимую точность за счет того, что будут далее обработаны только те объекты, которые присутствуют на большей части кадров;

– вычисление порогов адаптивной пороговой обработки границ сегментов и

построение контуров, описывающих границы тканей и органов на изображениях;

– анализ связности и непрерывности контуров на отдельных кадрах и на смежных кадрах, определяющих изменение формы органа в объеме анализируемой области (как правило, внутрибрюшной полости);

– отображение объектов с использованием алгоритмов и библиотек трехмерной графики.

Рассмотрим более подробно блоки алгоритма обработки изображений (рис. 1).

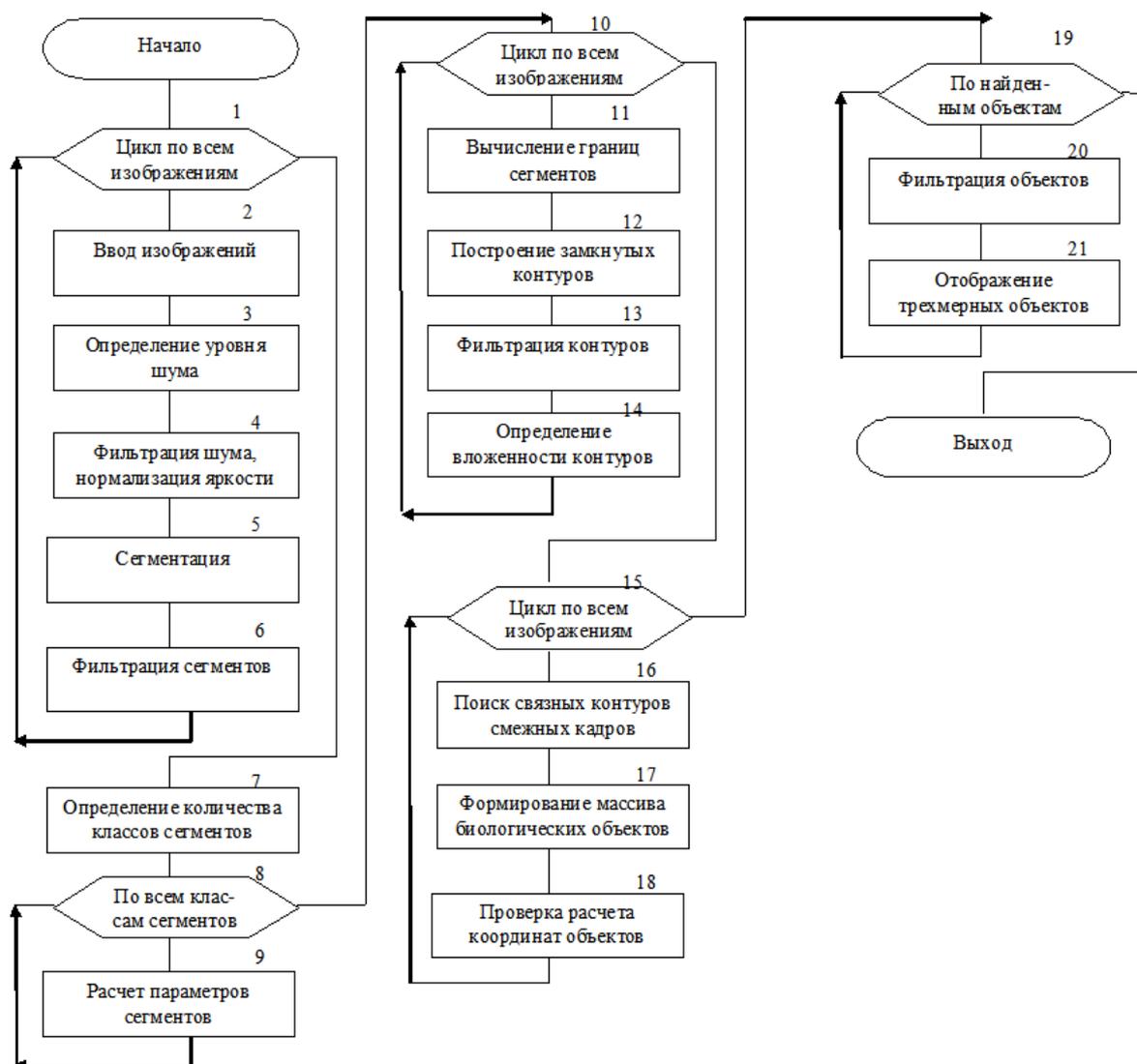


Рис. 1. Алгоритм анализа серий томографических изображений и визуализации изображений биологических объектов

Алгоритм представляет собой группы циклов обработки. Первый цикл – блоки 1-6, в данных блоках выполняется предварительная обработка изображений и вычисление необходимых для последующего анализа параметров изображений. В этих же блоках выполняется сегментация каждого кадра, необходимая для определения количества различных биологических объектов, что далее обеспечивает более точное определение их границ и дополнительное разделение объектов от помех.

Второй цикл – блоки с 7 по 9 – позволяет определить общее количество одинаковых сегментов по всей последовательности томографических изображений и рассчитать пороги, которые далее в третьем цикле обработки – в блоках 10-14 будут использованы для окончательной декомпозиции каждого кадра изображений биологических объектов. Также в третьем цикле в блоках 10-14 выполняется контурный анализ, целью которого является точное определение границ объектов. Четвертый цикл обработки с блока 15 по блок 18 позволяет определить смещение каждого объекта от кадра к кадру, проверить принадлежность контуров одному объекту и тем самым построить совокупность замкнутых контуров, которая фактически и представляет описание границ объемного объекта. Таким образом, к данному моменту обработки построен массив объемных объектов, определяемый их границами относительно выбранной точки анализируемого пространства. Далее в блоках 19-21 производится визуализация полученных объемных моделей биологических объектов.

Таким образом, представленный алгоритм обеспечивает построение массива

объемных объектов и визуализацию объектов. Рассмотрим далее специализированное устройство, которое обеспечивает реализацию разработанного алгоритма на аппаратном уровне, что позволяет создать портативное устройство.

#### **Структурно-функциональная организация специализированного устройства анализа серий томографических изображений и визуализации изображений биологических объектов**

Для реализации разработанного алгоритма предложено устройство, позволяющее реализовать на аппаратном уровне созданный алгоритм.

Устройство обеспечивает повышение точности формирования и визуализации трехмерной модели внутреннего анализируемого пространства в целях планирования хирургических операций и диагностики и обладает достаточной для практического использования скоростью отображения данных.

Разработанное устройство состоит из следующих блоков: входной модуль, буферное запоминающее устройство, модуль преобразователь, модуль преобразования, контроллер коммуникатор, оперативное запоминающее устройство, вычислительный контроллер, модуль коммуникации.

При работе устройства на вход коммуникатора (от внешнего источника) поступает команда считывания данных, представляющих набор исходных томографических изображений. Контроллер коммуникации подает сигнал во входной модуль, который кадр за кадром получает входную последовательность изображений и передает очередной кадр со своего входа-выхода на вход-выход модуля преобразователя.

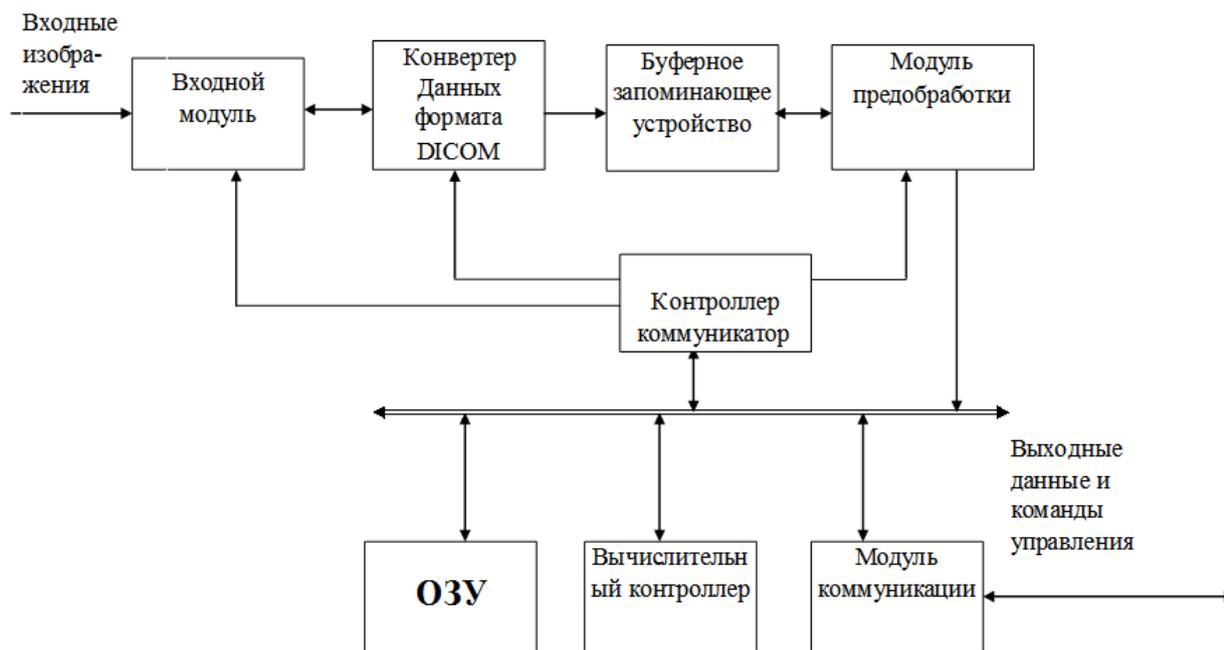


Рис. 2. Структурно-функциональная организация устройства для обработки томографических изображений

Модуль предобработки считывает из буферного ЗУ данные о распределении яркости оптического среза и выполняет операции, описанные в блоках 1-7 алгоритма (см. рис. 1), направленные на вычисление границ контуров объектов. По завершении обработки очередного кадра модуль предобработки передает уведомляющий сигнал о готовности начать обработку очередного кадра. В результате в ОЗУ хранятся вычисленные характеристики объектов каждого исходного оптического снимка для всей последовательности томографических данных.

Контроллер, получив ранее переданный от модуля предобработки сигнал о завершении анализа двумерных данных, приступает к построению объектов рабочей объемной сцены посредством анализа хранящихся в ОЗУ данных о двумерных оптических срезах в соответствии с блоками 7-18 алгоритма (см. рис. 1). Для каждого замкнутого объекта на исходном

изображении, контроллер на смежном кадре ищет объект, имеющий близкие по координатам точек контура объекты аналогичной формы и в случае успеха формирует вектор связей между двумя смежными кадрами, определяющими принадлежность контуров объекта единому биологическому объекту (блок 16, алгоритм рис. 1).

Вычисленные для каждого биологического объекта взаимосвязи границ контуров контроллер записывает в ОЗУ. По завершении обработки всех двумерных кадров контроллером в ОЗУ хранятся описания сформированных контроллером объемных объектов внутрибрюшного пространства.

### Результаты

На рисунках 3-4 представлены результаты синтеза рабочей сцены внутрибрюшного пространства на основе анализа данных магнитно-резонансного томографа согласно разработанному алгоритму.

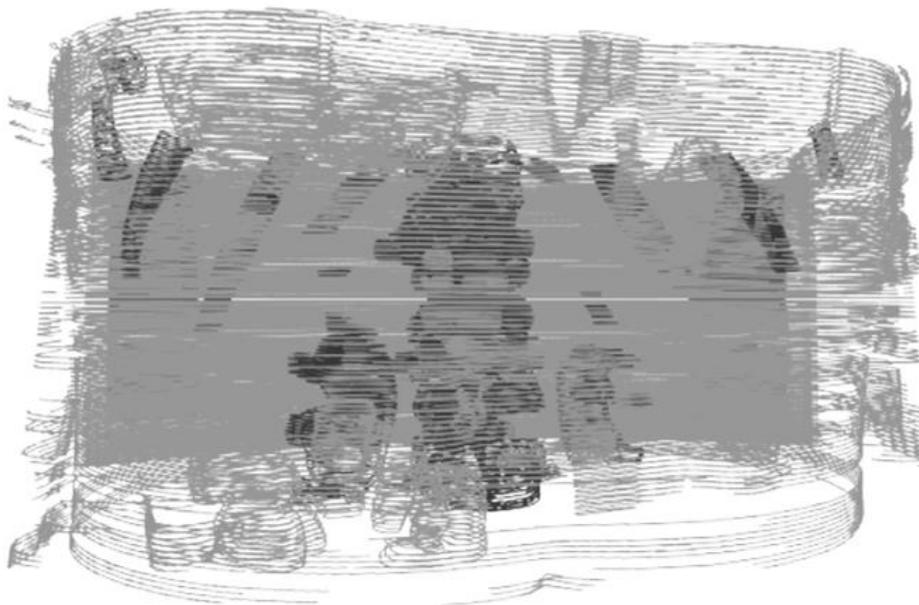


Рис. 3. Общий вид рабочей сцены



Рис. 4. Отдельные биологические объекты внутрибрюшного пространства

Каждый из биологических объектов может быть отдельно показан на изображении для дополнительного исследования его формы и пространственного местоположения.

#### **Заключение**

Таким образом, рассмотренные алгоритм и специализированное устройство позволяют повысить точность формиро-

вания трехмерной модели внутрибрюшного пространства, декомпозированного на отдельные органы и ткани за счет использования операций контурного векторного описания двумерных объектов и последующего синтеза на их основе трехмерных объемных объектов с учетом вычисленных координат границ контуров объектов и их локальных яркостных характеристик. Разработанные и представленные алгоритм и техническое решение могут быть использованы для подготовки и визуализации данных при диагностике и планировании операций в хирургии.

#### Список литературы

1. Виртуальные технологии в современной хирургии / П.В. Глыбочко, Ю.Г. Аляев, Л.М. Рапопорт, Д.Н. Фиев, И.П. Матюхов, Г.А. Мартиросян // Российские медицинские вести. 2014. Т. 19. № 1. С. 4-16.
2. Плесканос Л.В., Филист С.А. Формирование морфологических признаков сложноструктурируемых сигналов на основе гибридных ортогональных преобразований // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 5-2 (44). С. 33-38.
3. Филист С.А., Кассим К.Д.А., Руцкой Р.В. Гибридные решающие системы для прогнозирования послеоперационных осложнений у больных с доброкачественной гиперплазией предстательной железы // Известия Юго-Западного государственного университета. 2013. № 5 (50). С. 40-49.
4. Формирование признакового пространства для задач классификации сложноструктурируемых изображений на основе спектральных окон и нейросетевых структур / С.А. Филист, К.Д. Али Кассим, А.А. Кузьмин, О.В. Шаталова, Е.А. Алябьев // Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. № 4 (67). С. 56-68.
5. J. Montagnat and H. Delingette, "Volumetric Medical Images Segmentation Using Shape Constrained Deformable Models," Proc. First Joint Con5 CVRMed-MRCAS '97, J. Troccaz, E. Grimson, and R. Mosges, eds. Mar. 1997.
6. J. Sharpe, U. Ahlgren, P. Perry, B. Hill, A. Ross, J. Hecksher-Sorensen, R. Baldock and D. Davidson. Optical projection tomography as a tool for 3D microscopy and gene expression studies. Science, 296: 541-545, 2002.
7.  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT visualisation of tumor seeding after percutaneous radiofrequency ablation of metastases / Zanotti-Fregonara, P., Hindié, E., Albertini, AF. et al. // Eur J Nucl Med Mol Imaging (2007) // European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging. February 2007. Vol. 34, no. 2. P.305
8. Rowe S.P., Chu L.C. & Fishman, E.K. Cinematic rendering of small bowel pathology: preliminary observations from this novel 3D CT visualization method // Abdominal Radiology. November 2018. Vol. 43. Issue 11. P. 2928–2937.
9. Method of generating 2D or 3D maps of MRI T1 and T2 relaxation times. Заявка на патент на изобретение США № 20120223710, 6.09.2012 г.
10. Automatic 3d segmentation and cortical surfaces reconstruction from t1 MRI. Заявка США № 20160292847, 6.10.2016 г.
11. 3-d- технологии при операциях на почке. От хирургии виртуальной к реальной / Н.В. Петровский, Л.М. Рапопорт, Д.Н. Фиев, Р.Р. Харчилава, С.Б. Хохлачев, Д.Г. Цариченко, Е.В. Шпоть. М.: ООО ИГ "ГЭОТАР-Медиа", 2014. 291 с.

12. Трехмерное моделирование опухолевого процесса в почке с последующим планированием оперативного вмешательства на ней / П.В. Глыбочко, Ю.Г. Аляев, С.К. Терновой, Н.К. Дзеранов, С. Хохлачев, Н.Д. Ахвледиани,

Н.В. Петровский, Д.Н. Фиев // Бюллетень сибирской медицины. 2012. Т. 11. № S1. С. 38-40.

*Поступила в редакцию 21.11.18*

UDC 004.9

**E.S. Sirota**, Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher, Design Information Technologies Center of Russian Academy of Sciences (Russia, 143000, Odintsovo, Moscow region, Marshal Zhukov str., 30a) (e-mail: info@ditc.ras.ru)

**M.I. Truphanov**, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, Design Information Technologies Center of Russian Academy of Sciences (Russia, 143000, Odintsovo, Moscow region, Marshal Zhukov str., 30a) (e-mail: info@ditc.ras.ru)

#### **DEVELOPMENT OF ALGORITHMIC SUPPORT AND A DEDICATED DEVICE FOR IMAGING THE INTERNAL ORGANS OF THE PATIENT ACCORDING TO MRI AND CT SCANNERS**

*In work the algorithm of restoration of the images damaged as a result of influence of noise of various nature is considered. The advantages and disadvantages of the existing approaches, as well as the prospects of using artificial neural networks, are noted. A double-layer neural network is used as an image restoration tool, and it is assumed that the location of the damaged pixels is known. A neuron is represented as a 3x3 array, where each element of the array has a pixel color value that corresponds to the value of that color in the palette. The neural network is trained on intact images, while the color difference of pixels acts as a learning criterion. For a more accurate restoration, it is recommended at the training stage to select images similar in color to damaged ones. At the recovery stage, neurons (3x3) are formed around the damaged pixels, so that the damaged pixel is located in the middle of the neuron data array. The damaged pixel is assigned a neuron value depending on the average value of the weights matrix. An algorithm for the restoration of pixels, as well as its software implementation. The simulation was carried out in the RGB palette separately for each channel. To assess the quality of the recovery were selected groups of images with varying degrees of damage. Unlike existing solutions, the algorithm has the simplicity of implementation. The research results show that regardless of the degree of damage (within 50%), about 70% of damaged pixels are restored. Further studies suggest a modification of the algorithm to restore images with enlarged areas of damage, as well as adapting it to restore three-dimensional images.*

**Key words:** image processing; surgery; model; robot-assisted; contour analysis; segmentation.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-189-197

**For citation:** Sirota E.S., Truphanov M.I. An Algorithm for the Restoration of Pixels Image Base on the Neural Network. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 6(81), pp. 189-197 (in Russ.).

\*\*\*

#### **Reference**

1. Glybochko P.V., Aljaev Ju.G., Rapoport L.M., Fiev D.N., Matjuhov I.P., Martirosjan G.A. Virtual'nye tehnologii v

sovremennoj hirurgii. *Rossijskie medicinskie vesti*, 2014, vol. 19, no. 1, pp. 4-16.

2. Pleskanos L.V., Filist S.A. Formirovanie morfoloicheskikh priznakov slozhnostrukturuemykh signalov na osnove gibrid-

nyh ortogonal'nyh preobrazovanij. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, no. 5-2 (44), pp. 33-38.

3. Filist S.A., Kassim K.D.A., Ruc-koy R.V. Gibridnye reshajushhie sistemy dlja prognozirovanija posleoperacionnyh oslozhnenij u bol'nyh s dobrokachestvennoj giperplaziej predstatel'noj zhelezy. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, no. 5 (50), pp. 40-49.

4. Filist S.A., Ali Kassim K.D., Kuz'min A.A., Shatalova O.V., Aljab'ev E.A. Formirovanie priznakovogo prostranstva dlja zadach klassifikacii slozhnostrukturi-ruemym izobrazhenij na osnove spektral'nyh okon i nejrosetevykh struktur. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, no. 4 (67), pp. 56-68.

5. J. Montagnat and H. Delingette, "Volumetric Medical Images Segmentation Using Shape Constrained Deformable Models," Proc. First Joint Con5 CVRMed-MRCAS '97, J. Troccaz, E. Grimson, and R. Mosges, eds. Mar, 1997.

6. Sharpe J., Ahlgren U., Perry P., Hill B., Ross A., Hecksher-Sorensen J., Baldock R., Davidson D.. Optical projection tomography as a tool for 3D microscopy and gene expression studies. *Science*, 296, 541-545, 2002.

7. Zanotti-Fregonara P., Hindié E., Albertini AF. [et al.] 18F-FDG PET/CT visual-

isation of tumor seeding after percutaneous radiofrequency ablation of metastases. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* (2007). *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, February 2007, vol. 34, no. 2, p.305.

8. Rowe S.P., Chu L.C. & Fishman E.K. Cinematic rendering of small bowel pathology: preliminary observations from this novel 3D CT visualization method. *Abdominal Radiology*, november 2018, vol. 43, is. 11, pp 2928–2937.

9. Method of generating 2D or 3D maps of MRI T1 and T2 relaxation times. Zajavka na patent na izobretenie SShA № 20120223710, 6.09.2012 g.

10. Automatic 3d segmentation and cortical surfaces reconstruction from t1 MRI. Zajavka SShA № 20160292847, 6.10.2016 g.

11. Petrovskij N.V., Rapoport L.M., Fiev D.N., Harchilava R.R., Hohlachev S.B., Carichenko D.G., Shpot' E.V. 3-d- tehnologii pri operacijah na pochke. Ot hirurgii virtual'noj k real'noj. Moscow, 2014, 291 p.

12. Glybochko P.V., Aljaev Ju.G., Ternovoj S.K., Dzeranov N.K., Hohlachev S., Ahvlediani N.D., Petrovskij N.V., Fiev D.N. Trehmernoe modelirovanie opuholevogo processa v pochke s posledujushhim planirovaniem operativnogo vmeshatel'stva na nej. *Bjulleten' sibirskoj mediciny*, 2012, vol. 11, no. S1, pp. 38-40.

**М.М. Фролов**, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: info@ditc.ras.ru)

**М.И. Труфанов**, канд. техн. наук, с.н.с., ФГБУН "Центр информационных технологий в проектировании Российской академии наук" (Россия, 143000, Одинцово, Московская обл., ул. Маршала Жукова, 30а) (e-mail: info@ditc.ras.ru)

## **ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ВЫЧИСЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ РАБОЧЕЙ СЦЕНЫ ПРИ МНОЖЕСТВЕННЫХ ИСТОЧНИКАХ ВИДЕОДАНЫХ**

*В работе рассмотрены подходы к построению территориально распределенного оптико-электронного устройства, обеспечивающие анализ значительных по протяженности и объему рабочих сцены в интересах автоматизации процессов контроля и управления робототехническими средствами в промышленных сборочных цехах, складских помещениях. Принципиальным отличием предложенного решения является возможность получения изображений анализируемых объектов при помощи размещенных в различных частях рабочего пространства оптико-электронных датчиков для реализации функции бинокулярного зрения на значительно большей по площади рабочей сцене по сравнению с аналогами. Отличительной новизной разработанного теоретического подхода является подход к бинокулярному техническому зрению, состоящий в итерационном выполнении процедур калибровки выбранных пар оптико-электронных датчиков и последующем вычислении пространственных координат анализируемых объектов при помощи калиброванных пар оптико-электронных датчиков. Полученные результаты анализа изображений с каждого из оптико-электронных датчиков используются для сопровождения движущихся объектов и анализа их траекторий движения в пространстве рабочей сцены.*

*Для реализации разработанных теоретических подходов предложено модульное оптико-электронное устройство, состоящее из двух типов модулей. Первый тип модуля – автономный оптико-электронный модуль, включающий в себя оптико-электронный датчик и средства обработки и извлечения первичных признаков непосредственно при получении изображений для их последующего анализа. Вторым типом – вычислительный модуль, обеспечивающий обработку первичных данных с совокупности модулей первого типа. Передача данных между модулями устройства обеспечивается по радиоканалу по WiFi сети. Отличительной особенностью разработанного устройства является первичная обработка изображений непосредственно при их получении и передача по радиоканалу малого объема данных о выделенных объектах в вычислительный модуль, который выполняет финальные этапы обработки данных и формирует набор параметров, описывающих характеристики и пространственные координаты найденных на рабочей сцене объектов для их дальнейшего использования.*

*Проведены экспериментальные исследования на разработанной имитационной модели, подтвердившие корректность разработанного теоретического подхода и возможность применения на практике.*

**Ключевые слова:** обработка изображений; территориально распределенный; техническое зрение; бинокулярный; предварительная обработка.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-198-205

**Ссылка для цитирования:** Фролов М.М., Труфанов М.И. Оптико-электронное устройство вычисления параметров объемных объектов рабочей сцены при множественных источниках видеоданных // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 198-205.

\*\*\*

### **Введение**

Анализ изображений трехмерных объектов является весьма актуальным для многих задач в области создания автономных робототехнических транспортных решений. Аспект вычисления трехмерных координат, позиций, оптических и иных свойств объектов важен в первую очередь для вычисления параметров ана-

лизируемых трехмерных объектов, определения их взаимного местоположения и решения задач, направленных на распознавание объектов [1-3].

В частности, задача определения позиций объектов рабочей сцены востребована в промышленности для построения автоматических устройств транспортировки объектов на складе, цехе, значительном по объему пространстве, иных

промышленных объектах в условиях динамически меняющейся обстановки в расположении объектов.

Известные системы технического зрения в основном используют принцип бинокулярного зрения для реализации пространственного восприятия, либо же множество отдельных монокулярных оптико-электронных датчиков. В первом случае не обеспечивается пространственное восприятие на всей рабочей сцене, а лишь в узком поле наблюдения, ограниченной областью видимости бинокулярной оптико-электронной системы. Во втором случае известные подходы не позволяют реализовать трехмерное восприятие [4, 5].

Таким образом, к настоящему времени отсутствует алгоритмическое и аппаратно-программное решение, позволяющее обеспечить трехмерное техническое зрение на все области наблюдаемого пространства для крупных промышленных объектов.

#### **Описание предлагаемого решения**

Отличительной новизной предлагаемого оптико-электронного устройства является использование множества размещенных в различных частях рабочей сцены с оптико-электронных датчиков с априори некалиброванным взаимным местоположением с реализацией процедур калибровки каждой пары оптико-электронных датчиков и построения алгоритма обработки изображения и на основе принципа бинокулярного зрения для различных оптико-электронных датчиков, имеющих общие области перекрытия полей восприятия. Данное решение позволяет обеспечить реализацию пространственного технического зрения на значительно большем по сравнению с аналогами объеме рабочей сцены [6].

Алгоритм функционирования устройства представлен на рис. 1. Структурно-функциональная организация разработанного оптико-электронного устройства, решающего задачу оценки параметров и местоположения объектов рабочей сцены, представлена на рис. 2-4.

Рассмотрим разработанный алгоритм обработки изображений оптико-электронным устройством при множественных источниках видеоизображений, обеспечивающих вычисление параметров наблюдаемых объектов в трехмерном пространстве и измерение их характеристик.

#### **Алгоритм обработки данных при множественных источниках изображений с нескольких оптико-электронных датчиков, размещенных в различных частях рабочей сцены**

Разработанный алгоритм (рис. 1) состоит из двух частей – первоначальной калибровки и настройки системы из нескольких оптико-электронных датчиков (блоки 1-6 алгоритма на рис. 1) и процедур обработки изображений, направленных на определение параметров объектов рабочей сцены и оценку их местоположения в трехмерном пространстве (блоки 7 – 21 алгоритма).

В первой группе блоков выполняются процедуры, обеспечивающие остановление взаимного положения локальных систем координат видеокамер для последующего трехмерного восприятия. Производится первоначальный ввод изображений (блок 1) и выполняется яркостная нормализация изображений (блок 3). Затем производится последовательным перебором и построением функций корреляции поиск общих фрагментов на изображениях [7, 8] для построения совокупности стереопар, используемых далее в блоках 7-21 алгоритма для трехмерного зрения.

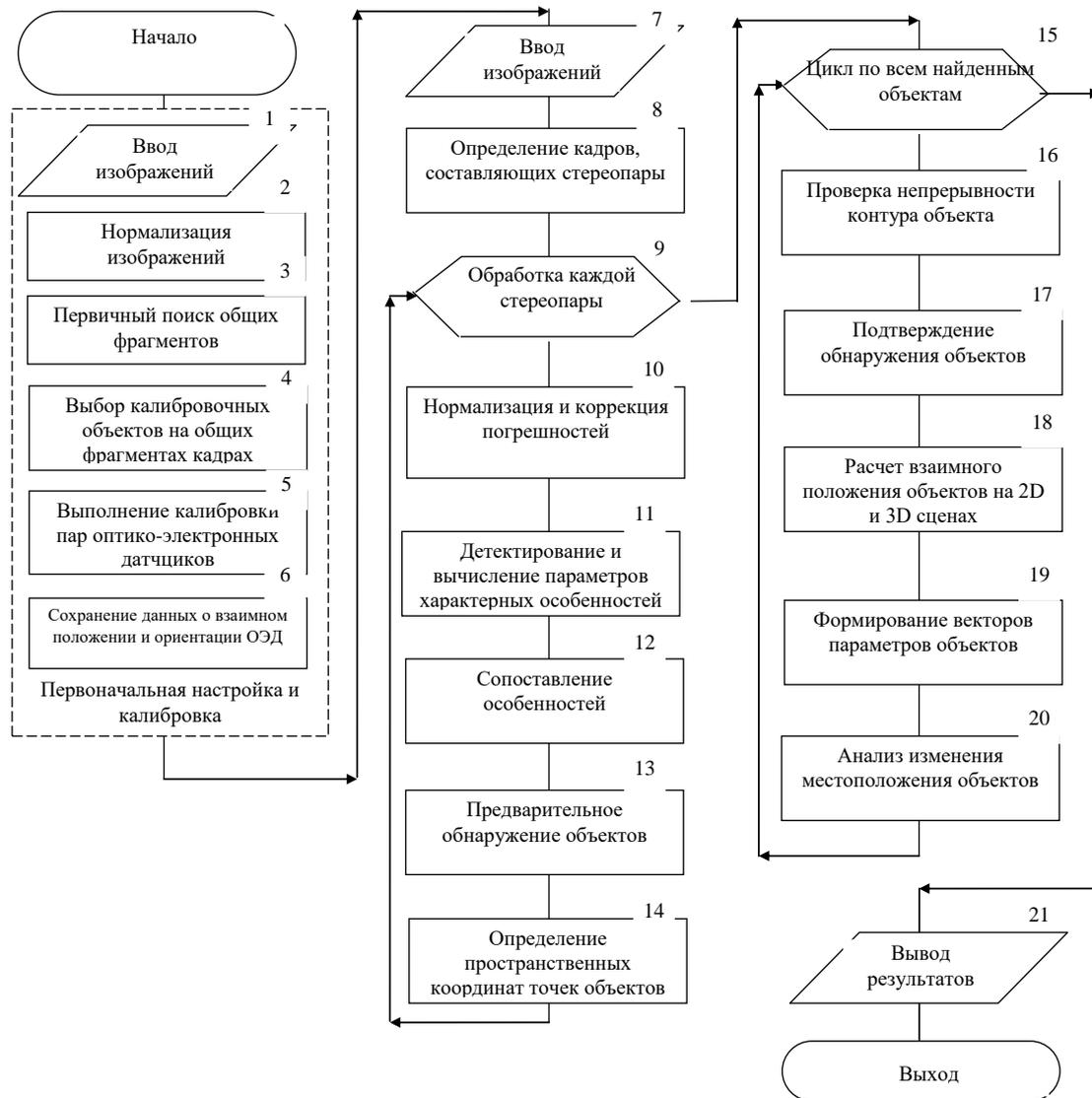


Рис. 1. Алгоритм вычисления параметров объектов трехмерной рабочей сцены

В блоке 4 сформированы стереопары и осуществляется выбор калибровочного объекта для выполнения калибровки и установления взаимосвязи локальных систем координат каждого из оптико-электронных датчиков. По выбранному калибровочному объекту осуществляется калибровка в блоке 5 и сохранение вычисленных калибровочных параметров в блоке 6 для дальнейшего использования.

Далее согласно алгоритму после повторного получения изображений в блоке 7 формируются стереопары из всего массива кадров с различных видеокамер. По

сле этого каждая из стереопар – совокупности из двух кадров – обрабатывается в цикле 9.

Производится нормализация яркости и коррекция погрешностей (блок 10 алгоритма) на основе ранее вычисленных калибровочных параметров. Затем на основе метода детектирования особенностей формируются массивы характерных точек (блок 11), которые сопоставляются друг с другом в блоке 12. В результате сформированы пары точек, которые предположительно являются общими и которые могут быть использованы для вычисления трехмерных координат объектов.

В блоке 13 производится обнаружение объектов как замкнутых однородных областей на двумерных изображениях [9, 10]. После чего в блоке 14 вычисляются на основе диспаратностей и ранее найденных в результате калибровки взаимосвязей локальных систем координат оптико-электронных датчиков координат точек объектов в трехмерном пространстве. Таким образом, к данному шагу алгоритма сформированы массивы координат точек в трехмерном пространстве, предположительно соответствующих единым объектам.

В цикле 15 производится анализ и принятие решения об обнаружении объектов, а также вычисление их параметров. Для подтверждения обнаружения объектов проверяется непрерывность контура каждого объекта. Непрерывность контура оценивается по плавности изменения расстояний в трехмерном пространстве точек, составляющих контур (блок 16), а также по непересечению различных объектов (в блоке 17).

Затем в блоке 18 выполняется окончательный расчет трехмерных координат объектов. Далее в блоке 19 формируются целевые вектора, содержащие значения яркости, цветности, координат объектов и иные параметры в зависимости от задачи распознавания объектов. В блоке 20 выполняется определение объектов, изменивших свое местоположение относительно предыдущих кадров. В блоке 21 выводятся данные вычисленные параметры объектов для дальнейшей обработки.

Далее рассмотрим оптико-электронное устройство, реализующее данный алгоритм.

#### **Структурно-функциональная организация оптико-электронного устройства**

Рассмотрим разработанное оптико-электронное устройство, обеспечивающее реализацию вычислений параметров

трехмерных объектов при использовании нескольких, размещенных в различных частях рабочей сцены оптико-электронных датчиков.

Функционально оптико-электронное устройство построено по модульному принципу и содержит два различных вида модулей, объединенных между собой каналом связи.

Первый вид модулей – модули, обеспечивающие получение изображений и их первичную обработку (рис. 2). Вторым видом модулей – модуль, обеспечивающий прием и окончательную обработку данных и изображений и вычисление параметров объектов и их расположение в объеме рабочей сцены (рис. 3). В разработанной системе может быть несколько модулей первого вида и всегда один модуль второго вида (рис. 4).

Первый модуль содержит оптико-электронный датчик с системой ориентации для обеспечения его позиционирования, модуль ввода изображения, модуль управления, буферное запоминающее устройство, которые в своей совокупности обеспечивают получение изображений. Далее полученные изображения передаются в модули сегментации, выделения контуров и предварительного формирования объектов, обеспечивающие вычисление ключевых особенностей характерных точек объектов и формирование вектора параметров, описывающих каждый объект. Модуль передачи данных обеспечивает передачу данных по беспроводной сети в вычислительный модуль устройства

Вычислительный модуль устройства содержит модуль передачи данных, модуль вычисления характерных особенностей, сопоставления объектов, вычисления взаимного положения объектов, вычисления трехмерных координат объектов, ОЗУ, передачи данных и коммуникации.

Функционирование оптико-электронного устройства осуществляется согласно ранее рассмотренному алгоритму обработки изображений (см. рис. 1). Рассмотрим взаимодействие модулей устройства.

Отличительной особенностью разработанного устройства является его территориально распределенный характер, обеспечивающий получение изображений с различных точек рабочей сцены. При

этом для уменьшения потока данных и обеспечения реального времени вычисления пространственных характеристик объектов рабочей сцены и их взаимного положения функции предварительной обработки и вычисления информативных признаков изображений реализованы в модуле предварительной обработки и передачи изображений (см. рис. 3).

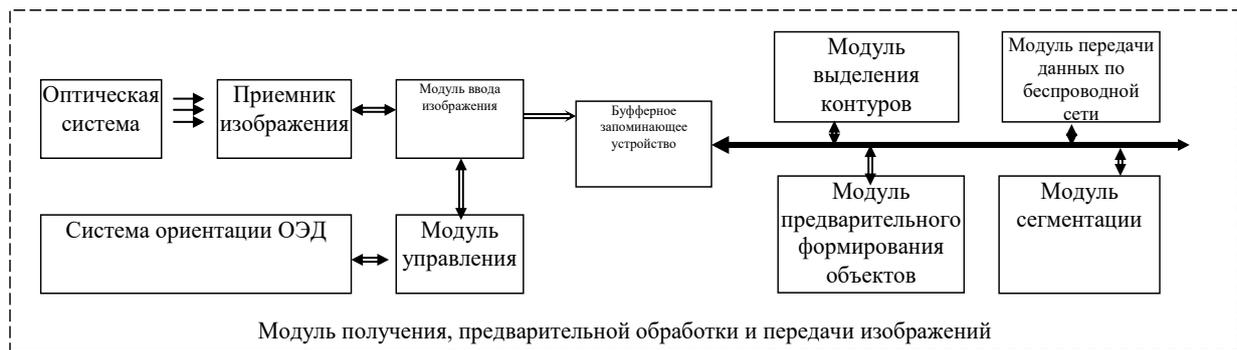


Рис. 2. Структурно-функциональная организация модуля получения, предварительной обработки и передачи изображений

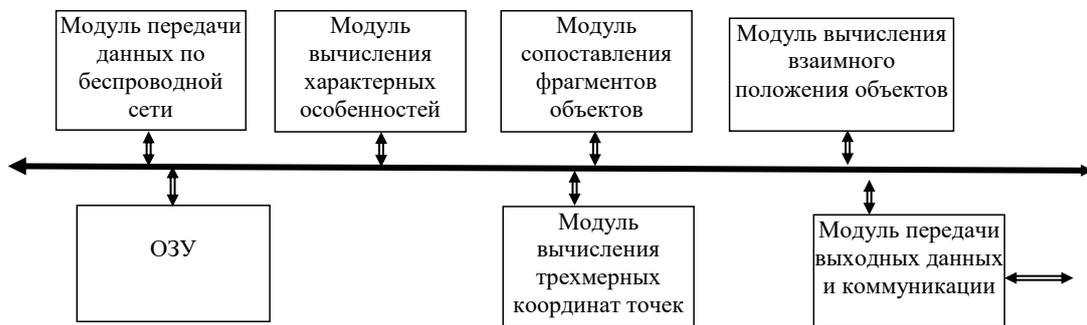


Рис. 3. Структурно-функциональная организация вычислительного модуля разработанного оптико-электронного устройства

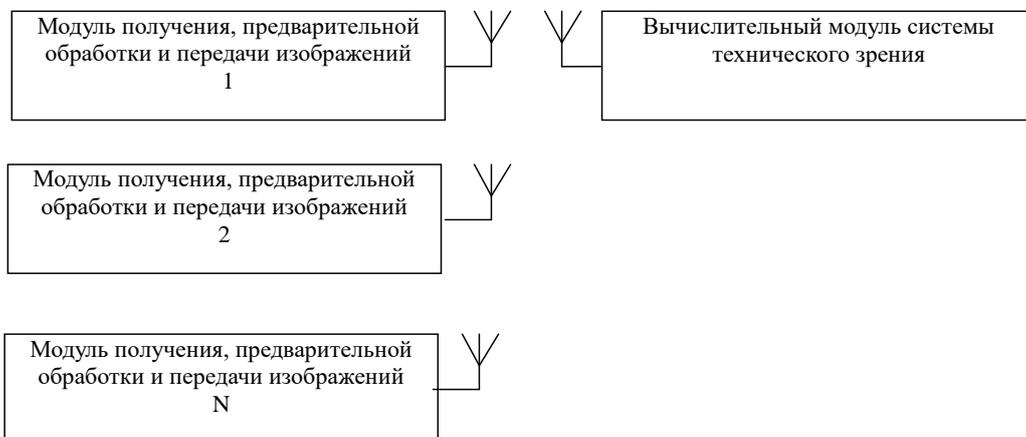


Рис. 4. Обобщенная структурно-функциональная организация оптико-электронного устройства

Финальные этапы обработки производятся в вычислительном модуле (см. рис. 4). Устройство работает следующим образом. Изображения рабочей сцены поступают с приемника изображений в модуль ввода изображения и далее в буферное запоминающее устройство и обрабатываются в реальном времени непосредственно в устройстве, конструктивно связанном с приемником изображением [11]. Обработка изображений состоит в выполнении операций выделения контуров объектов и сегментации объектов с использованием информации о спектральных локальных характеристиках областей изображений и однородности изменения яркости. Полученный вектор параметров, представляющий собой перечень предварительно локализованных объектов с их локальными характеристиками передается в вычислительный модуль, представленный на рис. 3. Вычислительный модуль на основе результатов предварительной калибровки обеспечивает выполнение сопоставления объектов с различных кадров. При этом для уменьшения объема вычислительной сложности обработка изображений производится в общих областях изображений, в которых могут присутствовать одинаковые объекты и исключаются из обработки те изображения, которые не могут иметь общих областей. Далее для каждого сопоставленного объекта выполняется вычисление координат и измерение размеров объектов в трехмерном пространстве. После выполнения данных шагов обработки изображений в модулях разработанного оптико-электронного устройства полученные наборы параметров передаются для дальнейшей обработки в вышестоящее устройство.

### Результаты

Отличительной особенностью предложенного оптико-электронного устройства является возможность вычисления

параметров объектов трехмерной сцены при их наблюдении с априори некалиброванных оптико-электронных датчиков. С практической точки зрения решение позволяет реализовать трехмерное очувствление значительного по объему рабочего пространства посредством использования нескольких оптико-электронных датчиков, что обеспечивает расширение суммарной наблюдаемой области и вычисления параметров объектов в трехмерном пространстве в цехах предприятий и на больших промышленных объектах.

### Оценка полученных результатов

Для проведения экспериментальных исследований разработана имитационная модель на языке трехмерной графики, имитирующая заводской цех по сборке кузовов автомобилей. Согласно заданным алгоритмам обеспечивалось перемещение сборочных частей объектов по заданным траекториям. В различных точках рабочего пространства были расположены оптико-электронные датчики, обеспечивающие получение изображений. Изображения передавались в программное обеспечение, имитирующее работу разработанного оптико-электронного устройства. По результатам экспериментальных исследований на имитационной модели было установлено, что полнота обзора рабочей сцены с возможностью вычисления пространственных параметров анализируемых объектов повышена по сравнению с традиционными бинокулярными системами технического зрения на 12% при использовании пяти оптико-электронных датчиков и на 17,4% – при использовании семи оптико-электронных датчиков. Экспериментально подтверждено, что разработанные алгоритмические подходы, на основе которых функционирует оптико-электронное устройство, обеспечивают реализацию трехмер-

ного технического зрения на заданной территории промышленного объекта и могут быть применены на практике.

#### Список литературы

1. Ellis R.E. Locating and acquiring on object in a robot workspace using multiple stereo images // SPIE Intelligent robots and computer vision. 1985. Vol. 579. P. 464 – 473.

2. Метод распознавания изображений объектов с использованием трехмерных векторных эталонов и программа для его реализации / В.С. Титов, В.С. Панищев, С.И. Коростелев, В.А. Денисюк // Телекоммуникации. 2007. № 9. С. 10-14.

3. Патент на изобретение RUS 2361273 Способ и устройство для распознавания изображений объектов / Коростелев С.И., Титов В.С., Панищев В.С., зарегистр. 12.03.2007.

4. Yeon C., Aggarwal J. Positioning three dimensional objects using stereo images // IEEE J. robotics and automation. 1987. Vol. RA-3. № 6. P. 361-373.

5. Wang Y.F., Aggarwal J.K. Integration of active and passive sensing techniques for representing three-dimensional objects // IEEE transactions on robotics and automation. 1984. Vol. 5, №. 4. P. 460 – 470.

6. Moment invariants for recognition under changing viewpoint and illumination

/ F. Mindru, T. Tuytelaars, L. Van Gool, T. Moons // CVIU. 2004. P. 3–27.

7. Gilboa G., Osher S. Nonlocal linear image regularization and supervised segmentation // SIAM Multiscale Model. Simul. 2007. Vol.6. №. 2. P. 595–630.

8. Прохоров И. В., Мысцев А.Э. Исследование алгоритмов рекомендательных систем, основанных на вероятностных моделях // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление. Вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2015. №2 (15). С. 16-21.

9. Perona P., Malik J. Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion // PAMI. 1990. №12. P.629–639.

10. Liao P., Chen T., Chung P. A Fast Algorithm for Multilevel Thresholding. // J. Inf. Sci. Eng. 2001. №17. P. 713-727.

11. Titov V.S., Truphanov M.I. The method of automatic determination monochromatic aberration of vision's optical subsystem // Second international conference «Information and Telecommunication Technologies in Intelligent Systems». Proceedings. Spain. Barcelona, 2004. P. 40 – 43.

*Поступила в редакцию 30.10.18*

UDC 004.9

**M.M. Frolov**, Post-Graduate Student, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: info@ditc.ras.ru)

**M.I. Truphanov**, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, Design Information Technologies Center of Russian Academy of Sciences (Russia, 143000, Odintsovo, Moscow region, Marshal Zhukov str., 30a) (e-mail: info@ditc.ras.ru)

#### **OPTICAL-ELECTRONIC DEVICE OF CALCULATION OF PARAMETERS OF VOLUME OBJECTS OF WORKING SCENE AT MULTIPLE SOURCES OF VIDEO DATA**

*The paper considers approaches to the construction of a geographically distributed optical-electronic device, providing an analysis of significant and long working scenes in the interests of automating the processes of control and management of robotic tools in industrial assembly shops and warehouses. The principal difference of the proposed solution is the possibility of obtaining images of the analyzed objects using optical-electronic sensors located in different parts of the workspace to realize the function of binocular vision on a much larger area of the*

working scene compared to analogues. A distinctive novelty of the developed theoretical approach is the approach to binocular technical vision, which consists in iteratively performing calibration procedures for selected pairs of optical-electronic sensors and the subsequent calculation of the spatial coordinates of the objects being analyzed using calibrated pairs of optical-electronic sensors. The results of image analysis from each of the optoelectronic sensors are used to accompany moving objects and analyze their motion paths in the working scene space. To implement the developed theoretical approaches, a modular optoelectronic device has been developed, consisting of two types of modules. The first type of module is a standalone opto-electronic module, which includes an opto-electronic sensor and means for processing and extracting primary features immediately upon receiving images for their subsequent analysis. The second type is a computational module that provides processing of primary data from a set of modules of the first type. Data transfer between device modules is provided via radio over a WiFi network. A distinctive feature of the developed device is the primary processing of images immediately upon their receipt and transmission over the radio channel of a small amount of data about the selected objects to the computing module, which performs the final stages of data processing and generates a set of parameters describing the characteristics and spatial coordinates of the objects found on the working scene for their further use.

Experimental studies were conducted on the developed simulation model, which confirmed the correctness of the developed theoretical approach and the possibility of its application in practice.

**Key words:** image processing; geographically distributed; technical vision; binocular; pre-processing.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-198-205

**For citation:** Frolov M.M., Truphanov M.I. Optical-Electronic Device of Calculation of Parameters of Volume Objects of Working Scene at Multiple Sources of Video Data. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 6(81), pp. 198-205 (in Russ.).

\*\*\*

## Reference

1. Ellis R.E. Locating and acquiring on object in a robot workspace using multiple stereo images. *SPIE Intelligent robots and computer vision*, 1985, vol. 579, pp. 464 – 473.

2. Titov V.S., Panishhev V.S., Korostelev S.I., Denisjuk V.A. Metod raspoznavanija izobrazhenij ob#ektov s ispol'zovaniem trehmernyh vektornyh jetalonov i programma dlja ego realizacii. *Telekommunikacii*, 2007, no. 9, pp. 10-14.

3. Korostelev S.I., Titov V.S., Panishhev V.S., zaregistr Patent na izobrenie RUS 2361273 Sposob i ustrojstvo dlja raspoznavanija izobrazhenij ob#ektov. 12.03.2007.

4. Yeon C., Aggarwal J. Positioning three dimensional objects using stereo images. *IEEE J. robotics and automation*, 1987, vol. RA-3, no. 6, pp. 361-373.

5. Wang Y.F., Aggarwal J.K. Integration of active and passive sensing techniques for representing three-dimensional objects. *IEEE transactions on robotics and automation*, 1984, vol. 5, no. 4, pp. 460 – 470.

6. Mindru F., Tuytelaars T., Van Gool L., Moons T. Moment invariants for recognition

under changing viewpoint and illumination. *CVIU*, 2004, pp. 3–27.

7. Gilboa G., Osher S. Nonlocal linear image regularization and supervised segmentation. *SIAM Multiscale Model. Simul.*, 2007, vol.6. no. 2, pp. 595–630.

8. Prohorov I.V., Mysev A. Je Issledovanie algoritmov rekomendatel'nyh sistem, osnovannyh na verojatnostnyh modeljah. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie. Vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie*, 2015, no.2 (15), pp. 16-21

9. Perona P., Malik J. Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion. *PAMI*, 1990, no. 12, pp. 629–639.

10. Liao P., Chen T., Chung P. A Fast Algorithm for Multilevel Thresholding. *J. Inf. Sci. Eng.* 2001, no.17, pp. 713-727.

11. Titov V.S., Truphanov M.I. The method of automatic determination monochromatic aberration of vision's optical subsystem. Information and Telecommunication Technologies in Intelligent Systems. Second international conference. Proceedings. Spain. Barcelona, 2004, pp. 40 – 43.

---

---

## РЕЦЕНЗИИ

---

---

**Рецензия на учебник в двух частях «Организация строительства и девелопмент недвижимости» под общей научной редакцией профессора П. Г. Грабового**

**Часть I. Организация строительства**

**Часть II. Девелопмент недвижимости**

В современных российских реалиях предприятия инвестиционно-строительного комплекса сталкиваются с новыми вызовами, такими как растущая конкуренция, необходимость внедрения инновационных организационно-технологических и управленческих решений, работа в условиях цикличности рынка. В этой связи объединение в одном учебнике двух ключевых предметных областей современного строительства, глубокий анализ проблематики организации строительства и девелопмента недвижимости делают учебник «Организация строительства и девелопмент недвижимости» актуальным, а его издание – чрезвычайно своевременным.

Рассматриваемый учебник издан в 2018 году и представляет собой фундаментальное учебное издание, подготовленное коллективом авторов, включающее 23 главы общим объемом более 1200 страниц, и является уникальным результатом многолетнего опыта научно-исследовательской и учебно-методической и практической работы авторов, представляющих целый ряд ведущих строительных и экономических вузов России и ведущие предприятия инвестиционно-строительного комплекса и смежных отраслей.

Учебник рекомендован РААСН для студентов образовательных учреждений высшего образования, обучающихся по

направлениям подготовки (специальностям) 08.03.01 «Строительство» (уровень бакалавриата), 08.04.01 «Строительство» (уровень магистратуры), 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» (уровень специалитета)», 08.06.01 «Техника и технологии строительства» (уровень подготовки кадров высшей квалификации).

В рамках учебника авторам удалось обеспечить преемственность в отношении базовых основ организации строительства, отраженных в предыдущих изданиях. При этом также решена задача актуализации и значительного расширения представленного материала, в том числе за счет рассмотрения вопросов девелопмента недвижимости с учетом концепции полного жизненного цикла.

В первой части учебника «Организация строительства» раскрываются методологические основы организации строительства, организационные и контрактные отношения в строительстве, рассматриваются методы организации строительного производства, актуальные вопросы ценообразования и сметного дела, содержание и процедуры строительного контроля. Уделено внимание вопросам ресурсного обеспечения строительства, планирования строительного производства. Отдельное внимание уделяется актуальным аспектам «зеленого» строительства, современных информационных

технологий, а также строительства уникальных объектов, объектов инженерной инфраструктуры и малоэтажного жилищного строительства.

Во второй части учебника «Девелопмент недвижимости» изложены теоретические и практические аспекты девелопмента объектов различного функционального назначения. Раскрыты основы современной стратегии устойчивого развития территорий, экологические аспекты производственных решений, представлен генезис развития рынка недвижимости в России. Рассмотрены актуальные темы: использование различных инвестиционных ресурсов в строительстве и недвижимости, системный подход к анализу инвестиционно-строительного проекта, затронуты важные аспекты совершенствования инвестиционно-строительного комплекса и рынка недвижимости.

Материал учебника позволяет сформировать у читателей профессиональные компетенции, ориентированные на комплексное восприятие организационных, управленческих, производственных и технологических аспектов строительства с учетом всего жизненного цикла объектов недвижимости.

Одним из существенных достоинств учебника является ярко выраженная практическая направленность, что в полной мере отвечает актуальным задачам

подготовки высококвалифицированных кадров. Наличие в учебнике большого количества вопросов для самоподготовки и самопроверки, проблемных ситуаций, тем для дискуссий обеспечивает высокую методическую ценность издания.

В учебнике представлены материалы, которые могут быть использованы в учебных целях при формировании профессиональных компетенций у студентов различного уровня высшего образования: бакалавров, магистров, а также при подготовке аспирантов по соответствующим научным направлениям.

Широта рассматриваемых вопросов и степень их проработки дают возможность охарактеризовать учебник «Организация строительства и девелопмент недвижимости» под общей научной редакцией профессора П.Г. Грабового как уникальное достижение авторского коллектива, не имеющее в настоящее время сопоставимых российских аналогов.

*Емельянов С.Г.,*

*д-р техн. наук, профессор,*

*Член-корреспондент РААСН,*

*Лауреат премии правительства РФ*

*в области науки и техники,*

*ректор ФГБОУ ВО «Юго-Западный  
государственный университет»*

## К сведению авторов

1. К публикации в журнале «Известия Юго-Западного государственного университета» принимаются актуальные материалы, содержащие новые результаты научных и практических исследований, соответствующие профилю журнала, не опубликованные ранее и не переданные в редакции других журналов.

2. Авторы статей должны представить в редакцию журнала:

- статью, оформленную в соответствии с правилами оформления статей, представляемых для публикации в журнале;
- разрешение на опубликование в открытой печати статьи от учреждения, в котором выполнена работа.

- сведения об авторах (фамилия, имя отчество, место работы, должность, ученая степень, звание, почтовый адрес, телефон, e-mail);

- лицензионный договор.

3. Бумажный вариант статьи подписывается всеми авторами, что означает их согласие на передачу Университету прав на распространение материалов статьи с помощью печатных и электронных носителей информации.

4. Редакция не принимает к рассмотрению рукописи, оформленные не по правилам.

5. **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается (если автор один и им представлена справка с места учебы).**

6. Основной текст рукописи статьи (кроме аннотации и ключевых слов) набирают в текстовом редакторе MS WORD шрифтом «Times New Roman» размером 14 пт с одинарным интервалом, выравнивание по ширине. Поля с левой стороны листа, сверху и снизу – 2,5 см, с правой стороны – 2 см. Абзацный отступ – 1,5 см.

7. Схема построения публикации: УДК (индекс по универсальной десятичной классификации), фамилия и инициалы автора(ов) с указанием ученой степени, звания, места работы (полностью), электронного адреса (телефона), название (полуужирный), аннотация и ключевые слова, текст с рисунками и таблицами, литература. Авторы, название, аннотация и ключевые слова приводятся на русском и английском языках.

Перед основным текстом печатается аннотация (200-250 слов), отражающая краткое содержание статьи.

Например:

УДК 004.9:519.8

**А.Л. Иванов**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: ivanov@gmail.com)

**Построение модели прогнозирования обеспеченности кадрами градообразующего предприятия**

В статье рассматривается агентная модель прогнозирования обеспеченности кадрами градообразующего предприятия, основанная на структуризации поведения агента и определения влияния его внутреннего представления об окружающем мире на его деятельность. ...

**Ключевые слова:** агентное моделирование, градообразующее предприятие, событие.

8. При формировании текста не допускается применение стилей, а также внесение изменения в шаблон или создание собственного шаблона. Слова внутри абзаца следует разделять одним пробелом; набирать текст без принудительных переносов; не допускаются разрядки слов.

9. Для набора формул и переменных следует использовать редактор формул MathType версии 5.2 и выше с размерами: обычный – 12 пт; крупный индекс 7 пт, мелкий индекс – 5 пт; крупный символ – 18 пт; мелкий символ – 12 пт.

Необходимо учитывать, что **полоса набора – 75 мм**. Если формула имеет больший размер, ее необходимо упростить или разбить на несколько строк. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!**

Все русские и греческие буквы ( $\Omega$ ,  $\eta$ ,  $\beta$ ,  $\mu$ ,  $\omega$ ,  $\nu$  и др.) в формулах должны быть набраны прямым шрифтом. Обозначения тригонометрических функций ( $\sin$ ,  $\cos$ ,  $\tg$  и т.д.) – прямым шрифтом. Латинские буквы – прямым шрифтом.

Статья должна содержать лишь самые необходимые формулы, от промежуточных выкладок желательно отказаться.

10. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ).

11. Рисунки и таблицы располагаются по тексту. Таблицы должны иметь тематические заголовки. Иллюстрации, встраиваемые в текст, должны быть выполнены в одном из стандартных форматов (TIFF, JPEG, PNG) с разрешением не ниже 300 dpi и публикуются в черно-белом (градации серого) варианте. Качество рисунков должно обеспечивать возможность их полиграфического воспроизведения без дополнительной обработки. **Рисунки, выполненные в MS Word, недопустимы.**

Рисунки встраиваются в текст через опцию «Вставка-Рисунок-Из файла» с обтеканием «В тексте» с выравниванием по центру страницы без абзацного отступа. Иные технологии вставки и обтекания **не допускаются.**

12. **Список литературы к статье обязателен** и должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы (не менее 10). Приставительные библиографические списки оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Ссылки на работы, находящиеся в печати, не допускаются. При ссылке на литературный источник в тексте приводится порядковый номер работы в квадратных скобках.

13. В материале для публикации следует использовать только общепринятые сокращения.

Все материалы направлять по адресу: 305040, г.Курск, ул. 50 лет Октября, 94. ЮЗГУ, редакционно-издательский отдел.

Тел.(4712) 22-25-26, тел/факс (4712) 50-48-00.

E-mail: rio\_kursk@mail.ru

Изменения и дополнения к правилам оформления статей и информацию об опубликованных номерах можно посмотреть на официальном сайте журнала: <http://www.swsu.ru/izvestiya/index.php>.