



**ВЕСТНИК РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ДРУЖБЫ НАРОДОВ.  
СЕРИЯ: ИНЖЕНЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

**Том 18 № 4 (2017)**

**DOI: 10.22363/2312-8143-2017-18-4**

**<http://journals.rudn.ru/engineering-researches>**

**Научный журнал**

**Издается с 2000 г.**

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

**Свидетельство о регистрации** ПИ № ФС 77-61174 от 30.03.2015 г.

**Учредитель:** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»

---

**Главный редактор**

**Разумный Юрий Николаевич**, Академик Российской академии космонавтики имени К.Э. Циолковского, директор Инженерной академии РУДН, директор департамента механики и мехатроники Инженерной академии РУДН, доктор технических наук, профессор

**Заместитель главного редактора**

**Резник Сергей Васильевич**, заведующий кафедрой НУК «Специальное машиностроение» МГТУ им. Н.Э. Баумана, доктор технических наук, профессор

**Ответственный секретарь**

**Ткаченко Ирина Михайловна**, доцент департамента механики и мехатроники Инженерной академии РУДН, кандидат технических наук

**Члены редакционной коллегии**

**Алифанов Олег Михайлович** — член-корреспондент Российской академии наук, заведующий кафедрой космических систем и ракетостроения Московского авиационного института

**Галишикова Вера Владимировна** — доктор технических наук, директор департамента архитектуры и строительства Инженерной академии Российского университета дружбы народов

**Дивеев Асхат Ибрагимович** — доктор технических наук, профессор, заведующий сектором проблем кибернетики федерального исследовательского центра информатики и управления Российской академии наук

**Захаров Валерий Николаевич** — член-корреспондент Российской академии наук, директор Института проблем комплексного освоения недр Российской академии наук

**Калугин Владимир Тимофеевич** — доктор технических наук, профессор, руководитель Научно-учебного комплекса специального машиностроения Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана

**Коноплев Владимир Николаевич** — доктор технических наук, профессор департамента машиностроения и приборостроения Инженерной академии Российского университета дружбы народов

**Корнилова Анна Владимировна** — доктор технических наук, профессор департамента архитектуры и строительства Инженерной академии Российского университета дружбы народов

**Купреев Сергей Алексеевич** — доктор технических наук, профессор департамента механики и мехатроники Инженерной академии Российского университета дружбы народов

**Мальшев Вениамин Васильевич** — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой системного анализа Московского авиационного института

**Омельченко Ирина Николаевна** — доктор технических наук, доктор экономических наук, профессор, декан факультета инженерного бизнеса и менеджмента Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана

**Попов Гарри Алексеевич** — академик Российской академии наук, доктор технических наук, профессор, директор Научно-исследовательского института прикладной механики и электродинамики Московского авиационного института

**Рыльникова Марина Владимировна** — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института проблем комплексного освоения недр Российской академии наук

**Фомин Валерий Михайлович** — доктор технических наук, профессор Московского государственного машиностроительного университета

**Аэравал Бридж** — профессор Навал Постградуейт Скул, Монтерей, США

**Варатараджу Ренугант** — профессор Университета Путра Малайзия, Малайзия

**Герман Анна** — профессор Университета Бейра Интериор, Португалия

**Грациани Филиппо** — профессор Римского университет «Ла Сапиенца», Италия

**Мисра Арун** — профессор Университета МакГилл, Канада

**Мортари Даниэль** — профессор Техасского университета A&M, США

**Спенсер Дэвид** — профессор Университета Пенн Стейт, США

**Фурфаро Роберто** — профессор Университета Аризоны, США

**Ясака Тетсуо** — профессор Эмеритус, Университет Кюсю, Япония

## **ВЕСТНИК РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ДРУЖБЫ НАРОДОВ. СЕРИЯ: ИНЖЕНЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

ISSN 2312-8151 (online); ISSN 2312-8143 (print)

Периодичность 4 выпуска в год.

Сайт журнала: <http://journals.rudn.ru/engineering-researches> (открытый доступ)

Языки: русский, английский.

Журнал индексируют: РИНЦ, Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat, East View, Cyberleninka.

Включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий ВАК при Минобрнауки России по группе научных специальностей: 05.02.00 — машиностроение и машиноведение; 05.23.00 — строительство и архитектура; 25.00.00 — науки о Земле (по состоянию на 29.01.2018).

Подписной индекс по каталогу агентства «Роспечать» — 18230.

### **Цель и тематика**

В журнале публикуются результаты фундаментальных и прикладных научных исследований российских и зарубежных ученых по направлениям информатика, вычислительная техника, авиационная и ракетно-космическая техника, машиностроение и материаловедение, геология, горное нефтегазовое дело, науки о Земле.

Научный журнал «Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования» адресован научным работникам, инженерам, аспирантам, студентам старших курсов технических вузов.

Выпуски журнала в полнотекстовом виде доступны в базе данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) на платформе Научной электронной библиотеки (НЭБ) eLibrary.ru, а также на сайте журнала <http://journals.rudn.ru/engineering-researches>.

---

Редактор: *М.П. Малахов*  
Компьютерная верстка: *О.Г. Горюнова*

**Адрес редакции:**  
ул. Орджоникидзе, д. 3, Москва, Россия, 115419  
Тел.: (495) 955-07-16; e-mail: [ipk@rudn.university](mailto:ipk@rudn.university)

**Адрес редакционной коллегии серии «Инженерные исследования»:**  
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419  
Тел.: (495) 955-07-92; e-mail: [engjournalrudn@rudn.university](mailto:engjournalrudn@rudn.university)

---

Подписано в печать 15.12.2017. Выход в свет 30.12.2017. Формат 70×100/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «NewtonС».

Усл. печ. л. 11,61. Тираж 500 экз. Заказ № 1586. Цена свободная.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский университет дружбы народов» (РУДН)  
117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

Отпечатано в типографии ИПК РУДН  
115419, Москва, Россия, ул. Орджоникидзе, д. 3, тел. (495) 952-04-41; e-mail: [ipk@rudn.university](mailto:ipk@rudn.university)



## RUDN JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCHES

VOLUME 18 NUMBER 4 (2017)

DOI: 10.22363/2312-8143-2017-18-4

<http://journals.rudn.ru/engineering-researches>

Founded in 2000

Founder: PEOPLES' FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA

---

### EDITOR-IN-CHIEF

*Yury N. Razumny*, the Director of the Academy of Engineering of RUDN, Director of the Department of Mechanics and Mechatronics of the Academy of Engineering of RUDN University, Professor

### ASSOCIATE EDITOR-IN-CHIEF

*Sergey V. Reznik*, the Head of the Department of "Special Engineering" MSTU. N.E. Bauman, Professor

### ASSISTANT TO THE EDITOR-IN-CHIEF

*Irina M. Tkachenko*, associate Professor, Department of Mechanics and Mechatronics of the Academy of Engineering of RUDN University

### EDITORIAL BOARD

*Oleg M. Alifanov* — Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Space Systems and Missile Design, Moscow Aviation Institute

*Vera V. Galishnikova* — Director of the Department of architecture and civil engineering, Engineering Academy, RUDN University, Associate Professor

*Askhat I. Diveev* — Head of the sector of problems of cybernetics of Federal Research Center "Informatics and Control" of the Russian Academy of Sciences, Professor

*Valery N. Zaharov* — Director of the Institute for Problems of Integrated Development of the Subsurface of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor

*Vladimir T. Kalugin* — Dean of the Departments of Mechanical Engineering, Bauman Moscow State Technical University, Professor

*Vladimir N. Konoplev* — Professor of the Department of Mechanical Engineering and Instrument Engineering, Engineering Academy, RUDN University, Professor

*Anna V. Kornilova* — Professor of the Department of Architecture and Civil Engineering, Engineering Academy, RUDN University, Associate Professor

*Sergey A. Kupreev* — Professor of the Department of Mechanics and Mechatronics, Academy of Engineering, RUDN University, Associate Professor

*Veniamin V. Malyshev* — Head of the Department of System Analysis, Moscow Aviation Institute, Professor

*Irina N. Omelchenko* — Dean of the Department of Engineering business and management, Bauman Moscow State Technical University, Professor

*Harri A. Popov* — Director of the Research Institute of Applied Mechanics and Electrodynamics, Moscow Aviation Institute, Member of the Russian Academy of Sciences

*Marina V. Rybnikova* — Chief Researcher of the Institute for Problems of Integrated Development of the Subsurface of the Russian Academy of Sciences, Professor

*Valeriy M. Fomin* — Moscow Polytechnic University, Professor

*Brij Agrawal* — Naval Postgraduate School, Monterey, USA, Professor

*Renuganth Varatharajoo* — University Putra Malaysia, Malaysia, Professor

*Anna Guerman* — Universidade da Beira Interior, Portugal, Professor

*Filippo Graziani* — University Roma "La Sapienza", Italy, Professor

*Arun Misra* — McGill University, Canada, Professor

*Daniele Mortari* — Texas A&M University, USA, Professor

*David Spencer* — Penn State University, USA, Professor

*Roberto Furfaro* — University of Arizona, USA, Associate Professor

*Tetsuo Yasaka* — Kyushu University, Japan, Professor Emeritus

**RUDN JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCHES.**  
**Published by the Peoples' Friendship University of Russia, Moscow**

ISSN 2312-8151 (online); ISSN 2312-8143 (print)

Published 4 times a year.

Website: <http://journals.rudn.ru/engineering-researches> (Open Access).

Languages: Russian, English

Indexed by Ulrich's Periodicals Directory, RSCI ([elibrary.ru](http://elibrary.ru)), Cyberleninka, Google Scholar, WorldCat, East View.

**Aim and Scope**

The journal publishes results of fundamental and applied research of Russian and foreign scientists on specific scientific research themes. The editorial Board of the journal invites the cooperation of experts working in the areas of computer science, computer engineering, aerospace engineering, mechanical engineering and materials science, geology, mining and petroleum engineering, earth science.

The scientific journal "RUDN Journal of Engineering Researches" is addressed to researchers, engineers, graduate students, senior students of polytechnical universities.

The Journal has been included in the list of the leading review journals and editions of the Highest Certification Committee of Ministry of Education and Science of Russian Federation in which the basic results of PhD and Doctoral Theses are to be published.

The Journal website operates on the Portal of RUDN University scientific journals: <http://journals.rudn.ru/engineering-researches>. The website contains full information about the Journal, editorial policy and ethics, requirements for the preparation and publication of the articles, etc., as well as full-text issues of the Journal since 2008 (Open Access).

---

Editor *M.P. Malakhov*

Computer design: *O.G. Gorunova*

**Address of the editorial board:**

Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419

Ph. +7 (495) 955-07-16; e-mail: [ipk@rudn.university](mailto:ipk@rudn.university)

**Address of the editorial board Series "Engineering researches":**

Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419

Ph. +7 (495) 955-07-92;

e-mail: [engjournalrudn@rudn.university](mailto:engjournalrudn@rudn.university)

---

Printing run 500 copies. Open price.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education  
"Peoples' Friendship University of Russia"

6 Miklukho-Maklaya str., 117198 Moscow, Russia

**Printed at RUDN Publishing House:**

3 Ordzhonikidze str., 115419 Moscow, Russia,

Ph. +7 (495) 952-04-41; e-mail: [ipk@rudn.university](mailto:ipk@rudn.university)

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Семенов А.Б., Муранов А.Н., Куцбах А.А., Семенов Б.И.** Инжекционное литье структурированных многофазных материалов ..... 407
- Жедь О.В., Копылов В.В., Кошеленко А.С.** Исследование методом фотомеханики напряжений на контуре отверстия масляного канала шеек коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания..... 426
- Ощепков П.П., Симеон Адедожа Адегбенро.** Альтернативное топливо для автотранспорта Нигерии на основе пальмового масла ..... 437

### ГЕОЛОГИЯ, ГОРНОЕ И НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО. НАУКИ О ЗЕМЛЕ

- Гуськова И.А., Хаярова Д.Р., Леванова Е.В., Белошапка И.Е.** К вопросу определения температурного режима трубопроводов системы нефтесбора..... 445
- Абрамов В.Ю., Туре Л.** Обзор и состояние горной отрасли алюминия в мире и в Республике Гвинея ..... 454
- Малюков В.П., Траоре М.А.** Применение технологии бурения на обсадных трубах для вскрытия продуктивных горизонтов углеводородных месторождений..... 472
- Расулова С.К., Баба-заде В.М., Белоусов П.Е., Мамедов М.Н., Имамвердиев Н.А., Керимов В.М., Викентьев И.В.** Условия образования цеолитовых месторождений Казахского прогиба Малого Кавказа..... 480
- Карелина Е.В., Марков В.Е., Блоков В.И.** Перспективность Краснополянского района города Сочи на благороднометалльное оруденение ..... 497

### ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

- Аникеев И.Д., Голиков А.В.** Исследование влияния геометрии ортогональных стержневых плит на их напряженно-деформированное состояние..... 505
- Иванов В.Н., Имомназаров Т.С., Фархан И.Т.** Ортогональная криволинейная система координат и построение поверхностей на трапециевидно-криволинейных планах ..... 518
- Иншаси А.** Размещение многофункциональных жилых комплексов в условиях городов в Объединенных Арабских Эмиратах ..... 528
- Шувалов В.М., Кази Шибли Суман.** Оригинальное проектное решение малого рекреационно-туристического комплекса ..... 534

## CONTENTS

### MECHANICAL ENGINEERING AND MATERIAL SCIENCE

- Semenov A.B., Muranov A.N., Kutsbakh A.A., Semenov B.I.** Injection molding of structured multiphase materials ..... 407
- Zhed O.V., Kopylov V.V., Koshelenko A.S.** Photomechanical investigation of stresses on the contour of crankpin oil hole in a crankshaft of internal combustion engine ..... 426
- Oshchepkov P.P., Simeon Adedjoja Adegbenro.** Palm oil as alternative fuel for auto-transport in Nigeria ..... 437

### GEOLOGY, MINING AND OIL&GAS ENGINEERING. EARTH SCIENCE

- Guskova I.A., Khayarova D.R., Levanova E.V., Beloshapka I.E.** On determining temperature conditions of pipelines in oil-gathering system ..... 445
- Abramov V.Yu., Toure L.** Survey economy and the state of aluminum in the world and in the Republic of Guinea ..... 454
- Malyukov V. P. Traore M. Aisha.** Application of casing while drilling technology for accessing hydrocarbon producing horizons..... 472
- Rasulova S.K., Baba-zadeh V.M., Belousov P.E., Mamedov M.N., Imamverdiyev N.A., Kerimov V.M., Vikentiev I.V.** Formation of zeolite deposits of Gazakh depression, Lesser Caucasus ..... 480
- Karelina E.V., Markov V.E., Blok V.I.** Prospectivity of Krasnopolyansky district in Sochi for precious metal mineralization ..... 497

### TECHNOLOGY OF CONSTRUCTION PROCESSES

- Anikeev I.D., Golikov A.V.** Research of the influence of the geometry of orthogonal rods plates on their stress-strain state..... 505
- Ivanov V.N., Imomnazarov T.S., Farhan I.T.** Orthogonal curved coordinate system and forming the surfaces on trapezium-curved plans..... 518
- Inshasi A.** Locating multifunctional residential complexes in the cities of United Arab Emirates (UAE) ..... 528
- Shuvalov V.M., Quazi Shibli Suman.** The original design of the project recreation and tourism small complex..... 534



DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-4-407-425

УДК 621.763+621.74.04

## ИНЖЕКЦИОННОЕ ЛИТЬЕ СТРУКТУРИРОВАННЫХ МНОГОФАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.Б. Семенов, А.Н. Муранов, А.А. Куцбах, Б.И. Семенов

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)  
ул. 2-я Бауманская, 5/1, Москва, Россия, 105005

Современное и перспективное машиностроение требует использования новой совокупности методов обработки, изготовления, изменения состояния материалов, осуществляемых в процессе производства продукции. В частности, уровень современных и перспективных заготовительных производств во многом связан с развитием инжекционного литья структурированных многофазных материалов — порошковых и гранульных технологий нового поколения. В настоящей статье рассмотрены такие широко востребованные зарубежной промышленностью современные технологии инжекционного литья структурированных многофазных материалов, как технология инжекционного литья полимерно-порошковых смесей (*PIM*) и технология тиксоформинга. Дано описание специфических реологических эффектов, определивших принципиальную возможность появления и практического применения названных технологий, рассмотрены отдельные наиболее значимые физико-математические модели реологического поведения структурированных многофазных материалов. Показаны эффективность внедрения и высокий потенциал развития на территории Российской Федерации технологии *PIM* для массового производства малогабаритных фасонных деталей. Отмечена необходимость развития образовательных программ и стандартов, включающих в себя специальные дисциплины и спецкурсы, направленные на подготовку технических специалистов не только в области широко используемых в настоящее время технологий, но и таких перспективных технологий как технология *PIM* и технология тиксоформинга.

**Ключевые слова:** порошки, гранулы, многофазные материалы, структурирование, инжекционное литье, реология, моделирование

Повышение требований к уровню физико-механических свойств материалов, к их стабильности при работе в экстремальных условиях нередко заставляет создавать конструкционные материалы под конструируемые изделия, проводя взаимосвязанные конструкторские и материаловедческие исследования. В результате, как альтернатива традиционным технологиям, стремительно развиваются и совершенствуются методы порошковой и гранульной металлургии, осуществляется гранулирование и сфероидизация частиц твердой фазы “in-situ” на стадии подготовки сплава, предвещающей стадию литья, а на этой основе происходит создание и освоение новых технологий — технологий *инжекционного литья структурированных многофазных материалов*, получивших название *Thixo-* и *PIM (MIM, CIM)* технологии и содержащих в своем названии термины “slurry on demand,

powder, casting, molding”, характеризующие принадлежность этих технологий и к порошковой металлургии, и к литейному производству.

Сохраняя приверженность к тысячелетней традиции производства фасонных изделий из металлов литьем, литейщики непрерывно совершенствуют методы формообразования. Однако традиционно организованные литейные процессы порождают сопутствующие проблемы качества отливки, вызываемые одновременным (сопряженным) протеканием процесса кристаллизации сплава и процесса формирования изделия в литейной форме. На протяжении последней четверти века становится все более очевидным, что омоложение отрасли требует не только использования новых приемов (методов литья): необходимы изменения в системе взглядов на принципы, т.е. на идеологию литья. Суть новой формирующейся идеологии, — процесс кристаллизации металла и процесс формообразования изделия могут и должны быть частично или полностью разделены, а *формообразующую полость нужно заполнять структурированным многофазным материалом*. Новые технологии объединяет ранее неизвестный у металлов, но определяющий способность к «легкому» течению структурированных многофазных материалов «**эффект тиксотропии**», породивший технологии, сегодня объединяемые термином «**тиксоформинг**». Однако до настоящего времени этот термин даже не фигурирует в отечественных учебниках по свойствам сплавов, написанных для литейщиков.

При тиксоформинге процессы кристаллизации металла и формирования отливки частично разделены в пространстве и времени: в литейную форму поступает металл, уже закристаллизованный примерно на 50%. В промышленности тиксотехнологии получили наибольшее развитие в последнюю четверть прошлого столетия в зарубежном автомобилестроении, что выразилось в замене многих чугунных деталей легкового автомобиля изделиями из алюминиевых сплавов. В России в 2006 году (по экспертной оценке) из алюминиевых сплавов было произведено только 340 тыс. т фасонных отливок, из которых 45% — литьем под давлением (ЛПД). Однако около 70% машин ЛПД — это устаревшее оборудование, проработавшее к тому времени более 20-ти лет. По мнению специалистов для развития литья цветных сплавов необходимо пересмотреть позицию конструкторов, создать новые ГОСТы, совершенствовать технологию получения первичных материалов.

В *MIM* технологии перерабатываемый литьем материал — это порошковый шликер, в котором доля закристаллизованного вне литейной формы металла доведена до 100%. Метод пригоден для производства изделий сложных форм как в больших, так и в небольших объемах из почти всех типов материалов, включая металлы, интерметаллические соединения и композиты. На рисунке 1 демонстрируется **возможность такого формования изделий — литья сложнейших деталей**, геометрия которых соответствует желанию конструктора, **из порошков любых промышленных конструкционных материалов**. Литейщики России, а может быть и кузнецы, занимающиеся порошковыми технологиями должны, наконец, приступить к реализации второй парадигмы литья изделий из металлов, имеющей глубокие корни в нашей стране. Первое изобретение П. Грибовского и авторское свидетельство на эту тему, датированное 1948 годом, привязано ко всем классам

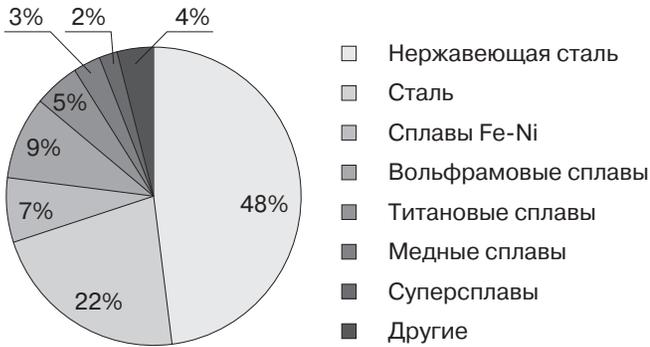
инженерных материалов, включая металлы и композиты, но в нашей стране до настоящего времени оно применено только к керамикам. Интерес к *PIM* деталям проявился в связи с развитием авиационно-космической техники и оружия, там, где увеличение количества литых деталей в составе изделия сдерживалось низким уровнем технологии изготовления отливок. Однако очень быстро *MIM* и *СIM* технологии заняли особую нишу, связанную с миниатюризацией и повышением сложности проектируемых конструктором деталей. За рубежом детали, изготовленные по *MIM* технологии, находят применение в таких отраслях промышленности, как автомобилестроение, химия, аэрокосмическая промышленность, компьютерная техника, биомедицина и вооружения [1—9].

Выбор материалов для деталей машин и приборов определяется эксплуатационными, технологическими и экономическими требованиями. Конструкторские разработки изделий новой техники, которые нередко должны работать в экстремальных условиях, предъявляют повышенные требования к материалам. Одновременно с повышением уровня требований к физико-механическим свойствам материалов конструкционного назначения разработчики изделий расширяют функциональные нагрузки изделий, нередко прибегая к использованию импортных материалов и технологий. Большинство предприятий сегодня закупают и используют лишь аналоги зарубежного производства, включая оборудование и материалы для 3D печати.

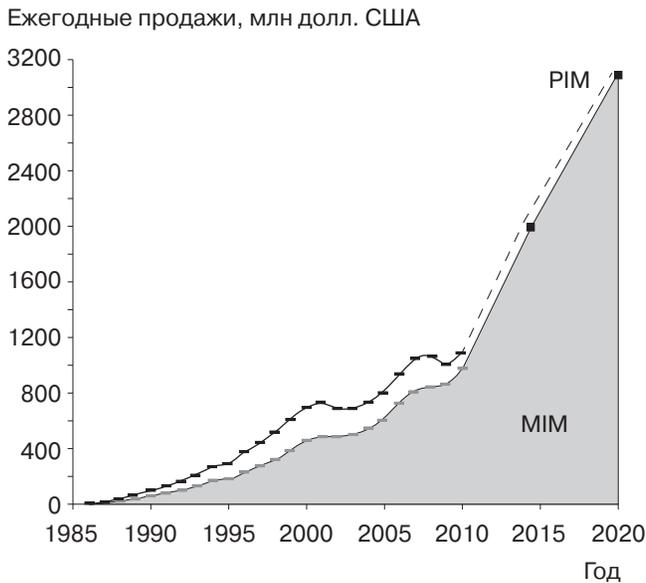
Порошковая металлургия нередко позволяет уменьшать потери металла в десятки раз, а возможность широкого варьирования составами порошковых сплавов позволяет получать специфические свойства, которые недостижимы при использовании традиционных способов изготовления изделий. Современное развитие методов традиционной порошковой металлургии (ПМ) выразилось не только в рождении порошковой технологии селективного лазерного сплавления (*SLM*), но еще ранее — технологии инъекционного литья металлических порошковых материалов (*MIM*), что на сегодняшний день международными организациями и техническими комитетами по стандартизации в ИСО в области ПМ рассматривается как появление отдельной отрасли ПМ, получившей обобщающее название технологии инъекционного литья порошков (*PIM*) (см. рис. 1). Как видно из приведенной на рисунке диаграммы, современные *MIM* технологии охватывают все классы традиционных конструкционных материалов, но основная часть ( $48 + 22 + 7 = 77\%$ ) материалов — это традиционные для литейных производств страны сплавы на основе железа. Актуальной становится проблема о месте *Thixo*- и *PIM* технологий в современных заготовительных производствах отечественных машиностроительных предприятий, вступающих в конкурентную борьбу в рамках глобализации мировой экономики и ВТО.

По оценкам зарубежных специалистов основные преимущества принципиально нового направления в технологиях порошковой металлургии состоят в сокращении времени производства деталей из порошков, снижении отходов материала и потребления энергии, затраченных при их производстве. Структура производства машиностроительных деталей конструкционного назначения, принципиально отличного от традиционного, и стремительный рост мирового объема *PIM* продаж (всего 9 млн долл. США в 1986 г.) хорошо видны из подго-

товленной по литературным данным информации, представленной на рисунке 1 и в таблице 1.



а



б



в

**Рис. 1.** а — доли использования различных сплавов в *MIM* индустрии; б — зависимость объема продаж *MIM* (нижняя кривая) как доля объема *PIM* продаж; в — изделия из различных материалов, изготовленные с использованием *PIM* (*MIM*)

[**Fig. 1.** а — Proportion of usage of various alloys in *MIM* industry; б — Graph of *MIM* market sales (lower curve) as a fraction of *PIM* sales; в — Products from various materials manufactured using *PIM* (*MIM*)]

В современной *MIM* фирме отсутствует плавильное отделение, не осуществляются процессы плавки металлов, но есть литейное отделение, состоящее из машин литья под давлением. Для формования металлических порошков инъекционным литьем определяющим этапом становится стадия производства, отвечающая за процессы получения нового литейного материала, названного в таблице 1 *фидстоком*. *MIM*-фидсток представляет собой композиционный материал из металлических порошков требуемого химического состава (около 60% по объему и до 90% и более по массе) и легкоплавкого полимерного связующего. Технологические свойства фидстока устанавливают пригодность такого материала для литья, для последующего полного удаления связующей смеси без разрушения формовки (литой фасонной заготовки), — процесса, названного в таблице 1 *дебиндингом*, и для превращения пористого изделия в монолитное спеканием порошка. Установлено, и это обстоятельство отражено в таблице 1, что в наиболее ответственных случаях фирма-изготовитель деталей организует производство необходимых фидстоков внутри предприятия. Новые технологии потребовали нового уровня интеллектуальной подготовки у производителя и нового уровня техники контроля процессов, осуществляемых при подготовке литейного материала, на машинах литья под давлением и в специализированных печах дебиндинга и спекания.

Примеры точных *MIM* деталей сложной конфигурации, не требующих механической обработки перед их использованием в изделиях, показаны на рисунках 2 и 3. Принципиальная новизна новых технических решений — это предварительное создание из порции металла и неметаллического компонента *двухфазной твердоджидкой среды с высокой долей твердой фазы* (до 60 об.% и более), сочетающей свойства твердого тела и жидкости и *способной* в таком состоянии *к заполнению формообразующей полости за счет склонности суспензий к размягчению и проявлению эффекта тиксотропии*.

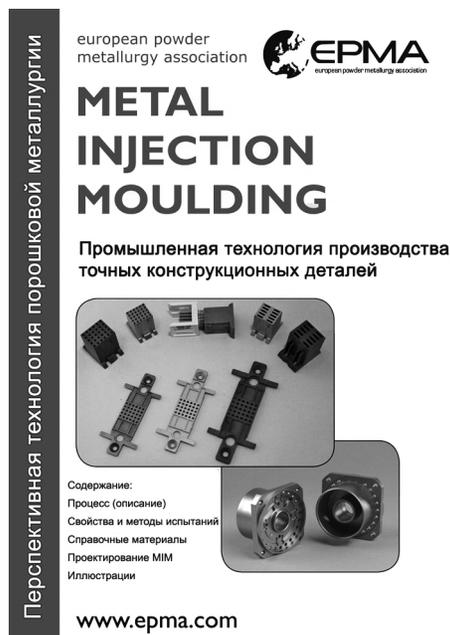
Таблица 1

**Количественные и качественные характеристики PIM**  
**[Quantitative and qualitative characteristics of PIM]**

Характеристика	2010 г.	2012 г.
Общий объем PIM продаж, млрд долл. США	1,10	1,45
Общее количество PIM фирм	366	445
Общее количество работников	8 000	13 800
Продажи на одного работающего, долл. США	126 000	239 000
Продажи на одну литейную машину, долл. США	538 000	554 000
Продажи на одну производственную печь, долл. США	980 000	1 243
Доля фирм, изготавливающих фидстоки для себя, %	72	72–76
Доля фирм, использующих термический дебиндинг, %	49	43
Доля фирм, использующих растворный дебиндинг, %	26	24
Доля фирм, использующих каталитический дебиндинг, %	14	21
Доля фирм, использующих другие виды дебиндинга, %	11	11
Средняя масса детали, г	6	40



**Рис. 2.** MIM детали сложной конфигурации, не требующие механической обработки  
[**Fig. 2.** Complex-shaped MIM parts that do not require machining]



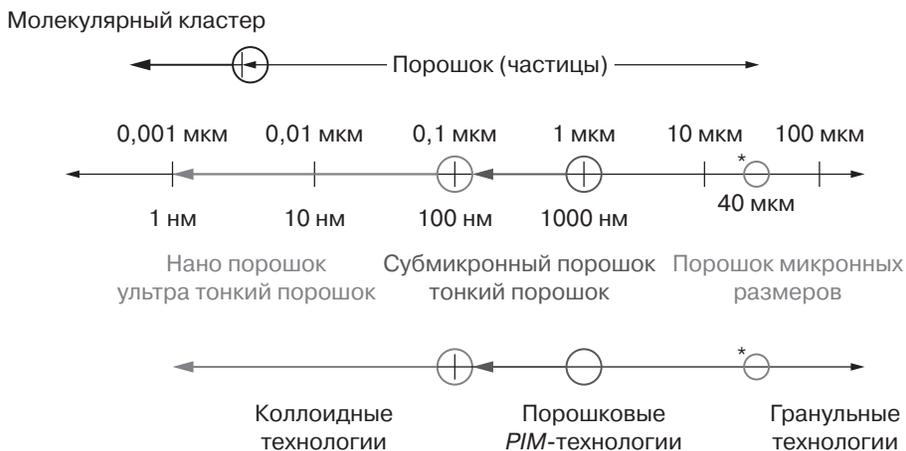
**Рис. 3.** Титульный лист пособия по MIM технологии производства точных деталей  
[**Fig. 3.** Title page of the manual on MIM technology of manufacturing precision parts]

По определению, даваемому международным стандартом ИСО 3252:1999 и соответствующему действующему в России стандарту ГОСТу 17359—82, такая среда, являющаяся устойчивой текучей вязкой суспензией порошка, распределенного в жидкости, называется шликером. Значительные исследования, проведенные в СССР еще в 40-е годы прошлого столетия в области горячего литья под давлением шликеров, содержащих керамические порошки, не привлекли внимания ни практиков, ни теоретиков в области литья металлических материалов.

Развитие новых технологий — предмет заботы правительственных и неправительственных организаций, объединяющих специалистов соответствующей отрасли. Например, в рамках Европейской Ассоциации Порошковой Металлургии (ЕРМА) с начала 2000-х в Европе создана и активно работает группа EuroMIM, которая охватывает более 70 компаний со всей Европы. Задачи группы следующие: оценка потенциала и возможностей *MIM*, продвижение *MIM* к конечным пользователям, обеспечение единой европейской позиции во внешнем мире. Один из продуктов деятельности группы, справочное пособие по *MIM* технологии, титульный лист которого в редакции авторов представлен на рисунке 3. Подобные работы в России до настоящего времени не публиковались и, по-видимому, не проводились.

Изучение мирового опыта современных производств показывает, что создание эффективных технологий формообразования фасонных деталей из структурированных многофазных материалов невозможно без развития новых направлений в теории литья, которые в теоретическом плане опираются на физико-химическую динамику дисперсных систем. Физико-химическая динамика, — это получивший развитие на стыке тысячелетий раздел физической химии дисперсных систем, изучающий механизмы образования и разрыва межмолекулярных связей в контактах между частицами и образуемыми ими структурами в динамических условиях. Изучение динамики контактных взаимодействий, кинетики и стадийности структурообразования в дисперсных системах в динамических условиях в присутствии добавок поверхностно-активных веществ, обоснование и разработка методов достижения максимальной текучести новых литейных материалов при устранении расслоений и разрывов сплошности, — вот главные научные проблемы в технологиях инъекционного литья структурированных многофазных материалов.

Современные порошковые технологии начинаются с классификации порошков по размерам (рис. 4), где *PIM* технологии занимают свою заметную нишу: чаще всего используемые керамические порошки (*CIM*) занимают диапазон размеров 0,1—2,0 мкм, а металлические (*MIM*) 1—40 мкм.

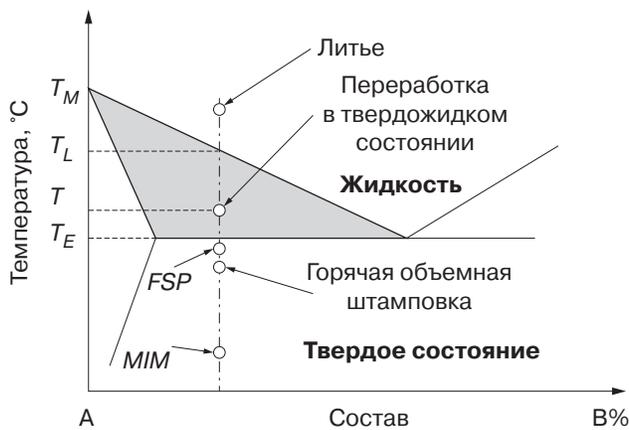


**Рис. 4.** Классификация порошков и технологий в зависимости от размеров порошков  
**[Fig. 4.** Classification of powders and technologies based on the particle size of powders]

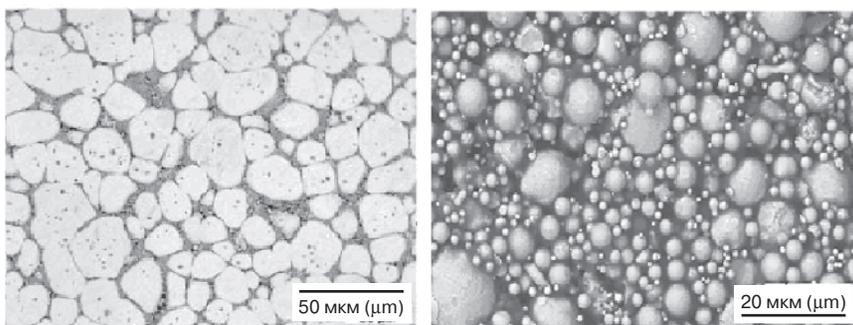
Оценки эффективности уже коммерциализованных производств и возникновение большого количества специализированных зарубежных фирм показывают, что сегодня модернизация экономики и ресурсосберегающее инновационное развитие России требуют углубленного изучения зарубежного опыта организации в машиностроении современных заготовительных производств, ориентированных на литейные порошковые и гранульные технологии. В новых способах формовки изделий литьем из структурированных многофазных материалов, совершенно очевидно для специалиста, проявляется подобие в используемых теоретических моделях формирования отливки [1–9]. Это позволяет рассмотреть тиксо- и *PIM* технологии с единых позиций, что в итоге способствует более глубокому пониманию результатов проводимых исследований и их более широкому использованию для решения прикладных задач. Но это также означает, что для освоения отечественным машиностроением новых эффективных технологий заготовительных производств, использующих современные специальные способы литья фидстоков и тиксозаготовок, должна быть предложена и новая база, — *научные основы технологий литья структурированных многофазных материалов*, отсутствующие в действующих учебниках [10–13].

Однако в России до настоящего времени нет и ни одного промышленного предприятия с полным циклом *PIM* (*MIM*) производства. Трудно оценить экономическую эффективность организации подобного производства в России, если для его осуществления материалы и технологическое оборудование привозятся из-за рубежа, технологическая оснастка конструируется за рубежом, материалы сертифицируются по зарубежным стандартам. Нужна подготовка национальных кадров. Сегодня нет ни одной зарубежной или российской фирмы, производящей фидстоки в России, а великолепные и пригодные для производства 77% фидстоков (см. рис. 1) порошки отечественного карбонильного железа вывозятся за рубеж лишь в виде конечного продукта, без переработки в продукты с более высокой добавленной стоимостью [14]. Постоянное повышение служебных характеристик материалов связано с неизменно растущим уровнем требований к конкурентоспособным изделиям новой техники, определяющим качество и надежность деталей машиностроительных конструкций. Современные конструкторско-технологические решения, направленные на получение оптимальных пространственных конфигураций деталей, на существенное сокращение количества сборочных единиц, на совмещение многих функций в одной детали и миниатюризацию изделий, ведут к максимальному уменьшению количества механических или сварных соединений в узле или агрегате, но требуют повышения надежности и стабильности технологического обеспечения установленных требований конструкторской документации в части механических свойств, размерной точности и качества поверхности заготовок, химического состава применяемых материалов и т.п. Сказанное делает актуальной проблему быстрейшего освоения «дома» тиксоформинга и *PIMa*, — технологий нового поколения, которые должны строиться на реологических моделях структурированных тиксотропных жидкостей, предпочтительно должны ориентироваться на использование специализированных материалов отечественного производства и опираться в этом на *базу национальных и международных стандартов*.

В рамках развития механики диссипативных систем строится изучение, тиксоформирования (тиксоформинга), фрикционной перемешивающей обработки металлов в отливках и *PIM*. В МГТУ им. Н.Э. Баумана эти исследования проводятся с начала 2000-х годов, а для изучения названных технологий с общих позиций реологии в 2015 году создана специализированная межфакультетская лаборатория [15–22]. *Потребность в обеспечении требуемой текучести при минимальном количестве в материале тепловой энергии заставила технологов сконцентрировать внимание на управлении вязкостью используемых систем материалов особыми приемами, на создании таких условий течения, которые приемлемы для реализации в машиностроительных технологиях, заменяя этими приемами выбор температуры заливки и напор столба жидкости. Такими приемами стала подготовка из традиционных сплавов специальных материалов, — тиксозаготовок и фидстоков, — структурированных многофазных материалов, размягчающихся в суспензированном состоянии под воздействием сдвиговых деформаций (рис. 5).*



а



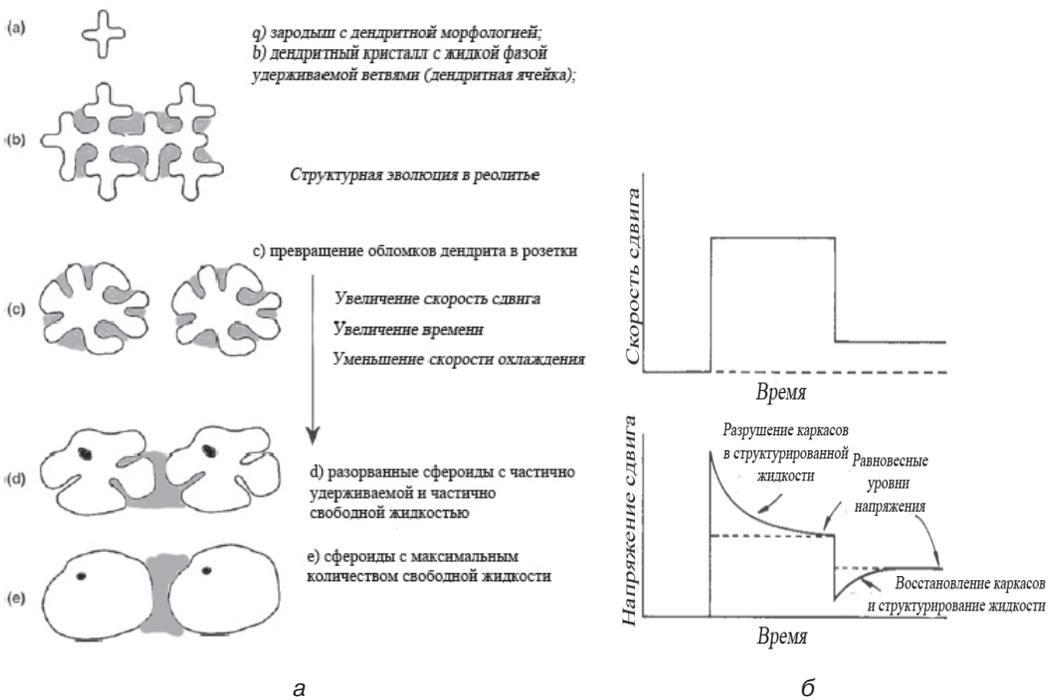
Глобулярная структура металла в твердожидком состоянии

Структура металла, приготовленного для *MIM* процесса

б

**Рис. 5.** а — применимость различных технологий в зависимости от состояния материала; б — микроструктуры тиксозаготовки и фидстока, подготовленных для литья  
**[Fig. 5.** а — Applicability of different technologies depending on material condition; б — Microstructures of thixotropic material and feedstock prepared for casting]

Эффект тиксотропии — это обратимое изменение вязкости структурируемой твердой жидкой среды, проявляющееся при постоянной температуре среды в продолжительном изменении напряжения сдвига при скачкообразном изменении скорости сдвига в материале, текущем в литейной форме. Управление вязкостью фидстока требует ограничения объемного наполнения полимерного связующего критической объемной долей порошка. Подготовка к проявлению эффекта тиксотропии в тиксозаготовках, заключающаяся в освобождении из дендрита части захваченной жидкости при сфероидизации обломков дендрита, и механизм проявления эффекта тиксотропии в структурированной жидкости, схематично иллюстрируемый на рисунке 6, с позиций реологии делает тиксо- и *PIM* технологии подобными.

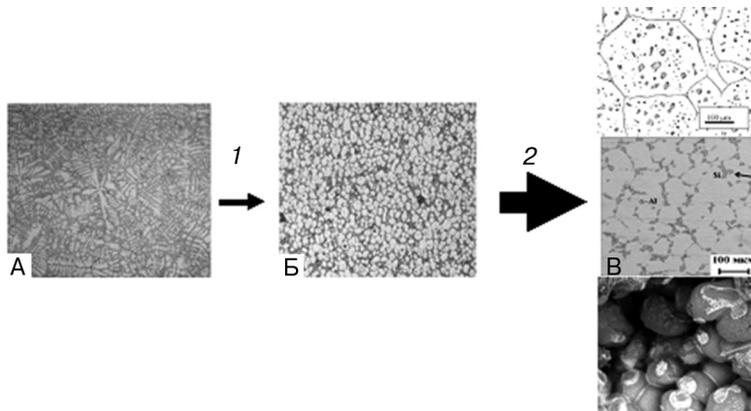


**Рис. 6.** Подготовка к проявлению и механизм проявления тиксотропных свойств в твердой жидких металлах: а — освобождение из дендрита части захваченной жидкости; б — изменение напряжения сдвига при скачкообразном изменении скорости сдвига

[Fig. 6. Thixotropic behavior initializing steps and the mechanism of its action in solid-liquid metals: а — Release of a part of captured liquid from dendrite; б — Change in shear stress as a result of stepped change in shearing rate]

Некоторые возможные результаты управляющих воздействий на микроструктуру материала на различных этапах тиксоформинга показаны на рисунке 7. Физика подобных явлений в традиционном материаловедении и методы организации подобных процессов в теориях литейных процессов, ориентированных на производство изделий из металлических сплавов, в отечественных публикациях [10–13] не рассматривались. Но это означает, что для эффективного освоения современных литейных технологий должна быть построена *новая научная база: управ-*

ление течением и затвердеванием при литье под давлением тиксотропных жидкостей в теоретическом плане должно опираться на физико-химическую динамику дисперсных систем [23].



**Рис. 7.** Структурированный вне литейной формы твердожидкий металл и микроструктура отливки после литья под давлением:

А — структура материала до перемешивающей обработки; Б — структура суспензии с тиксо свойствами; В — структура материала тиксоштампованной детали (вверху при избытке свободной жидкости; внизу — при недостатке); 1 — перемешивающая обработка и сфероидизация розеток; 2 — литье под давлением

**[Fig. 7.** Structured outside the mold solid-liquid metal and microstructure of casting after injection molding:

А — the structure of the material before mixing; Б — suspension structure with Thixo-properties; В — structure of the thixotropic part's material (at the top with — an excess of free liquid, at the bottom — with an insufficient content); 1 — mixing processing and spheroidization of dendrites; 2 — injection molding]

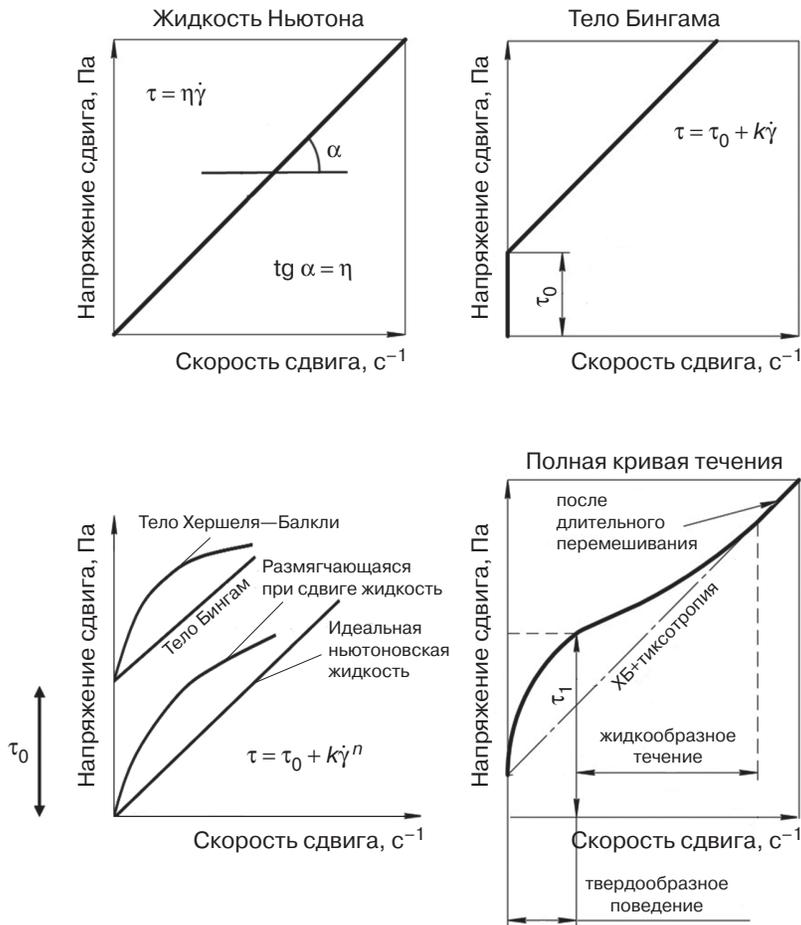
Описание (или *моделирование*) динамического поведения различных материалов включает рассмотрение их реакции при течении в технологической оснастке не только с традиционных позиций тепло- и массообмена, но и с позиций реологии, используя различные модели течения твердожидкой среды (рис. 8). В представленных на рисунке аналитических зависимостях  $n$  — показатель чувствительности к скорости сдвига,  $\tau_0$  — предел текучести деформируемой среды. При  $n = 1$  и  $\tau_0 = 0$  получаем модель жидкости Ньютона. При  $n < 1$  и  $\tau_0 \neq 0$  имеем модель жидкости Хершеля–Балкли, размягчающейся при сдвиге. Влияние длительного перемешивания твердожидкого металла с дендритной структурой приводит к необходимости построения полной кривой течения (по Ребиндеру), — модели твердожидкой среды, способной в зависимости от условий к твердообразному и жидкообразному поведению. Эксперименты показывают, что *течение твердожидкого металла при тиксоформинге и жидкоподвижного фидстока в МІМ существенно отличается от поведения жидкого металла (жидкости Ньютона) при его заливке в литейную форму любым традиционным методом, но обладает значительной общностью с поведением неньютоновских жидкостей (например, полимеров).*

Научную основу литья полимеров составляют такие известные в механике диссипативных систем реологические явления, как:

— фазовые и релаксационные переходы, вызванные деформированием при сдвиге;

- проявление твердообразных свойств у жидкостей; благодаря этому вещество сохраняет приданную ему форму в покое, но, преодолев при достаточно высоких нагрузках динамический предел текучести, может течь;
- память к предистории деформирования;
- эффекты повышения либо понижения вязкости в зависимости от скорости деформирования как следствие структурных превращений в материале (эффект реопексии и тиксотропии);
- локальное отверждение (переход из текучего в твердообразное состояние), способствующее стабилизации жидких струй в различных положениях, и др.

Реологические измерения предоставляют значения характеристик свойств материала при взаимодействии с окружающей средой, а фундаментальные реологические концепции предсказывают, каким образом понимать результаты этих исследований и как их использовать для решения прикладных задач.

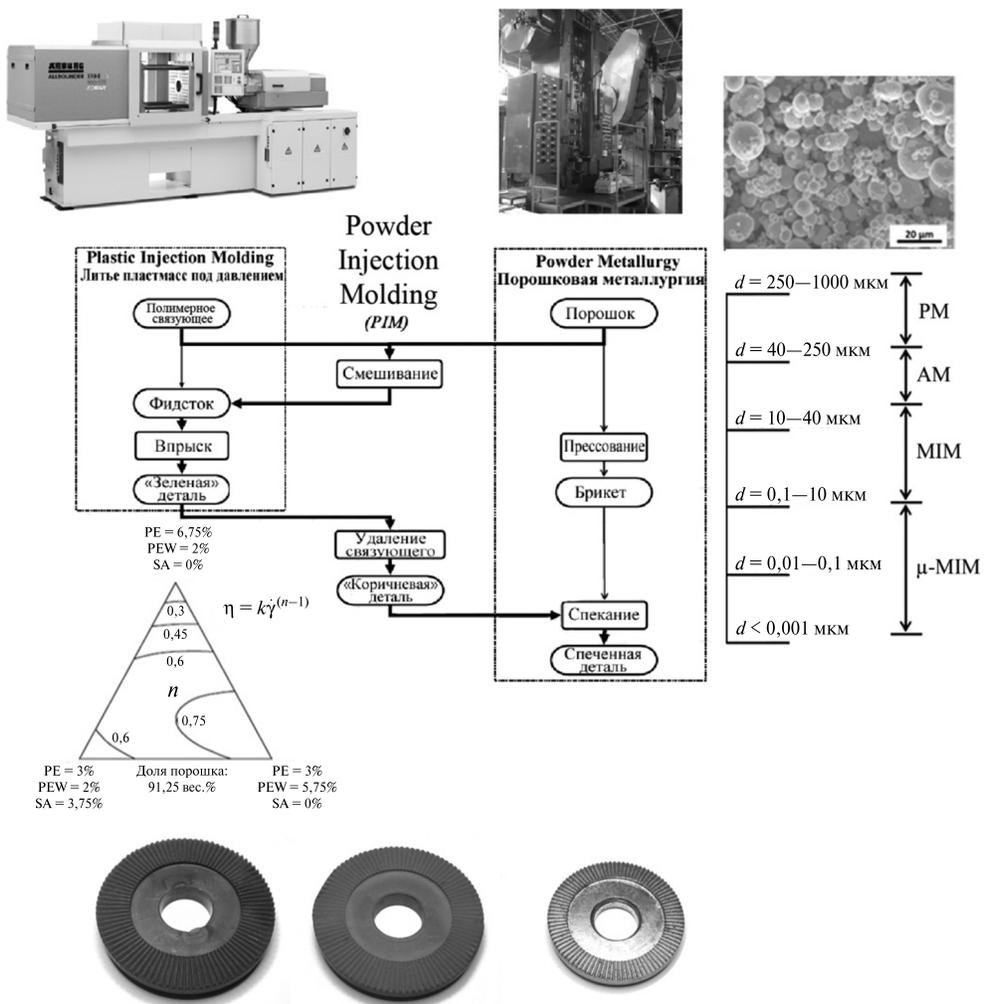


**Рис. 8.** Различные реологические модели течения жидких сред  
**[Fig. 8.** Various rheological flow models]

Как и для полимеров, для расчета технологических режимов и математического моделирования рассматриваемых процессов формообразования изделий из металлов *недостаточно законов сохранения массы, импульса и энергии. В матема-*

тическую модель должны быть добавлены одно или несколько уравнений состояния, которые описывают свойства твердожидких металлов и металл-полимерных композиций в условиях сдвига, подобно тому, как это делается при литье полимерных материалов.

Специфические реологические эффекты, которые не существуют при течении ньютоновских жидкостей, но присутствуют, оказавшись очень полезными в новых способах литья фасонных изделий из металлов, в значительной степени изменили облик технологической оснастки и литейного оборудования и, одновременно, требования к обслуживающему персоналу. Объем знаний инженерно-технических работников должен быть расширен до понимания ими возможности решать задачи заполнения расплавом литейной формы при минимальном количестве в материале тепловой энергии и управлять затвердеванием суспензий без их расслоения и разрывов сплошности.



**Рис. 9.** Процедуры и этапы создания и переработки в фасонное изделие структурируемых многофазных материалов методом инъекционного литья порошковых материалов (MIM)

[Fig. 9. Procedures and stages of creation and processing of structured multiphase materials into shaped parts by powder injection molding (MIM)]

Российские исследователи, занимавшие передовые позиции в заготовительных производствах машиностроения в 50-х — 60-х годах прошлого столетия, во многом отстали в последующий период. Особенно заметно это отставание проявилось на рубеже столетий. Сегодня модернизация экономики и инновационное развитие России не возможны без углубленного изучения зарубежного опыта организации современных заготовительных производств в машиностроении. Но необходим и особо важен собственный опыт организации полного цикла производств изделий из структурируемых многофазных материалов, появление производств, организация которых должна начинаться с подбора состава и изготовления фидстока — порошка полимерной смеси с требуемой вязкостью и чувствительностью к скорости сдвига, последующего моделирования технологии литья и изготовления фасонной «зеленой» детали (рис. 9). Метод удаления связующего и процедуры спекания в *PIM* технологии также предопределены выбором состава связующей полимерной смеси. В научном плане усилия лаборатории направлены на проведение совместной деятельности МГТУ им. Н.Э. Баумана с научно-производственными организациями, такими как ОАО «АХК ВНИИМЕТ-МАШ» [24], ОАО «НИАТ» [8; 20; 21], ФГУП ВИАМ [19], ОАО «Композит», ОАО «НПО “Прибор”», ООО «РИФМЕТ ПРО», НПП «Прибор» [16; 17] и др., и с академической наукой [25]. Значимость решаемых задач, интерес ведущих реологов страны из Института нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук к описываемой научной проблеме подтверждены получением гранта Президентской программы исследовательских проектов по теме «Создание новых многокомпонентных полимерных композиций и их переработка в материалы на основе структурно-реологического подхода». Участие в этих исследованиях специалистов лаборатории МГТУ им. Н.Э. Баумана должно послужить серьезным стимулом быстрого развития в стране новой отрасли порошковой металлургии в заготовительных производствах современного машиностроения, получившей обобщающее название технологии инъекционного литья порошков, и в целом, *инжекционного литья структурированных многофазных материалов.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Powder injection moulding international [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pim-international.com> (дата обращения: 11.10.2017).
- [2] *Грибовский П.О.* Горячее литье керамических изделий. М.: Госэнергоиздат, 1956. 400 с.
- [3] *Williams N.* Metal Injection Moulding in the firearms industry: a global perspective // PIM International. 2014. Vol. 8(4). P. 31–47.
- [4] *Семенов А.Б., Муранов А.Н., Семенов Б.И.* Thixo- и PIM технологии в современном двигателестроении // Грузовик. 2017. № 10. С. 3–6.
- [5] Handbook of metal injection molding / ed. by D.F. Heaney. Woodhead Publishing Limited, 2012. 601 pp.
- [6] Polymer Technologies Inc. looks to the aerospace industry for new PIM applications // PIM International. 2013. Vol. 7(1). P. 45–51.
- [7] *Пархоменко А.В., Амосов А.П., Самборук А.Р., Игнатов С.В., Костин Д.В., Шульцимова А.С.* Разработка отечественного порошкового гранулята со связующим на основе полиформальдегида для мим-технологии // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2013. (4). С. 8–13. DOI: 10.17073/1997-308X-2013-4-8-13.

- [8] Куцбах А.А., Семенов Б.И. Импортзамещающая технология изготовления литьем (PIM) тонкостенной стальной раздаваемой втулки для разъемных соединений композитных панелей // Вооружение, военная техника и боеприпасы. Форум лучших студентов технических вузов России, X международная выставка «Вооружение, военная техника и боеприпасы». (Russia Arms Expo 2015), 10 сентября 2015 года, г. Нижний Тагил. Сб. ст. Ч. 2. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. С. 176—181.
- [9] Raymond V. Metal injection molding development: modeling and numerical simulation of injection with experimental validation. Diss. Ecole Polytechnique de Montreal, 2012. 136 pp.
- [10] Баландин Г.Ф. Теория формирования отливки: основы тепловой теории. Затвердевание и охлаждение отливки: учеб. для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. 360 с.
- [11] Пикунов М.В. Плавка металлов, кристаллизация сплавов, затвердевание отливок: учеб. пособие для вузов. М.: МИСиС, 2005. 416 с.
- [12] Чуркин Б.С. Теория литейных процессов: учебник / под ред. Э.Б. Гофмана. Екатеринбург, 2006. 454 с.
- [13] Гини Э.Ч. Специальные технологии литья: учеб. для вузов / Э.Ч. Гини, А.М. Зарубин, В.А. Рыбкин. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 367 с.
- [14] Coleman A.J., Murray K. [et al]. Effect of Particle Size Distribution on Processing and Properties of Metal Injection Moulded 4140 and 4340 // Sandvik Osprey Ltd.: Technical papers. URL: [http://smt.sandvik.com/globalassets/global/downloads/products\\_downloads/metal\\_powders/technical\\_papers/effect-of-particle-size-distribution-on-processing-and-properties-of-mim-4140-and-4340.pdf](http://smt.sandvik.com/globalassets/global/downloads/products_downloads/metal_powders/technical_papers/effect-of-particle-size-distribution-on-processing-and-properties-of-mim-4140-and-4340.pdf) (дата обращения: 12.09.2017).
- [15] Муранов А.Н., Семенов А.Б., Семенов Б.И. Неньютоновское течение суспензий, используемых при инъекционном литье металлических изделий сложной формы // Механика композиционных материалов и конструкций, сложных и гетерогенных сред: сб. тр. Всеросс. науч. конф. с межд. участием, к 95-летию со дня рождения академика И.Ф. Образцова. Москва, 15—17 декабря 2015 г. М.: ФГБУН «ИПРИМ» РАН, 2015. С. 638—639.
- [16] Семенов А.Б., Гавриленко А.Э., Семенов Б.И. Порошковые технологии синтеза сложных фасонных деталей из суперсплавов: АМ и/или PIM (зарубежный и отечественный опыт) [Электронный ресурс] // ФГУП ВИАМ ГНЦ РФ. Круглые столы, конференции, семинары: сб. тр. II межд. Конф. «Аддитивные технологии: настоящее и будущее». Ч. 4. Москва, 16 марта 2016. URL: <http://conf.viam.ru/conf/192/proceedings> (дата обращения: 11.10.2017).
- [17] Литейные технологии нового поколения, их освоение и развитие в России. Ч. 2-2. Физическая природа и особенности моделей материалов с тиксотропными свойствами / А.Б. Семенов, А.Н. Муранов, Б.И. Семенов // Технология металлов. 2016. № 9. С. 7—18.
- [18] Литейные технологии нового поколения, их освоение и развитие в России. Ч. 2-1. Физическая природа и особенности моделей материалов с тиксотропными свойствами / А.Б. Семенов, А.Н. Муранов, Б.И. Семенов // Технология металлов. 2016. № 8. С. 8—17.
- [19] Металлопорошковые композиции жаропрочного сплава ЭП648 производства ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ в технологиях селективного лазерного сплавления, лазерной газопорошковой наплавки и высокоточного литья полимеров, наполненных металлическими порошками / Е.Н. Каблов, А.Г. Евгенов, О.Г. Оспенникова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2016. № 9. С. 62—80.
- [20] Новые задачи и рубежи в технологической подготовке выпускника вуза машиностроительного профиля. Ч. 1 / А.Б. Семёнов, А.П. Корневич, А.А. Куцбах [и др.] // Технология металлов. 2017. № 3. С. 42—48.
- [21] Новые задачи и рубежи в технологической подготовке выпускника вуза машиностроительного профиля. Ч. 2 / А.Б. Семёнов, А.П. Корневич, А.А. Куцбах [и др.] // Технология металлов. 2017. № 5. С. 38—48.
- [22] Семенов А.Б., Семенов Б.И. Две парадигмы технологий литья изделий из металлов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2017. № 5. С. 79—98.

- [23] Малкин А.Я., Исаев А.И. Реология: концепции, методы, приложения. СПб.: Изд. Профессия, 2010. 560 с.
- [24] Семенов Б.И., Куштаров К.М. Производство изделий из металла в твердотелом состоянии. Новые промышленные технологии: учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 223 с.
- [25] Российский научный фонд [сайт] 2017. URL: <http://www.rscf.ru> (дата обращения: 11.09.2017).

© Семенов А.Б., Муранов А.Н., Куцбах А.А., Семенов Б.И., 2017

#### **История статьи:**

Дата поступления в редакцию: 27 августа 2017

Дата принятия к печати: 27 сентября 2017

#### **Для цитирования:**

Семенов А.Б., Муранов А.Н., Куцбах А.А., Семенов Б.И. Инжекционное литье структурированных многофазных материалов // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: «Инженерные исследования».* 2017. Т. 18. № 4. С. 407–425. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-407-425

#### **Сведения об авторах:**

*Семенов Алексей Борисович*, кандидат технических наук, доцент кафедры МТ-5 «Литейные технологии» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. *Область научных интересов:* литейные сплавы; специальные способы литья; тиксоформинг; технология инжекционного литья полимерно-порошковых смесей под высоким давлением. *Контактная информация:* E-mail: [semenov.ab@bk.ru](mailto:semenov.ab@bk.ru)

*Муранов Александр Николаевич*, аспирант кафедры СМ-13 «Ракетно-космические композитные конструкции» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. *Область научных интересов:* технология, механика и физико-химия композиционных материалов; технология инжекционного литья полимерно-порошковых смесей под высоким давлением. *Контактная информация:* E-mail: [muranovalecs@mail.ru](mailto:muranovalecs@mail.ru)

*Куцбах Анатолий Артурович*, магистрант кафедры СМ-13 «Ракетно-космические композитные конструкции» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. *Область научных интересов:* компьютерное имитационное моделирование; композиционные материалы; технология инжекционного литья полимерно-порошковых смесей под высоким давлением. *Контактная информация:* E-mail: [akutsbakh@mail.ru](mailto:akutsbakh@mail.ru)

*Семенов Борис Иванович*, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры СМ-13 «Ракетно-космические композитные конструкции» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. *Область научных интересов:* механика и технология металломатричных композиционных материалов; материаловедение; тиксоформинг; технология инжекционного литья полимерно-порошковых смесей под высоким давлением. *Контактная информация:* E-mail: [semenovbi@bmstu.ru](mailto:semenovbi@bmstu.ru)

## INJECTION MOLDING OF STRUCTURED MULTIPHASE MATERIALS

A.B. Semenov, A.N. Muranov, A.A. Kutsbakh, B.I. Semenov

Bauman Moscow State Technical University  
(National research university of technology)  
2-nd Baumanskaya str., 5/1, Moscow, Russia, 105005

Contemporary and future-oriented mechanical engineering requires the use of a new set of methods for processing, manufacturing, changing the state of materials implemented in the production process. In particular, the level of modern and prospective blank part production industries is largely related to the development of injection molding of structured multiphase materials — powder and granule technologies of a new generation. In this article, such widely used by foreign industry modern injection molding technologies of structured multiphase materials as the powder injection molding (PIM) technology and the thixoforming technology, are considered. A description of specific rheological effects that determined the fundamental possibility of the appearance and practical application of these technologies is given, and some of the most relevant physico-mathematical models of rheological behavior of structured multiphase materials are considered. In addition, the article demonstrates the efficiency of implementation and high potential for development of powder injection molding technology (PIM) for mass production of small-sized shaped parts in Russian Federation. The need for the development of educational programs and standards, including special disciplines and courses aimed at training technical professionals not only in the field of present commonly used technologies, but also such promising technologies as powder injection molding (PIM) and thixoforming, was noted as well.

**Key words:** powders, granules, multiphase materials, structuring, injection molding, rheology, modeling

### REFERENCES

- [1] Powder injection moulding international [Internet]. URL: <http://www.pim-international.com> (access date: 11.10.2017).
- [2] Gribovskij P.O. Goryachee lit'e keramicheskikh izdelij [Hot-casting of ceramic parts]. M.: Goshenergoizdat, 1956. 400 pp. (in Russ.)
- [3] Williams N. Metal Injection Moulding in the firearms industry: a global perspective. PIM International. 2014. Vol. 8(4). P. 31–47.
- [4] Semenov A.B., Muranov A.N., Semenov B.I. Semenov. Thixo- i PIM tekhnologii v sovremennom dvigatelestroenii [Thixo and PIM Technologies in Modern Engine-building]. Gruzovik [Truck: Transportation Complex and Special Technique]. 2017. Vol. 10. P. 3–6. (in Russ.).
- [5] Handbook of metal injection molding / ed. by D.F. Heaney. Woodhead Publishing Limited, 2012. 601 pp.
- [6] Polymer Technologies Inc. looks to the aerospace industry for new PIM applications. PIM International. 2013. Vol. 7(1). P. 45–51.
- [7] Parkhomenko A.V., Amosov A.P., Samboruk A.R., Ignatov S.V., Kostin D.V. Development of domestic powdered granulated material with polyformaldehyde based binder for MIM-process. *Izvestiya Vuzov. Poroshkovaya Metallurgiya i Funktsional'nye Pokrytiya*. 2013. No. 4. P. 8–13. DOI: 10.17073/1997-308X-2013-4-8-13. (in Russ.).
- [8] Kutsbakh A.A., Semenov B.I. Importozameshchayushchaya tekhnologiya izgotovleniya lit'em (PIM) tonkostennoj stal'noj razdavaemoj vtulki dlya raz'emnyh soedinenij kompozitnyh panelej [Import-substituting PIM technology for manufacturing thin-walled steel bush bearings for detachable joints of composite panels]. Vooruzhenie, voennaya tekhnika i boeprirasy. Forum luchshih studentov tekhnicheskikh vuzov Rossii, X mezhdunarodnaya vystavka «Vooruzhenie,

- voennaya tekhnika i boepripasy». (Russia Arms Expo 2015), 10 september 2015, Nizhnij Tagil. Proceed. Part 2. Moscow: Bauman MSTU, 2015. P. 176–181. (in Russ.)
- [9] Raymond V. Metal injection molding development: modeling and numerical simulation of injection with experimental validation. Diss. Ecole Polytechnique de Montreal, 2012. 136 pp.
- [10] Balandin G.F. Teoriya formirovaniya otlivki: Osnovy teplovoj teorii. Zatverdevanie i ohlazhdenie otlivki: Uchebnik dlya vuzov [Casting theory: Fundamentals of the theory of heat. Crystallization and cooling of casting: Textbook for universities]. Moscow: Bauman MSTU, 1998. 360 p. (in Russ.)
- [11] Pikunov M.V. Plavka metallov, kristallizatsiya splavov, zatverdevanie otlivok: Uchebnoe posobie dlya vuzov [Metal melting, alloy crystallization, casting solidification: Textbook for universities]. Moscow: MISiS, 2005. 416 p. (in Russ.)
- [12] Churkin B.S. Teoriya litejnyh processov: Uchebnik [Casting processes theory: Textbook]. Ed. by Eh.B. Gofman. Ekaterinburg, 2006. 454 pp. (in Russ.)
- [13] Gini Eh.Ch. Special'nye tekhnologii lit'ya: Uchebnik dlya vuzov [Special casting techniques: Textbook for universities]. Eh.Ch. Gini, A.M. Zarubin [et al.]. Moscow: Bauman MSTU, 2010. 367 pp. (in Russ.)
- [14] Coleman A.J., Murray K. [et al]. Effect of Particle Size Distribution on Processing and Properties of Metal Injection Moulded 4140 and 4340. Sandvik Osprey Ltd.: Technical papers. URL: [http://smt.sandvik.com/globalassets/global/downloads/products\\_downloads/metal\\_powers/technical\\_papers/effect-of-particle-size-distribution-on-processing-and-properties-of-mim-4140-and-4340.pdf](http://smt.sandvik.com/globalassets/global/downloads/products_downloads/metal_powers/technical_papers/effect-of-particle-size-distribution-on-processing-and-properties-of-mim-4140-and-4340.pdf) (circulation date: 12.09.2017).
- [15] Muranov A.N., Semenov A.B., Semenov B.I. Nen'yutonovskoe techenie suspenzij, ispol'zuemyh pri inzhekcionnom lit'e metallicheskih izdelij slozhnoj formy [Newtonian flow of suspensions used in injection moulding of complex-shaped metal parts]. Mekhanika kompozicionnyh materialov i konstrukcij, slozhnyh i geterogennyh sred: sbornik trudov Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, k 95-letiyu so dnya rozhdeniya akademika I.F. Obrazcova. Moscow, 15–17 December 2015. M.: FSBAS «IPRIM» RAS, 2015. P. 638–639. (in Russ.)
- [16] Semenov A.B., Gavrilenko A.Eh., Semenov B.I. Poroshkovye tekhnologii sinteza slozhnyh fasonnyh detalej iz supersplavov: AM i/ili PIM (zarubezhnyj i otechestvennyj opyt) [Powder technologies for fusion of complex-shaped parts from super-alloys: AM and/or PIM (foreign and domestic practical experience)] [Electronic resource]. FSUE «VIAM» SSC RF. Proceedings of II-nd International conference «Additivnye tekhnologii: nastoyashchee i budushchee». Part 4. Moscow. 16 March 2016. URL: <http://conf.viam.ru/conf/192/proceedings>. (in Russ.)
- [17] New generation casting technologies, their mastering and development in Russia. P. 2-2. Physical nature and features of models of materials with thixotropic properties / A.B. Semenov, A.N. Muranov, B.I. Semenov. Tekhnologiya metallov. 2016. № 9. P. 7–18. (in Russ.)
- [18] New generation casting technologies, their mastering and development in Russia. P. 2-1. Physical nature and features of models of materials with thixotropic properties / A.B. Semenov, A.N. Muranov, B.I. Semenov. Tekhnologiya metallov. 2016. № 8. С. 8–17. (in Russ.)
- [19] Metal Power Compositions for the EP648 Heat Resistant Alloy Manufactured by All-Russian Research Institute for Aircraft Materials VIAM for Selective Laser Melting, Laser Metal Deposition and Metal Injection Molding Technologies / E.N. Kablov, A.G. Evgenov, O.G. Ospennikova [et al.]. Izvestiya Vuzov. Mashinostroenie. 2016. № 9. P. 62–80. (in Russ.)
- [20] New tasks and objectives in engineering education of graduating student of machine-building specialization university. Part 1 / A.B. Semenov, A.P. Kornevich, A.A. Kutsbakh [et al.]. Tekhnologiya metallov. 2017. № 3. P. 42–48. (in Russ.)
- [21] New tasks and objectives in engineering education of graduating student of machine-building specialization university. Part 2 / A.B. Semenov, A.P. Kornevich, A.A. Kutsbakh [et al.]. Tekhnologiya metallov. 2017. № 5. P. 38–48. (in Russ.)
- [22] Semenov A.B., Semenov B.I. Two paradigms of metal casting technologies. Izvestiya Vuzov. Mashinostroenie. 2017. № 5. P. 79–98. (in Russ.)

- [23] Malkin A.Ya., Isaev A.I. *Reologiya: koncepcii, metody, prilozheniya* [Rheology: concepts, methods, applications]. SPb.: Izd. Professiya, 2010. 560 pp. (in Russ.)
- [24] Semenov B.I., Kushtarov K.M. *Proizvodstvo izdelij iz metalla v tverdozhidkom sostoyanii. Nove promyshlennye tekhnologii: Uchebnoe posobie dlya vuzov* [Manufacturing of metal parts in solid-liquid state. New industrial technologies: Textbook for unviversities]. Moscow: Bauman MSTU, 2010. 223 pp. (in Russ.)
- [25] Russian Scientific Foundation [Internet]. URL: <http://www.rscf.ru> (access date: 11.10.2017).

**Article history:**

Received: 27 August 2017

Accepted: 27 September 2017

**For citation:**

**Semenov A.B., Muranov A.N., Kutsbakh A.A., Semenov B.I. (2017) Injection molding of structured multiphase materials. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 18(4), 407–425. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-407-425**

**Bio Note:**

*Alexey B. Semenov*, Cand. Tech. Sci., Senior lecturer of the department MT-5 “Casting technologies” at Bauman MSTU. *Research interests*: foundry alloys; special methods of casting; thixoforming; powder injection molding technology. *Contact information*: E-mail: [semenov.ab@bk.ru](mailto:semenov.ab@bk.ru)

*Alexander N. Muranov*, post-graduate student of the department SM-13 “Rocket-space composite structures” at Bauman MSTU. *Research interests*: technology, mechanics and physical chemistry of composite materials; powder injection molding technology. *Contact information*: E-mail: [muranovalecs@mail.ru](mailto:muranovalecs@mail.ru)

*Anatoly A. Kutsbakh*, master student of the department SM-13 “Rocket-space composite structures” at Bauman MSTU. *Research interests*: computer simulation; composite materials; powder injection molding technology. *Contact information*: E-mail: [akutsbakh@mail.ru](mailto:akutsbakh@mail.ru)

*Boris I. Semenov*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the department SM-13 “Rocket-space composite structures” at Bauman MSTU. *Research interests*: mechanics and technology of metal matrix composite materials; material science; thixoforming; powder injection molding technology. *Contact information*: E-mail: [semenovbi@bmstu.ru](mailto:semenovbi@bmstu.ru)



DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-4-426-436

УДК 621.002.56

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ФОТОМЕХАНИКИ НАПРЯЖЕНИЙ НА КОНТУРЕ ОТВЕРСТИЯ МАСЛЯНОГО КАНАЛА ШЕЕК КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

О.В. Жедь, В.В. Копылов, А.С. Кошеленко

Российский университет дружбы народов  
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

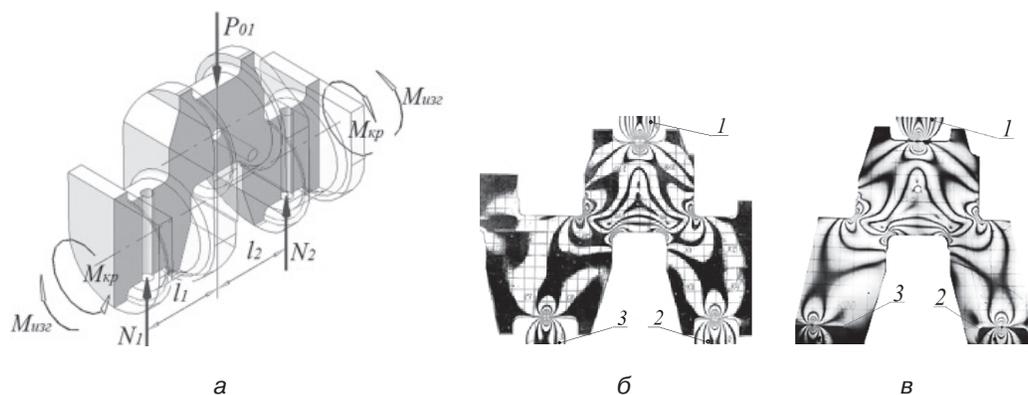
Коленчатые валы разрушаются от усталости в местах наибольшей концентрации напряжений. Такими участками являются выходы отверстия для смазочного материала на коренных и шатунных шейках вала и у галтелей в сопряжениях шеек со щеками. Запасы прочности в этих местах имеют минимальное значение. При расчетах коленчатых валов коренные шейки рассчитываются только на кручение, а шатунные на изгиб и кручение. На первом этапе исследований в ранее выполненных работах [2; 3] изучено влияние размера галтели, связывающей щеку и шатунную шейку на распределение напряжений от изгиба в плоскости колена, а в работах [4–6] дополнительно изучено распределение напряжений от кручения шатунной шейки. В настоящей работе изложена оригинальная методология определения интенсивности контурных напряжений отверстия масляного канала, вызванных нагрузками кручения и изгиба шеек коленчатого вала, возникающих в рабочем цикле двигателя внутреннего сгорания, физическим моделированием на оптических прозрачных плоских моделях методом фотомеханики. Разработана и изготовлена оснастка для выполнения модельных экспериментов для нагружения моделей коленчатого вала деформациями изгиба и кручения. Выполненные исследования позволили установить качественную и количественную составляющую напряжений на контуре отверстия масляного канала от деформаций изгиба и кручения его шатунной шейки.

**Ключевые слова:** коленчатые валы, фотомеханика, интенсивность напряжений, изгиб, кручение

Исследуется методом фотомеханики [1] распределение напряжений в плоской модели коленчатого вала в целях совершенствования его конструкции и расчетной методики. Коленчатые валы разрушаются от усталости. Запасы прочности в местах наибольшей концентрации напряжений имеют минимальное значение. Модели валов нагружаются по двум схемам (рис. 1, а): изгиб в плоскости кривошипа  $M_{изг}$  и кручение  $M_{кр}$ . При расчетах коленчатых валов каждое колено рассматривают как отдельную двух опорную балку, на которую со стороны соседних колен передаются только крутящие моменты. Коренные шейки рассчитываются только на кручение, а шатунные на изгиб и кручение. Расчетные точки — край отверстия для подвода смазки и галтель сопряжения шейки со щекой. В ранее выполненных исследованиях [2; 3] изучено распределение напряжений в галтелях коленвала от изгиба в плоскости колена, а в работах [4–6] дополнительно распределение напряжений от кручения шатунной шейки. В настоящем исследова-

нии изучается распределение напряжений от изгиба и кручения по контуру отверстия для подвода смазки к шатунной шейке. Для проведения экспериментов использованы плоские модели коленчатого вала из оптически чувствительного материала — полиметилметакрилата Э2, которые исследовались в работах [2; 3].

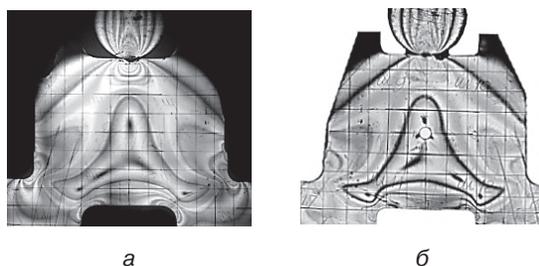
В шатунных шейках, ранее исследованных моделей (рис. 1, б), были дополнительно просверлены отверстия масляных каналов  $d = 6$  мм (рис. 1, в). Плоская модель коленчатого вала опирается двумя коренными шейками на оптические дисковые динамометры 3 и 2, которые фиксируют реакции опор  $N_1$  и  $N_2$  коренных шеек на расстоянии  $l_1, l_2$  соответственно от действия нагружающей поперечной силы  $P_{01}$ , приложенной в середине шатунной шейки через оптический дисковый динамометр 1. По данным тарировки материала модели на дисках диаметром  $d = 4$  см сила для одной полосы в центре диска составляет 215,5 Н. И тогда на приведенных фотограммах (рис. 1, б–в) для  $n = 4$  полосы имеем перерезывающую силу  $P_{01} = 862$  Н.



**Рис. 1.** Схема нагружения модели коленчатого вала: а — изгибом и кручением; фотограммы моделей, нагруженные изгибом в плоскости колена: б — без отверстия масляного канала; в — с отверстием: 1–3 — оптические динамометры  
[Fig. 1. Loading scheme of the crankshaft model: а — bending and torsion; Photograms of models loaded with a bend in the plane of the knee: б — without the opening of the oil channel; в — with a hole: 1–3 — optical dynamometers]

Интерференционная картина на фотограммах (рис. 1, б–в), полученная в результате нагружения моделей силой  $P_{01}$ , представляет систему чередования темных и светлых полос (изолиний) максимальных касательных или разностей главных напряжений, т.е.  $2\tau_{\max} = \sigma_1 - \sigma_2$ . Порядковый номер полос (изохром) на любом изучаемом участке напряженной модели коленвала определяется их подсчетом от нулевой или изотропной зоны, в которой максимальные касательные напряжения отсутствуют. Изучаемая область исследуемой модели — это контур отверстия масляного канала, которое расположено в изотропной зоне фотограммы шатунной шейки (рис. 1, в). На фотограмме (рис. 1, б) отсутствует геометрическая неоднородность в виде отверстия масляного канала. Анализ представленной фотограммы (рис. 1, в) подтверждает, что для случая, когда ось отверстия масляного канала расположена перпендикулярно плоскости действия перерезывающей силы, деформирующей шатунную шейку, изгибающий момент практически не вызывает концентрации напряжений контура масляного отвер-

ствия. Свидетельство этому утверждению служат фрагменты фотограмм, снятые в белом свете, где изохромы имеют полный спектр цветной фотографии (фотограммы), которые перевели в черно-белый формат в программе обработки рисунка (рис. 2).

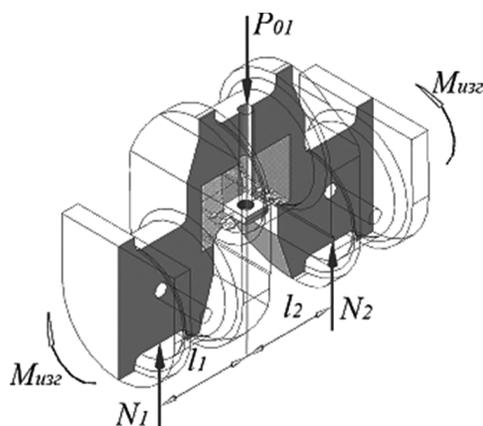


**Рис. 2.** Цветные фотограммы шатунных шеек в формате черно-белого изображения:  
а — без отверстия масляного канала; б — с отверстием  
**[Fig. 2.** Color photogramscrank necks in the format black-and-white image:  
а — without the opening of the oil channel; б — with a hole]

На таких фотограммах в черно-белом изображении наиболее контрастные нулевые, изотропные зоны, а также полосы первого порядка. Полосы более высокого порядка размыты, не контрастны, и почти не поддаются расшифровке на фотограммах в белом свете. Сравнивая эти фотограммы, убеждаемся, что по контуру отверстия наблюдаются участки с нулевым уровнем напряжений, между которыми имеются участки с незначительными контурными напряжениями в десятые доли полосы, так как в этих местах контур слегка просветлен (рис. 2, б). Таким образом, в варианте, когда ось отверстия масляного канала перпендикулярна плоскости действия изгибающей силы, напряжения вдоль его контура не оказывают влияния на ресурс шатунной шейки, так как они незначительны из-за того, что отверстие расположено в нейтральной и одновременно изотропной зоне напряженной шатунной шейки модели. Отметим, что отверстие масляного канала практически не повлияло на максимальные контурные напряжения на переходных галтелях от щек к шейкам коленчатого вала.

Иначе будет деформироваться контур отверстия масляного канала, если его ось будет лежать в плоскости действия изгибающего момента. В таком случае контуры сквозного отверстия масляного канала пересекаются с внешним контуром шейки вала на участках расчетного сечения подвергающегося наибольшим деформациям от изгиба, так как он максимально удален от изотропной зоны и нейтральной оси изгибаемой шейки. За время поворота коленвала в работающем двигателе на один оборот продольная ось отверстия масляного канала дважды располагается в плоскости действия изгибающего момента. В таком относительно, циклически повторяющемся положении, контуры отверстия попеременно нагружаются знакопеременной деформацией. На стороне приложения перерезывающей силы имеет место деформация сжатия внешнего контура шейки вала, а на противоположной от нее стороне будет деформация растяжения. В связи с этим, аналогичным деформациям будет подвергаться и контур отверстия масляного канала. Обратимся к фотограммам (см. рис. 1, б–в) и отметим, что на стороне растянутых волокон внешнего контура в срединном сечении шейки по ли-

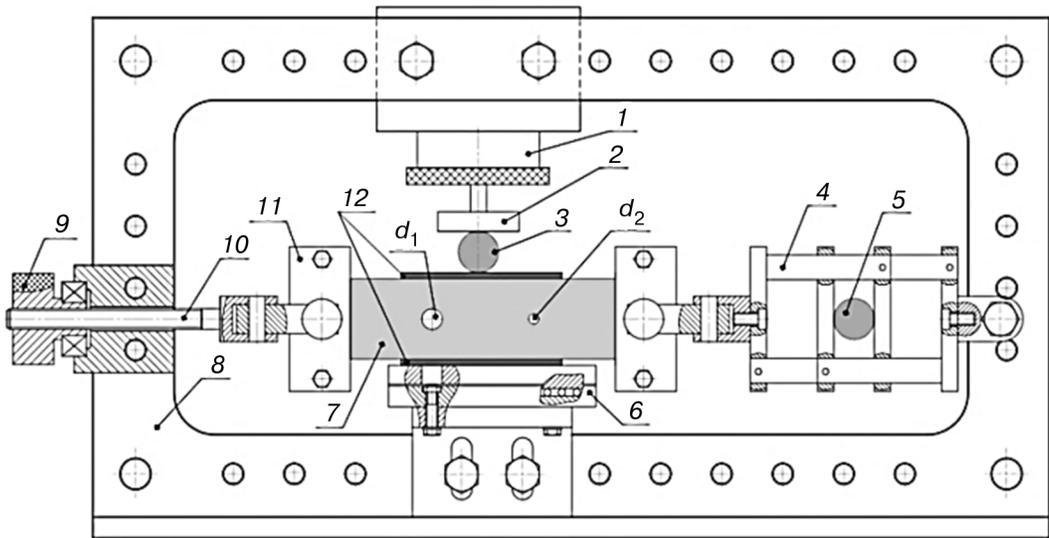
нии действия перерезывающей силы имеет место деформация растяжения на уровне  $n \approx 2,54$  полосы. Заметим, что в приведенных сечениях по направлению действия перерезывающей силы на внешних контурах шейки вала нет геометрической неоднородности. Но если в срединном сечении на контуре шейки вала будет отверстие масляного канала, то напряженное состояние этой зоны получит дополнительную концентрацию. Эксперимент в варианте плоской модели с подобным расположением оси отверстия масляного канала не представляется возможным, так как задача о напряженном состоянии контура отверстия становится объемной и ее следует решать методом замораживания на объемной модели коленвала, но это чрезвычайно трудоемкий эксперимент и в настоящей работе не рассматривается.



**Рис. 3.** Схема выделения модели плоской пластины из 3D изображения шатунной шейки коленвала  
[**Fig. 3.** Scheme of extracting a flat plate model from a 3D image of the crankpin]

В связи с этим предлагается упрощенное решение этой задачи на плоской модели, которая выполнена в виде пластины с отверстием, ось которого симметрична к продольному контуру пластины. Геометрические параметры такой пластины вписываются в объемную модель (рис. 3) шатунной шейки на стороне растянутых волокон с расположением оси отверстия масляного канала вдоль линии действия перерезывающей силы. Плоская модель с отверстием (пластина) изготовлена из оптически чувствительного материала Э2 аналогичного модели коленвала. Пластина нагружается осевой силой в продольном направлении деформацией растяжения, соответствующей  $n = 2,54$  полосы. Такой уровень деформаций зарегистрирован на фотограммах шейки (см. рис. 1, б–в) в ее срединном сечении на свободном контуре вдоль действия перерезывающей силы. Участок пластины, на котором контролируется задаваемый уровень деформации в процессе ее нагружения, удален от контура отверстия на расстояние, где не проявляется влияние концентрации напряжений, возникающих в отверстии, т.е. выполняется принцип Сен-Венана. В таком случае напряжения непосредственно на контуре отверстия будут значительно выше в связи с концентрацией из-за его геометрической неоднородности. Эти деформации с достаточной точностью отражают процессы, имеющие место в объемной модели шатунной шейки вала вследствие действия изгибающего момента.

Для моделирования одноосного растяжения пластины с отверстием от изгиба в плоскости колена, и затем на этой же пластине моделирование чистого сдвига разработано и изготовлено нагружающее устройство — стенд (рис. 4).



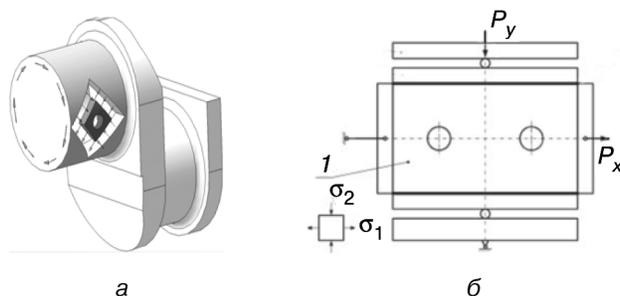
**Рис. 4.** Нагружающее устройство (стенд) для моделирования в плоской пластине с отверстием одноосного растяжения вдоль ее продольной оси и чистого сдвига на поверхности шейки коленчатого вала от крутящего момента: 1 — домкрат винтовой; 2 — шток; 3, 5 — динамометры; 4 — реверсор; 6 — опора; 7 — пластина; 8 — рамка; 9 — гайка; 10 — тяга; 11 — струбцины; 12 — бруски  
**[Fig. 4.** A loading device (bench) for modeling uniaxial tension in a flat plate with a hole along its longitudinal axis and pure shear on the surface of the crankpin as a result of torque]

Методика выполнения эксперимента с растяжением пластины на стенде сводится к следующим действиям. Пластина 7 из оптически чувствительного материала Э2 зажимается в струбцинах 11 и монтируется в рычажной системе стенда. Справа от пластины в рычажной системе располагается реверсор 4, который преобразовывает осевое усилие растяжения пластины в сжатие дискового динамометра 5, фиксирующего значение прикладываемой силы, создаваемой тягой 10 через левую струбцину модели при завинчивании гайки 9.

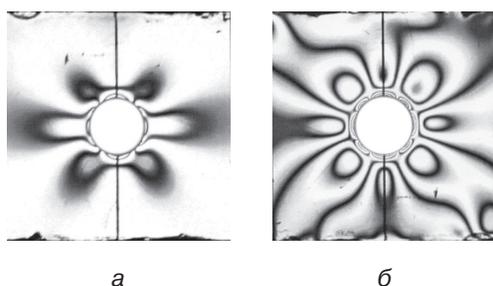
В первой серии экспериментов, когда пластина нагружается одноосным растяжением, опорные стальные бруски (мерные опоры) 12 и оптический динамометр 3 в схеме нагружения отсутствуют. Во второй серии экспериментов моделируется чистый сдвиг. Пластина 7 со сквозными отверстиями ( $d_1$  и  $d_2$ ) нагружалась в горизонтальном направлении растяжением, а в вертикальной плоскости — сжатием (рис. 5).

При выполнении эксперимента использовались различные варианты нагружения пластины, как по значению прикладываемого усилия, так и по последовательности передачи нагрузки. Модель опирается боковой гранью на мерную опору 12, установленную на подвижную платформу, регулируемую по высоте. На верхнюю грань модели зеркально нижней опоре устанавливается вторая мерная опора 12. Длина опоры 12 равна поперечному сечению плоской модели. В середине верхней опоры 12 устанавливается оптический дисковый динамометр 3 ана-

логичный горизонтальному динамометру 5 для регистрации прикладываемого усилия. Шток 2 винтового домкрата 1 нагружает модель сжимающей нагрузкой. Все элементы конструкции смонтированы на рамке 8, которая устанавливается в поле светового потока поляризационной установки ППУ7. После нагружения модели расчетными силами, контролируруемыми оптическими дисковыми динамометрами 3 и 5, выполняется фотографирование цифровой камерой (рис. 6).



**Рис. 5.** Моделирование чистого сдвига: а — схема нагружения объемной модели шатунной шейки вала кручением; б — на плоской модели (1) шатунной шейки с отверстием масляного канала  
[Fig. 5. Simulation of pure shear: а — the loading scheme of the volumetric model of the crank pin of the shaft by torsion; б — on a flat model (1) of connecting rod with a hole in the oil channel]



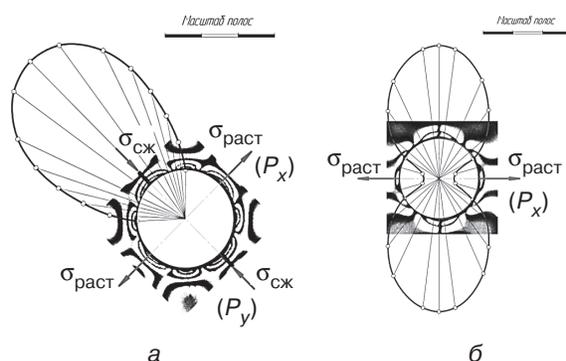
**Рис. 6.** Фотограммы шатунной шейки коленчатого вала, принятые для обработки физического эксперимента: а — чистого растяжения; б — чистого сдвига  
[Fig. 6. Photograms of the Crankshaft crankpin adopted for processing the physical experiment: а — pure stretching; б — pure shear]

Полученные фотограммы картин изолиний дают возможность судить об уровне напряженного состояния внешней поверхности шатунной шейки коленвала в месте пересечения с отверстием масляного канала при действии растягивающих деформаций, вызванных изгибом от перерезывающей силы и сдвига контура сквозного отверстия, от деформаций кручения.

Из этих фотограмм вырезался ее участок в форме квадрата, грани которого расположены значительно ближе к отверстию модели. Это позволяет построить хорошо видимые эпюры контурных напряжений, так как удаляемый участок фотограммы не имеет информационной нагрузки в решаемой задаче при ее расшифровке. Это объясняется тем, что на контуре отверстия располагается четыре нулевых точки, которые служат точкой отсчета порядка полос. Они являются границей смены знака напряжений от сжатия к растяжению вдоль контура отверстия.

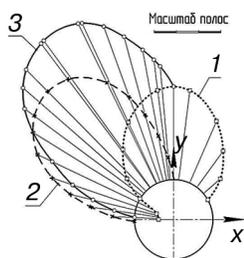
Крутящий момент вызывает на контуре отверстия деформацию чистого сдвига, который создает знакопеременное напряженное состояние растяжение и сжатие последовательно через  $90^\circ$  между нулевыми точками на контуре отверстия (рис. 7, а).

Фотограмма, полученная при нагружении плоской модели чистым сдвигом, при переносе ее изображения на шейку коленчатого вала, повернута против хода часовой стрелки на угол  $45^\circ$  и соответственно эпюра на контуре отверстия ориентирована по отношению к эпюре контурных напряжений растяжения от силы изгиба (рис. 7, б). Эпюры контурных нормальных напряжений в масштабе полос, построенные на четверти окружности, дают возможность установить отдельно максимальные напряжения от растяжения и от сдвига. На базе этих отдельных эпюр построена суммарная эпюра нормальных контурных напряжений (рис. 8), которая свидетельствует о том, что наибольшие растягивающие напряжения на контуре отверстия возникают в зонах, расположенных примерно под углом  $30\text{--}40^\circ$  к плоскости, перпендикулярной направлению от сил растяжения.



**Рис. 7.** Эпюры напряжений растяжения в полосах на периферии контура отверстия шатунной шейки коленчатого вала, вызванные: а — деформациями сдвига вследствие кручения; б — растяжением от изгиба

[Fig. 7. Diagrams of tensile stresses in the bands on the periphery of the contour of the hole of the crankshaft, caused by: а — shearing deformations due to torsion; б — stretching from bending]



**Рис. 8.** Эпюры контурных нормальных напряжений от изгиба и сдвига в масштабе полос, построенные на четверти окружности отверстия: 1 — изгиб; 2 — сдвиг; 3 — суммарная эпюра от изгиба и сдвига  
[Fig. 8. Diagrams of normal stresses from bending and shearing in the scale of the strips, built on a quarter of the circumference of the hole: 1 — bending; 2 — shearing; 3 — total bending and shearing diagram]

**Выводы.** Выполненные исследования на плоских моделях из оптически чувствительного материала (ОЧМ) напряженного состояния в расчетных точках коленчатого вала позволили установить качественную и количественную составляющую напряжений на контуре отверстия масляного канала от деформаций изгиба и кручения его шатунной шейки. Максимальные напряжения на контуре отверстия достигают примерно 7-ми полос при заданной нагрузке, что больше напряжений от изгиба на переходной галтели шейки. Дополнительные исследо-

вания напряжений в переходных галтелях от деформаций кручения позволят сравнивать суммарные напряжения в исследуемых зонах в адекватных условиях нагружения. Соблюдая критерии силового и геометрического подобия, результаты можно перенести на натурную конструкцию вала.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кошеленко А.С., Позняк Г.Г. Теоретические основы и практика фотомеханики в машиностроении. М.: Изд-во «Граница», 2004. 296 с.
- [2] Кошеленко А.С., Бабенков И.С., Жедь О.В. Исследование напряженного состояния коленчатого вала двигателя методом фотомеханики // Грузовик. М.: Изд-во «Инновационное машиностроение», 2000. № 12. С. 21—24.
- [3] Кошеленко А.С., Жедь О.В. Поляризационно-оптическая модель коленчатого вала // Вестник РУДН. Серия «Инженерные исследования». 2003. № 1. С. 69—73.
- [4] Рогов В.А., Кошеленко А.С., Жедь О.В. Исследование на оптических плоских моделях коленчатого вала напряжений от изгиба и кручения в его расчетных точках // Материалы Межд. науч.-техн. конф. «Проблемы и достижения в инновационных материалах и технологиях машиностроения». Комсомольск-на-Амуре, 12—16 мая 2015 г. С. 315—319.
- [5] Рогов В.А., Кошеленко А.С., Жедь О.В. Исследование методом фотомеханики интенсивности напряжений на контуре отверстия масляного канала шеек коленчатого вала от рабочих нагрузок ДВС // Грузовик. М.: Изд-во «Инновационное машиностроение», 2015. № 11. С. 15—19.
- [6] Рогов В.А., Кошеленко А.С., Жедь О.В. Исследование на оптических плоских моделях напряжений коленчатого вала от изгиба и кручения в расчетных точках // Технология машиностроения. М.: Изд. центр «Технология машиностроения», 2016. № 10. С. 52—57.

© Жедь О.В., Копылов В.В., Кошеленко А.С., 2017

#### История статьи:

Дата поступления в редакцию: 14 августа 2017

Дата принятия к печати: 30 сентября 2017

#### Для цитирования:

**Жедь О.В., Копылов В.В., Кошеленко А.С. Исследование методом фотомеханики напряжений на контуре отверстия масляного канала шеек коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: «Инженерные исследования». 2017. Т 18. № 4. С. 426—435. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-426-435**

#### Сведения об авторах:

*Жедь Ольга Викторовна*, кандидат технических наук, доцент департамента машиностроения и приборостроения инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Область научных интересов:* фотомеханика в машиностроении, режущий инструмент. *Контактная информация:* E-mail: zhed\_ov@pfur.ru

*Копылов Владимир Викторович*, кандидат технических наук, доцент департамента машиностроения и приборостроения инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Область научных интересов:* нанотехнологии, фотомеханика в машиностроении, режущий инструмент. *Контактная информация:* E-mail: kopylov\_vv@rudn.university

*Кошеленко Адольф Семенович*, кандидат технических наук, доцент департамента машиностроения и приборостроения инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Область научных интересов:* фотомеханика в машиностроении, технологическое обеспечение качества. *Контактная информация:* E-mail: kafedra.tm.rudn@mail.ru

## PHOTOMECHANICAL INVESTIGATION OF STRESSES ON THE CONTOUR OF CRANKPIN OIL HOLE IN A CRANKSHAFT OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE

O.V. Zhed, V.V. Kopylov, A.S. Koshelenko

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)  
*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

Crankshafts fail from fatigue in locations of the greatest stress concentration. Such areas are the openings of lubricant holes on crankpin and main journals of the shaft and the fillets between webs and journals. Factors of safety in these locations are minimal. When analyzing crankshafts, the main journals are analyzed for torsion only and the crankpins — for both bending and torsion. The influence of fillet size on bending stress distribution in the plane of the cranks was investigated in the first stage of studies [2; 3] and the distribution of torsional stresses of the crankpin was further studied in [4—6]. This paper presents an original methodology for determining the intensity of stresses in oil hole openings caused by torsion and bending loads on crankshaft journals that arise in the working cycle of internal combustion engine by physical modeling with optical transparent flat models according to the method of photomechanics. The necessary rigging equipment for the experiments of bending and torsional loading of crankshaft models was designed and manufactured. The performed analysis made it possible to establish the qualitative and quantitative factors that affect the stresses on the contour of oil hole opening from bending and torsion induced deformations of the crankpin.

**Key words:** crankshafts, photomechanics, stress intensity, bending, torsion

### REFERENCES

- [1] Koshelenko A.S., Poznyak G.G. *Teoreticheskie osnovy i praktika fotomehaniki v mashinostroenii* [Theoretical foundations and practical applications of photomechanics in mechanical engineering]. Moscow: Izd-vo Granitsa, 2004. 296 p. (in Russ.).
- [2] Koshelenko A.S., Babenkov I.S., Zhed O.V. *Issledovanie naprjazhennogo sostojaniya kolenchatogo vala dvigatelja metodom fotomehaniki* [Investigation of the stress-strain state of engine crankshaft by photomechanical method]. *Truck. M.: Izd-vo «Innovative machine building», 2000. No. 12. P. 21—24.* (in Russ.).
- [3] Koshelenko A.S., Zhed O.V. *Photo-elastic model of crankshaft.* *RUDN Journal of Engineering Researches.* 2003. No. 1. P. 69—73. (in Russ.).
- [4] Rogov V.A., Koshelenko A.S., Zhed O.V. *Issledovanie na opticheskikh ploskikh modeljah kolenchatogo vala naprjazhenij ot izgiba i kruchenija v ego raschetnyh tochkah* [Investigation of stresses from bending and torsion on optical flat models of the crankshaft at its reference points]. *Proceedings of the International Scientific and Technical Conference “Problems and Achievements in Innovative Materials and Technologies of Mechanical Engineering”.* Komsomolsk-on-Amur, May 12—16, 2015. P. 315—319. (in Russ.).
- [5] Rogov V.A., Koshelenko A.S., Zhed O.V. *Research by photomechanics method the intensity of contour tension in the oil passage hole of crankshafts journals caused by the working load of the internal combustion engine* // *Truck. M.: Izd-vo «Innovative machine building», 2015. № 11. P. 15—19.* (in Russ.).
- [6] Rogov V.A., Koshelenko A.S., Zhed O.V. *Issledovanie na opticheskikh ploskikh modeljah kolenchatogo vala naprjazhenij ot izgiba i kruchenija v ego raschetnyh tochkah* [Investigation of stresses from bending and torsion on optical flat models of the crankshaft at its reference points]. *Technology of Mechanical Engineering.* Moscow: Izd. center «Manufacturing Technologies», 2016. No. 10. P. 52—57.

**Article history:**

Received: 14 August 2017

Accepted: 30 September 2017

**For citation:**

**Zhed O.V., Kopylov V.V., Koshelenko A.S. (2017) Photomechanical investigation of stresses on the contour of crankpin oil hole in a crankshaft of internal combustion engine. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 18(4), 426–435. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-426-435**

**Bio Note:**

*Olga Viktorovna Zhed*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at Department of Mechanical and Tool Engineering, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia. *Research interests*: photomechanics in mechanical engineering, cutting tools. *Contact information*: E-mail: zhed\_ov@pfur.ru

*Vladimir Viktorovich Kopylov*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at Department of Mechanical and Tool Engineering, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia. *Research interests*: nanotechnology, photomechanics in mechanical engineering, cutting tools. *Contact information*: E-mail: kopylov\_vv@rudn.university

*Adolf Semenovich Koshelenko*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at Department of Mechanical and Tool Engineering, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia. *Research interests*: photomechanics in mechanical engineering, technological quality control. *Contact information*: E-mail: kafedra.tm.rudn@mail.ru



DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-4-437-444

УДК 621.436

## АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО ДЛЯ АВТОТРАНСПОРТА НИГЕРИИ НА ОСНОВЕ ПАЛЬМОВОГО МАСЛА

П.П. Ощепков, Симеон Адедожа Адегбенро

Российский университет дружбы народов  
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В работе представлены результаты анализа применения растительных масел в качестве топлива для дизельных двигателей. Рассмотрена возможность использования пальмового масла как альтернативного топлива. Приводятся физико-химические свойства растительных масел и требования к дизельному топливу. Исследуется изменение физико-химических параметров смесового топлива. Предлагается использовать в качестве биологической добавки к дизельному топливу пальмовое масло, в качестве реагента — органическую перекись. Представлены результаты анализа процесса смесеобразования с учетом отличия физических свойств пальмового масла от характеристик дизельного топлива. Анализ проведен на основе математического исследования. Изучено влияние физических свойств (плотность, динамическая вязкость, поверхностное натяжение) пальмового масла на характеристики смесеобразования. Было получено изменение плотности пальмового масла, более высокое значение поверхностного натяжения, динамической вязкости. Установлено, что вследствие повышенных показателей плотности, поверхностного натяжения и вязкости для пальмового масла средний диаметр капель увеличивается, что должно отразиться на возрастании не только периода задержки воспламенения, но и его температурной чувствительности к процессу воспламенения. При этом угол рассеивания (раскрытия) топливной струи и ее боковая поверхность уменьшаются. Сделан вывод, что становится очевидным, что для сохранения эффективности рабочего цикла дизеля при переводе его на питание пальмовым маслом, необходимо предусмотреть ряд радикальных мер по внесению серьезных изменений в его конструкцию и систему топливоподачи. Предлагается использовать пальмовое масло в качестве добавки к дизельному топливу и перекись водорода, как химический окислитель.

**Ключевые слова:** дизельный двигатель, растительные масла, пальмовое масло, двухкомпонентные топлива, смесовое топливо, химический реагент, органическая перекись

Существенный вклад в загрязнении атмосферы промышленно развитых городов Нигерии вредными веществами и в невосполнимое потребление традиционного топлива на органической основе вносят мобильные средства с дизельными приборами. Экономия нефтяного топлива и защита от загрязнений окружающей среды обуславливают необходимость поиска альтернативных мер по совершенствованию эколого-экономических качеств двигателей транспортных средств.

В рамках поиска таких мер в последнее время все более широкое распространение получает развитие исследований [1—4] по замене традиционного топлива на биологические виды топлива, в частности, на основе растительных масел.

Из всех имеющихся в распоряжении человечества «солнечных энергетических источников» наиболее эффективно масличное растение. Оно на биологическом

уровне эффективно решает проблему аккумуляции энергии Солнца в содержащих масло плодах. В энергетический оборот могут быть вовлечены многие виды масличных культур. В африканских странах с жарким климатом к таким культурам в первую очередь следует отнести пальму. В отличие от нефтепродуктов, растительное (пальмовое) масло не токсично, не имеет неприятного запаха, не содержит сернистых соединений, являющихся причиной кислотных дождей.

В химический состав пальмового масла входят жирные кислоты, которые представляют собой высокомолекулярное кислородсодержащее соединение с углеводородным основанием. Поэтому пальмовое масло, как и множество других растительных масел, может полностью растворяться в традиционных нефтяных моторных топливах [5].

Таблица 1

**Физико-химические свойства растительных масел**  
[Physicochemical properties of palm oil]

Физико-химические свойства	Масла								
	рапсовое	арахисовое	подсолнечное	соевое	пальмовое	оливковое	хлопковое	касторовое	
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	916	917	923	924	918	914	919	1069	
Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> /с при:	75,0	81,5	65,2	—	—	—	—	—	
	20 °С	36,0	36,5	30,7	32,0	—	—	—	
	40 °С	8,1	8,3	7,4	7,7	8,6	8,4	7,7	
100 °С	—	—	—	—	—	—	—	19,9	
Цетановое число	36	37	33	50	49	—	—	—	
Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг вещества, кг	12,6	11,2	11,1	—	—	—	—	—	
Теплота сгорания низшая $H_u$ , МДж/кг	37,3	37,0	37,0	36–39	37,1	—	—	—	
Температура самовоспламенения, °С	318	—	320	318	315	285	316	296	
Температура застывания, °С	–20	—	–16	–12	+30	–12	–18	–27	
Содержание серы, % (масс.)	0,002	—	—	—	—	—	—	—	
Содержание, % по массе	78,0	78,0	77,6	77,5	76,6	0	77,1	0	
	С	10,0	12,3	11,5	11,5	12,0	—	11,7	—
	Н	12,0	9,4	10,9	11,0	11,4	—	11,2	—
О	—	—	—	—	—	—	—	—	
Кислотность, мг КОН / 100 мл топлива	4,66	—	2,14	0,03	0,17	5,90	0,23	0,19	
Коксуемость 10%-ного остатка, %, не более	0,40	—	0,51	0,44	—	0,20	0,23	—	

Примечание: Знак «—» означает, что свойства не определялись.

Низкая испаряемость и высокая вязкость пальмового масла исключают его использование в традиционных бензиновых двигателях. Но оно может успешно применяться в качестве топлива для дизельных двигателей. Этому способствуют сравнительно невысокая термическая стабильность пальмового масла и приемлемая температура его самовоспламенения, лишь немного превышающая температуру самовоспламенения дизельных топлив (табл. 2) [6].

Таблица 2

**Требования к топливу  
[Requirements for fuel]**

Наименование показателя	Значение для марки			
	Л	Е	З	А
Цетановое число, не менее	45			
Фракционный состав:				
50% перегоняется при температуре, °С, не выше	280	280	280	255
95% (по объему) перегоняется при температуре, °С, не выше	360	360	360	360
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с (сСт)	3,0–6,0	3,0–6,0	1,8–5,0	1,5–4,0
Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С, не ниже:				
для тепловозных и судовых дизелей и газовых турбин	62	62	40	35
для дизелей общего назначения	40	40	30	30
Массовая доля серы, мг/кг, не более	2000			
Массовая доля меркаптановой серы, %, не более	0,01			
Массовая доля сероводорода	Отсутствие			
Испытание на медной пластинке	Выдерживает. Класс 1			
Содержание водорастворимых кислот и щелочей	Отсутствие			
Кислотность, мг КОН/100 см <sup>3</sup> топлива, не более	5			
Йодное число, г йода/100 г топлива, не более	6			
Зольность, %, не более	0,01			
Коксуемость, 10%-ного остатка, %, не более	0,20			
Общее загрязнение, мг/кг, не более	24			
Содержание воды, мг/кг, не более	200			
Плотность при 15 °С, кг/м, не более	863,4	863,4	843,4	833,5
Предельная температура фильтруемости, °С, не выше	Минус 5 —	Минус 15 —	Минус 25 Минус 35	Минус 45

С точки зрения возможностей использования в транспортных дизелях топлива на основе пальмового масла, положительным фактором служит то, что оно в сравнении с другими альтернативными энергоносителями обладает химмотологическими свойствами (теплота сгорания, стехиометрическое соотношение, цетановое число и др.), которые по основным эксплуатационным требованиям близки к традиционному (дизельному) топливу (табл. 2). Тем не менее, по ряду физических свойств пальмовое масло имеет ряд отличий от нефтяного топлива, что может оказать негативное влияние на эффективные и экологические показатели двигателя.

В этих условиях становится очевидной необходимость в принятии специальных мер, которые позволили бы в наибольшей степени приблизить моторные свойства пальмового масла к стандартным свойствам дизельного топлива.

В качестве одной из таких мер является использование двухкомпонентных топлив [7], состоящих из смеси дизельного топлива и пальмового масла. При варьировании составом такого топлива возможно достижение наиболее приемлемых его физико-химических свойств.

Для выработки средств и метода совершенствования показателей работы дизеля на добавках пальмового масла появляется необходимость в предварительном изучении проблемных вопросов, связанных с использованием данного вида то-

плива с новыми физико-химическими свойствами, для разработки адекватных средств и метода их решения. Одним из ключевых вопросов стоит проблема качества смесеобразования и ее влияние на процесс сгорания.

Анализ процесса смесеобразования с учетом отличия физических свойств пальмового масла от характеристик дизельного топлива проводился на основе математического исследования. При этом имелось в виду, что большинство из математических методов исследования параметров смесеобразования основаны на использовании критериальных зависимостей, которые обладают наибольшей универсальностью (общностью), и поэтому повсеместно применяются в современной исследовательской практике. В этих зависимостях присутствуют такие физические параметры топлива как плотность топлива  $\rho_T$ , динамическая вязкость  $\mu_T$  и поверхностное натяжение  $\sigma_T$ , которые в основном и обуславливают принципиальные отличия пальмового масла от углеводородного дизельного топлива.

Анализируя математическую структуру используемых критериальных зависимостей, априори можно отметить, что при неизменных режимных, конструктивных и регулировочных параметрах двигателя характеристики впрыскивания и распыливания для дизельного топлива (дальнобойность  $l_T$  и угол раскрытия топливной струи  $\gamma_T$ , мелкость распыливания  $d_T$ ) могут претерпевать существенные изменения в случае применения пальмового масла.

Для расчета показателей качества распыленного топлива были использованы следующие основные критерии:

— критерий Вебера, характеризующий соотношение сил поверхностного натяжения и инерции:

$$We = \frac{U_0^2 \cdot d_c \cdot \rho_T}{\sigma_T}, \quad (1)$$

где  $U_0$  — средняя скорость за время впрыскивания цикловой порции топлива, м/с;  $d_c$  — диаметр распыливающего отверстия форсунки, м;

— критерий  $M$ , характеризующий соотношение сил поверхностного натяжения, инерции и вязкости:

$$M = \frac{\mu_T^2}{\rho_T \cdot d_c \cdot \sigma_T}. \quad (2)$$

С использованием этих критериев авторами проведено предварительное математическое изучение (с применением программного комплекса MathCAD) влияния физических свойств биологического топлива на характеристики смесеобразования. При этом в качестве базовых были использованы известные показатели физических свойств (плотности, динамической вязкости, поверхностного натяжения) пальмового масла. Было получено: изменение (в сторону увеличения) плотности пальмового масла ( $M$ ) относительно дизельного топлива, что практически не влияет на границу между начальным и основным участками развития струи (показатель степени  $-0,05$ ). Более высокое значение поверхностного натяжения для биологического топлива без изменения прочих условий рас-

пыла приводит к приближению к распылителю границы участков. Основной фактор, влияющий на расположение границы между участками, — значение динамической вязкости топлива, так как оно для дизельного топлива и пальмового масла (биотоплива) отличается практически в 2 раза.

Установлено, что вследствие повышенных показателей плотности, поверхностного натяжения и вязкости для пальмового масла средний диаметр капель увеличивается (по сравнению с дизельным топливом), что должно отразиться на возрастании не только периода задержки воспламенения, но и его температурной чувствительности к процессу воспламенения. При этом угол рассеивания (раскрытия) топливной струи и ее боковая поверхность уменьшаются, что приведет к снижению количества испарившегося топлива за период задержки воспламенения. Более высокие значения плотности и динамической вязкости пальмового масла приводят к возрастанию дальности топливной струи, увеличению доли менее активного пленочного смесеобразования и более медленному изменению давления в цилиндре двигателя в фазе диффузионного сгорания, что сказывается на увеличении длительности процесса сгорания в цикле и соответствующем снижении его эффективности.

Из приведенных данных становится очевидным, что для сохранения эффективности рабочего цикла дизеля при переводе его на питание пальмовым маслом, на уровне исходного варианта (работа на дизельном топливе) необходимо предусмотреть ряд радикальных мер по внесению серьезных изменений в его конструкцию и систему топливоподачи. Все эти меры, очевидно, сопряжены с большими финансовыми и техническими затратами.

В качестве альтернативного варианта решения ряда отмеченных проблемных вопросов предлагается новый метод, не требующий изменений базовой конструкции дизеля, что служит наиболее важным фактором для условий Нигерии, не имеющей собственной отрасли двигателестроения.

### **Формулирование концепции предлагаемого метода**

Анализ и обобщения результатов проведенных исследований позволяют отметить ряд положений, которые могут быть положены в основу разработки концепции комплексного метода по совершенствованию показателей работы дизеля. Концепция в своей основе базируется на трех основных положениях, которые в общем виде могут быть сформулированы следующим образом.

1. Учитывая, что проблема создания высокоэффективного рабочего цикла дизеля при переводе его на питание пальмовым маслом сопряжена с необходимостью реализации целого ряда технических решений, требует внесения изменений базовой конструкции двигателя и его топливной аппаратуры, предлагается частичная замена дизельного топлива на биологический компонент. При применении пальмового масла в составе смесового топлива (при сохранении базовой комплектации двигателя) частично решаются задачи, связанные с отличием физико-химических свойств пальмового масла от традиционного нефтяного топлива.

2. Учитывая сложный (в ряде случаев неоднозначный) характер влияния доли биологической составляющей в составе смесового топлива на экологические и топливно-экономические показатели двигателя, выбор рационального компо-

нентного состава смесового топлива осуществляется на основе обобщенного критерия оптимальности, который позволяет интегрально оценить оптимальную величину этой доли. При этом прогнозируется достижение предельно возможного улучшения указанных показателей дизеля.

3. Одной из ключевых сопутствующих проблем, возникающей при использовании биологических добавок к углеводородному топливу, является вопрос снижения скорости сгорания смесового топлива и повышения эмиссии оксидов азота, без успешного разрешения которого разработка конкурентоспособного дизеля остается проблематичной. Для решения этой проблемы в состав рабочего тела двигателя вводится строго дозированная порция химически активного реагента. Благодаря применению реагента дополнительно прогнозируется также повышение полноты сгорания, и как следствие, эффективности использования энергии смесового топлива.

Таким образом, понятие «комплексный метод» предопределяет скоординированное, совокупное воздействие на показатели работы двигателя одновременно двух физико-химических факторов, один из которых привнесен оптимизацией компонентного состава смесового топлива, а другой — применением химического реагента.

В качестве биологической добавки к дизельному топливу предлагается использовать пальмовое масло, а в качестве небольшой дозы химического реагента — органическую перекись, как наиболее дешевую, хорошо растворимую в дизельном топливе жидкость.

Детальный механизм воздействия органической перекиси как химического реагента на процессы окисления (сгорания) смесовых биоуглеводородных топлив до настоящего времени остается еще малоисследованным. Однако уже сейчас, опираясь на известные положения теории химической кинетики и катализа, которые с той или иной степенью достоверности описывают ее, в рамках рабочей гипотезы можно указать на ряд характерных свойств данного химического реагента, влияющих на протекание процессов горения углеводородных и биологических компонентов смесового топлива.

Очевидно, что характер и эффективность любого активирующего средства будет определяться его реакционной способностью. В случае применения органической перекиси наибольший реакционный эффект следует ожидать от радикалов — продуктов разложения перекиси. Известно, что основной отличительной особенностью перекиси является то, что в реальных условиях процесса сгорания в дизеле присутствующая в зоне реагирования (окисления) углеводородов топлива перекись обнаруживает способность генерировать активные частицы (радикалы) — центры зарождения цепных реакций, обладающие уникальной способностью инициировать акты химического реагирования (окисления) компонентов смесового топлива.

В целом, результаты проведенного анализа дают основание предположить, что реагент в виде перекиси будет эффективным «реакционно-химическим инструментом», способным активно воздействовать на процессы выгорания частиц углеводородных и биологических компонентов топлива, повышая полноту сгорания смесового топлива в целом.

Приведенный краткий анализ характера воздействия химического реагента на процессы выгорания компонентов смесового топлива в дизеле, безусловно, не исчерпывающий и не исключает другие виды воздействия реагента на сложный механизм рабочего цикла. Тем не менее, предварительный анализ позволяет в первом приближении прогнозировать качественные изменения в процессах рабочего цикла дизеля, работающего с добавкой пальмового масла к дизельному топливу, благодаря реакционному влиянию химического реагента — органической перекиси.

С учетом данных проведенного исследования можно утверждать, что предлагаемая стратегия подобного комплексного подхода не только позволит оперативно решать экологические проблемные вопросы дизельного транспорта Нигерии, но и способствует решению проблемы сбережения баланса дорогостоящего нефтяного топлива, что, безусловно, важный национальный приоритет в финансовой сфере страны.

### Вывод

Необходимость решения задач по социально важным проблемам энергосбережения и экологической безопасности на транспорте Нигерии, а также, принимая во внимание тенденцию к постоянному повышению загрязнения атмосферы городов страны вредными веществами транспорта, разработка и внедрение предлагаемого метода в транспортный комплекс Нигерии представляется достаточно перспективным и экономически целесообразным. Применение, в рамках предлагаемой концепции, технически простых и мало затратных средств и метода может быть успешно осуществлено в условиях даже небольших авторемонтных предприятий Нигерии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Марков В.А., Гайворонский А.И., Грехов Л.В., Иващенко Н.А. Работа дизелей на нетрадиционных топливах: учеб. пособие. М.: Изд-во «Легион-Автодата», 2008. 464 с.
- [2] Марков В.А., Девянин С.Н., Семенов В.Г. [и др.]. Использование растительных масел и топлив на их основе в дизельных двигателях. М.: ООО НИЦ «Инженер»; ООО «Онико-М», 2011. 536 с.
- [3] Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания / А.А. Александров, И.А. Архаров, В.А. Марков [и др.] / под ред. А.А. Александрова, В.А. Маркова. М.: ООО НИЦ «Инженер»; ООО «Онико-М», 2012. 791 с.
- [4] Биоэнергетика: Мировой опыт и прогнозы развития / Л.С. Орси́к, Н.Т. Сорокин, В.Ф. Федоренко [и др.] / под ред. В.Ф. Федоренко. М.: ФГНУ «Росинформротех», 2008. 404 с.
- [5] Гусаков С.В. Перспективы применения в дизелях альтернативных топлив из возобновляемых источников: учеб. пособие. М.: РУДН, 2008. 318 с.
- [6] ГОСТ 305—2013. Топливо дизельное. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с.
- [7] Фомин В.М., Атраш Рами. Разработка бинарных топлив на основе биоуглеводородных композиций оптимизированного компонентного состава для энергетических установок транспортных средств // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 4 (28). С. 28—30.

© Ощепков П.П., Симеон Адедожа Адегбенро, 2017

**История статьи:**

Дата поступления в редакцию: 7 сентября 2017

Дата принятия к печати: 30 сентября 2017

**Для цитирования:**

**Ощепков П.П., Симеон Адедожа Адегбенро. Альтернативное топливо для автотранспорта Нигерии на основе пальмового масла // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: «Инженерные исследования». 2017. Т. 18. № 4. С. 437—444. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-437-444**

**Сведения об авторах:**

*Ощепков Пётр Платонович*, кандидат технических наук, доцент департамента машиностроения и приборостроения инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Область научных интересов:* системы автоматизированного проектирования, эксплуатация двигателей внутреннего сгорания, альтернативные топлива. *Контактная информация:* E-mail: oshchepkov\_pp@rudn.university

*Симеон Адедожа Адегбенро (Нигерия)*, аспирант департамента машиностроения и приборостроения инженерной академии академии Российского университета дружбы народов. *Область научных интересов:* эксплуатация двигателей внутреннего сгорания, альтернативные топлива, теоретические и практические вопросы эксплуатации транспортных средств. *Контактная информация:* E-mail: simeonadegbenro@gmail.com

## **PALM OIL AS ALTERNATIVE FUEL FOR AUTO-TRANSPORT IN NIGERIA**

**P.P. Oshchepkov, Simeon Adedoja Adegbenro**

Peoples' Friendship University of Russia  
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

The paper presents the results of the analysis on using vegetable oils as fuel for diesel engines. Possibility of using palm oil as alternative fuel is considered. Physicochemical properties of plant oil and the requirements for diesel fuel are given. Changes in physicochemical parameters of composite fuel are investigated. Palm oil is proposed to be used as a biological additive to diesel fuel and organic peroxide — as a reagent. The results of mixing process analysis, taking into account the differences between physical properties of palm oil and diesel fuel characteristics, are presented. The analysis was based on mathematical investigation. The effect of physical properties (density, dynamic viscosity, surface tension) of palm oil on the characteristics of mixing process has been examined. Changes in palm oil density, higher values of surface tension and dynamic viscosity have been observed. It was established that with increased density, surface tension and viscosity of palm oil, the average diameter of the drops increases, which should increase not only the ignition delay period, but also temperature sensitivity to the ignition process. With that the fuel jet dispersion angle and side surface decrease. A conclusion was made that in order to maintain the effectiveness of the diesel engine working cycle when switching to palm oil fuel, there is an obvious need for radical measures to substantially change its structure and fuel feed system. Palm oil is proposed to be used as an additive to diesel fuel and organic peroxide — as a reagent.

**Key words:** Diesel engine, plant oil, palm oil, two-component fuel, composite fuel, chemical reagent, organic peroxide

## REFERENCES

- [1] Markov V.A., Gaivoronski A.I., Grekhov L.V., Ivashenko N.A. Rabota dizelej na netradicionnyh toplivah: ucheb. posobie [Operation of diesel engine on non-traditional fuel.: Textbook]. M.: “Legion-Autodata” publ., 2008. 464 p. (in Russ.)
- [2] Markov V.A., Devaynin S.N., Semenov V.G. etc. Ispol’zovanie rastitel’nyh masel i topliv na ih osnove v dizel’nyh dvigateljah [The use of plant oils and fuels on their basis for Diesel engines]. M.: LLC SIC «Engineer»; LLC «Oniko-M», 2011. 536 p. (in Russ.)
- [3] Al’ternativnye topliva dlja dvigatelej vnutrennego sgoranija [Alternative fuel for internal combustion engines]. A.A. Aleksandrov, I.A. Arharov, V.A. Markov etc. Under the editorship of A.A. Alexandrov, V.A. Markov. M.: LLC SIC «Engineer»; LLC «Oniko-M», 2012. 791 p. (in Russ.)
- [4] Bioenergetika: Mirovoj opyt i prognozy razvitija [Bioenergy: international experience and prospects for development]. L.S. Orsik, N.T. Sorokin, V.F. Fedorenko, etc. Under the editorship of V.F. Fedorenko. M.: FGNU «Rosinformagrotekh», 2008. 404 p (in Russ.)
- [5] Gusakov C.V. Perspektivy primeneniya v dizel’jah al’ternativnyh topliv iz vozobnovljaemyh istochnikov [Prospects of using alternative fuel from renewable resources in Diesel engines: Textbook]. M.: RUDN, 2008. 318 p. (in Russ.)
- [6] GOST 305—2013 Diesel Fuel. Specifications. M.: Standartinform Publ., 2014. 12 p.
- [7] Fomin V.M., Atrash Rami. Razrabotka binarnykh topliv na osnove biouglevodorodnykh kompozicij optimizirovannogo komponentnogo sostava dlja jenergeticheskikh ustanovok transportnykh sredstv [Developing binary fuel on the basis of optimized biohydrocarbon compositions for transport engines]. Transport on Alternative Fuel. 2012. № 4 (28). P. 28—30. (in Russ.)

### Article history:

Received: 7 September 2017

Accepted: 30 September 2017

### For citation:

**Oshchepkov P.P., Simeon Adedoja Adegbenro. (2017). Palm oil as alternative fuel for auto-transport in Nigeria. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 18(4), 437—444. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-437-444**

### Bio Note:

*Petr Platonovich Oshchepkov*, Candidate of Technical Sciences, associate professor at the Department of Mechanical and Tool Engineering, Academy of Engineering, Peoples’ Friendship University of Russia. *Research interests*: computer aided design systems, internal combustion engines operation, alternative fuels. *Contact information*: E-mail: oshchepkov\_pp@rudn.university

*Simeon Adedoja Adegbenro (Nigeria)*, graduate student at the Department of Mechanical and Tool Engineering, Academy of Engineering, Peoples’ Friendship University of Russia. *Research interests*: internal combustion engines operation, alternative fuels, theoretical and practical problems of transport operation. *Contact information*: E-mail: simeonadegbenro@gmail.com



DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-4-445-453

УДК 622.691.24:624.953 (470.26)

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМЫ НЕФТЕСБОРА

И.А. Гуськова, Д.Р. Хаярова, Е.В. Леванова, И.Е. Белошапка

Альметьевский государственный нефтяной институт  
ул. Ленина, 2, Альметьевск, Республика Татарстан, Россия, 423452

Показана актуальность задачи изучения таких характеристик защитных покрытий, как стойкость к образованию отложений, коррозионная и термическая стойкость. Выбор защитных покрытий необходимо осуществлять с учетом температуры, оказывающей влияние на их термическую стойкость, что позволит уменьшить затраты на проведение различных мероприятий по удалению органических отложений. Представлены результаты разработки программы для ЭВМ, предназначенной для определения изменения температуры нефти по заданной длине трубопровода, с целью выбора оптимального типа защитных покрытий, предотвращающих коррозию и формирование органических отложений. Результаты расчета распределения температур при заданных условиях и длине трубопровода с использованием компьютерного приложения «Автоматизированная система расчета термодинамических параметров потока», разработанного на кафедре «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» Альметьевского государственного нефтяного института, показывают целесообразность применения защитных покрытий не только с целью защиты от коррозии и формирования органических отложений, но и снижения скорости охлаждения перекачиваемых нефтепродуктов по трубопроводам системы нефтесбора. Разработанная программа для ЭВМ позволяет моделировать температурный режим трубопроводов с целью подбора оптимальной системы покрытий с учетом факторов, осложняющих транспортировку нефти и нефтепродуктов.

**Ключевые слова:** температура, режим, трубопровод, автоматизированный расчет, защитные покрытия, предотвращение, осложнения, программа для ЭВМ

На поздней стадии разработки месторождений продукция добывающих скважин представляет собой водонефтяную смесь, а многообразие условий эксплуатации предопределяет появление сразу комплекса проблем, в том числе коррозию оборудования и формирование соле- и парафиноотложений. При наличии осадков скорость коррозии нефтепроводов увеличивается в 3–5 раз [1]. Одним из традиционных, и в то же время перспективных направлений по повышению энергоэффективности предприятий нефтедобывающего комплекса, является применение защитных покрытий.

В настоящее время широкое применение находят различные типы современных высококачественных и долговечных защитных покрытий [2–8], использование которых способствует повышению надежности работы всех элементов системы транспорта и хранения углеводородного сырья, снижению издержек, связанных с ремонтом защитных покрытий, уменьшению экологических рисков,

увеличению периода эксплуатации существующих и вновь вводимых трубопроводов.

Использование систем покрытий и материалов, обеспечивающих комплексное решение технологических проблем, в том числе предотвращение образования различных отложений, обеспечение защиты от коррозии, уменьшение гидравлических сопротивлений, улучшение теплового режима работы скважины или трубопровода, а также определение оптимальных условий их эксплуатации, позволит в значительной мере повысить эффективность работы нефтедобывающих предприятий и снизить затраты на добычу нефти. Для дальнейшего развития и повышения эффективности применения защитных покрытий необходимо расширение перечня критериев, характеризующих качество покрытий.

Учитывая изменение условий эксплуатации техногенно изменённых залежей нефти, применение значительного количества химреагентов для увеличения нефтеотдачи и интенсификации работы добывающих и нагнетательных скважин, ингибиторов и деэмульгаторов, а также появление новых классов и типов защитных покрытий, необходимо дальнейшее изучение возможностей использования защитных покрытий для предотвращения формирования органических отложений и повышения эффективности работы нефтепромыслового оборудования.

Значительное количество научных работ посвящено методам и техническим средствам оценки качества защитных покрытий. Оценка качества изоляции на всех этапах эксплуатации магистральных нефтепроводов является одним из основных факторов обеспечения надежной противокоррозионной защиты объектов [9—12].

В настоящее время системы покрытий, предлагаемые российскими и зарубежными компаниями для защиты нефтепромыслового оборудования, характеризуются различными показателями эксплуатационной стойкости, в том числе стойкостью к воздействиям повышенных температур, коррозионной стойкостью, эластичностью, прочностью сцепления с поверхностью, пористостью, твердостью.

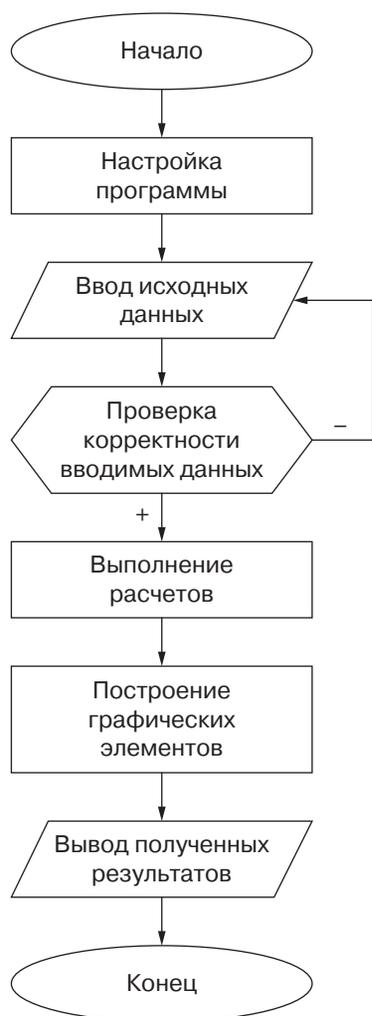
Учитывая, что нефти основных месторождений Республики Татарстан относятся к категории парафинистых, с высоким содержанием смолисто-асфальтеновых компонентов и образуют стойкие отложения на поверхности нефтепромыслового оборудования, изучение таких характеристик защитных покрытий, как стойкость к образованию отложений, коррозионная и термическая стойкость, является актуальной задачей.

Выбор типа защитного покрытия проводится с учетом конкретных геолого-физических условий, свойств продукции скважины, состава органических отложений, особенностей данного объекта, наличия тех или иных технических средств, химических реагентов и т.д. Почти половина всех применяемых в ОАО «Татнефть» методов удаления органических отложений связана с применением тепловых эффектов. Однако, если учесть, что почти 100% промысловых трубопроводов имеют внутреннее или внешнее антикоррозионное покрытие, то применение тепловых методов удаления ограничено их термостойкостью [13]. Выбор защитных покрытий необходимо осуществлять с учетом температуры, оказывающей влияние на их термическую стойкость, что позволит уменьшить затраты на проведение различных мероприятий по удалению органических отложений.

Значение температурных показателей имеет большое влияние на выбор защитных покрытий. Вопрос термической стойкости покрытий является актуальным, так как половина всех используемых методов для очистки промышленных трубопроводов системы нефтесбора от органических отложений основана на применении теплового воздействия. При перекачках нефти и нефтепродуктов по подземным трубопроводам происходит их постепенное остывание вследствие теплообмена между трубопроводом и окружающим грунтом. Поэтому необходимо максимально точное определение температурного режима трубопроводов системы нефтесбора.

Тепловой расчет трубопроводов при перекачке нефти и нефтепродуктов производят с целью определения температуры потока в конце трубопровода. При перекачках нефти и нефтепродуктов по подземным трубопроводам происходит их постепенное остывание вследствие теплообмена между трубопроводом и окружающим грунтом. С целью снижения вязкости перекачиваемой нефти и нефтепродуктов и во избежание закупорки трубопровода при их остывании по длине трубопровода, большинство высоковязких нефтей и нефтепродуктов предварительно подогревают. Подогрев осуществляется на головной станции и промежуточных подогревательных пунктах. При размещении подогревательных установок между перекачивающими насосными станциями производительность и число их определяются исходя из характера падения температуры по длине трубопровода. С расширением практики использования ЭВМ, расчеты распределения температуры по длине трубопровода можно предельно упростить, используя соответствующие алгоритмы.

С целью расчета распределения температур по длине трубопровода, определения характера падения температуры для труб без покрытия и с изоляционными покрытиями, на кафедре «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» Альметьевского государственного нефтяного института разработана автоматизированная система расчета термодинамических параметров потока [14]. Созданная система позволяет рассчитать распределение температуры при заданной длине трубопровода для труб без покрытия, для выкидных линий с различными типами защитных покрытий, в частности, с покрытиями П-ЭП-585 и МПТ, с использованием формулы Шухова [15]. Помимо расчета, программа реализует построение графиков распределения температуры нефтепродукта по длине трубопровода в зависимости от наличия и типа защитного покрытия и выгрузку полученных результатов в файл Microsoft Excel. Участвующий в уравнении Шухова [15] коэффициент теплопередачи  $k$  имеет большое значение. Он зависит от ряда факторов, в том числе от режима движения нефти или нефтепродукта, их физических свойств, от характера окружающей среды, от сопротивлений теплопереходу антикоррозионной и тепловой изоляции, отложений парафина. В качестве базы данных, включающей значения коэффициентов теплопроводности изоляционных материалов, грунтов, нефти, показателей трубопровода, используется база Microsoft Access. В программе заложены инструменты для проверки, вводимых пользователем, исходных данных. На рисунке изображена блок-схема программы. Блок выполнения расчетов состоит из расчета полного коэффициента теплопередачи, начальной и конечной температуры для труб без покрытия,



**Рисунок.** Блок-схема программы «Автоматизированная система расчета термодинамических параметров потока» [Figure. Flowchart of the program “Automated system for calculating thermodynamic flow parameters”]

для выкидных линий с МПТ и труб с покрытием П-ЭП-585. Блок построения графических элементов заключается в построении графиков распределения температуры по заданной длине трубопровода для всех трех вариантов расчета.

Основой расчета распределения температуры нефти или нефтепродукта для трубопроводов является формула Шухова [15], в которой решающее значение имеет полный коэффициент теплопередачи от нефти или нефтепродукта в окружающую среду, средний по длине трубопровода. Для расчета этого коэффициента используются хранимые в базе данных значения коэффициента теплоотдачи нефти или нефтепродукта к внутренней стенке отложений или трубы и коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубопровода в окружающую среду; значение коэффициента теплопроводности органических отложений и параметры трубопровода.

В результате сравнительного расчета температуры перекачиваемых по трубопроводу нефтепродуктов при использовании различных покрытий отмечена различная степень снижения рассматриваемого параметра по сравнению с начальными показателями (таблица):

- при отсутствии защитных покрытий остывание перекачиваемой жидкости составляет 48,8%;
- при применении покрытий вида П-ЭП-585 отмечено остывание перекачиваемой жидкости на 34,0%;
- при применении покрытий вида МПТ остывание перекачиваемой жидкости — 30,7%.

Существует прямая зависимость температуры от полного коэффициента теплопередачи. Чем данный коэффициент больше, тем быстрее происходит остывание перекачиваемой нефти или нефтепродукта вследствие теплообмена между трубопроводом и окружающим грунтом. Отмечается, что защитные покрытия помимо выполнения своих основных функций защиты от коррозии и предотвра-

щения формирования органических отложений, способствуют теплоизоляции трубопровода и уменьшают степень охлаждения перекачиваемой жидкости. Данный показатель для труб с МПТ не значительно, но превышает показатели для труб с покрытием П-ЭП-585.

Таблица

**Результаты программы расчета термодинамических параметров потока в трубопроводах системы нефтесбора**  
**[Results of obtained by the program for calculating the thermodynamic flow parameters in the pipelines of the oil-gathering system]**

Определяемый параметр	Значение для трубопровода		
	при отсутствии защитного покрытия	с покрытием П-ЭП-585	с МПТ
Полный коэффициент теплопередачи, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	1,98	1,17	1,03
Начальная температура нефти (нефтепродуктов), °С	56		
Конечная температура нефти (нефтепродуктов), °С	28,66	36,95	38,8
Отношение конечной и начальной температур, %	51,18	65,98	69,29

Таким образом, результаты расчета распределения температур при заданных условиях и длине трубопровода с использованием разработанного компьютерного приложения «Автоматизированная система расчета термодинамических параметров потока» показывают целесообразность применения защитных покрытий не только с целью защиты от коррозии и формирования органических отложений, но и снижения скорости охлаждения перекачиваемых нефтепродуктов по подземным трубопроводам вследствие теплообмена между трубопроводом и окружающим грунтом.

Моделирование температурных показателей данного процесса на каждом участке позволяет фиксировать выходные параметры системы — температуру в любой точке по длине рассматриваемого трубопровода, — не производя интерполяционных вычислений, с дальнейшим построением графической зависимости изменения температуры по длине трубопровода. При изменении значений коэффициентов теплоотдачи и теплопроводности данная задача может быть решена практически для любого типа защитного покрытия, что позволяет моделировать температурный режим трубопроводов системы нефтесбора с целью подбора оптимальной системы покрытий с учетом факторов, осложняющих транспортировку нефтей и нефтепродуктов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Низамов К.Р., Муразильдин З.Г., Арменский Е.А. и др. Коррозия трубопроводов в условиях выпадения осадков // Нефтяное хозяйство. 2002. № 4. С. 90–91.
- [2] Низьев С.Г. О противокоррозионной защите магистральных и промысловых трубопроводов современными полимерными покрытиями // Территория Нефтегаз. 2009. № 9. С. 56–58.
- [3] Набокова В.В. Совершенствование методов противокоррозионной защиты магистральных трубопроводов // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2013. № 6. С. 52.
- [4] Бойцов А.Ю., Меркович Е.А. Современные тенденции в создании полимерных защитных покрытий // Коррозия территории нефтегаз. 2012. № 9. С. 32.

- [5] *Малыхина Л.В., Чернова Н.В., Губайдуллина Н.К.* Применение полимерных покрытий для предотвращения коррозии нефтепромыслового оборудования в ОАО «Татнефть» // *Коррозия территории нефтегаз.* 2009. № 5. С. 10–12.
- [6] *Никитин М.Н., Гуськова И.А.* Анализ эффективности применения покрытия ПЭП-585 для системы промысловых трубопроводов ОАО «Татнефть» // «Материалы научной сессии студентов по итогам 2008 года. Альметьевск: АГНИ, 2009. С. 66–67.
- [7] *Малыхина Л.В., Губайдуллина Н.К., Тахаутдинова Г.Л., Сатвалдиева Ю.С.* Перспективные полимерные покрытия для нефтепромыслового оборудования ОАО «Татнефть» // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе.* 2012. № 9. С. 7–9.
- [8] *Тахаутдинова Г.Л.* Термостойкие полимерные покрытия для внутренней поверхности труб линейных и насосно-компрессорных // *Институт «ТатНИПИнефть».* Бугульма, 2012.
- [9] *Баранов А.Н., Янченко Н.И., Гусева Е.А.* Электрохимические методы исследований образцов трубопроводных энергетических систем, подвергнутых противокоррозионной обработке // *Системы. Методы. Технологии.* 2012. № 4. С. 127–130.
- [10] *Абакачева Е.М., Сафронов Е.Ф., Киреев К.А., Ильчинбаев Т.Д., Ибрагимова Г.М., Акчурина А.М.* Исследование защитных антикоррозионных покрытий магистральных трубопроводов без контактным методом // *Башкирский химический журнал.* 2009. № 4. С. 167.
- [11] *Харисов Р.А.* Проведение экспертной оценки для защитных покрытий трубопроводов // *Нефтегазовое дело.* 2009. № 3. С. 26.
- [12] *Попов В.А., Лукин Е.С., Истомин А.И.* Методы и технические средства контроля качества защитных покрытий объектов нефтегазовой отрасли на разных стадиях их жизненного цикла // *Коррозия территории нефтегаз.* 2013. № 6. С. 42.
- [13] *Гуськова И.А., Павлова А.И., Емельянычева С.Е.* О проблемах формирования асфальто-смолопарафиновых отложений (АСПО) в трубопроводах и резервуарах, имеющих защитные антикоррозионные покрытия // *Нефтепромысловое дело.* 2010. № 9. С. 45.
- [14] *Гуськова И.А., Хаярова Д.Р., Леванова Е.В., Сергеев А.Ю.* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017616410. Автоматизированная система расчета термодинамических параметров потока для определения температурного режима трубопроводов системы нефтесбора. 2017.
- [15] *Тугунов П.И., Новоселов В.Ф., Коршак А.А., Шаммазов А.М.* Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2002. С. 658.

© Гуськова И.А., Хаярова Д.Р., Леванова Е.В., Белошадка И.Е., 2017

#### **История статьи:**

Дата поступления в редакцию: 07 октябрь 2017

Дата принятия к печати: 10 ноября 2017

#### **Для цитирования:**

Гуськова И.А., Хаярова Д.Р., Леванова Е.В., Белошадка И.Е. К вопросу определения температурного режима трубопроводов системы нефтесбора // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: «Инженерные исследования».* 2017. Т. 18. № 4. С. 445–453. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-445-453

#### **Сведения об авторах:**

*Гуськова Ирина Алексеевна*, доктор технических наук, проректор по научной работе, зав. кафедрой, профессор кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» («РиЭНГМ»), Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Альметьевский государственный нефтяной институт» (ГБОУ ВО АГНИ). *Область научных интересов:* Научные разработки в области добычи нефти в ос-

ложненных условиях, проблем добычи трудноизвлекаемых запасов. *Контактная информация*: E-mail: guskovaagni1@rambler.ru

*Хаярова Динара Рафаэлевна*, кандидат технических наук, доцент кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» («РиЭНГМ»), Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Альметьевский государственный нефтяной институт» (ГБОУ ВО АГНИ). *Область научных интересов*: Проблемы добычи нефти в осложненных условиях. *Контактная информация*: E-mail: GilDinara14@mail.ru

*Леванова Евгения Васильевна*, кандидат технических наук, доцент кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» («РиЭНГМ»), Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Альметьевский государственный нефтяной институт» (ГБОУ ВО АГНИ). *Область научных интересов*: Особенности применения методов увеличения нефтеизвлечения и обработки призабойной зоны пластов на поздней стадии разработки нефтяных месторождений. *Контактная информация*: E-mail: evgeniyalevanova@rambler.ru

*Белешапка Иван Евгеньевич*, аспирант кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» («РиЭНГМ»), Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Альметьевский государственный нефтяной институт» (ГБОУ ВО АГНИ). *Область научных интересов*: Повышение эффективности разработки месторождений с трудноизвлекаемыми запасами нефти, фильтрационные исследования. *Контактная информация*: E-mail: i.e.beloshapka@gmail.com

## ON DETERMINING TEMPERATURE CONDITIONS OF PIPELINES IN OIL-GATHERING SYSTEM

I.A. Guskova, D.R. Khayarova, E.V. Levanova, I.E. Beloshapka

Almetyevsk State Oil Institute  
Lenina str., 2, Almetyevsk, Tatarstan Republic, Russia, 423452

The relevance of the task of examining such characteristics of protective coatings, as sedimentation, corrosion and heat resistance, is demonstrated. Protective coatings must be selected considering the temperature that affects their thermal resistance, so that the costs of carrying out various activities in order to remove organic sediments are reduced. The results of constructing a computer program to determine the temperature change of oil along a specified length of pipeline, for the sake of selecting the optimum type of protective coating to prevent corrosion and formation of organic sediments, are presented. The results of calculating the temperature distribution under given conditions and the length of the pipeline using the computer application “Automated system for calculating thermodynamic flow parameters” developed at the department “Development and operation of oil and gas fields” of the Almetyevsk State Oil Institute show the reasonability of applying protective coatings not only for the purpose of protection from corrosion and formation of organic deposits, but also to reduce the cooling rate of pumped oil products through the pipelines of oil-gathering system. The developed computer program allows to model the temperature conditions of pipelines in order to select the optimal coating system, taking into account the aspects that complicate transportation of oil and oil products.

**Key words:** temperature, condition, pipeline, automated calculation, protective coating, prevention, complications, computer program

## REFERENCES

- [1] Nizamov K.R., Murozgildin Z.G., Armensky E.A. Korrozija truboprovodov v uslovijah vypadenija osadkov [Corrosion of Pipelines in Conditions of Precipitation]. *Oil Industry*. 2002. № 4. Pp. 90—91. (in Russ.)
- [2] Nizhyev S.G. O protivokorroziionnoj zashchite magistral'nyh i promyslovyh truboprovodov sovremennymi polimernymi pokrytijami [About corrosion protection of main and field pipelines by modern polymer coatings]. *Oil and gas territory*. 2009. № 9. Pp. 56—58. (in Russ.)
- [3] Nabokova V.V. Improving the working methods of corrosion protection pipelines. *Newsletter of the North-Caucasian Federal University*. 2013. № 6. P. 52. (in Russ.)
- [4] Boytsov A.Y., Merkovich E.A. Sovremennye tendencii v sozdanii polimernyh zashchitnyh pokrytij [Modern trends in creation of polymer-based protective coatings]. *Corrosion of Oil and gas territory*. 2012. № 9. P. 32. (in Russ.)
- [5] Malykhina L.V., Chernova N.V., Gubaidullina N.K. Primenenie polimernyh pokrytij dlja predotvrashchenija korrozii neftepromyslovogo oborudovanija v OAO "Tatneft" [Application of polymer coatings for corrosion prevention of oilfield equipment in PC TATNEFT]. *Corrosion of Oil and gas territory*. 2009. № 5. P. 10—12. (in Russ.)
- [6] Nikitin M.N., Guskova I.A. Analiz effektivnosti primeneniya pokrytija PEP-585 dlja sistemy promyslovyh truboprovodov OAO "Tatneft" [Analysis of the effectiveness of application of PEC-585 coating for pipeline systems of PC TATNEFT]. *Materials of the scientific session of students on the basis of 2008. Almetjevsk: ASOI, 2009*. Pp. 66—67. (in Russ.)
- [7] Malykhina L.V., Gubaidullina N.K., Takhautdinova G.L., Satvaldieva Y.S. Advanced polymer coatings for JSC "Tatneft" oilfield equipment. *Environmental protection in oil and gas complex*. 2012. № 9. Pp. 7—9. (in Russ.)
- [8] Takhautdinova G.L. Termostojkie polimernye pokrytija dlja vnutrnej poverhnosti trub linejnyh i nasosno-kompressornyh [Heat-resistant polymer coatings for the internal surface of linear and tubing pipes]. *Institute "TatNIPIneft". Bugulma, 2012*. (in Russ.)
- [9] Baranov A.N., Yanchenko N.I., Guseva E.A. Electrochemical methods to study pipeline energy systems subjected to anticorrosion treatment. *Systems. Methods. Technologies*. 2012. № 4. Pp. 127—130. (in Russ.)
- [10] Abakacheva E.M., Safronov E.F., Kireev K.A., Ilchinbaev T.D., Ibragimova G.M., Akchurina A.M. Research of protective corrosion-resistant coatings of main pipelines by noncontact inspection method. *Bashkir chemical journal*. 2009. № 4. P. 167. (in Russian)
- [11] Harisov R.A. Provedenie ekspertnoj ocenki dlja zashchitnyh pokrytij truboprovodov [Expert evaluation of protective coatings of pipelines]. *Oil and gas business*. 2009. № 3. P. 26. (in Russ.)
- [12] Popov V.A., Lukin E.S., Istomin A.I. Metody i tehicheskie sredstva kontrolja kachestva zashhitnyh pokrytij ob'ektov neftegazovoj otrasli na raznyh stadijah ih zhiznennogo cikla [Methods and technical means for quality control of protective coatings of oil and gas industry objects at different stages of their life cycle]. *Corrosion of Oil and gas territory*. 2013. № 6. P. 42. (in Russ.)
- [13] Guskova I.A., Pavlova A.I., Emelyanycheva S.E. Some aspects of formation of asphaltresinparaffin sediments in pipelines and storage tanks with protective anticorrosion coatings. *Oilfield Engineering*. 2010. № 9. P. 45. (in Russ.)
- [14] Guskova I.A., Khayarova D.R., Levanova E.V., Sergeev A.Y. Certificate of state registration of the computer program № 2017616410. Automated system for calculating the thermodynamic flow parameters for determining the temperature regime of pipelines of the oil collection system. 2017.
- [15] Tugunov P.I., Novoselov V.F., Korshak A.A., Shammazov A.M. Tipovye raschety pri proektirovanii i jekspluatacii neftebaz i nefteprovodov [Typical calculations for the design and operation of oil depots and oil pipelines]. *Ufa: DesignPolygraphService, 2002*. P. 658. (in Russ.)

### Article history:

Received: 07 October 2017

Accepted: 10 November 2017

**For citation:**

**Guskova I.A., Khayarova D.R., Levanova E.V., Beloshapka I.E. (2017) On determining temperature conditions of pipelines in oil-gathering system. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 18(4), 445–453. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-445-453**

**Bio Note:**

*Irina A. Guskova*, Doctor of Technical Sciences, Scientific work chancellor, Head of the Department of development and operation of oil and gas fields, Almet'yevsk state oil institute. *Research interests*: Scientific developments in the field of oil production in complicated conditions, difficult reserves extraction problems. *Contact information*: E-mail: guskovaagni1@rambler.ru

*Dinara R. Khayarova*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor in the Department of development and operation of oil and gas fields, Almet'yevsk state oil institute. *Research interests*: Problems of oil extraction in complicated conditions. *Contact information*: E-mail: GilDinara14@mail.ru

*Evgeniya V. Levanova*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor in the Department of development and operation of oil and gas fields, Almet'yevsk state oil institute. *Research interests*: Special features about application of methods for increasing oil recovery and processing the bottomhole formation zone at the late stage of oil field development. *Contact information*: E-mail: evgeniyalevanova@rambler.ru

*Ivan E. Beloshapka*, post-graduate student in the Department of development and operation of oil and gas fields, Almet'yevsk state oil institute. *Research interests*: Increasing efficiency of developing deposits with difficult oil reserves, filtration studies. *Contact information*: E-mail: i.e.beloshapka@gmail.com



DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-4-454-471

УДК 553.3.0.4.003.1

## ОБЗОР И СОСТОЯНИЕ ГОРНОЙ ОТРАСЛИ АЛЮМИНИЯ В МИРЕ И В РЕСПУБЛИКЕ ГВИНЕЕ

В.Ю. Абрамов, Л. Туре

Российский университет дружбы народов  
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Алюминий один из самых распространенных металлов земной коры. Массовая концентрация алюминия в земной коре по данным различных исследователей составляет от 7,45 до 8,14%. На сегодняшний день алюминий занимает второе место в мире по объемам потребления среди всех металлов, уступая лишь стали, и спрос на него постоянно увеличивается. Главным сырьем для перерабатывающих алюминиевых заводов служат бокситы и нефелины. Согласно предварительным данным Международного института алюминия, мировое производство первичного алюминия по итогам 2016 года увеличилось на 0,5% и достигло 58,167 млн т. Рост населения планеты, экономический подъем, и активная урбанизация развивающихся стран обеспечивают стабильный спрос на алюминий.

Алюминий широко используется в строительстве, автомобилестроении, производстве упаковки и других сферах. Рост потребления алюминия тесно связан с ростом производства алюминия. Китай является лидером производителя этого металла. Географически месторождения бокситов на земле распределены очень неравномерно, огромные ресурсы сосредоточены в тропических и субтропических областях. Среди латеритных месторождений наибольшее промышленное значение имеют объекты бовального типа, широко распространенные в Гвинее, в Индии и Бразилии. В перспективе Республика Гвинея может стать лидером по добыче бокситов на мировом рынке. Бокситы на территории Гвинеи впервые были обнаружены А.Лакроикс (A. Lacroix) на островах архипелага Лоос (Loos) в начале XX века. Гвинея обладает очень качественным инвентаризационным запасом бокситов более чем половины мировых ресурсов. С учетом темпов эксплуатации бокситов в других странах, в ближайшие десятилетия Гвинея станет основным центром производства глинозема и даже алюминия.

**Ключевые слова:** бокситы, алюминий, производство, прогноз, добыча, первичный алюминий, потребление алюминия, перспективы рынка алюминия

### Актуальность работы

Алюминий — это один из самых распространенных металлов в земной коре. Но в свободном состоянии он впервые был выделен лишь в 1825 г., а алюминиевая промышленность возникла еще спустя 60 лет, когда был открыт способ получения алюминия электролизом глинозема, растворенного в расплавленном криолите. Первый алюминиевый электролизный завод был пущен в 1888 г. в Швейцарии. Этот металл, самый востребованный в цветной металлургии. Массовая концентрация алюминия в земной коре по данным различных исследователей составляет от 7,45 до 8,14%. На сегодняшний день алюминий занимает второе

место в мире по объемам потребления среди всех металлов, уступая лишь стали, и спрос на него постоянно увеличивается.

Основными минеральными формами нахождения алюминия, из которых возможно его извлечение являются: бокситы ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), которые обеспечивают 98% мирового производства глинозема ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), и 2% — нефелины ( $\text{KNa}_3[\text{AlSiO}_4]_4$ ) и алуниты  $[(\text{NaK})_2 \cdot \text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{Al}(\text{OH})_3]$ , каолиниты  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Главным сырьем для перерабатывающих алюминиевых заводов служат бокситы и нефелины. Отметим, что основное сырье для производства алюминия — глинозем, который в свою очередь получается из боксита.

Мировые запасы бокситов составляют 28 млрд т, и около четверти из них сосредоточены в Республике Гвинея (7,4 млрд т), на втором месте Австралия с 6,2 млрд т.

В настоящее время в Гвинея известно четыре крупных бокситодобывающих компании: CBG (Compagnie de bauxite de Guinee), CBK (Compagnie des bauxites de Kindia), GAC-EGA Global Alumina Guinee, SMB, COBAD (Compagnie des bauxites de Dian Dian. Также несколько компаний (Eurassian Resources, Alufer, AMR) планируют начать их добычу в ближайшее время. Так же, есть еще некоторые компании, которые проводят разведочные работы.

**Ситуация алюминия на мировой рынке.** Согласно предварительным данным Международного института алюминия (International Aluminium Institute, IAI), мировое производство первичного алюминия по итогам 2016 года увеличилось на 0,5% и достигло 58,167 млн т [1].

Мировой спрос на алюминий поддерживается, прежде всего, быстрым экономическим развитием и урбанизацией Китая, доля которого в общем объеме мирового потребления составляет более 40%.

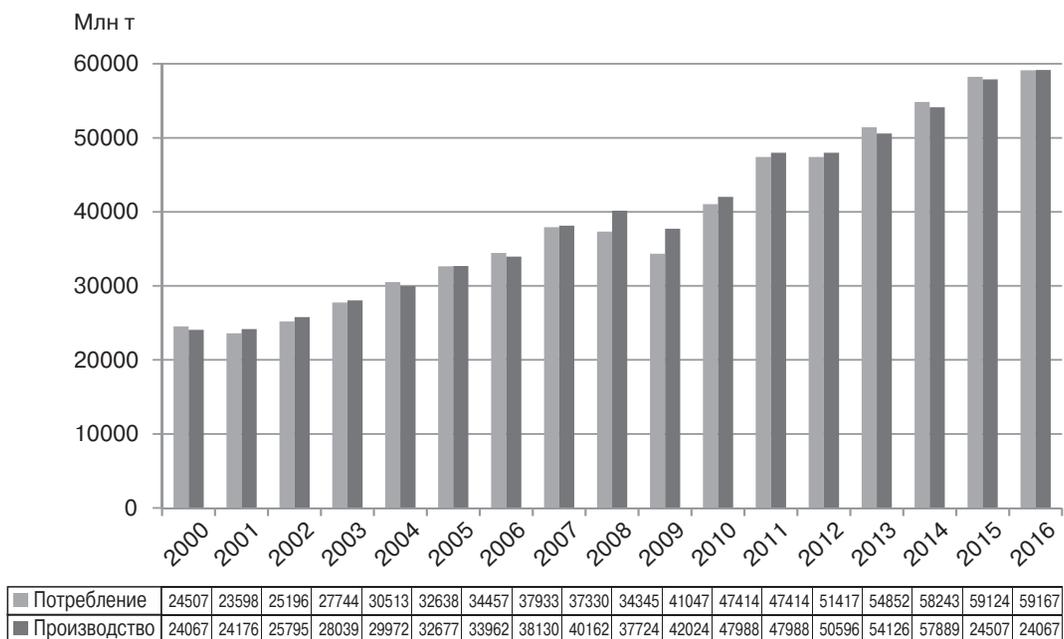
Рост населения планеты, экономический подъем, и активная урбанизация развивающихся стран обеспечивают стабильный спрос на алюминий. По оценкам экспертов, к 2018 году общемировой объем потребления алюминия достигнет 66,4 млн т [2].

По оценкам РУСАЛа, мировой спрос на алюминий в первом полугодии 2017 года вырос на 5,7% по сравнению с аналогичным периодом прошлого года — до 31,7 млн т. По прогнозам РусАла, мировой спрос на алюминий в 2017 году вырастет на 5,9% по сравнению с прошлым годом до 63,3 млн т благодаря росту спроса на рынках [3].

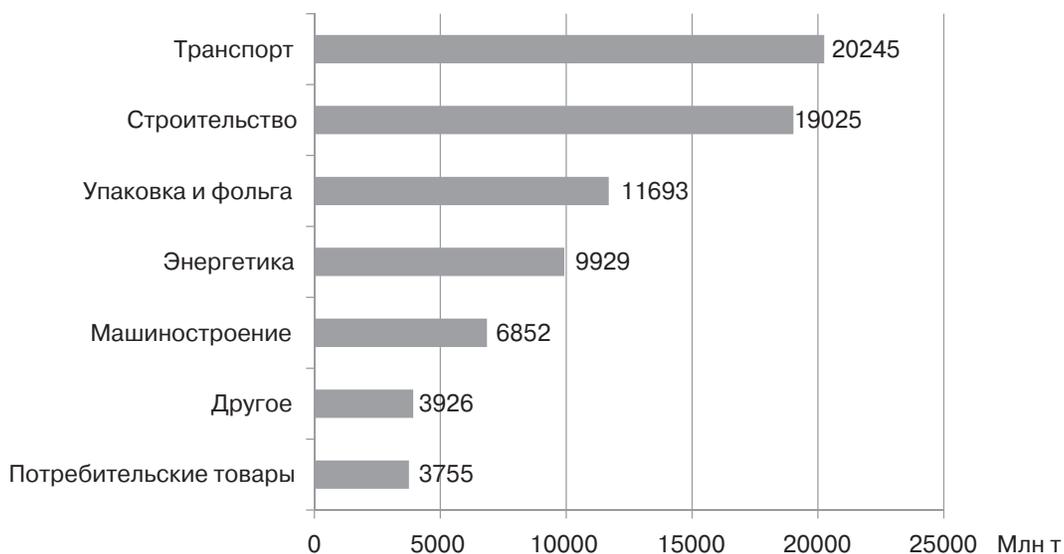
**Производство и потребление алюминия в мире.** В конце XIX века, за 35 лет, мировое производство алюминия составляло всего 200 т. В 2016 году ежегодное производство алюминия в мире достигло 59 млн т. Однако за последние 16 лет, с 2000 по 2016 год [6] (рис. 1), производство алюминия увеличилось более чем в 2 раза: с 24 млн т до 59 млн т.

В настоящее время алюминий используется во многих отраслях промышленности (рис. 2 и 3), начиная с транспорта и заканчивая пищевым производством [4]. Алюминий широко используется в строительстве, автомобилестроении, производстве упаковки и других сферах. Производство самолетов, вертолетов, беспилотных летательных аппаратов нарастает быстрыми темпами, и все они на 75–80% состоят из алюминия. Та же тенденция наблюдается и в производстве высокоскоростных шин, поездов метро и даже кораблей.

Рост потребления алюминия тесно связан с ростом производства алюминия. С 2009 года до настоящего время возрастает потребление первичного алюминия (рис. 4). По прогнозам тенденция потребления алюминия до 2020 года будет расти. Надо отметить, что по данным РусАла и их оценкам [3], ожидается существенный рост потребления алюминия в 2025 году (рис. 5).



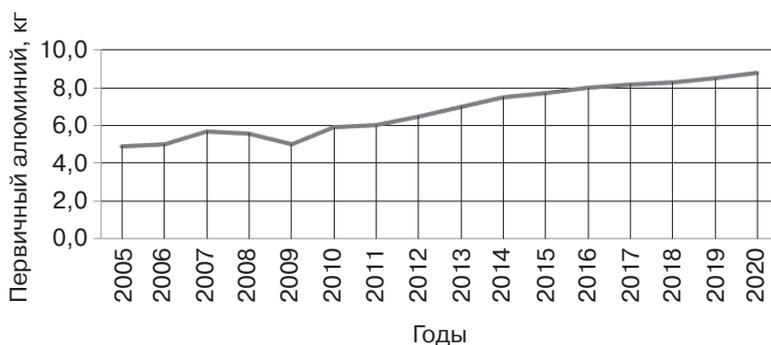
**Рис. 1.** Мировое потребление и производство алюминий на 2016 год [6]  
[Fig. 1. World consumption and production of aluminum in bt. for 2016 [6]]



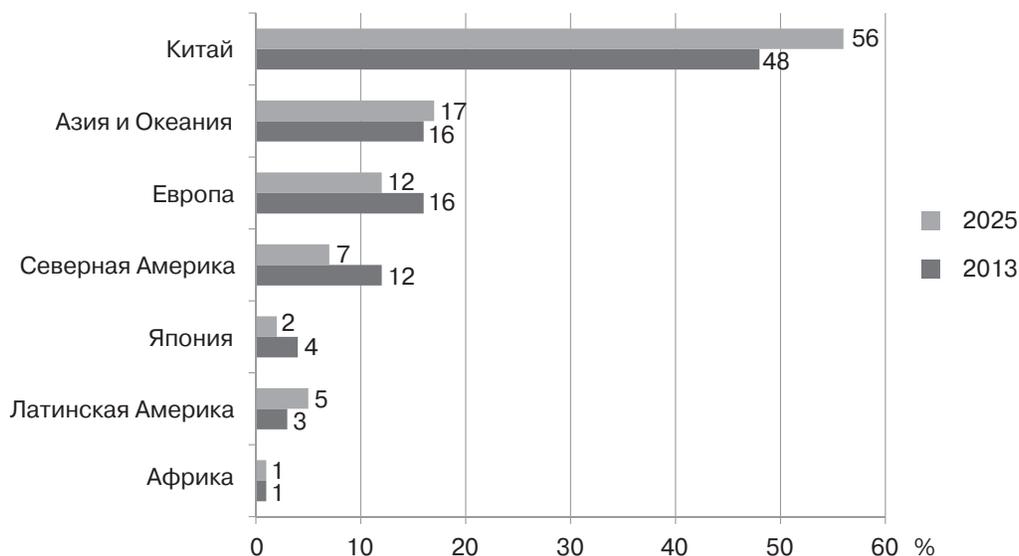
**Рис. 2.** Мировое использование алюминий по отраслям на 2015 год [4]  
[Fig. 2. World use of aluminum by industry in bt. for 2015 [4]]



**Рис. 3.** Мировое использование алюминий по отраслям на 2015 год [4]  
[Fig. 3. Percentage of global aluminum use by industry by 2015 [4]]



**Рис. 4.** Динамика среднедушевого потребления алюминия на 2016 год [3]  
[Fig. 4. Dynamics of consumption of aluminum for 2016 [3]]



**Рис. 5.** Потребление алюминия в мире в 2013 году и прогноз на 2025 год по состоянию на 2016 год [3]  
[Fig. 5. The world's consumption of aluminum 2013 and 2025 for 2016 [3]]

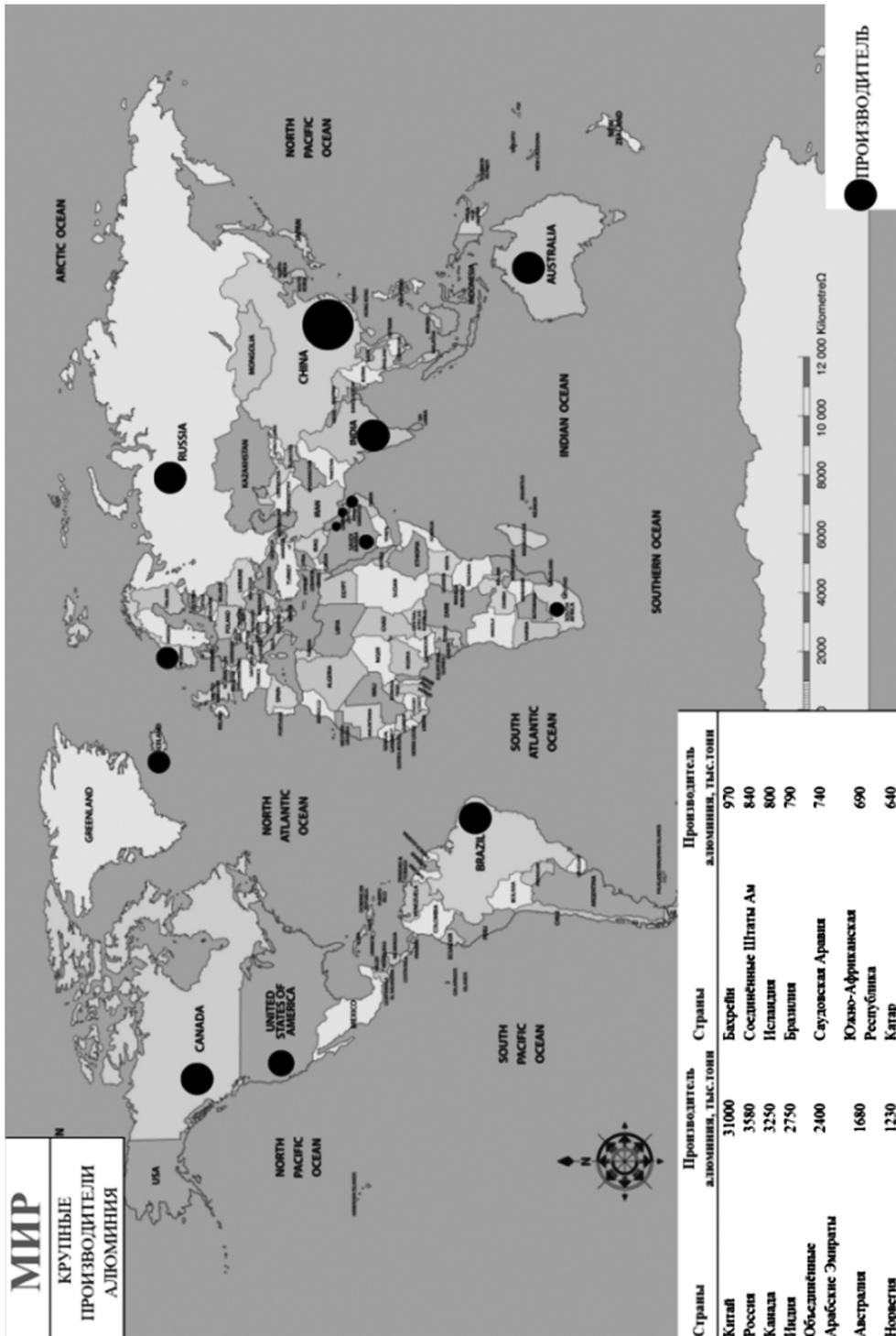
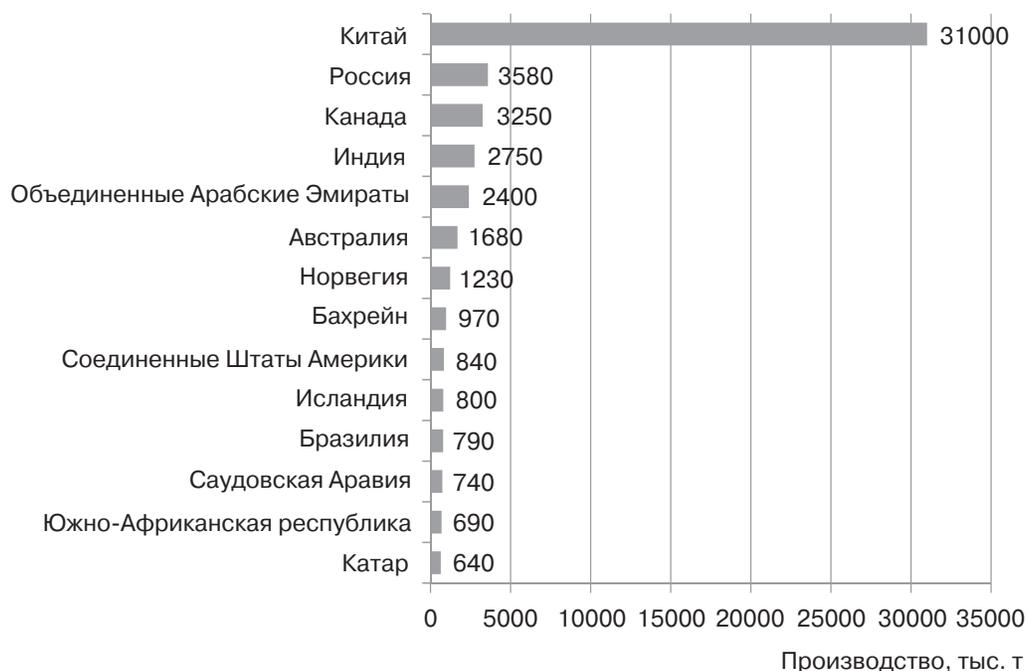


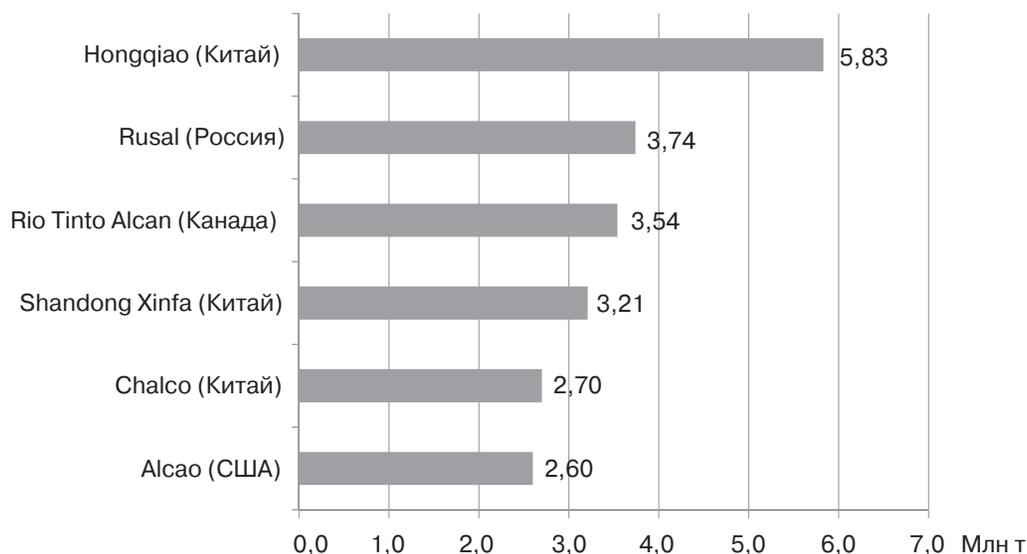
Рис. 6. Карта производителей алюминия на 2016 год [5]  
[Fig. 6. Map of aluminum producer for 2016 [5]]

На рисунке 6 отображены страны, которые производят этот металл в мире: Китай — лидер, далее, на втором месте находится Россия, и на третьем — Канада (рис. 7) [5].



**Рис. 7.** Крупнейшие страны производители алюминия на 2016 год [5]  
**[Fig. 7.]** The largest countries are aluminum producers for 2016 [5]

Из рисунка 8 видно, что мировым лидером среди компаний по производству алюминия является HONGQIAO (Китай) по данным IAI в 2016 [1].

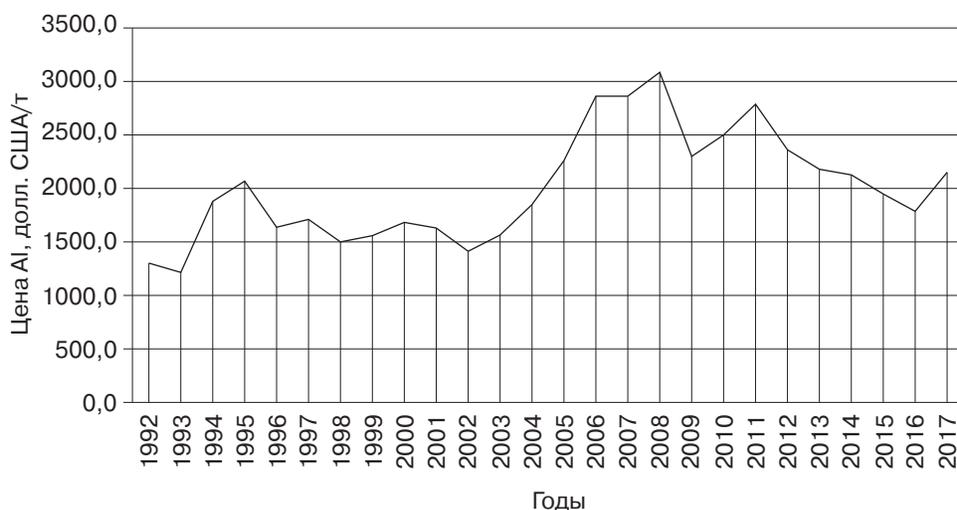


**Рис. 8.** Крупнейшие компании производители алюминия в мире на 2016 год [1]  
**[Fig. 8.]** The largest aluminum producers in the world for 2016 [1]

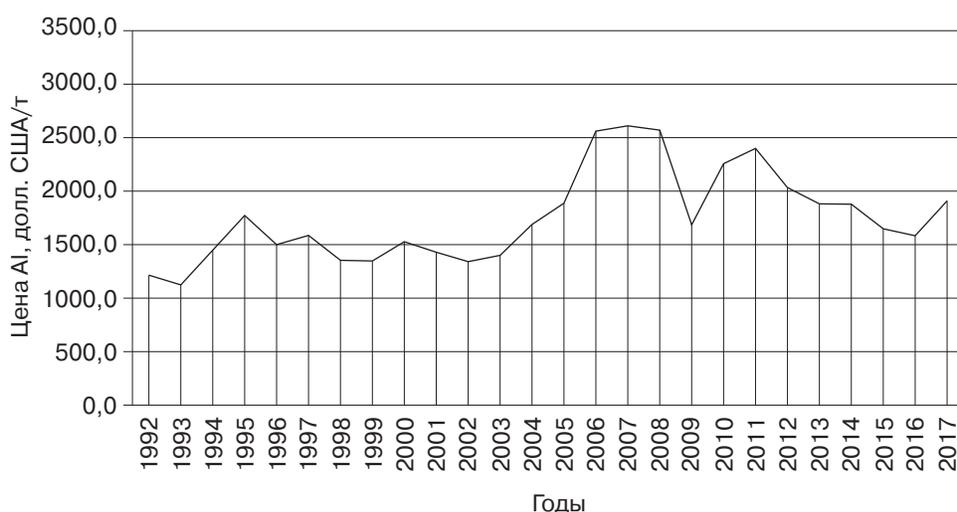
**Цены на алюминий.** Продажа алюминия в мире происходит на четырех основных торговых площадках: Лондонской бирже металлов (ЛБМ), Нью-Йоркской товарно-сырьевой бирже (отделение Comex), Шанхайской бирже металлов и Токийской товарной бирже. Наибольший объем торгов совершается на Лондонской бирже. Ценообразование на этот металл на мировом рынке происходит на ЛБМ [10].

Ведущие экономические эксперты полагают, что цены на алюминий будут расти и рынок алюминия в 2018 году расширится.

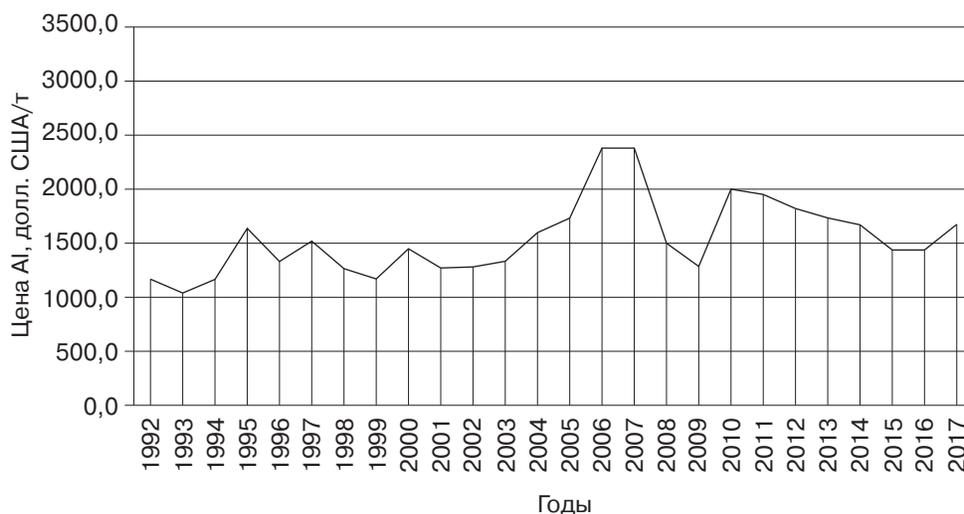
По статистическим данным Мирового бюро металлов [8] и investfunds.kz [6], были составлены диаграммы по ценам с 1992 по 2017 годы: максимальная цена (рис. 9), средняя цена (рис. 10) и минимальная цена (рис. 11).



**Рис. 9.** Максимальная цена алюминия на 2016 год [6; 8]  
**[Fig. 9.** The maximum price of aluminum for 2016 [6; 8]]



**Рис. 10.** Средняя цена алюминия на 2016 год [6; 8]  
**[Fig. 10.** Average price of aluminum for 2016 [6; 8]]



**Рис. 11.** Минимальная цена алюминия на 2016 год [6; 8]  
**Fig. 11.** Minimum price of aluminum for 2016 [6; 8]

Как видно из рисунка 9, 2008 год был прорывным для алюминиевой промышленности в мире, так как максимальная цена алюминия достигала 3000 долл. США/т. Далее, из рисунка 10 видно, что с 2006 по 2008 годы, максимальная рыночная средняя цена изменялась между 2573 и 2577 долл. США/т, а в 2007 году средняя цена на этот металл достигала 2639 долл. США/т.

Из рисунка 11 видно, что в 2009 году рыночная цена на алюминий упала, и этот период можно назвать кризисным на мировом рынке алюминиевого сырья.

В настоящее время цена на алюминий постоянно растет и спрос на него также растет.

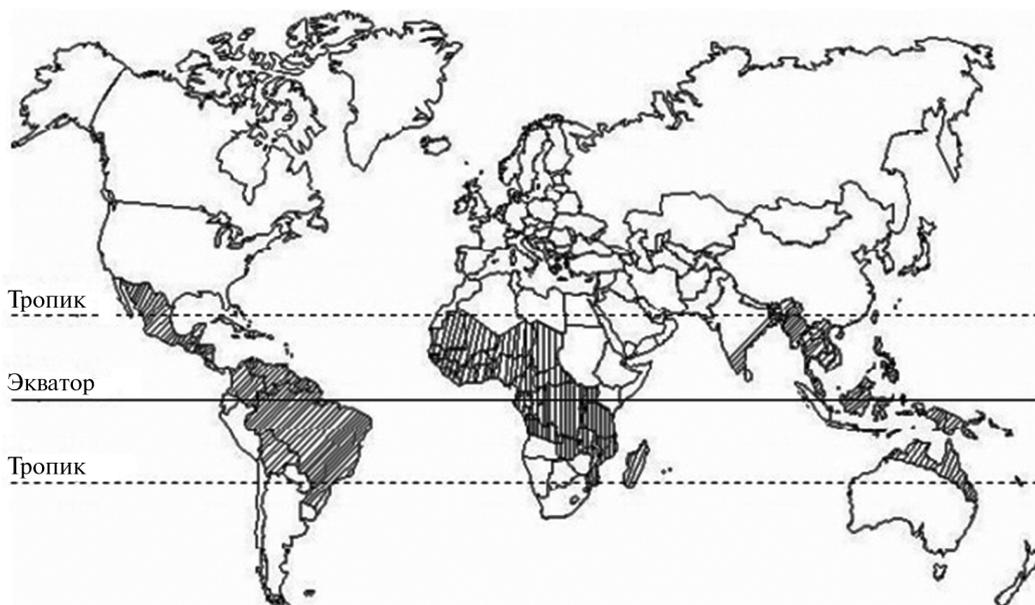
По данным источника «Интерфакс», компания «РусАл» привела расчет стоимости металла вплоть до 2040 года. Цена за 1 т алюминия в 2016 году составит 1451 долл. США. Однако уже со следующего года «РусАл» ожидает роста цен в среднем: до 1648 долл. США в 2017 году, 1719 долл. США — в 2018 году, 1752 долл. США — в 2019 и 1805 долл. США — в 2020 году. По расчетам компании, в 2024 году, цена на алюминий превысит отметку в 2000 долл. США/т, а в 2038 году дойдет до 3000 долл. США [11].

На данный момент цена на алюминий на лондонской бирже составляет 2116,5 долл. США/т (30.09.2017).

### Сырьевая база отрасли

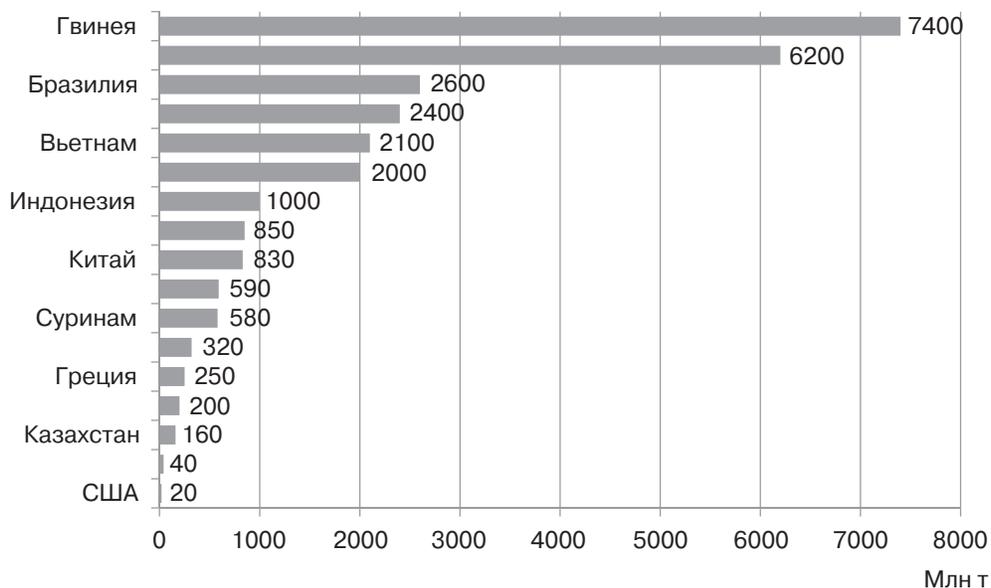
Месторождения бокситов на земле распределены неравномерно, огромные ресурсы сосредоточены в тропических и субтропических областях (рис. 12). Наибольшее практическое значение имеют латеритные месторождения бокситов. Они образуются при глубоком химическом выветривании алюмосиликатных горных пород основного и среднего состава в результате интенсивной и длительной промывки пород дождевыми водами, которая приводит к выносу щелочных ме-

таллов и кремнезема и накоплению оксидов алюминия, железа и титана. Среди латеритных месторождений наибольшее промышленное значение имеют объекты бовального типа, широко распространенные в Гвинее, Индии, Бразилии [10].



**Рис. 12.** Локализация месторождений бокситов  
[**Fig. 12.** Localization of the bauxite deposit]

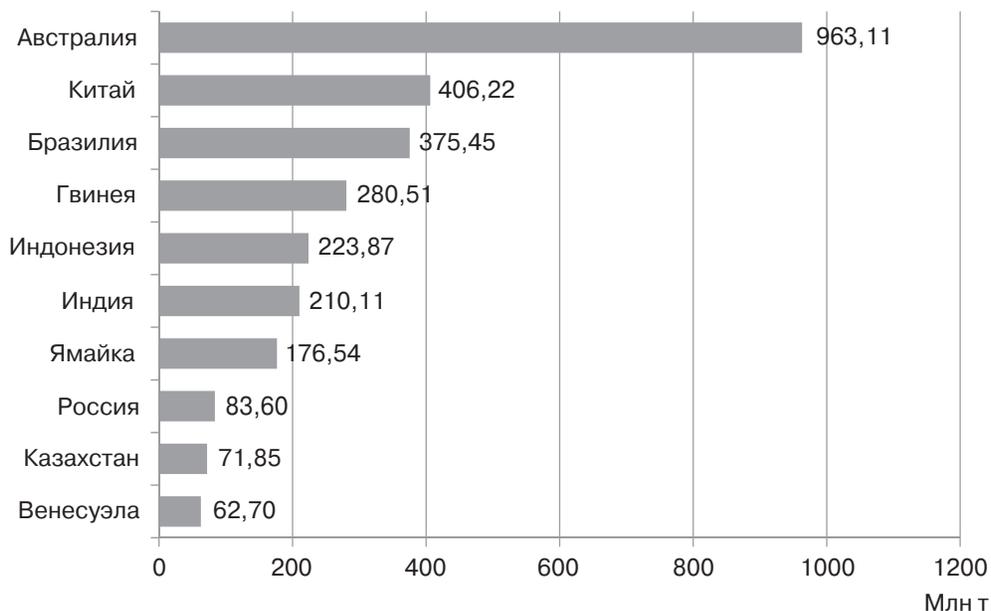
Увеличение потребления алюминия влечет за собой увеличение производства бокситов. Республика Гвинея обладает крупнейшими запасами металла в мире (рис. 13) [7].



**Рис. 13.** Страны-лидеры по запасам алюминиевого сырья на 2015 год [7]  
[**Fig. 13.** Leading countries in terms of aluminum raw material reserves for 2015 [7]]

В мире 98% бокситов добывается открытым способом, крупнейшим мировым продуцентом бокситов является Австралия, на которую приходится треть мировой добычи.

Мировые лидеры по объему добычи боксита в мире — Австралия, Китай, Бразилия, Гвинея (рис. 14 и 15) [5]. Согласно данным Всемирного банка [12], в 2015 году Гвинея занимала 5 место, а в 2016 году уже 4 место по добыче алюминиевого сырья. В ближайшей перспективе, Республика Гвинея может стать лидером по добыче в мире, так как на территории страны сосредоточены все крупнейшие запасы.

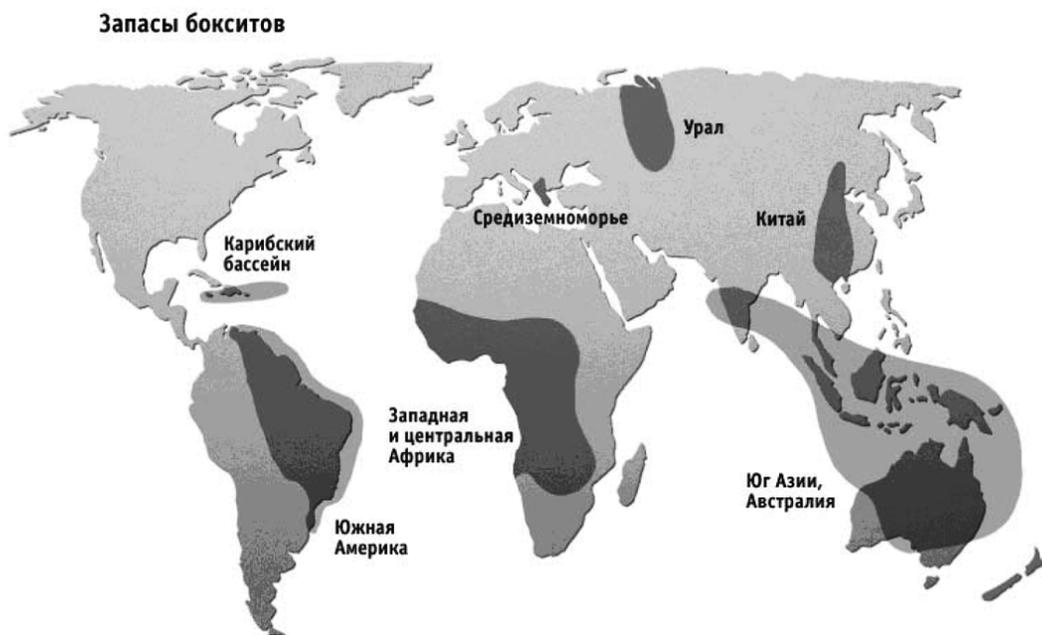


**Рис. 14.** Страны-лидеры по добыче бокситов на 2016 год [5]  
**[Fig. 14.** Countries leaders in the extraction of bauxite for 2016 [5]]



**Рис. 15.** Страны-лидеры по добыче алюминиевого сырья на 2016 год [5]  
**[Fig. 15.** Leading countries in the extraction of aluminum raw materials for 2016 [5]]

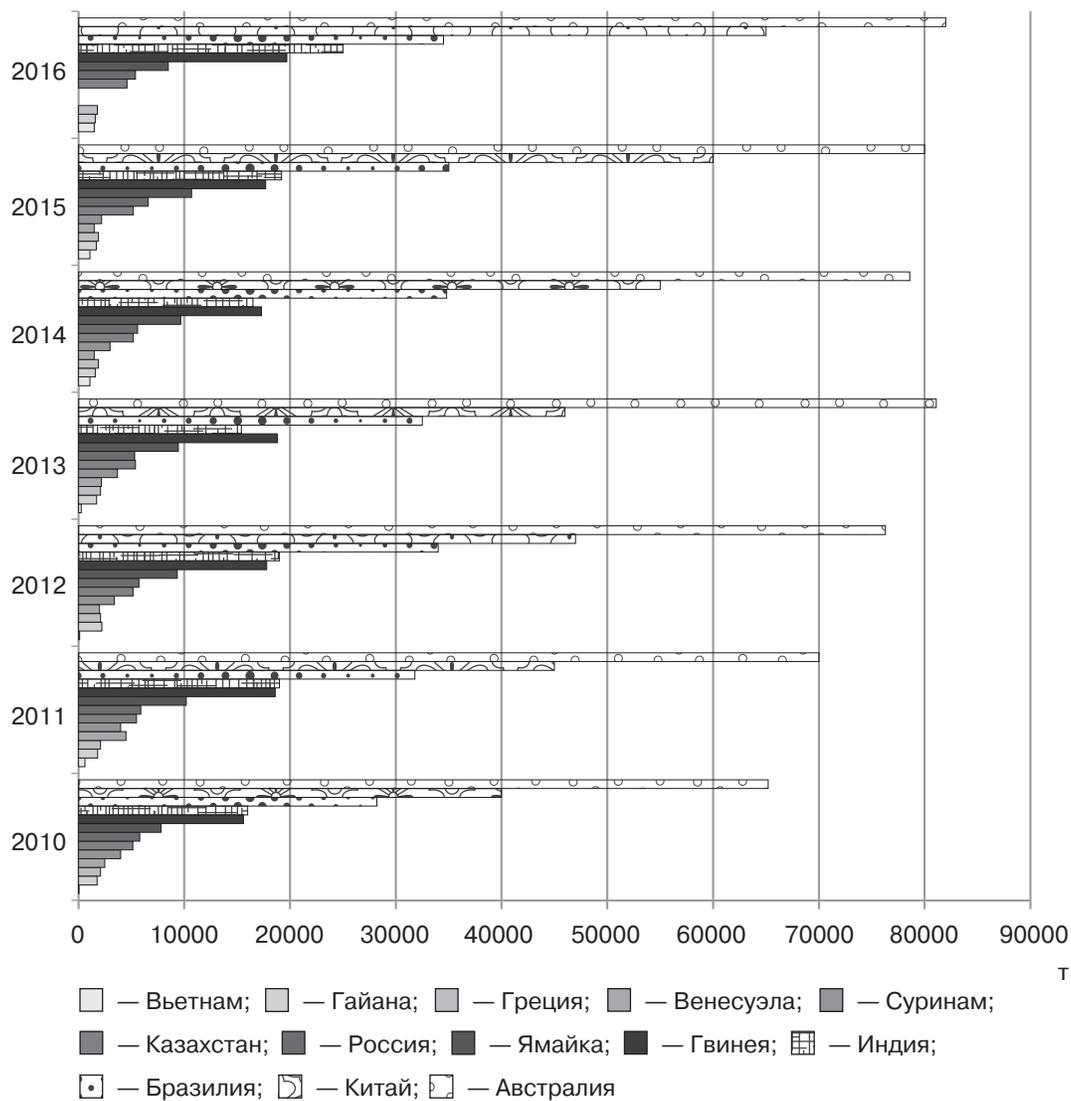
Мировые запасы бокситов, как основного сырья алюминиевой промышленности, очень ограничены — в мире всего семь бокситоносных районов (рис. 16): западная и центральная Африка (основные залежи в Гвинее); Южная Америка (Бразилия, Венесуэла, Суринам); Карибский регион (Ямайка); Океания и юг Азии (Австралия, Индия); Китай; Средиземноморье (Греция и Турция) и Урал (Россия) [3].



**Рис. 16.** Расположение бокситоносных запасов в мире  
[Fig. 16. Location of bauxite stocks in the world]

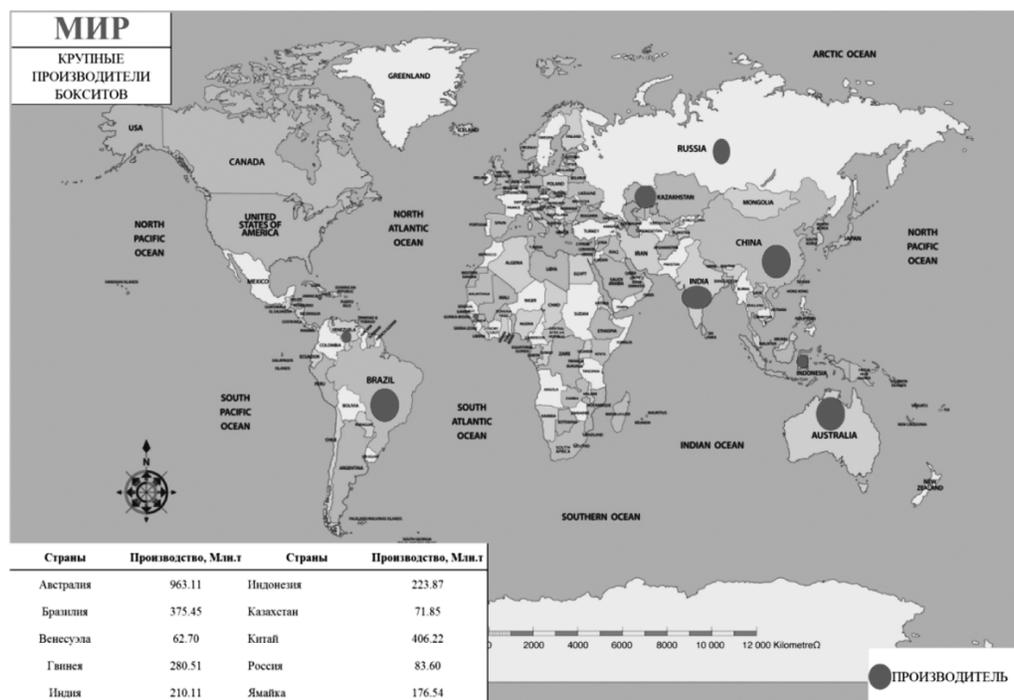
Из представленной диаграммы мирового производства бокситов за 2010—2016 годы по основным странам-производителям (рис. 17) [5], видно, что добыча бокситов в Гвинее в 2010 году составила 15600 тыс. т, а спустя шесть лет — в 2016 году — 19700 тыс. т. Гвинея в 2016 году вошла в число стран, добывающих мировые объемы бокситов (рис. 18).

Бокситы на территории Гвинеи впервые были обнаружены A. Lacroix [13] на островах архипелага Loos в начале XX века. В 40-х годах прошлого столетия они были разведаны, а в 50-е годы успешно отрабатывались на месторождении Касса (Kassa). Было добыто более 3,5 млн т высококачественных бокситов. После Второй мировой войны, в связи с резким увеличением потребностей мировой промышленности в алюминии, произошла значительная активизация поисково-разведочных работ на территории Гвинеи [9], обладающей очень качественной инвентаризационной более чем половиной мировых запасов бокситов. Однако вклад страны в мировое производство бокситов составляет едва 15%. В Республике Гвинея, которая экспортирует бокситы — это сырье стало ключевым для экономики страны. Динамика годового роста добычи бокситов в Гвинее и в мире за 1995—2017 годы (рис. 19) [5] показывает, что рост производства бокситов начался в 2015 году и продолжается до настоящего времени.

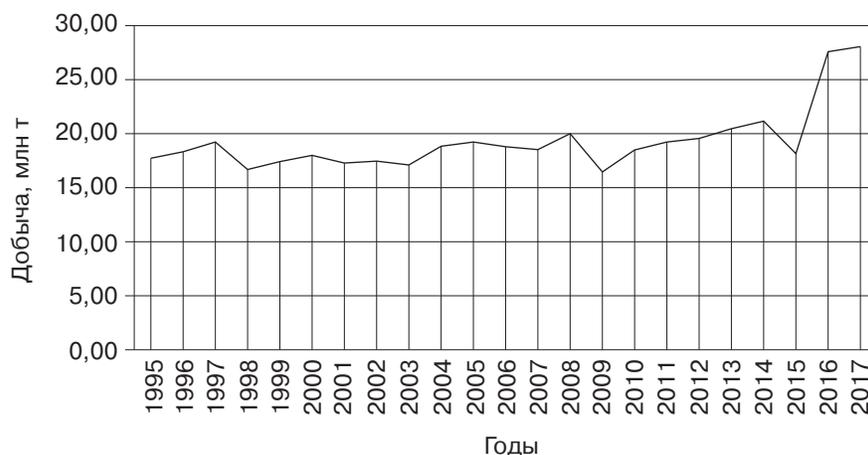


Год	Вьетнам	Гайана	Греция	Венесуэла	Суринам	Казахстан	Россия	Ямайка	Гвинея	Индия	Бразилия	Китай	Австралия
2016	1500	1600	1800	0	0	4600	5400	8500	19700	25000	34500	65000	82000
2015	1100	1700	1900	1500	2200	5200	6600	10700	17700	19200	35000	60000	80000
2014	1090	1600	1900	1500	3000	5200	5590	9680	17300	16500	34800	55000	78600
2013	250	1710	2100	2160	2700	5400	5320	9440	18800	15400	32500	46000	81100
2012	100	2210	2100	2000	3400	5170	5720	9340	17800	19000	34000	47000	76300
2011	600	1820	2100	4500	4000	5500	5890	10200	18600	19000	31800	45000	70000
2010	30	1760	2100	2500	4000	5130	5780	7820	15600	16000	28200	40000	65200

**Рис. 17.** Крупнейшие производители бокситов по добыче на 2016 год [5]  
**[Fig. 17.** The largest producers of bauxite for production for 2016 [5]]



**Рис. 18.** Объемы добычи бокситов в мире  
[Fig. 18. Volume of bauxite mining in the world]



**Рис. 19.** Динамика добычи бокситов в Республике Гвинея до 2017 года [5]  
[Fig. 19. Dynamics of bauxite mining in the Republic of Guinea until 2017 [5]]

В 2001—2003 годы Ю.В. Буфеевым, под руководством В.И. Мамедова была проведена систематизация и обобщение всех доступных материалов по бокситоносности страны, и в 2004 г. подготовлена сводная «Карта бокситоносного потенциала Гвинейской Республики» масштаба 1:500 000 (рис. 20). Всего на территории Гвинеи было выявлено 890 месторождений бокситов с общим объемом ресурсов в 40,139 млрд т, оцененными при содержании  $Al_2O_3$  в 40% (по состоянию на 01.01.2004) [9].

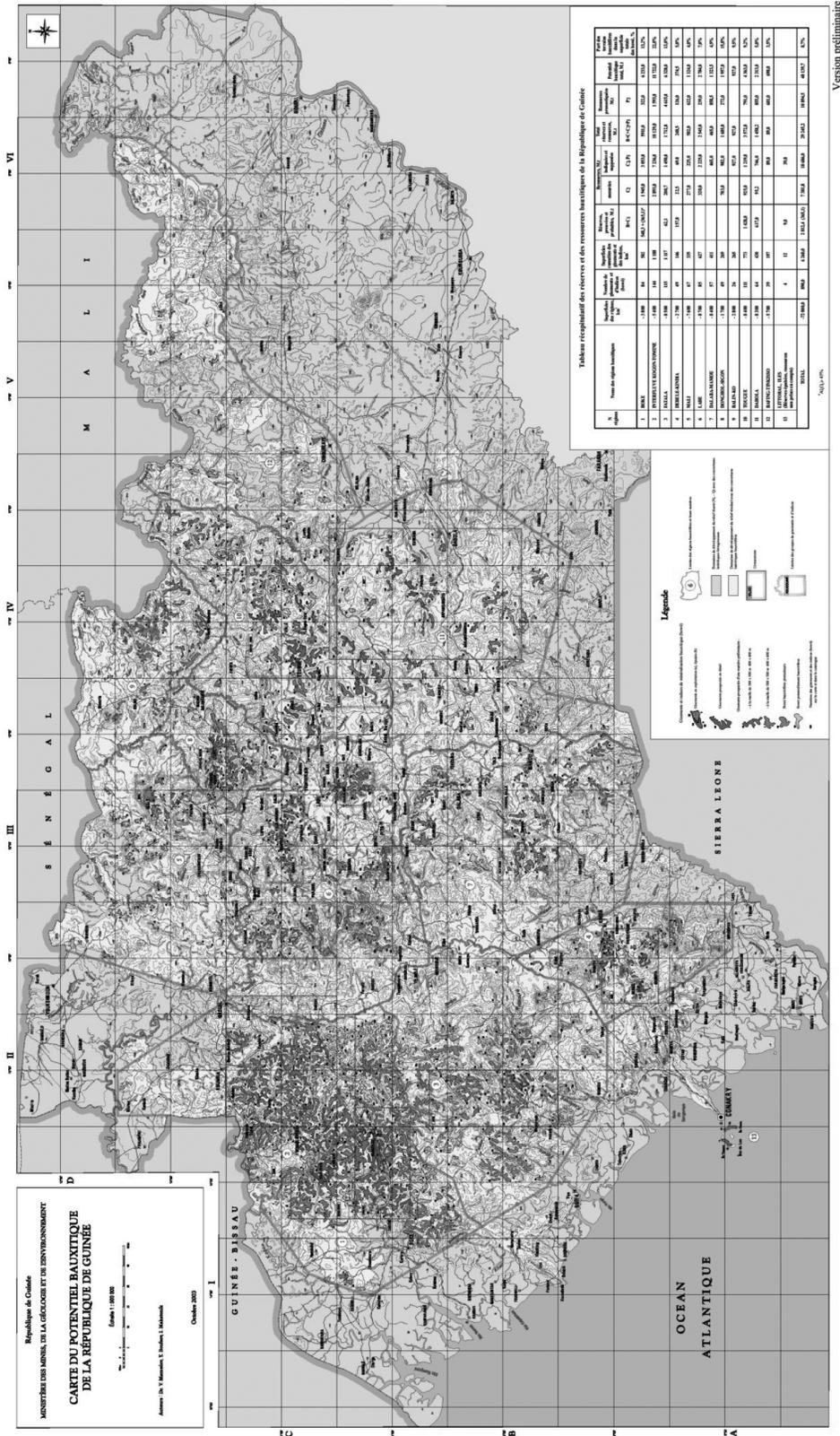


Рис. 20. Карта потенциала бокситоносности Гвинейской Республики [9]  
[Fig. 20. Map of the potential of the bauxite of the Republic of Guinea [9]]

Таблица

Результаты подсчета запасов по месторождению в Гвинее [9; 14]  
[The results of the calculation of reserves for the field in Guinea [9; 14]]

Nom s des régions bauxitiques	Superficies des régions, km <sup>2</sup>	Nombre de gisements et d'indices (bowé)		Réserves prouvées et probables, Mt		Ressources mesurées, M.t		Ressources indiquées et supposées, M.t		Total réserves et ressources, M.t		Ressources pronostiquées, M.t		Potentiel bauxitique total, M.t		
		2003	2017	B+C <sub>1</sub>		C <sub>2</sub>		C <sub>2</sub> , P <sub>1</sub>		B+C+C <sub>2</sub> +P <sub>1</sub>		P <sub>2</sub>		2003		2017
				2003	2017	2003	2017	2003	2017	2003	2017	2003	2017	2003	2017	
BOKE	6450	84	157	913,4	1938,3	1945,0	1155,7	3053,0	3597,9	5911,0	6691,9	322,0	685,0	6233,0	7376,9	
INTERFLUVE KOGON-TOMINE	8095	144	147		7277,8	2893,0	2207,9	7236,0	4520,1	10129,0	14005,8	1593,0	357,2	11722,0	14363,0	
FATALA	11260	115	232	62,1	1610,2	200,7	1187,6	1450,0	4465,1	1712,8	7262,9	4615,0	737,6	6328,0	8000,5	
DEBELE-KINDIA	3675	49	53	157,0	162,8	22,5	21,3	69,0	72,3	248,5	256,4	126,0	108,0	374,5	364,4	
MALI	8285	67	51			277,0	167,0	225,0	230,5	502,0	397,5	622,0	294,4	1124,0	691,9	
LABE	10780	85	84			320,0	299,8	2225,0	1634,2	2545,0	1934,0	239,	459,2	2784,0	2393,2	
DALABA-MAMOU	10625	57	71		99,0		20,9	465,0	554,8	465,0	674,7	858,5	760,7	1323,5	1435,4	
DONGHOL-SIGON	2175	49	34			703,0	703,0	982,0	715,0	1685,0	1418,0	272,0	179,0	1957,0	1597,0	
BALIN-KO	4270	26	29				59,8	927,0	268,7	927,0	325,5		41,1	927,0	369,6	
TOUGUE	8210	111	117	1428,0	1373,7	925,0	3349,0	1219,0	728,1	3572,0	5450,8	791,0	553,7	4363,0	6004,5	
DABOLA	13050	64	74	617,0	800,3	95,2	49,5	746,0	1109,1	1458,2	1958,9	855,0	449,8	2313,0	2408,7	
BAFING-TINKISSO	11230	39	39					89,0	33,0	89,0	33,0	601,0	147,0	690,0	180,0	
LITTORAL, ILES		4	4,0	9,0	9,0		36,0	39,0	33,0		78,0				78,0	
TOTAL	98105	890	1105	3177,5	13271,1	7381,8	9257,5	18686,0	17961,8	29245,2	40490,4	10894,5	4772,8	40139,7	45263,1	

К карте потенциала бокситов привязаны результаты подсчета запасов (таблица), где жирным шрифтом выделены данные по состоянию на 2003 год, а курсивом — текущие данные по состоянию на 2017 год. Эти данные были получены при содержании  $Al_2O_3 \geq 40\%$  [9; 14].

Как видно из этой таблицы, общий объем ресурсов бокситов Гвинеи увеличился более чем на 5 млрд т (с 40 млрд до 45 млрд т), что составляет более 12,7% общих запасов. Эти 5 млрд т бокситов представляют общий потенциал таких стран, как Индия и Бразилия.

### Заключение

В развитых странах потребление бокситов увеличивается за счет роста автопрома, в развивающихся — за счет роста строительной и электротехнической отраслей, т.е. мировое потребление алюминия ежегодно растет на 5–6%.

Производство первичного алюминия и добыча бокситов будет быстро расти.

На протяжении последующих лет бокситы останутся самой важной базой для развития горнодобывающей промышленности Гвинеи, создания рабочих мест и социально-экономического развития страны.

На протяжении XXI века, с учетом темпов использования алюминиевого сырья в других странах, Гвинея станет основным источником производства бокситов.

С уверенностью можно сказать, что в ближайшее десятилетие Гвинея станет основным центром производства глинозема и алюминия, чтобы обеспечить мировую экономику одним из самых востребованных металлов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] The International Aluminium Institute has ceased to collect and report Primary Aluminium Production Capacity data. URL: <http://www.world-aluminium.org/publications/#853> (дата обращения: 25.09.2017).
- [2] Aluminium: from raw materials or no raw materials? URL: <https://www.metaltorg.ru/analytics/color/?id=687> (дата обращения: 25.09.2017).
- [3] Aluminium producers. URL: <https://rusal.ru/aluminium/manufacturers/> (дата обращения: 25.09.2017).
- [4] The development of aluminium consumption. URL: <http://www.aluminas.ru/analytics/#lock-ropur> (дата обращения: 30.09.2017).
- [5] Top 100 Mining & Metal Companies (Global). URL: <https://www.statista.com/study/30879/top-100-mining-and-metal-companies-global/> (дата обращения: 26.09.2017).
- [6] Aluminummarkets 2017. URL: <http://www.investfunds.kz/markets/indicators/alyuminij-lme/> (дата обращения: 26.09.2017).
- [7] BauxiteProduction. URL: [https://thebauxiteindex.com/products/thebauxiteindex.com%2Fproducts&usg=AOvVaw34bP9SS4\\_NwaPqMs\\_7X\\_Al](https://thebauxiteindex.com/products/thebauxiteindex.com%2Fproducts&usg=AOvVaw34bP9SS4_NwaPqMs_7X_Al) (дата обращения: 27.09.2017).
- [8] World Metal Statistics 2015. Monthly Bulletin. URL: <http://www.world-bureau.com/services-more.asp?owner=2> (дата обращения: 27.09.2017).
- [9] Mamedov V. and an. “Deposits of Guinee”. Moscow: MSU, 2010. Т. 2. 250 h.
- [10] Minerals: from bowels to market. Т. 2. Non-ferrous metals. Aluminum, cooper, nickel, tin, lead, zinc. A.P. Stavsky. Moscow, Science world, 2011. 496 p.
- [11] Bauxiteinworld. URL: <http://www.interfax.ru/> (дата обращения: 26.09.2017).
- [12] Economicofbauxite. URL: <http://www.worldbank.org/> (дата обращения: 26.09.2017).
- [13] Lacroix A., 1914: les bauxites de Guinee. C.R. Acad. Sci., Vol. CLVIII, Paris.

- [14] Mamedov V., Chausov A., Okonov E., Mel'kin A., Pashkov V., Pekarskii V. "Carte du Potentiel bauxitique de la République de Guinée". 2017 г.

© Абрамов В.Ю., Туре Л., 2017

**История статьи:**

Дата поступления в редакцию: 9 сентября 2017

Дата принятия к печати: 25 сентября 2017

**Для цитирования:**

Абрамов В.Ю., Туре Л. Обзор и состояние горной отрасли алюминия в мире и в Республике Гвинея // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: «Инженерные исследования».* 2017. Т. 18. № 4. С. 454—471. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-454-471

**Сведения об авторах:**

*Абрамов Владимир Юрьевич*, кандидат геолого-минералогических наук, доцент департамента геологии, горного и нефтегазового дела инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Область научных интересов:* геология и геофизика месторождений полезных ископаемых, экономическая и инженерная геология. Контактная информация: E-mail: geophy-rudn@mail.ru

*Туре Люсьен*, магистрант департамента геологии, горного и нефтегазового дела инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Область научных интересов:* геология рудных месторождений полезных ископаемых. *Контактная информация:* E-mail: geophy-rudn@mail.ru

## **SURVEY ECONOMY AND THE STATE OF ALUMINUM IN THE WORLD AND IN THE REPUBLIC OF GUINEA**

**V. Yu. Abramov, L. Toure**

Peoples' Friendship University of Russia  
*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

Aluminum is one of the most common metals in the earth's crust. The mass concentration of aluminum in the earth's crust according to various researchers is from 7,45 to 8,14%. Today, aluminum ranks second in the world in terms of consumption among all metals, second only to steel, and the demand for it is constantly increasing. The main raw materials for processing aluminum plants are bauxites and nephelines. According to preliminary data of the International Institute of Aluminum, the world production of primary aluminum increased by 0,5% in 2016 and reached 58,167 million tons. The growth of the world's population, the economic recovery, and the active urbanization of developing countries provide a stable demand for aluminum. Aluminum is widely used in construction, automotive, packaging and other areas. The growth in aluminum consumption is closely related to the growth in aluminum production. China is the leader of this metal producer. The company by the aluminum producer is Hongqiao. The pricing of metals on the world market is the London Metal Exchange LME, and aluminum prices will rise. The localization of the bauxite deposit on land is unevenly distributed; huge resources are concentrated in the tropical and subtropical areas. Among lateritic deposits, objects of the bowal type are of greatest industrial importance, and are widely distributed in Guinea, India. Brazil. In perspective, the Republic of Guinea can become a leader in the production of the world market. Bauxite in the territory of Guinea was first discovered by the A. Lacroix islands of the Loos archipelago at the beginning of the 20th century. Guinea has a very high

quality inventory of bauxite more than half of the world's resources. Given the pace of exploitation of bauxite in other countries, and in the coming decades, Guinea will become the main center for the production of alumina and even aluminum.

**Key words:** bauxite, aluminum, manufacturing, forecasting, production, primary aluminium, aluminium consumption, the prospects for the aluminium market

## REFERENCES

- [1] The International Aluminium Institute has ceased to collect and report Primary Aluminium Production Capacity data. URL: <http://www.world-aluminium.org/publications/#853> (access data: 25.09.2017).
- [2] Aluminium: from raw materials or no raw materials? URL: <https://www.metaltorg.ru/analytics/color/?id=687> (access data: 25.09.2017).
- [3] Aluminium producers. URL: <https://rusal.ru/aluminium/manufacturers/> (access data: 25.09.2017).
- [4] The development of aluminium consumption. URL: <http://www.aluminas.ru/analytics/#lock-popup> (access data: 30.09.2017).
- [5] Top 100 Mining & Metal Companies (Global). URL: <https://www.statista.com/study/30879/top-100-mining-and-metal-companies-global/> (access data: 26.09.2017).
- [6] Aluminum markets 2017. URL: <http://www.investfunds.kz/markets/indicators/alyuminij-lme/> (access data: 26.09.2017).
- [7] Bauxite Production. URL: [https://thebauxiteindex.com/products/thebauxiteindex.com%2Fproducts&usg=AOvVaw34bP9SS4\\_NwaPqMs\\_7X\\_AI](https://thebauxiteindex.com/products/thebauxiteindex.com%2Fproducts&usg=AOvVaw34bP9SS4_NwaPqMs_7X_AI) (access data: 27.09.2017).
- [8] World Metal Statistics 2015. Monthly Bulletin. URL: <http://www.world-bureau.com/services-more.asp?owner=2> (access data: 27.09.2017).
- [9] Mamedov V. and an. "Deposits of Guinee". Moscow: MSU, 2010. T. 2. 250 h.
- [10] Minerals: from bowels to market. T. 2. Non-ferrous metals. Aluminum, cooper, nickel, tin, lead, zinc. A.P. Stavsky. Moscow: Science world, 2011. 496 p.
- [11] Bauxiteinworld. URL: <http://www.interfax.ru/> (access data: 26.09.2017).
- [12] Economicofbauxite. URL: <http://www.worldbank.org/> (access data: 26.09.2017).
- [13] Lacroix A., 1914: les bauxites de Guinee. C.R. Acad. Sci., Vol. CLVIII, Paris.
- [14] Mamedov V., Chausov A., Okonov E., Mel'kin A., Pashkov V., Pekarskii V. "Carte du Potentiel bauxitique de la République de Guinée". 2017.

### Article history:

Received: 9 September 2017

Accepted: 25 September 2017

### For citation:

**Abramov V.Yu., Toure L. (2017) Survey economy and the state of aluminum in the world and in the Republic of Guinea. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 18(4), 454–471. DOI: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-454-471**

### Bio Note:

*Vladimir Yurievith Abramov*, associated professor of the Department "Geology, Mining and Oil&Gas Engineering", Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests:* geophysical methods, regional and economic geology, mining geology and geophysic. *Contact information:* E-mail: [geophy-rudn@mail.ru](mailto:geophy-rudn@mail.ru)

*Lucien Toure*, Graduate student of the Department "Geology, Mining and Oil&Gas Engineering", Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests:* mining and economic geology. *Contact information:* E-mail: [geophy-rudn@mail.ru](mailto:geophy-rudn@mail.ru)



DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-4-472-479

УДК 622.276.5+

622.297.5

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ НА ОБСАДНЫХ ТРУБАХ ДЛЯ ВСКРЫТИЯ ПРОДУКТИВНЫХ ГОРИЗОНТОВ УГЛЕВОДОРОДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В.П. Малюков, М.А. Траоре

Российский университет дружбы народов  
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Проанализировано применение инновационной технологии бурения на обсадных трубах (или бурение на обсадной колонне) для вскрытия продуктивных горизонтов углеводородных месторождений. В технологии бурения на обсадных трубах используются уникальные буровые установки и скважинное оборудование, работающее как интегрированная комплексная буровая система, в которой для передачи механической и гидравлической энергии на долото применяются стандартные промысловые обсадные трубы. Система верхнего привода (СВП) в последнее время становится наиболее популярным способом бурения нефтяных и газовых скважин. СВП являются принципиально новым типом механизмов буровых установок, обеспечивающих выполнение целого ряда технологических операций. Обсадную колонну можно использовать в качестве всей бурильной колонны или части ее различными способами. Рассмотрены различные геологические условия, в которых этот метод бурения может быть использован (на суше, на шельфе и в условиях многолетнемерзлых пород (ММП)), а также проанализирован опыт применения этой технологии на месторождениях, которые отличаются разными климатическими и геологическими условиями. Кроме того, проанализированы результаты этих испытаний, показывающие эффективность применения технологии при бурении вертикальных, наклонно направленных и горизонтальных скважин.

**Ключевые слова:** бурение, обсадные трубы, продуктивный пласт, вертикальные, наклонно направленные, горизонтальные скважины

Система бурения на обсадных трубах (casing while drilling — CWD) — один из наиболее прогрессивных методов бурения скважин, в котором обеспечивается предупреждение осложнений в стволе скважины за счет одновременного бурения и обсаживания ствола скважины обсадными трубами непосредственно в процессе бурения [1]. Проведенная широкая программа испытаний системы, показала эффективность ее применения, как в вертикальных, так в наклонно направленных и горизонтальных скважинах.

За счет интенсивного растепления мерзлотных пород нередко наблюдается просадка грунта, и требуются дополнительные работы по укреплению фундаментов под буровыми установками. На месторождениях Крайнего Севера с более низкой температурой в многолетнемерзлых породах до  $-6$ – $-7$  °С в конструкцию скважин закладывается дополнительное направление глубиной 30–70 м. При

использовании технологии бурения на обсадных трубах дополнительного направления не требуется. В перспективе возможно применение технологии бурения на обсадных трубах и в других интервалах, в которых происходят различные осложнения ствола скважины.

Система верхнего привода в последнее время становится наиболее популярным способом бурения нефтяных и газовых скважин. Этой системой оборудуются как импортные, так и отечественные буровые установки. СВП являются принципиально новым типом механизмов буровых установок, обеспечивающих выполнение целого ряда технологических операций. В принципе верхний привод представляет собой подвижной вращатель с сальником-вертлюгом, оснащенный комплексом средств механизации спускоподъемных операций (СПО) — силовой вертлюг. Для сборки компоновки применяются стандартные ключи для обсадных труб. Стабилизатор, расположенный напротив башмака обсадной колонны, уменьшает поперечные колебания компоновки низа буровой колонны (КНБК) внутри колонны. Центраторы на обсадных трубах придают стабильность в стволе и защищают муфты от износа (рис. 1).

Преимущества технологии бурения на обсадной трубе: сокращение количества спускоподъемных операций, возможность разбуривания труднопроходимых зон с переходным давлением и истощенных зон, а также ускорение бурения при пониженном забойном давлении. В этом случае нет необходимости поднимать буровые трубы в вышку, подготавливать условия в скважине и поднимать долото на поверхность, прежде чем спускать обсадную колонну в скважину — все это обеспечивает сокращение времени использования буровой установки.

**Применение технологии бурения на обсадных трубах в многолетнемерзлых породах на Бованенковском нефтегазоконденсатном месторождении (НГКМ) [2].** Это месторождение расположено в центральной части полуострова Ямал, на территории Ямальского района Ямало-Ненецкого автономного округа Тюменской области. Район месторождения отличается суровым климатом, незначительным притоком солнечной радиации, повышенной циклонической деятельностью, наличием многолетней мерзлоты, равнинным характером местности, а также близостью холодного Карского моря и его морских заливов. Продолжительность зимнего периода со снежным покровом более 240 дней, устойчивые морозы — 220 дней. Средняя скорость ветра на побережье в переходный период достигнет 9 м/с, а в отдельные дни скорость ветра может превышать 25 м/с и достигает 40 м/с.

Территории Бованенковского НГКМ характеризуется практически сплошным распространением многолетнемерзлых пород, как в плане, так и в разрезе. Сплошность мерзлых толщ нарушается с поверхности несквозными таликами, а по разрезу — линзами криопэгов и охлажденными грунтами. Криогенная толща в пределах месторождения имеет двухъярусное строение с мерзлыми породами в верхнем ярусе и охлажденными породами в нижнем. Толщина криолитозоны колеблется от 150 м (под крупными озерами) до 320 м (на севере) в зависимости от геоморфологического уровня, состава, строения и свойств мерзлых грунтов. В разрезе южной (разбуриваемой) части Бованенковского НГКМ преобладают



**Рис. 1.** Забойная компоновка для наклонно направленного бурения на обсадных трубах  
[Fig. 1. Bottom-hole assembly for directional casing drilling]

мощные эпигенетические толщи, повсеместно перекрытые сильнольдистыми сингенетическими отложениями [3].

На Бованенковском нефтегазоконденсатном месторождении в качестве испытание бурили интервал под кондуктор диаметром 324 мм колонной обсадных труб с буровым башмаком диаметром 393,7 мм, наворачиваемым на низ обсадной колонны. Лопасте башмака изготовлены из титаноалюминиевого сплава и оснащены резами *PDC*. При этом бурение и обсаживание ствола скважины происходит без применения бурильных труб и спускоподъемных операций, а обсадная колонна служит каналом для циркуляции бурового раствора и средством передачи механического вращения на буровой башмак.

На сегодняшний день в условиях Бованенковского НГКМ новый способ бурения применен в интервале 0–450 мм при бурении под кондуктор диаметром 324 мм на трех скважинах. При бурении скважины № 6314, была достигнута проектная глубина спуска обсадной колонны, механическая скорость поддерживалась в расчетном режиме.

В настоящее время на тестовой скважине производятся геофизические исследования. По мнению специалистов ТюменНИИгипрогаза результатом применения данной технологии может стать экономия финансовых затрат в пределах 4 млн руб. на одной скважине, увеличение ресурса бурильных труб и бурового оборудования, сокращение времени строительства скважины примерно на 2-е суток.

**Применение технологии бурения на обсадной колонне в карбонатных и глинисто-карбонатных отложениях на Урманском месторождении [4].** Технология бурения на обсадной колонне/хвостовике обеспечила успешное заканчивание сразу нескольких скважин. Урманское нефтяное месторождение расположено в Парабельском районе Томской об-

ласти в 470 км западнее г. Томска в непосредственной близости от Западно-Крапивинского месторождения в Омской области.

Месторождение было открыто в 1974 г. на одноименном поднятии в кровле фундамента, представляющем собой эрозионно-тектонический выступ, где на предюрскую эрозионную поверхность выходят карбонатные и глинисто-карбонатные отложения верхнего девона-карбона. Промышленная залежь связана с зоной контакта дезинтегрированных пород палеозоя и юрских отложений. Залежь структурно-литологического типа, тектонически экранированная. Месторождение относится к разряду мелких. Запасы нефти категории С1 составляют 3,1 млн т. Оператором разработки месторождения является Газпромнефть — Восток.

В скважине № 209 длина открытого ствола, пробуренная хвостовиком диаметром 127 мм, составила 254 м. В ходе бурения были вскрыты три зоны поглощения, при этом количество осложнений в процессе бурения снизилось, а средняя продолжительность строительства составила 20 суток на скважину. Стоит отметить тот факт, что при бурении скважин стандартными методами средний срок строительства здесь составляет 35 дней. Получению высокого результата на Урманском месторождении предшествовало решение ряда сложных работ по бурению хвостовиком с углом входа в коллектор 60–70°. Отметим, что при бурении на обсадной колонне возможно продолжение бурения ниже хвостовика в случае прихвата.

**Применение технологии бурения на обсадной колонне в неконсолидированных песчаниках на нефтяном месторождении “Thestag” (Тхестэг) на северо-западном шельфе Австралии [5].** Нефтяное месторождение “Thestag” открыто в 1993 г. С момента начала разработки месторождения в 1998 г. добыто более 58 млн баррелей нефти. Нефтяное месторождение “Thestag” расположено в 60 км к северо-западу от порта “Dampier” (Дампиер) и 64 км к северо-востоку от островов Монте-Белло на северо-западном шельфе Западной Австралии. Глубина воды составляет около 49 м.

Геология шельфового месторождения “Thestag” характеризуется мощной толщей карбонатных пород, которые залегают тонкими слоями рыхлых мелких и средних зернистых карбонатных отложений с редкими оболочками или гравийными пластырями. Месторождение состоит из неконсолидированных песчаников с высокой проницаемостью.

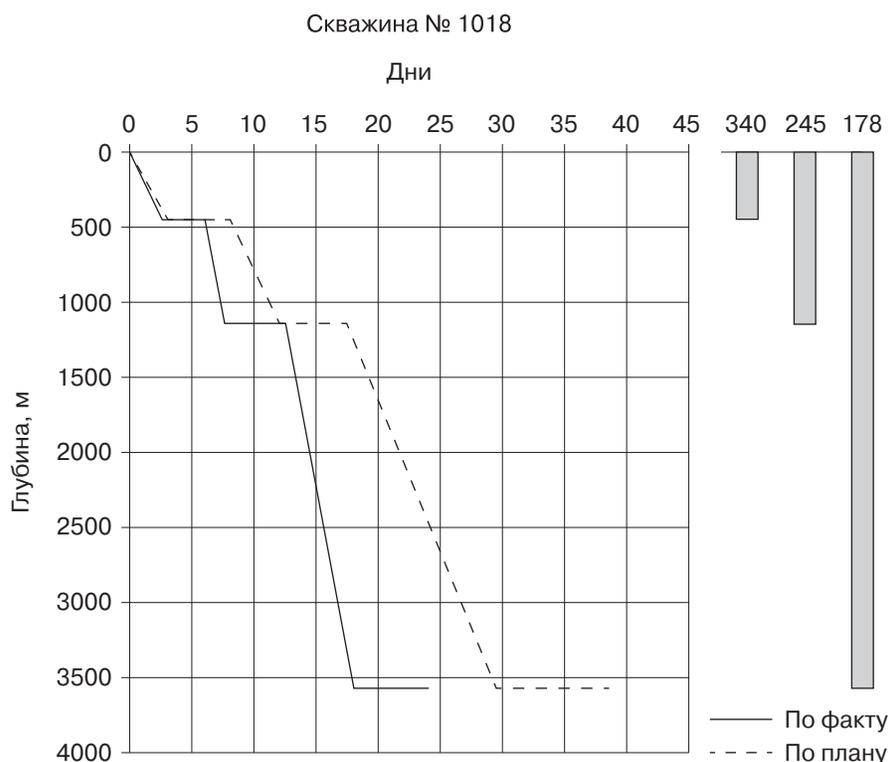
Истощение резервуара, рыхлые горные породы, прорывы воды и поступление песка создали условия, когда процесс бурения становится более проблематичным в последние годы. На трех последних скважинах промежуточные 31,1 сантиметровые интервалы были пробурены и обсажены с использованием технологии бурения на обсадной колонне.

**Применение технологии бурения на обсадной колонне в мягких породах на Самбургском нефтегазоконденсатном месторождении [1].** Самбургское нефтегазоконденсатное месторождение расположено в Ямало-Ненецком Автономном округе Российской Федерации в пределах Самбургского лицензионного участка Западносибирской нефтегазоносной провинции. ОАО «Арктикгаз» совместно с компанией Weatherford провели испытание технологии бурения обсадными трубами интервалов ММП на четырех валанжинских скважинах Самбургского НГКМ.

Одним из основных элементов технологии является бурильный башмак-долото, наворачиваемый на низ обсадной колонны. Для условий мягких пород ММП Самбургского НГКМ по заявке ОАО «Арктикгаз» были изготовлены бурильные башмаки 431,8 мм и 406,4 мм без клапана с 5-ю алюминиевыми лопастями, оснащенные 7-ю медными или керамическими насадками.

Конструкция скважин Самбургского газонефтеконденсатного месторождения трехколонная: 340 мм кондуктор спускается на глубину 450 м для перекрытия интервалов многолетнемерзлых пород (глубина залегания их до 380 м). Техническая колонна 245 мм перекрывает интервал сеноманских пластов и спускается на глубину порядка 1200 м по вертикали. Эксплуатационная колонна 178 мм обсаживает продуктивные валанжинские пласты до глубины 3600 м по вертикали. Отклонения скважин от вертикали колеблются от 300 до 1700 м [6]. При бурении обсадными трубами на скважине № 1018 (рис. 2), по сравнению со стандартной технологией, была получена значительная экономия времени. В целом валанжинская наклонно направленная скважина длиной ствола 3556 м с отклонением 850 м была пробурена за 24 дня, т.е. на 15 дней быстрее планируемых показателей.

Отработка технологии бурения на обсадных трубах в ОАО «Арктикгаз» успешно продолжается.



**Рис. 2.** Сравнение затрат времени при бурении скважины № 1018 методом CWD и бурении классическим методом

[**Fig. 2.** Comparison of the time spent while drilling well № 1018 using the CWD method and the classical drilling method]

Применение технологии бурения на обсадных трубах для вскрытия продуктивных горизонтов различных углеводородных месторождений показывает надежность, снижение осложнений и продолжительности процесса бурения [7].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кейн С.А. Современные технические средства управления траекторией наклонно направленных скважин: учеб. пособие / С.А. Кейн. Ухта: УГТУ, 2014. 119 с.
- [2] Drilling with casing. Increase efficiency and mitigate drilling hazards with simultaneous drilling and casing. Weatherford 2017. URL: [www.weatherford.com/en/products-and-services](http://www.weatherford.com/en/products-and-services) (дата обращения: 18.02.2017).
- [3] Журалев В.В. Проблемы строительства скважин Бованенковского месторождения // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2011. № 7. С. 2–5.
- [4] Сидоренко К., Велиев Г., Куликов С., Голубев Д., Дубовцев А., Стрижнев К. Бурение и строительство скважин. Урманское месторождение: многократный и успешный опыт бурения на хвостовике // Нефтесервис. 2014. № 2. С. 2–3.
- [5] Graves K.S., & Herrera D.C. (2013, December 1). Casing During Drilling With Rotary-Steerable Technology in the Stag Field--Offshore Australia. Society of Petroleum Engineers. doi: 10.2118/166166-PA.
- [6] Андреев Н.Л. Технология бурения обсадными трубами интервалов многолетнемерзлых горных пород // Наука и техника в газовой промышленности. 2010. № 4. С. 6–11.
- [7] Михайличенко А.В. Инновационная технология TESCO — бурение на обсадной колонне CASING DRILLING™ // Нефть. Газ. Новации. 2011. № 12. С. 34–40.

© Малюков В.П., Траоре М.А., 2017

#### История статьи:

Дата поступления в редакцию: 13 сентября 2017

Дата принятия к печати: 27 октября 2017

#### Для цитирования:

Малюков В.П., Траоре М.А. Применение технологии бурения на обсадных трубах для вскрытия продуктивных горизонтов углеводородных месторождений // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: «Инженерные исследования»*. 2017. Т. 18. № 4. С. 472–479. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-472-479

#### Сведения об авторах:

Малюков Валерий Павлович, кандидат технических наук, доцент департамента геологии, горного и нефтегазового дела инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Область научных интересов:* Инновационные методы для повышения эффективности процесса бурения. *Контактная информация:* E-mail: v.malyukov@mail.ru

Траоре Матенин Аиша, магистр департамента геологии, горного и нефтегазового дела инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Область научных интересов:* Технология бурения на обсадных трубах как перспектива разработки труднодоступных горизонтов. *Контактная информация:* E-mail: mateninaisha@hotmail.com

## APPLICATION OF CASING WHILE DRILLING TECHNOLOGY FOR ACCESSING HYDROCARBON PRODUCING HORIZONS

V.P. Malyukov, M.A. Traore

Peoples' Friendship University of Russia  
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

Applications of the innovative casing while drilling (or drilling while casing) technology for accessing producing horizons of hydrocarbon deposits are analyzed. The technology uses unique drilling rigs and downhole equipment that operates as an integrated drilling system in which standard casing pipes are used to transfer mechanical and hydraulic energy to the bit. The top drive system has recently become the most popular way of drilling oil and gas wells. The top drive systems are a fundamentally new type of drilling rig mechanisms that are designed to perform a whole series of technological operations. The need for downhole operations with the traditionally used drill string is eliminated by using the lower drill string assemblies that are lowered by the cable and connected to the casing string. The casing string can be used as the entire drill string or a part thereof in various ways. Various geological conditions in which this drilling method can be used (on land, on a shelf and under permafrost conditions) are considered, and also the practical experience of applying this technology in fields that differ in climatic and geological conditions is analyzed. The results of these test applications that show the effectiveness of the technology in drilling vertical, directional and horizontal wells are examined as well.

**Key words:** drilling, casing, productive stratum, vertical, directional, horizontal wells

### REFERENCES

- [1] Keyn S.A. *Sovremennye tehnicheckye sredstva upravlenija traektopiej naklonno napravlenih skvazhin: Utsheb. Posobie [Contemporary technical methods for directional drilling of wells: Manual].* Uhta: UGTU, 2014. 19 p. (in Rus.)
- [2] Drilling with casing. Increase efficiency and mitigate drilling hazards with simultaneous drilling and casing. Weatherford 2017. URL: [www.weatherford.com/en/products-and-services](http://www.weatherford.com/en/products-and-services) (access data: 18.02.2017).
- [3] Zhuralev V.V. Problems of well construction at Bovanenkovo field. *Construction of oil and gaswells on land and sea.* 2011. No. 7. Pp. 2—5. (in Rus.)
- [4] Sidorenko K., Veliev G., Kulikov S., Golubev D., Dubovtsev A., Strizhnev K. Drilling and construction of wells. Urmanskoye deposit: a multiple and successful experience of drilling with liner. *Oilservice.* 2014. No. 2. Pp. 2—3. (in Rus.)
- [5] Graves K.S., & Herrera D.C. (2013, December 1). Casing During Drilling With Rotary-Steerable Technology in the Stag Field — Offshore Australia. Society of Petroleum Engineers. doi: 10.2118/166166-PA.
- [6] Andreev N.L. Technology of casing while drilling in permafrost rocks. *Science and technology in the gas industry.* 2010. No. 4. Pp. 6—11. (in Rus.)
- [7] Mikhailichenko A. Innovative Procedure of TESCO Company DwC (CASING DRILLING™). *Oil. Gas. Novations.* 2011. No. 12. Pp. 34—40. (in Rus.)

#### Article history:

Received: 13 September 2017

Accepted: 27 October 2017

**For citation:**

**Valeriy P. Malyukov, Traore M. Aisha. (2017) Application of casing while drilling technology for accessing hydrocarbon producing horizons. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 18(4), 472–479. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-472-479**

**Bio Note:**

*Valeriy P. Malyukov*, Candidate of Technical Sciences, associate professor in the Department of Geology, Mining, Oil&Gas Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests*: Innovative methods for increasing the efficiency of the drilling process. *Contact information*: E-mail: v.malyukov@mail.ru

*Traore M. Aisha*, Master of Sciences, postgraduate student in the Department of Geology, Mining, Oil&Gas Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests*: Casing while drilling technology as a prospect for development of difficult horizons. *Contact information*: E-mail: mateninaisha@hotmail.com



DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-4-480-496

УДК 553.6.078

## УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ЦЕОЛИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГАЗАХСКОГО ПРОГИБА МАЛОГО КАВКАЗА

С.К. Расулова<sup>1</sup>, В.М. Баба-заде<sup>1</sup>, П.Е. Белоусов<sup>2</sup>, М.Н. Мамедов<sup>1</sup>,  
Н.А. Имамвердиев<sup>1</sup>, В.М. Керимов<sup>3</sup>, И.В. Викентьев<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Бакинский государственный университет

*Республика Азербайджан*

<sup>2</sup> Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии  
Российской академии наук

*Старомонетный пер., д. 35, Москва, Россия, 119017*

<sup>3</sup> Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

*Республика Азербайджан*

<sup>4</sup> Инженерная академия

Российский Университет Дружбы Народов

*ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198*

В статье рассматриваются закономерности образования и размещения цеолитсодержащих отложений Газахского прогиба Малого Кавказа. Айдагское месторождение расположено в Таузском районе Азербайджана, в 7-ми км от города Тауз. Продуктивная толща Айдагского месторождения природных цеолитизированных пепловых туфов в совокупности с теми же характеристиками вмещающих пород относится к сложным месторождениям с относительно неоднородной по составу и строению полезной толщей. Детально изучен минеральный и химический состав цеолитсодержащих пород Айдагского месторождения и выявлено, что отличительной особенностью этого месторождения является высокое содержание клиноптилолита. Показано, что в цеолитовых месторождениях Газахского прогиба содержание клиноптилолита или морденита по данным дифрактометрического фазового анализа достигает 70–80%, а иногда 90% и более. Пористость этих пород независимо от стратиграфического уровня нахождения равна 15–20%, а иногда и более. Выяснено, что крупные залежи высококремнистых цеолитов Лок-Карабахской зоны относятся главным образом к гидротермально-эпигенетическому генетическому типу, возникшему после воздымания вмещающих толщ, а исходным материалом для образования цеолитов, как правило, служит вулканическое стекло кислого, среднего, редко основного состава, содержащееся в туфах.

**Ключевые слова:** цеолитсодержащие отложения, клиноптилолит, бентонит, гидротермально-эпигенетический тип, Газахский прогиб, Малый Кавказ, Айдагское месторождение

### Введение

Многочисленные исследования последних трех десятилетий показали, что цеолитсодержащие породы весьма широко распространены в туфогенно-осадочных образованиях Закавказья, России, Венгрии, Болгарии, Франции, Италии, США, Кубы, Японии и многих других стран. При этом почти повсеместно установлено, что цеолитизация этих пород носит региональный характер. Интерес к

изучению цеолитосодержащих пород резко возрос в последние годы, что связано, в первую очередь, со сложной экологической обстановкой на нашей планете, поскольку немалые надежды на экологическое оздоровление связаны с использованием природных цеолитов именно в этой области.

Кроме того, установлено, что из всего многообразия минералов группы цеолита наибольшим распространением пользуются его высококремнистые разновидности — клиноптилолит и морденит. При этом они являются наилучшими адсорбентами и находят наиболее широкое применение в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства, причем с течением времени области их применения неизменно расширяются.

Промышленная ценность цеолитов определяется главным образом наличием у них уникальных ионно-молекулярно-ситовых и каталитических свойств, обусловленных кристаллохимическими особенностями цеолитов, их способностями к катионному обмену, поглощению и потере воды и других молекул без разрушения структурного каркаса. Это определяет природные цеолиты — клиноптилолит и морденит.

Возможность индустриального использования этого ценного минерального сырья, вместе с выгодным расположением рудного района Газахского прогиба с крупными месторождениями цеолитосодержащих туфов (Айдаг, Агдаг, Юхары Оксюзли, Татлы и др.) требует его комплексного изучения.

### **Материалы и методы**

*Фактический материал и методика исследований.* В основу данной статьи положены результаты полевых и лабораторных исследований авторов, изучавших позднемеловой вулканизм Газахского прогиба и связанные с ними месторождения высококремнистых цеолитов. Этими исследованиями охвачены почти все цеолитовые месторождения верхнемеловых вулканических комплексов Газахского прогиба. Для разрешения поставленных задач проведены около 50 химических анализов цеолитизированных туфов, а также использованы результаты проведенных геологических, геохимических, петрологических исследований в этом районе с привлечением фондовых и опубликованных материалов по собственным полевым наблюдениям составлены схематические геологические карты Айдагского, Юхары Оксюзлинского, Татлинского месторождений.

Определение содержаний породообразующих оксидов в породах выполнено рентгенофлуоресцентным методом на многоканальном X-Ray спектрометре СРМ-25 (Институт геологии и геофизики НАН Азербайджана, г. Баку).

Дифракционные данные цеолитов получены при комнатной температуре на дифрактометре ДРОН-3 (CuK $\alpha$  — излучение, Ni-фильтр, 30 кВ, 20—26 мА, скорость движения счетчика 0,50  $\theta$ /мин.). Каждый образец изучался по 3 раза. В качестве внутреннего эталона использовали положение линии KBrO $_3$  ( $2\theta = 20, 2120$ ) и кварц ( $2\theta = 40, 2980; 50, 1460$ ). Точность определения  $\pm 1\%$ .

### **Результаты и их обсуждение**

Цеолитоносные образования широко распространены среди позднемеловых и кайнозойских геологических комплексов, в пределах Газахского, Агджакенско-

го, Ходжавенского прогибов, Вандамской зоне, Куринской межгорной впадине, Горном Талыше, Нахчыване, Кельбаджар, а также на территории Грузии.

Продуктивные цеолитоносные образования, как правило, залегают согласно слоистости вмещающих пород. Наблюдаемые пересечения вмещающих пород продуктивными слоями являются результатом конседиментационных подвижек. Ниболее часто встречаются пластообразные тела или линзы различной мощности и размеров. Почти все контакты горизонтов резкие, и между цеолитоносными образованиями и вмещающей породой обычно гидротермальных преобразований не отмечается. Закономерности пространственного расположения месторождений связаны с особенностями тектонического строения Газахского прогиба. В краевых его частях развиты клиноптилолитовые и клиноптилолит-морденитовые месторождения — Айдаг, Кероглы, Агдаг, Юхары Оксюзлу, Татлы, Кямарлы, Гаймахлы. Рассмотрим эти месторождения на примере Айдагского месторождения — наиболее перспективного, и относительно хорошо изученного [1].

*Айдагское месторождение* расположено в Таузском районе Азербайджана, в 7-ми км от города Тауз. В тектоническом плане район этого месторождения приурочено к северо-западному крылу ассиметричной Кероглинской синклинали, имеющей северо-восточное простираие и расширяющейся к юго-западу. Это крыло имеет сложнопостроенный характер и осложнено многочисленными структурами более высокого порядка, а также значительным количеством продольных и поперечных разрывов преимущественно в виде взбросов, образующих множество локальных микроскладок, флексур и др.

На крыльях этой синклинали выступают породы крупных комплексов: эффузивно-пирокластического (верхняя юра) и вулканогенно-осадочного (верхний мел). Первый развит здесь не особенно широко, лишь к югу и юго-западу от Айдагского месторождения и представлен разнообразными эффузивами в виде потоков, лавобрекчий и др. Второй получил здесь широкое развитие.

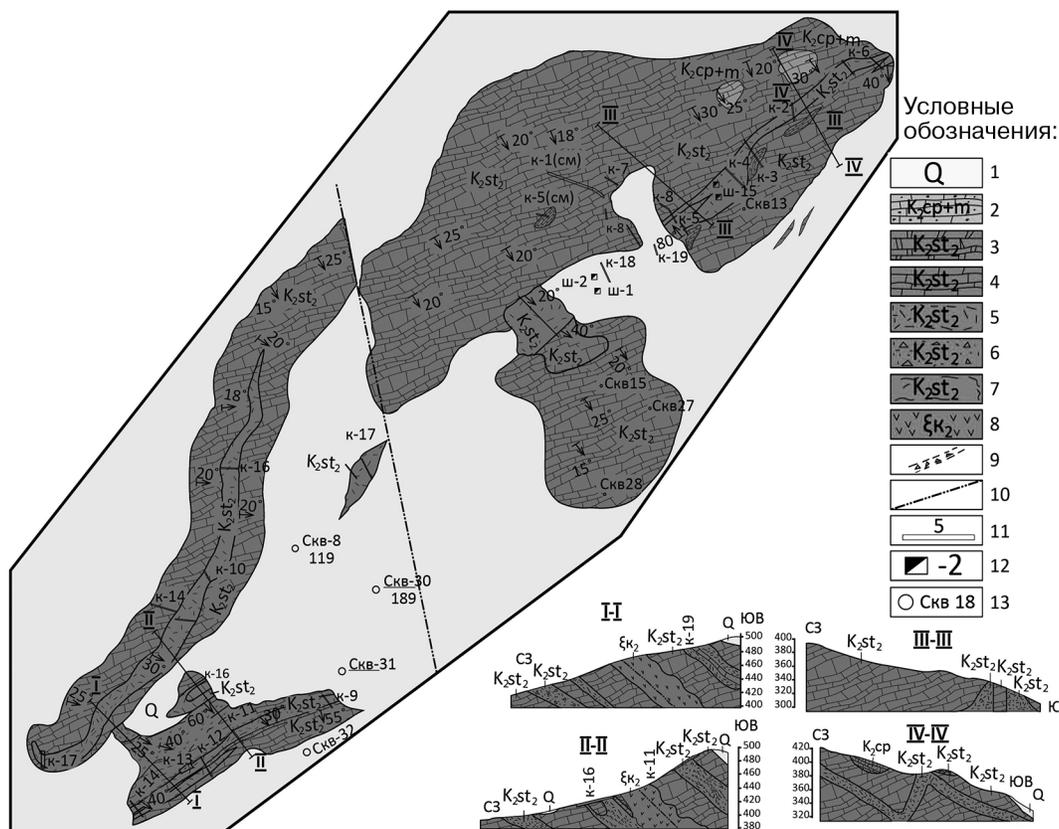
На породах отмеченного ранее эффузивно-пирокластического комплекса верхней юры с явным угловым, а зачастую и азимутальным несогласием залегают органогенно-обломочная формация сеномана, представленная здесь грубозернистыми песчанистыми известняками и известковистыми песчаниками. Мощность этого комплекса обычно в пределах 20—40 м.

На породы этого комплекса несогласно залегают породы осадочно — пирокластического комплекса коньяк-нижесантонского возраста с весьма пестрым фациальным составом. Здесь в разрезе встречаются разнообразные туфопесчаники, туффиты, туфоалевролиты, глины, песчаники, мергели, псаммитовые туфы, известняки и другие литологические разности. Мощность этого комплекса достигает 400 м.

Характерной особенностью следующего комплекса является повсеместное наличие в ее составе мощных голубовато-зеленых туфов, именуемых в литературе «трассаами», в переслаивании с молодощными прослоями карбонатных пород, чаще мергелей и мергелистых известняков, реже массивно-слоистых пелитоморфных известняков. Мощность этого комплекса достигает 200—250 м.

Также несогласно на охарактеризованном комплексе залегают карбонатный комплекс кампан-маастрихтского возраста, представленный здесь как и в при-

границных районах, преимущественно известняковой фацией с подчиненными образованиями типа пепловых туфов, бентонитовых глин, туффитов и др. Зачастую в некоторых разрезах встречаются мергели и мергелистые известняки (рис. 1).



**Рис. 1.** Схематическая геологическая карта Айдагского месторождения: 1 — четвертичные отложения: суглинки, супеси; 2 — кампанско-маастрихский ярус: известняки беловато-сероватого цвета, крупно-зернистые, песчанистые; 3—7 — верхнесантонский подъярус: 3 — красноцветные слабопесчанистые известняки, 4 — известняки мергелеподобные, пелитоморфные, сильно трещиноватые, 5 — цеолитосодержащие туфы, голубовато-серые, 6 — цеолитосодержащие туфы, сильно окремненные и брекчированные, 7 — цеолитосодержащие «трассы», голубоватые; 8 — верхний мел: диоритовые порфириты; 9 — гидротермально-измененные породы; 10 — разрывные нарушения; 11 — каналы и их номера; 12 — шурфы и их номера; 13 — скважины и их номера (Масштаб 1:2000)

[Fig. 1. Schematic geological map of the Aydag deposit (Scale 1:2000)]

Продуктивная толща Айдагского месторождения представлена преимущественно белесыми и бледноокрашенными в зеленые, голубовато-зеленые тона плотными тонко-мелкозернистыми, при макроскопическом осмотре, пепловыми туфами с редкими включениями мелких обломков. Такое сложение характерно для центральной части разведанного участка, однако на флангах иногда окраска пород приобретает желтоватый и кремовый оттенок, и в некоторых случаях туфы переходят в мелкообломочные разности и даже туфогравелиты.

Среди образцов, отобранных в центральной части месторождения и на его северо-восточном фланге преобладают пепловые туфы с характерной пепловой

структурой и небольшой примесью кварца, плагиоклаза, биотита, точечными включениями карбоната и хлорита и сильно измененные пепловые туфы с примесью карбонатного и каолинового материала доходящего до 10%, а в единичных случаях в пределах 30—40%. Кроме того, среди туфов отмечаются также псаммитовые кристалло-витрокластические разности с пепловой структурой, состоящие из обломков стекла.

По мере продвижения на юго-запад по простирацию этой толщи ее состав становится более многообразным: присутствуют псаммитовые литокластические-витрокластические и пепловые туфы кислого состава, и известковистые пепловые туффиты, и псаммитовые кристалло-литокластические туфы андезитового состава, псаммитовые кристалло-витрокластические туфы дацитов и другие разновидности.

Разнообразие вещественного состава толщи и наличие в ее составе тех или иных примесей, в частности карбонатов, сильно влияет на качественные показатели и содержание цеолитовой фазы. В тоже время, кремнистые примеси, практически не влияют на качественные показатели полезной толщи, в силу химической близости к туфам.

Как видно из всего ранее сказанного, по характеру геологического строения, морфологическим, структурно- и литолого-фациальным параметрам, продуктивная толща Айдагского месторождения природных цеолитизированных пепловых туфов в совокупности с теми же характеристиками вмещающих пород относится к сложным месторождениям с относительно неоднородной по составу и строению полезной толщей. К относительно простым, по сравнению с другими, относится центральная часть месторождения и примыкающие к ней участки.

Таким образом, стратиграфическая последовательность слагающих месторождение отложений представляется в следующем виде (рис. 2):

1) верхний коняк — туфоалевролиты, туфопесчаники, туфогравелиты темно-серых оттенков. Из-за задернованности определить мощность этих отложений не представляется возможным;

2) сантонский ярус — «трассы» голубоватых оттенков, известняки мергелеподобные; преобладают разности с голубоватыми оттенками, агломератовые туфы, туфогравелиты, средний пласт цеолитизированных туфов, мергелистые известняки белые, горизонт пепловых туфов (с маломощными прослоями бентонитизированных разностей), останки белых мергелистых известняков. Мощность 250—300 м;

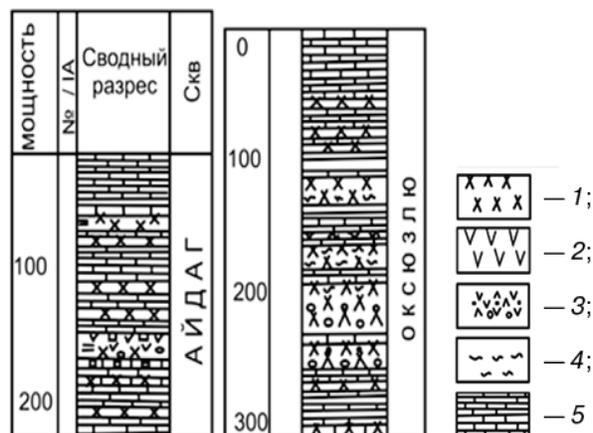
3) кампанский и маастрихский ярусы — тонкослоистые, сильно трещиноватые политоморфные известняки, разнотернистые песчаные преимущественно белого и серого цвета с коричневыми оттенками.

Цеолитовые породы расположены среди риолитовых и дацитовых разнообломочных туфов и покровов. На карьере главный клиноптилолитовый пласт подстилается биотитсодержащими туфами, в которых развиты гейландит, монтмориллонит, кварц и кристобалит. Примечательная особенность главного пласта заключается в однородной гранулометрии: размеры отдельных обрывков стекла не превышает 0,1 мм. Очевидно, с этим связаны высокие физико-химические показатели Айдагского клиноптилолита [2].

Выявлено, что тонкообломачные витрокластические туфы кислого состава превращаются в клиноптилолит почти полностью, более основного состава — в монтмориллонит, гейландит или анальцим. Эти процессы проявлены также в цементе туфопесчаников, туфоконгломератов и грубообломочных туфов. Широко распространена также гидрослюдизация. Светлые разности пород тяготеют к бентонитизированным и анальцимизированным разностям пород, зеленоватые же — к клиноптилолитизированным.

В туфах и покровах андезитов и базальтов, цеолитоносной толще широко распространены жеоды, гнезда, миндалины и прожилки цеолитов — натролита, мезолита, сколецита, томсонита, гейландита, шабазита, ломонтита и морденита с примесями гидрослюды, дистена, кальцита и монтмориллонита.

На Айдагском месторождении широко распространены цеолиты, кальцит, гидрослюды и монтмориллонит в известняках, которые перекрывают пласт клиноптилолитового туфа мощностью 5 м. Над клиноптилолитовым пластом расположен пласт пелитоморфного известняка мощностью 2 м, а над ним — желтовато-красные и коричневатые известняки с видимой мощностью до 10 м. В первом, наряду с прожилками кальцита, установлены прожилки кварца и цеолитов, а также гнезда кремнистого вещества. Эти гнезда, обычно имеющие форму куриного яйца, часто ориентированы вдоль напластования, реже дискорданты к напластованию. Крупные (более 5 см) включения вулканического стекла полностью цеолитизированы. С подобным пластом известняка перемежается пласт цеолитового туфа. Вся пачка рассекается трещинами меридионального простирания, вдоль которых развиваются кальцит и цеолиты.



**Рис. 2.** Сводный литологический разрез Айдагского и Оксюзлюнского месторождений:

1 — пеплы, пепловые туфы (клиноптилолитовые); 2 — пеплы мергелеподобные (кремнисто-анальцимовые); 3 — брекчиевые литокластические и кристалловитрокластические туфы; 4 — линзы и включения бентонитов; 5 — известняки органогенные пелитоморфные

**[Fig. 2.** Consolidated lithological cross section of the Aydag and Oksyuzlyu deposits: 1 — ash, ash tuff (clinoptilolithic); 2 — marl-like ash (siliceous-analcim); 3 — breccia lithoclastic and crystallo-vitro-clastic tuffs; 4 — lenses and inclusions of bentonite; 5 — organogenic pelitomorphous limestone]

В пробитых канавах вскрыты туфы с разной мощностью (от 12 до 35 м), «затятые» между известняками. Содержание цеолита в туфах колеблется от 29 до 73%. Пробуренные скважины тоже вскрыли пласты цеолитсодержащих туфов с

мощностью от 21 до 43 м. Туфы представлены белыми, беловато-серыми, слабо лимонитизированы, бентонитизированы, карбонитизированы. В таких туфах цеолитизация весьма неравномерная — от 12 до 50—60%. В единичных случаях цеолитизация достигает 74%. При этом бентонитизированные, карбонитизированные разности туфов содержат незначительное количество цеолита, не превышающее значений в пределах 5—10%.

Авторами изучен клиноптилолит из этого месторождения, представляющий собой достаточно протяженные пластовые залежи цеолитизированных туфогенно-осадочных пород. Основными реликтовыми минералами являются кварц, полевые шпаты, вулканическое стекло и биотит. Кроме клиноптилолита, в качестве аутигенных минералов могут присутствовать небольшие количества других цеолитов и монтмориллонит. Встречаются также кальцит, серицит, хлорит, магнетит, пирит. Отличительная особенность этого месторождения состоит в высоком содержании клиноптилолита. По данным рентгеновской дифрактометрии, для средних проб его содержание составляет 76—80%. Кроме того, установлено присутствие кварца (14—16%), кальцита (2—2,5%), биотита и хлорита (2—3%) и прочих минералов (2—2,5%) [3]. Процессы, приводящие к цеолитизации туфогенно-осадочных толщ, носят региональный характер. Поэтому аутигенные месторождения клиноптилолита наиболее перспективны, в том числе и по благоприятным условиям залегания.

Макроскопически клиноптилолитовый туф характеризуется светлой, светло-серой и зеленовато-серой окраской. Клиноптилолитовые туфы имеют мелкозернистое и плотное строение. Под микроскопом наблюдается криптозернистое, игольчатое, чешуйчатое строение туфа клиноптилолита. Помимо последнего, как цементирующая масса, отмечаются бесформенные выделения кальцита, доломита. Наряду с ними нередко участвуют в различной степени девитрифицированные остатки буровато-серого стекла дацитового и риодацитового состава.

Помимо этого, в шлифах обнаружены угловатые обломки кварца (0,02—0,4 мм), таблички полевых шпатов (0,04 мм) и биотита (0,015—0,1 мм). Мелкие чешуйки хлорита иногда образуют обособленные скопления. В незначительных количествах встречаются гидроокись железа и скопления криптокристаллических карбонатов, образующих с цеолитами тонкие прорастания. По гранулометрическому составу клиноптилолитовые туфы представлены следующими фракциями: > 0,25 мм — 4,7—18,6%; 0,25 — 0,1 мм — 5—12,1%; < 0,1—0,01 мм — 46,8—64,2%; < 0,01 мм — 21,2—31,9% (табл. 1, анализы 1, 2). Результаты анализов показывают, что количество цеолитов в легкой фракции размерностью 0,1—0,01 мм колеблется от 75 до 95%, остальная часть фракции представлена алюмосиликатами, частично-измененными полевыми шпатами и карбонатами. В тяжелой фракции проб преобладают биотит и хлорит. В качестве акцессорных минералов обнаружены роговая обманка, целестин, циркон, ильменит, магнетит и единичные зерна турмалина, сфена, авгита, граната и пирита [4].

По данным М.Н. Мамедова [4] клиноптилолит в Айдагском месторождении находится в ассоциации с морденитом, гейландитом, натролитом, стильбитом, анальцимом и другими минералами в виде игольчатых и волокнистых скоплений.

Чаще всего он бесцветен. Скопления мелких (0,01—0,03 мм) кристаллов клиноптилолита образуют псевдоморфозы преимущественно по полевым шпатам. В цементирующей массе клиноптилолит развивается по полевому шпату и кварцу. В большинстве случаев наблюдаются реликты вулканического стекла. Для клиноптилолита из Айдагского месторождения определены показатели преломления  $N_g = 1,480—1,483$ ;  $N_p = 1,478—1,481$ . Ассоциирующий с ним гейландит характеризуется несколько большими показателями преломления:  $N_g = 1,501$ ;  $N_p = 1,497$ .

Изучение химического состава клиноптилолитовых и клиноптилолит—морденитовых туфов (табл. 1, ан. 3—8) показало высокое содержание кремнезема, преобладание окисного железа над закисным, кальция над магнием, натрия над калием. Для всех месторождений Восточного участка Газахского прогиба (Айдаг, Агдаг, Кероглы и др.) характерны лишь незначительные колебания в содержании глинозема и других породообразующих компонентов. В целом, химический состав гиалокластитовых туфов, слагающих отдельные разрезы верхнего сантона и нижнего кампана, меняется с северо-запада на восток в сторону увеличения щелочности, железистости и уменьшения известковистости.

Таблица 1

**Химический состав клиноптилолитовых туфов Газахского прогиба (по Мамедову и др., 2005), %**  
**[Chemical composition of clinoptilolite tuffs of the Gazakh trough (according to Mamedov et al., 2005), %]**

Состав	Анализ							
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	65,95	64,66	67,50	68,25	69,74	67,84	63,00	67,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,13	11,17	10,63	10,50	11,13	11,13	9,97	10,50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,22	1,26	0,30	0,11	0,24	0,24	0,40	0,36
FeO	0,07	0,05	0,07	0,05	—	—	—	—
MnO	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
MgO	0,99	1,09	0,32	0,75	0,87	0,54	1,12	0,65
CaO	3,63	3,70	8,15	6,68	5,68	6,91	9,82	7,29
Na <sub>2</sub> O	1,37	2,23	2,12	2,10	2,12	1,69	1,42	1,51
K <sub>2</sub> O	1,95	2,15	1,70	2,10	2,12	1,69	1,68	2,10
H <sub>2</sub> O + 110	8,26	8,74	7,06	8,56	8,08	9,24	12,16	9,05
H <sub>2</sub> O – 110	3,38	4,26	2,92	1,04	1,98	—	—	—
∑	98,97	99,32	100,72	100,01	99,98	99,30	99,59	99,18

Данные гранулометрического анализа, выполненные Н.Ф. Челищевым [5], послужили поводом для детального изучения наиболее мелких фракций клиноптилолитовых туфов. Определены показатели преломления микрочешуйчатого агрегата клиноптилолита ( $N = 1,480$ ) и посчитано количество минералов: клиноптилолит — 76—80%, кварц — 16%, кальцит 2 — 2,5%.

В результате изучения химического состава (см. табл. 1, ан. 3) установлено, что Айдагский клиноптилолит относится к натриево-кальциевой разновидности с пониженным содержанием калия. Однако эти изменения не влияют на общую характеристику туфов и позволяют предположить их принадлежность к единой первичной магме дацитового и риодацитового состава.

В составе цеолитизированных туфов и «трассов» Газахского прогиба по результатам спектрального анализа установлены (г/т): стронций — 210, барий — 200, титан — 400, церий — 80, цинк — 200, свинец — 200. Перечисленные элементы могут как изоморфно входить в состав кристаллокластов, так и быть рассеянными в цементирующей массе.

*Минералогия высококремнистых цеолитов.* Ранее было показано, что в цеолитовых месторождениях Газахского прогиба содержание клиноптилолита или морденита по данным дифрактометрического фазового анализа достигает 70—80%, а иногда 90% и более.

Большое разнообразие цеолитов в Айдагском месторождении коррелируется с разнообразием состава исходных толщ: над кислыми туфами преобладают туфы андезитового и андезито-дацитового состава. Среди реликтовых минералов кварц — редок (табл. 2). Цеолиты с высоким содержанием клиноптилолита и морденита формируются исключительно за счет тонкообломочных, преимущественно кислых туфов с низким содержанием кристаллокластического материала. Кристаллокласты также затронуты цеолитизацией, но они значительно более стойкие чем стекло. По степени стойкости кристаллокласты цеолитизированных туфов можно расположить в следующий ряд: кварц-пироксен-плагиоклаз-биотит-роговая обманка. Последняя разлагается легче, чем другие минералы, но значительно труднее, чем стекло.

Клиноптилолит представляет собой прозрачные кристаллы размером 0,03—0,5 мм, псевдоромбического облика, с совершенной спайностью по (010) и ярким алмазным блеском. На порошковых дифрактограммах клиноптилолит характеризуется дифракционными эффектами, с межплоскостными расстояниями (9,0—9,1 Å, 3,96—3,97 Å, 2,97—2,98 Å и ряд более слабых). На дифрактограммах интенсивные рефлексы  $d = 8,9—8,98; 3,95; 3,4$  и  $2,96—2,97$  Å, а также ряд других слабых отражений  $d = 7,8—7,91; 6,66—6,68; 5,2—5,28; 5,09—5,1; 4,63—4,65; 3,16—3,21$  и  $2,78—2,79$  Å позволяют диагностировать основную массу как клиноптилолит (рис. 3).

Помимо рентгеновской дифракции, клиноптилолит диагностируется и по термическим кривым.

Морденит. В отличие от клиноптилолита природный морденит четко определяется рентгенометрическим анализом. Под микроскопом строение морденита представлено спутанно-волокнистыми или радиально-лучистыми агрегатами тончайших игловидных кристаллов с низким двупреломлением. Погасание прямое, удлинение отрицательное. Морденит образуется по вулканическому стеклу, замещая как обломки стекла, так и стекло цементирующей основной массы.

На дифрактограммах интенсивные рефлексы  $d = 9,04—9,16; 6,59—6,63; 4,49; 3,98; 3,47; 3,35; 3,20—3,22$  Å позволяют диагностировать морденит (рис. 4).

В отличие от клиноптилолитовых пород, в которых наряду с кварцем нередко присутствуют кристобалит, в морденитовых породах устанавливается только кварц. Морденитовые породы под микроскопом неотличимы от клиноптилолитовых.

Таблица 2

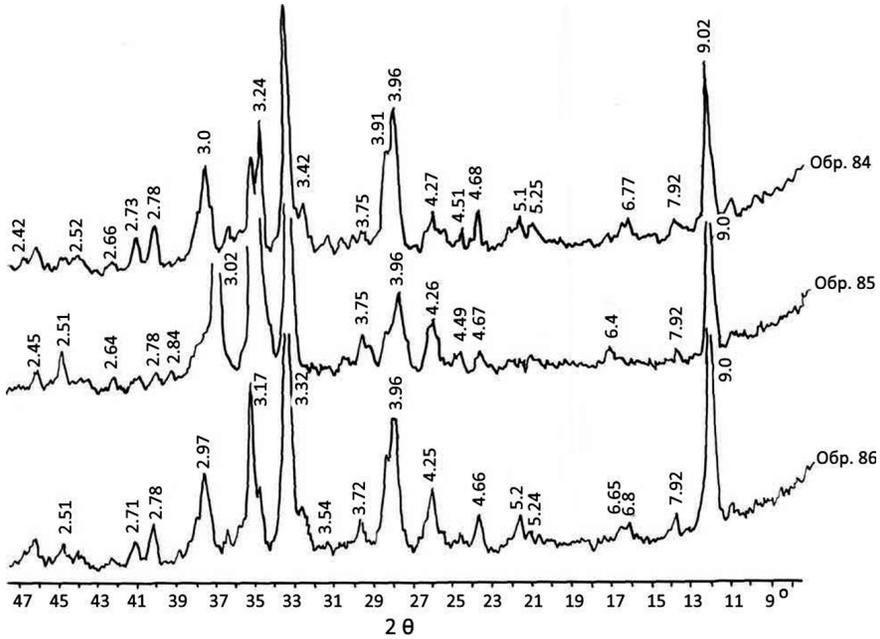
**Некоторые минералогическо-петрографические особенности цеолититов и породообразующих цеолитов Айдагского месторождения**

Цеолиты и форма их находений	Мощность, м	Si/Al	Ca + Mg/K + Na	Сопутствующие минералы	
				Реликтовые (магматические и терригенные)	Аутигенные
Клиноптилолит + гейландит. Псевдоморфозы по обломкам стекла и кристаллокластам, скрытокристаллические агрегаты, заполнение пор	20—25 иногда не более 10	От 4,41 до 5,14	От 0,61 до 1,84	Плагиоклаз, кварц, биотит, рутит, циркон, апатит	Монтмориллонит, гидрослюда, вите-рит, пиролюзит, родохрозит, кристобалит, кальцит, кварц, халцедон, сульфиды, самородные металлы

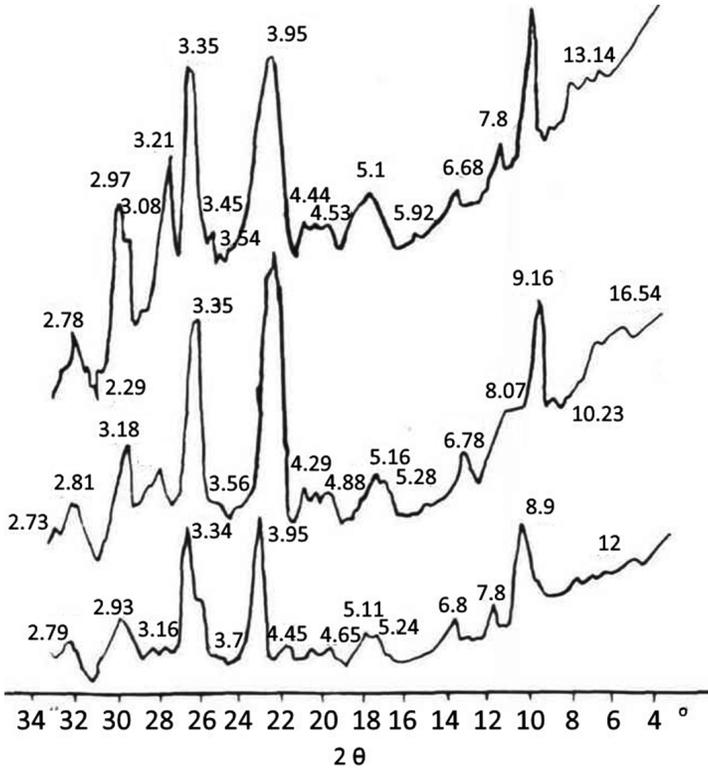
Table 2

**Some mineralogical and petrographic features of zeolites and rock-forming zeolites of the Aydag deposit**

Zeolites and the form of their finding	Thickness, m	Si/Al	Ca + Mg/K + Na	Related minerals	
				Relics (magmatic and terrigenous)	Authigenic mineral
Clinoptilolite + heulandite. Pseudomorphs along fragments of glass and crystal-clasts, cryptocrystalline aggregates, pore filling	20—25 sometimes not more than 10	from 4,41 to 5,14	from 0,61 to 1,84	Plagioclase, quartz, biotite, rutile, zircon, apatite	Montmorillonite, hydromica, vitillit, pyrolusite, rhodospere, crystobalite, calcite, quartz, chalcedony, sulfides, native metals



**Рис. 3.** Дифрактограмма цеолитизированных «трассов» месторождения Айдаг  
 [Fig. 3. Diffractogram of zeolitized trass from the Aydag deposit]



**Рис. 4.** Дифрактограммы морденита с клиноптилолитом в витрокластических туфах  
 [Fig. 4. Diffractograms of mordenite with clinoptilolite in vitroclastic tuffs]

*Закономерности образования и размещения цеолитсодержащих отложений Газахского прогиба.* Из анализа приведенных ранее материалов следует, что формирование месторождений цеолитов определяется в основном составом исходного материала, фациальными условиями его отложения и характером катагенетических преобразований вмещающих их пород. Исходным материалом для образования цеолитов, как правило, служит вулканическое стекло кислого, среднего, редко основного состава, содержащееся в туфах [6].

По всему сантон-кампан-маастрихскому разрезу Лок-Карабахского цеолитоносного района присутствует кислый пирокластический материал. Так, в изученном разрезе Айдагского месторождение насчитывается более 10-ти прослоев туфов и туффитов суммарной мощностью свыше 200 м. Эти мощные туфовые горизонты преобразованы в цеолитовые породы. В других месторождениях и проявлениях Лок-Карабахской зоны (Юхары Оксюзлу, Татлы, Кемерли, Дзегви-Тедзами, Ноембрян и др.) тоже отмечаются цеолитоносные туфы кислого состава [7].

Представленные сведения, позволяют заключить, что крупные залежи высококремнистых цеолитов Лок-Карабахской зоны относятся главным образом к гидротермально-эпигенетическому генетическому типу, возникшему после вздымания вмещающих толщ. Вулканические процессы происходили на фоне карбонатакопления, это обусловило наблюдаемую картину переслаивания туфов с различными по мощности известняками и мергелями в разрезах позднего сантона Газахского прогиба. Выброшенный и изливающийся пирокластический материал попадал в морской бассейн с заметно повышенной в определенном радиусе от центра извержения температурой воды с повышенной щелочностью (рН~10), играющей роль своего рода гидротерм и ускоряющей процесс диагенеза вулканического стекла.

Образование высококремнистых цеолитов при диагенетическом (гальмиролитическом) преобразовании осадков, видимо, требует специфических условий, по всей вероятности, редко достигаемых в природе.

Пространственное тяготение высококремнистых цеолититов к бентонитам, кремнисто-марганцевым и агатовым залежам, устанавливаемое на месторождениях Закавказья, характерно для многих других цеолитоносных регионов и, по всей вероятности, неслучайны. Все они практически постоянно содержат опал или кристобалит — индикаторы среды, пересыщенной кремнеземом относительно кварца. Пространственная сближенность при общности геохимического фактора отражает их генетическую связь. Гидротермальное происхождение кремнисто-марганцевых, агатовых и многих бентонитовых залежей считается твердо установленным. Если это так, то и высококремнистые цеолититы должны быть отнесены к гидротермально-метасоматическим образованиям. Предположение о временной разобщенности высококремнистых цеолититов и бентонитов, согласно которому первые являются диагенетическими, а вторые — гидротермальными образованиями, не может быть принято, поскольку пласты клиноптилолитизированных (морденитизированных) и монтмориллонитизированных туфов чередуются в разрезе, замещают друг друга по латерали или слагают единые залежи цеолито-бентонитов при отсутствии каких-либо признаков наложения.

Действительно, как отмечено ранее, в верхнесантонских туфах Казахского прогиба преобладающие цеолиты (55—90%) — клиноптилолит и морденит. Морденит, как более обогащенный кремнеземом цеолит чем клиноптилолит, образуется за счет более кислых пирокластов риолитового состава. Обращает на себя внимание тот факт, что морденитовые породы в основном развиты в пределах северо-западного блока Казахского прогиба. Характерна тесная ассоциация морденита с клиноптилолитом. Для восточного блока характерны клиноптилолит и анальцит. Следует отметить, что для центрального блока характерны высококремнистые цеолиты и развиты натролит, сколецит, шабазит, анальцит. Частое нахождение морденита и клиноптилолита в одних и тех же породах доказывает, что условия их образования перекрываются, но тем не менее морденитовые породы в отличие от клиноптилолитовых часто тяготеют к контактам субвулканических тел риолитов и разрывным нарушениям, залегают среди плотных известняков и вблизи лавовых потоков и грубых туфов. Все эти особенности можно объяснить высокотемпературностью морденита по сравнению с клиноптилолитом. Нельзя не отметить и тот факт, что вулканогенно-осадочные породы верхнего сантона в пределах центрального блока (Дашсалахлы, Али-Байрамлы) интенсивно монтмориллонитизированы, а в пределах северо-западного (Ноемберян, Кохб, Каймахлы) — цеолитизированы и в меньшей степени монтмориллонитизированы [8]. Такое различие авторы объясняют различным характером и продолжительностью поствулканических процессов, а также палеовулканическими особенностями седиментации туфового материала.

### **Заключение**

Таким образом, высококремнистые цеолититы верхнемеловых толщ Лок-Карабахской зоны должны быть отнесены к гидротермально-эпигенетическому типу. Пористость этих пород независимо от стратиграфического уровня нахождения равна 15—20%, а иногда и более. Такая аномально высокая пористость не характерна для пород, погружившихся на глубину нескольких километров и подвергшихся складчатости.

К выводу об эпигенетичности высококремнистой цеолитизации приводят также экспериментальные данные по устойчивости клиноптилолита. В искусственной морской воде в присутствии монтмориллонита и анальцита, обычных спутников высококремнистых цеолититов, за 30 суток обработки, клиноптилолит превращается в эти минералы при температуре 2000 °С [9].

#### **Финансирование:**

Работа выполнена при финансовой поддержке госзадания ИГЕМ РАН № 0136-2014-0004.

#### **Участие авторов:**

Расулова С.К. — изучение геологического строения месторождения, сбор и обработка фондовых и полевых материалов, написание текста статьи.

Баба-заде В.М. — интерпретация полученных материалов, общая корректировка статьи.

Белоусов П.Е. — работа с фондовой литературой, написание и правка статьи.

Мамедов М.Н. — изучение геологического строение месторождения, сбор и обработка полевых материалов, интерпретация полученных материалов, рентгено-фазовый, химический анализы.

Имамвердиев Н.А. — изучение геологического строение месторождения, сбор и обработка фондовых и полевых материалов, написание текста статьи.

Керимов В.М. — изучение геологического строение месторождения, сбор и обработка полевых материалов, рентгено-фазовый, химический анализы.

Викентьев И.В. — работа с фондовой литературой, написание и правка статьи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Абдуллаев Р.Н., Ализаде Х.А., Хейров М.Б.* Бентонитообразование и цеолитовая минерализация в меловых отложениях Малого Кавказа (Газахский прогиб). Петролого-минералогические особенности пород и технических камней. М.: Наука, 1979. С. 170—180.
- [2] *Кулиев А.И., Гамзаев О.Д.* Цеолиты / Геология СССР. Т. 47. Полезные ископаемые. М.: Недра, 1976. 105 с.
- [3] *Расулова С.К.* О некоторых закономерностях цеолитовой минерализации в поздне меловых вулканогенно-осадочных комплексах Газахского прогиба (Малый Кавказ) // Вестник Бакинского Университета, серия естественных наук. 2005. № 2. С. 92—99.
- [4] *Мамедов М.Н., Махмудов С.А., Панахи К.А., Абдуллаева Н.М.* Минералы цеолитовой группы Азербайджана. Баку: Nefta-Press, 2000. 161 с.
- [5] *Челищев Н.Ф., Беренштейн Б.Г., Володин В.Ф.* Цеолиты — новый тип минерального сырья. М.: Недра, 1987. 176 с.
- [6] *Михайлов А.С.* Месторождения высококремнистых цеолитов Закавказья // Советская геология. 1975. № 9. С. 70—78.
- [7] *Чхеидзе Р.Г.* Месторождения высококремнистых цеолитов Закавказья и геологические предпосылки их освоения: автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Тбилиси, 1981. 25 с.
- [8] *Мамедова Н.В.* Структурно-фациальные особенности верхнемелового вулканизма Газахского прогиба и условия формирования месторождений неметаллических полезных ископаемых: автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Баку, 1984. 25 с.
- [9] *Гогшвили В.Г.* Эпигенетическое происхождение стратиформных месторождений высококремнистых цеолитов (на примере Закавказья) / В сб.: Природные цеолиты. М.: Наука, 1980. С. 65—75.

© Расулова С.К., Баба-заде В.М., Белоусов П.Е., Мамедов М.Н.,  
Имамвердиев Н.А., Керимов В.М., Викентьев И.В., 2017

### История статьи:

Дата поступления в редакцию: 23 сентября 2017

Дата принятия к печати: 15 октября 2017

### Для цитирования:

Расулова С.К., Баба-заде В.М., Белоусов П.Е., Мамедов М.Н., Имамвердиев Н.А., Керимов В.М., Викентьев И.В. Условия образования цеолитовых месторождений Газахского прогиба Малого Кавказа // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: «Инженерные исследования»*. 2017. Т. 18. № 4. С. 480—496. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-480-496

### Сведения об авторах:

*Расулова Самая Камран кызы*, докторант кафедры полезных ископаемых Бакинского государственного университета. *Область научных интересов:* геология, минералогия. *Контактная информация:* E-mail: elshanrasulov@hotmail.com

*Баба-заде Васиф Мамед-Ага оглы*, доктор геолого-минералогических наук, академик, заведующий кафедрой полезных ископаемых Бакинского государственного университета. *Область научных интересов:* геология, минералогия. *Контактная информация:* E-mail: vbabazade1938@mail.ru

*Белоусов Петр Евгеньевич*, кандидат геолого-минералогических наук, младший научный сотрудник Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук. *Область научных интересов:* геология, минералогия. *Контактная информация:* E-mail: pitbl@mail.ru

*Мамедов Муса Насиб оглы*, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры полезных ископаемых Бакинского государственного университета. *Область научных интересов:* геология, минералогия. *Контактная информация:* E-mail: musamamedov@rambler.ru

*Имамвердиев Назим Аждар оглы*, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры полезных ископаемых Бакинского государственного университета. *Область научных интересов:* геология, минералогия. *Контактная информация:* E-mail: inazim17@yahoo.com

*Керимов Вагиф Мирземехти оглы*, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры нефти и газа Азербайджанского университета нефти и промышленности. *Область научных интересов:* геология, минералогия. *Контактная информация:* E-mail: vagif\_kerimov@rambler.ru

*Викентьев Илья Владимирович*, доктор геолого-минералогических наук, профессор инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Область научных интересов:* геология, минералогия. *Контактная информация:* E-mail: ilyavikentev@rambler.ru

## **FORMATION OF ZEOLITE DEPOSITS OF GAZAKH DEPRESSION (LESSER CAUCASUS)**

**S.K. Rasulova<sup>1</sup>, V.M. Baba-zadeh<sup>1</sup>, P.E. Belousov<sup>2</sup>, M.N. Mamedov<sup>1</sup>,  
N.A. Imamverdiyev<sup>1</sup>, V.M. Kerimov<sup>3</sup>, I.V. Vikentiev<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Baku State University  
*Baku, Republic of Azerbaijan*

<sup>2</sup> Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry,  
Russian Academy of Science

*Старомонетный пер., 35, Moscow, Russia, 119017*

<sup>3</sup> Azerbaijan State Oil and Industrial University  
*Baku, Republic of Azerbaijan*

<sup>4</sup> Peoples' Friendship University of Russia  
*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

The paper deals with regularities of formation and location of zeolite-containing deposits of the Gazakh trough of the Lesser Caucasus. The Aydag deposit is located in the Tauz district of Azerbaijan, 7 km away from the Tauz city. The Aydag deposit productive stratum of natural zeolitized ash tuffs in combination with the same characteristics of the enclosing rocks can be classified as a complex deposit

with a relatively non-uniform composition and structure of the productive stratum. The mineral and chemical compositions of zeolite-bearing rocks of the Aydag deposit have been thoroughly studied. Special feature of this deposit is the high content of clinoptilolite. According to X-ray diffractometry and mineralogical analysis of average samples, its content is around 70—80%. The porosity of this rock is around 15—20%, or even more, and does not depend on the stratigraphic level. It was found that the high-silica zeolitites of the Upper Cretaceous strata of the Lok-Karabagh zone belong to the hydrothermal-epigenetic type, which formed after the uplift of the enclosing strata, and generally the resource material for the formation of zeolites used to be volcanic glass of acidic, medium, rarely basic composition, contained in tuffs.

**Key words:** zeolite-containing deposits, clinoptilolite, bentonite, hydrothermal-epigenetic type, Gazakh trough, Lesser Caucasus, Aydag deposit

## REFERENCES

- [1] Abdullaev R.N., Alizade H.A., Heyrov M.B. Bentonitoobrazovanie i ceolitovaja mineralizacija v melovyh otlozhenijah Malogo Kavkaza (Gazahskij progib). Petrologo-mineralogicheskie osobennosti porod i tehniceskijh kamnej [Bentonite formation and zeolite mineralization in the Cretaceous deposits of the Lesser Caucasus (Gazakh trough). Petrological and mineralogical features of rocks and technical stones]. M.: Nauka, 1979. P. 170—180. (in Russ.)
- [2] Kuliev A.I., Gamzayev O.D. Zeolites. Geology of the USSR. Vol. 47. Minerals. Moscow: Nedra, 1976. 105 p. (in Russ.)
- [3] Rasulova S.K. O nekotoryh zakonmernostjeh ceolitovoj mineralizacii v pozdnemelovyh vulkanogenno-osadochnyh kompleksah Gazahskogo progiba (Malyj Kavkaz) [Some regularities about zeolite mineralization in the Late Cretaceous volcanic-sedimentary assemblages of Gazakh trough (Lesser Caucasus)]. *Baku State University News, Natural Sciences Series*. 2015. No. 2. P. 92—99. (in Russ.)
- [4] Mamedov M.N., Mahmudov S.A., Panakhi K.A., Abdullaeva N.M. Mineraly ceolitovoj grupy Azerbajdzhana [Minerals of the zeolite group of Azerbaijan]. Baku: Nafta-Press, 2000. 161 p. (in Russ.)
- [5] Chelishchev N.F., Berenshtein B.G., Volodin V.F. Ceolity — novyj tip mineral'nogo syr'ja [Zeolites are a new type of mineral resources]. M.: Nedra, 1987. 176 p. (in Russ.)
- [6] Mikhailov A.S. Mestorozhdenija vysokokremnistyh ceolitov Zakavkaz'ja [Deposits of high-silicon zeolites of the Transcaucasia]. *Soviet geology*. 1975. No. 9. P. 70—78. (in Russ.)
- [7] Chkheidze R.G. Mestorozhdenija vysokokremnistyh ceolitov Zakavkaz'ja i geologicheskie predposylki ih osvoenija [Deposits of high-silicon zeolites of Transcaucasia and geological prerequisites of their development]. Author's thesis. Tbilisi, 1981. 25 p. (in Russ.)
- [8] Mamedova N.V. Structural and facial features of the Upper Cretaceous volcanism of the Gazakh trough and the conditions for the formation of deposits of nonmetallic minerals. Author's thesis. Baku, 1984. 25 p. (in Russ.)
- [9] Gogishvili V.G. Jepigeneticheskoe proishozhdenie stratiformnyh mestorozhdenij vysokokremnistyh ceolitov (na primere Zakavkaz'ja) [Epigenetic origin of high-silicon zeolite stratiform deposits (Transcaucasia case study)]. *Natural zeolites*. M.: Nauka, 1980. P. 65—75. (in Russ.)

### Article history:

Received: 23 September 2017

Accepted: 15 October 2017

### For citation:

Rasulova S.K., Baba-zadeh V.M., Belousov P.E., Mamedov M.N., Imamverdiyev N.A., Kerimov V.M., Vikentiev I.V. Formation of zeolite deposits of gazakh depression (lesser caucasus). *RUDN Journal of Engineering Researches*, 18(4), 480—496. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-480-496

**Bio Note:**

*Samaya Kamran Rasulova*, post-graduate student at the Department of Mineral Resources, Baku State University, Baku, Republic of Azerbaijan. *Research interests:* geology, mineralogy. *Contact information:* E-mail: elshanrasulov@hotmail.com

*Vasif Mammad-Aga Baba-Zadeh*, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, academician, head of the Department of Mineral Resources, Baku State University, Baku, Republic of Azerbaijan. *Research interests:* geology, mineralogy. *Contact information:* E-mail: vbabazade1938@mail.ru

*Petr Evgenievich Belousov*, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, junior research associate, Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, Russian Academy of Science, Moscow. *Research interests:* geology, mineralogy. *Contact information:* E-mail: pitbl@mail.ru

*Musa Nasib Mamedov*, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, professor at the Department of Mineral Resources, Baku State University, Baku, Republic of Azerbaijan. *Research interests:* geology, mineralogy. *Contact information:* E-mail: musamamedov@rambler.ru

*Nazim Ajar Imamverdiyev*, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, professor at the Department of Mineral Resources, Baku State University, Baku, Republic of Azerbaijan. *Research interests:* geology, mineralogy. *Contact information:* E-mail: inazim17@yahoo.com

*Vagif Mirzamekhti Kerimov*, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, associate professor at the Department of Oil&Gas of Azerbaijan State Oil and Industrial University, Baku, Republic of Azerbaijan. *Research interests:* geology, mineralogy. *Contact information:* E-mail: vagif\_kerimov@rambler.ru

*Ilya Vladimirovich Vikentiev*, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, professor, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow. *Research interests:* geology, mineralogy. *Contact information:* E-mail: ilyavikentev@rambler.ru



DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-4-497-504

УДК 553.041

## ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ КРАСНОПОЛЯНСКОГО РАЙОНА ГОРОДА СОЧИ НА БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ

Е.В. Карелина, В.Е. Марков, В.И. Блоков

Российский университет дружбы народов  
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В статье изложены теоретические предпосылки золотоносности юрских черносланцевых толщ Краснополянской структурно-геологической зоны Северного Кавказа. Сделан краткий исторический обзор изучения и добычи золота в районах рек Мзымта и Шахе. Выделены поисковые признаки и критерии эндогенного благороднометалльного оруденения в черных сланцах: наличие в районе магматических жильных комплексов, стратиграфо-литологически и литогеохимически барьеров, глубинных региональных и оперяющих их разломов, сульфидной минерализации.

В 2013 году в ходе учебной геологической практики была выделена и исследована рудная зона в правом борту р. Мзымта. Минерализованные черные сланцы и известняки мезозоя прорываются интрузивным телом габбро-диоритов, со сложным зональным строением. Данные микроскопических анализов показали, что значительная часть рудной минерализации представлена пиритом, имеющим глобулярное строение, что служит важным критерием при генезиса сульфидных месторождений. Повышенная сульфидоносность, особенности строения магматических тел, а также данные химических анализов указывают на их перспективность в отношении золотоносности.

**Ключевые слова:** золото, Северный Кавказ, черносланцевые толщи, сферолиты пирита

Красная Поляна — это уникальный район по разнообразию минеральных рудопроявлений и геохимических аномалий: согласно государственной карте полезных ископаемых 80% площади занимают литохимические и шлиховые ореолы мышьяка, меди, свинца, цинка, ртути, золота и радиоактивных элементов.

Интерес к району проявлялся уже в начале XX века. В 1933 году геолог-энтузиаст Тимофей Георгиевич Семёнов представил образцы золотоносных пород. Посланная в связи с этим поисковая партия комбината «Лабинское золото» в конце 1934 года подтвердила наличие месторождения золота в бассейне р. Сочи. В апреле 1935 года трест «Азчерзолото» организовал сочинский прииск. Затем тот же Семенов Т.Г. нашел золото на реках Мзымта и Шахе, где также были открыты прииски.

Во второй половине тридцатых годов специалистами было произведено исследование морского побережья и сделан вывод о том, что золото можно мыть не только на реке, но и из морского песка. Была создана специальная артель по добыче золота из морского песка, и добывала она его до конца тридцатых годов.

Артельщики добывали драгоценный металл на побережье от реки Бзугу до Бочарова ручья [1]. С течением времени Черноморское побережье стало развиваться как Всесоюзная здравница, и с открытием на территории г. Сочи курортной зоны интерес к добыче полезных ископаемых снизился.

Юрские отложения Краснополянской структурно-геологической зоны Передового хребта Северного Кавказа привлекают внимание современных исследователей приуроченностью всех более или менее заметных проявлений золота Северного Кавказа к черносланцевым толщам, которые пространственно связаны с глубинными разломами Северного Кавказа [2—5]. Так, в юрских черных сланцах установлены точки золоторудной минерализации, которые связаны как с черными сланцами, так и с более поздними магматическими образованиями.

По формационной классификации, продуктивные черносланцевые толщи Северного Кавказа относятся к рудоносным и рудогенерирующим формациям [6].

Благороднометалльное оруденение черносланцевых толщ Северного Кавказа относится к золото-сульфидному формационному типу экзогенно-эндогенного золото-углеродистого семейства [6]. Характерной особенностью проявлений благородных металлов, связанных с черными сланцами Северного Кавказа, является наложенный характер оруденения и концентрация золота в пирите (редко — в арсенопирите) гидротермалитов. Согласно обобщенным данным, повышенные содержания золота (около 1—5 г/т) выявлены в стратиформных зонах пиритизированных гидротермалитов черносланцевых толщ в бассейнах рек Большая Лаба, Чилик, Андрюк.

Зоны сульфидизации и связанные с ней проявления благородных металлов в юрских углеродсодержащих сланцах Кавказа разделяются на две генетические группы:

— первичные, формирующиеся в ходе седиментогенеза, диа- и катагенеза в углеродистых толщах;

— вторичные, формирующиеся в результате метаморфизма, магматизма и гидротермальной деятельности, наложенной на черносланцевые толщи и сопровождающиеся мобилизацией рудного вещества сланцев или привнесом его со стороны.

Наложённое и мобилизованное в черных сланцах эндогенное благороднометалльное оруденение непосредственно связано с секущими магматическими телами (диориты, андезиты, гранитоиды, диабазы, лампрофиры). Оруденение локализуется в рудоносных пропилитах, березитах, листовенитах, березит-пропилитах и кварцевых штокверках, образуя сложные рудно-магматические системы в рифтогенной зоне [7].

Для обеих групп существуют соответствующие поисковые признаки и критерии:

— региональные стратиграфо-литологические и литогеохимические барьеры, представленные кровлей осадочных и магматических комплексов, перекрывающих черносланцевые толщи и содержащих гидротермальные рудоносные геохимические барьеры;

— магматические жильные комплексы, магматические и субвулканические центры и тела, секущие черносланцевые толщи;

— глубинные региональные и оперяющие их разломы, типа флюидоносного Северного разлома, секущие черносланцевые толщи;

— складчатые и разрывные структуры транскавказской ориентировки.

Региональные поисковые критерии дополняются локальными, проявляющимися в пределах черносланцевых толщ:

— стратифицированные пачки и горизонты сульфидной минерализации — пиритизации (более 1—2% сульфидов);

— горизонты стратиграфических несогласий, перерывов, размывов с резкой сменой фациальных и геохимических обстановок;

— пачки и горизонты с признаками сингенетичной и эпигенетичной гидротермальной деятельности;

— секущие и согласные зоны гидротермалитов лиственитов, березитов, вторичных кварцитов, аргиллизитов) и жильных минеральных комплексов (кварцевых, кварц-карбонатных, кварц-сульфидных и др.).

Подтверждением этих критериев служит обнаружение зоны, благоприятной на благороднометалльное оруденение в бассейне р. Мзымта.

Каждый год кафедра МПИ и их разведки им. В.М. Крейтера РУДН проводит учебно-геологическую практику в г. Сочи, где студенты знакомятся с геологическим строением территории. Район Красной Поляны находится в пределах Абхазско-Рачинской структурно-геологической зоны. В основании геологического разреза залегают породы среднеюрского возраста: нижнюю, порфиритовую серию ( $J_{2pr}$ ), слагают туфы, лавы базальтов, аргиллиты, песчаники и туффиты, выше залегают аргиллиты с прослоями песчаников и алевролитов бетагской свиты ( $J_{2br}$ ). Завершает разрез толща известняков с прослоями аргиллитов средне-верхнеюрского возраста  $J_{2-3ab} + ag$ . Чвежипсинской складчатой зоны. Общая мощность отложений превышает 2000 м. Породы слагают горст шириной 2,5 км, простирающийся в СЗ направлении. Толщи залегают моноклинально с крутым падением (65—70°) на С-СЗ. В районе известны дайковые тела Аибгинского диабаз-габбро-диоритового комплекса ( $v\beta P(?)\alpha$ ), прорывающие отложения юрского возраста. Порфиритовая серия Абхазско-Рачинской зоны является рудообразующей и рудовмещающей для золото-сульфидной рудной формации.

В 2013 году в одном из геологических маршрутов на Красную Поляну при ознакомлении с магматическими породами района, авторами была выделена и исследована рудная зона в правом берегу р. Мзымта, вскрытая в процессе строительства дороги Адлер—Красная Поляна. Минерализованные черные сланцы и известняки мезозоя прорываются интрузивным телом габбро-диоритов.

Скальный выход диоритового тела представляет собой дайку мощностью более 15 м, имеет резкие контакты с вмещающей толщей углистых глинистых сланцев и граувакковых песчаников, мощностью более 1,5 м (рис. 1).

Дайка имеет сложное строение. Авторами была предположительно установлена следующая зональность в строении дайки (от центра к периферии): диориты порфиридовидные с миндалекаменными включениями (рис. 2), диориты мелкозернистые (афировые) по краям дайкового тела, андезито-базальты и диориты пегматоидного типа — жильная и более поздняя фаза. В центральной части в основании обнажения — ксенолит сланцевых и песчано-сланцевых пород. Контакт горячий с зоной гибридизации, мощностью 0,3 м.



**Рис. 1.** Скальный выход диоритового тела (площадью более 50 м<sup>2</sup>)  
[**Fig. 1.** Diorite body exposure (more than 50 meters in area)]



11,5 см

**Рис. 2.** Диорит порфировидный, миндалекаменный с интенсивной вкрапленностью пирита  
[**Fig. 2.** Porphyritic amygdaloidal diorite with intensive pyrite impregnation]

Характерная особенность зоны гибридации — повышенная сульфидоносность, проявленная во всех породах, максимально в порфировидных породах. Количество сульфидов составляет от 5 до 90%.

Выделяется два типа рудной минерализации:

— рассеянная пиритизация, а также линзовидно-полосчатые выделения размером 0,1 мм в центральных частях диоритового массива и вмещающих его черных сланцев (рис. 3);

— по трещинам отдельности в виде зерен диаметром до 10 мм и прожилков размером в плане 1–0,5 см × 1–0,5 мм (рис. 3).



а

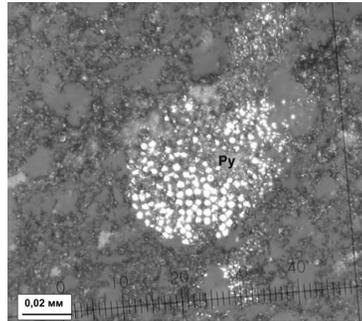


б

**Рис. 3.** Пирит разной генерации: а — в виде рассеянной вкрапленности и линзовидно-полосчатых скопленений; б — в виде отдельных кристаллов размером в диаметре до 1 см  
[**Fig. 3.** Pyrite of different formation: a — as a scattered impregnation and lenticular agglomerations; b — as isolated crystals up to 1 cm in size]

Результаты микроскопического изучения полированных, изготовленных из пиритизированных черных сланцев и прозрачных (из контактовой зоны) шлифов показали, что основным рудным минералом является пирит, представленный в

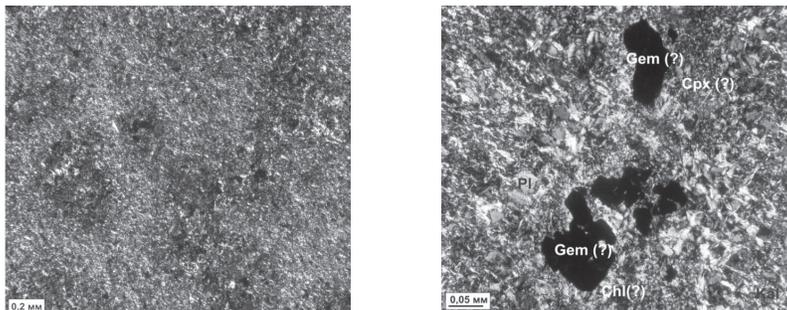
виде вкрапленности различной интенсивности, размерностью в диаметре 0,05—0,2 мм и до 1 см. Формы выделения пирита кубические, сферолитовые, кристаллы раздробленные, идиоморфные (рис. 4). В единичных случаях встречены халькопирит и гематит.



**Рис. 4.** Агрегат пирита, состоящий из сферолитов (глобул) размером в диаметре 0,005 мм  
[**Fig. 4.** Pyrite agglomerate consisting of spherulites (globules) 0,005 mm in size]

Сульфидизация пород и формирование пиритовых сферолитов (глобулей) происходило в нелитифицированных донных отложениях застойных иловых впадин морского бассейна, в котором господствовал флишоидный профиль осадконакопления [8]. Смена глобулярных форм пирита другими формами пирита, является, по-видимому, следствием изменения режима сероводорода в осадке и, в частности, повышение его концентрации.

Вмещающая толща, согласно микроскопическому изучению, представлена породой, состоящей из глинистого вещества (каолинит, мусковит). Присутствуют тонкие чешуйки мусковита размером в диаметре от 0,02 мм, а также зерна кварца, плагиоклаза — от 0,01—0,06 мм. По минеральному составу, а также структурным характеристикам был определен как мусковит-кварцевый метасоматит. В нем также отмечается бедная рудная минерализация в виде пирита (1%) и редких включений, предположительно, гематита (рис. 5).



**Рис. 5.** Метасоматит мусковит-кварц-каолинитового состава  
(Gem — гематит; Cpx — клинопироксен; Chl — хлорит; Pl — плагиоклаз)  
[**Fig. 5.** Metasomatite of muscovite-quartz-kaolinite composition]

Из вмещающих дайку минерализованных черных сланцев и диоритов было изготовлено четыре пробы, которые анализировались на рентгенофлуоресцентном приборе РЛП-3-01 в лаборатории кафедры МПИ и их разведки им. В.М. Крей-

тера. Анализ проб на 32 элемента, включая благородные металлы, показало наличие золота в трех пробах, а также повышенные относительно средних содержания Си, Мо и др.

Повышенная сульфидоносность, максимально проявленная в порфировых породах, особенности строения магматических тел, а также данные рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) указывают на перспективность их в отношении золотоносности.

Глобулярные пиритные агрегаты являются положительным критерием золотоносности черносланцевых толщ, что может быть использовано для прогнозной оценки территории [8].

Выявленные особенности вещественного состава черносланцевых отложений, а также общая характеристика углеродсодержащих кремнисто-вулканогенно-терригенных мезозойских комплексов Северного Кавказа подтверждают высокую перспективность района на его золотоносность.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Цевава В.* Золотая «зачачка» Сочи // Наш дом Сочи. № 14. 19.04.2012.
- [2] *Гурская Л.И.* Платинометалльное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 208 с.
- [3] *Додин Д.А., Коробейников А.Ф.* Особенности размещения и генезиса крупных и уникальных месторождений платиновых металлов России // Крупные и уникальные месторождения редких и благородных металлов. СПб.: Санкт-Петербургский государственный горный институт, 1998. С. 193—203.
- [4] *Додин Д.А., Чернышев Н.М., Яцкевич Б.А.* Платинометалльные месторождения России. СПб.: Наука, 2000. 755 с.
- [5] *Курбанов Н.К.* Особенности формирования экзогенно-эндогенных месторождений благородных металлов в углеродистых терригенных комплексах // Тр. ЦНИГРИ. Вып. 219. 1987. С. 3—14.
- [6] *Фогельман Н.А., Константинов М.М., Курбанов Н.К.* Принципы систематики золоторудных месторождений для прогноза и поисков // Отечественная геология. 1995. № 3. С. 31—40.
- [7] *Гончаров В.И., Богуш И.А., Бурцев А.А., Васьков И.М.* Поисковые критерии и перспективы благородных металлов девонских черносланцевых толщ Северного Кавказа // Вестник Владикавказского научного центра. 2007. Т. 7. С. 19—24.
- [8] *Берберьян Т.К.* Фрамбоид-пиритные агрегаты в рудах колчеданных месторождений и их генетическое и поисковое значение: дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Новочеркасск, 1983. 165 с.: ил. + прил. (53 с.: ил.).

© Карелина Е.В., Марков В.Е., Блоков В.И., 2017

#### История статьи:

Дата поступления в редакцию: 9 сентября 2017

Дата принятия к печати: 30 сентября 2017

#### Для цитирования:

Карелина Е.В., Марков В.Е., Блоков В.И. Перспективность Краснополянского района города Сочи на благороднометалльное оруденение // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: «Инженерные исследования».* 2017. Т. 18. № 4. С. 497—504. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-497-504

**Сведения об авторах:**

*Карелина Елена Викторовна*, доцент департамента геологии, горного и нефтегазового дела инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Область научных интересов*: поиски и разведка месторождений полезных ископаемых, математическое моделирование геологических задач, месторождения благородных, черных и цветных металлов. *Контактная информация*: E-mail: elkarelina@mail.ru

*Марков Владимир Евгеньевич*, старший преподаватель департамента геологии, горного и нефтегазового дела инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Область научных интересов*: математическое моделирование геологических задач, инновационные методы дистанционного зондирования Земли, компьютерные технологии, геоинформационные технологии, структурные критерии локализации хромитовых месторождений. *Контактная информация*: E-mail: vemarkov@yandex.ru

*Блоков Вячеслав Игоревич*, студент-выпускник специалитета департамента геологии, горного и нефтегазового дела инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Область научных интересов*: литогеохимические поиски МПИ, математическое моделирование геологических задач, структурные критерии локализации хромитовых месторождений. *Контактная информация*: E-mail: blok\_off@mail.ru

## **PROSPECTIVITY OF KRASNOPOLYANSKY DISTRICT IN SOCHI (RUSSIA) FOR PRECIOUS METAL MINERALIZATION**

**E.V. Karelina, V.E. Markov, V.I. Blokov**

The Department of Geology, Mining and Oil&Gas Engineering, Engineering Academy  
Russian University of Peoples' Friendship  
*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

The article presents theoretical pre-requisites for gold mineralization in the Jurassic black shale strata of the Krasnaya Polyana geostructural zone of the North Caucasus. A brief historical review of investigation and extraction of gold in the area of the Mzymta and Shahe rivers was made. The search criteria and criteria of endogenous precious metal mineralization in black shale are identified: the presence of magmatic vein complexes in the region, lithostratigraphic and lithogeochemical barriers, deep-seated regional faults and other en echelon faults, sulphide mineralization. In 2013, during a geological field trip, the ore zone on the right side of the Mzymta River was located and investigated. Mineralized black shale and Mesozoic limestone cut through the intrusive body of gabbro-diorites, with a complex zonal structure. The microscopic analysis data showed that a significant part of the ore mineralization is represented by pyrite with globular structure, which is an important criterion in the genesis of sulfide deposits. Increased sulfide content, structural features of magmatic bodies, as well as chemical analysis data indicate their prospectivity for gold content.

**Key words:** gold, the North Caucasus, black shale, pyrite spherulites

### **REFERENCES**

- [1] Tsekava V. Zolotaja «zanachka» Sochi [Golden “stash” Sochi]. Our house of Sochi. № 14. 19.04.2012.

- [2] Gurskaya L.I. Platinometall'noe orudnenie chernoslancevogo tipa i kriterii ego prognozirovaniya [Platinum-metal mineralization of black-shale type and the criteria for its prediction]. SPb.: VSEGEI, 2000. 208. (in Russ.)
- [3] Dodin D.A., Korobeinikov A.F. Osobennosti razmeshchenija i genezisa krupnyh i unikal'nyh mestorozhdenij platinovyh metallov Rossii [Location and genesis features of large and unique deposits of platinum metals in Russia]. Large and unique deposits of rare and precious metals. SPb., 1998. With. 193–209. (in Russ.)
- [4] Dodin D.A., Chernyshev N.M., Yatskevich B.A. Platinometall'nye mestorozhdenija Rossii. [Platinum deposits of Russia]. SPb.: Science, 2000 (in Russ.)
- [5] Kurbanov N.K. Osobennosti formirovaniya ekzogennno-endogennyh mestorozhdenij blagorodnyh metallov v uglerodistyh terrigenykh kompleksah [Formation features of exogenous-endogenous deposits of precious metals in carboniferous terrigenous complexes]. Proc. TsNIGRI. Issue 219. 1987. P. 3–14. (in Russ.)
- [6] Fogelman N.A., Konstantinov M.M., Kurbanov N.K. Principy sistematiki zolotorudnyh mestorozhdenij dlja prognoza i poiskov [Principles of systematics of gold ore deposits for forecasting and searching]. Otechestvennaya geologiya. 1995. № 3. P. 31–40 (in Russ.)
- [7] Goncharov V.I., Bogush I.A., Burtsev A.A., Vaska I.M. Poiskovye kriterii i perspektivy blagorodnyh metallov devonskih chernoslancevyh tolshch Severnogo Kavkaza [Search criteria and prospectivity of precious metals of the Devonian black shale strata of the North Caucasus]. Bulletin of the Vladikavkaz Scientific Center. № 3. Vol. 7. 2007. (in Russ.)
- [8] Berberyan T.K. Framboid-piritnye agregaty v rudah kolchedannyh mestorozhdenij i ih geneticheskoe i poiskovoe znachenie [Framboid-pyrite aggregates in ores of pyrite deposits and their genetic and search value]. Dissertation for the degree of candidate of geological-mineralogical Sciences. Novocherkassk.

#### Article history:

Received: 9 September 2017

Accepted: 30 September 2017

#### For citation:

**Karelina E.V., Markov V.E., Blokov V.I. (2017) Prospectivity of Krasnopolyansky district in Sochi (Russia) for precious metal mineralization. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 18(4), 497–504. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-497-504**

#### Bio Note:

*Elena V. Karelina*, associate professor in the Department of Geology, Mining, Oil&Gas Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests*: mineral exploration and prospecting, mathematical modelling of geological problems, deposits of precious, base, and ferrous metals. *Contact information*: E-mail: elkarelina@mail.ru

*Vladimir E. Markov*, senior lecturer in the Department of Geology, Mining, Oil&Gas Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests*: mathematical modelling of geological problems, innovative methods of remote sensing of the Earth, computer technologies, geoscience information technology, structural criteria for localisation of chromite deposits. *Contact information*: E-mail: vemarkov@yandex.ru

*Viachaslav I. Blokov*, Specialist, graduate of the Department of Geology, Mining, Oil&Gas Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests*: lithogeochemical exploration of mineral deposits, mathematical modelling of geological problems, structural criteria for localisation of chromite deposits. *Contact information*: E-mail: blok\_off@mail.ru



DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-4-505-517

УДК 624.074.5, 69.07

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ ОРТОГОНАЛЬНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ ПЛИТ НА ИХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ

И.Д. Анিকেев, А.В. Голиков

Волгоградский государственный технический университет  
ул. Академическая, 1, Волгоград, Россия, 400074

В статье выполнено исследование влияния геометрии прямоугольных в плане, шарнирно опертых по контуру, стержневых плит на их напряженно-деформированное состояние (НДС). Рассмотрены стержневые плиты с кубической и пирамидальной формой ячейки в целях получения зависимостей внутренних усилий, деформаций и частот собственных колебаний от высоты поперечного сечения и соотношения сторон плиты. Построены пространственные расчетные схемы с вариацией формы ячейки, высоты плиты и соотношения сторон плиты. Произведен статический расчет от единичной нагрузки, приложенной к верхнему поясу, и модальный анализ. Получены значения усилий в элементах, перемещения узлов, частоты и формы собственных колебаний. Построены графики, характеризующие динамику изменения НДС в зависимости от влияющих факторов.

**Ключевые слова:** стержневая плита, расчетная схема, напряженно-деформированное состояние, внутренние усилия, сравнительный расчет, частота колебаний

**Введение.** Стержневые плиты являются одним из перспективных направлений строительных конструкций, это связано с их достоинствами перед традиционными конструктивными формами, такими как: пространственная работа системы, устойчивость к прогрессирующему разрушению, возможность использования при больших пролетах, облегчение конструкции кровли благодаря частой сетке узлов, максимальная унификация узлов и элементов, возможность поточного производства, архитектурная выразительность [1–9].

Однако при знакомстве с литературой по этой теме, читающий столкнется с отсутствием информации об изменении НДС при различной высоте плиты, соотношении ее сторон, формы элементарной ячейки. Также, отсутствует информация о характерных формах и частотах собственных колебаний необходимых для динамического анализа конструкции и при проектировании с динамической нагрузкой или в сейсмоопасных районах. Именно отсутствие этой информации послужило поводом для исследования.

**Анализ исследований, публикаций и опыта проектирования.** Первое применение пространственных стержневых конструкций относится к 30-м годам XX века за авторством Р. ЛеРиколле. В 40-х годах появляются конструкции за авторством С. Дю Шато, Р.Б. Фуллера получившие широкое распространение. С 50-х раз-

работаны и применяются конструкции систем «Меро», «Мобилар», «Юнистрэт» и др. [7].

Первый проект пространственной стержневой конструкции в отечественной практике относится к проекту выставочного павильона в Сокольниках в 1960 году. В 1960-х годах были разработаны системы МАРХИ [10], ЦНИИСК [11], широко применявшиеся в отечественной практике [7].

Первоначально расчет пространственных стержневых конструкций выполнялся методами строительной механики как систем перекрестных балок или ферм, или приведением дискретной системы стержней к континуальной пластинке с последующим разложением полученных усилий на дискретную систему. Более подробно указанные методы изложены в работах Игнатьева В.А. и учеников его научной школы [12—16]. В 1980-х расчет начал осуществляться на ЭВМ с поиском оптимальных вариантов [4; 7; 8].

На данный момент расчет выполняется с помощью различных расчетных комплексов, основанных на методе конечных элементов (МКЭ), что позволяет с меньшими затратами времени производить не только прочностной расчет, но и оптимизацию конструкции.

В источниках [2—4; 6—9; 17; 18], как правило, приводятся общая информация, касающаяся формы ячеек, типов узлов и рекомендаций по высоте поперечного сечения в  $1/20 \sim 1/30$  пролета. Но отсутствует информация о том, как получены эти значения и как изменяется НДС при изменении формы ячейки, высоты плиты и соотношении сторон.

**Цель исследования:** изучение работы прямоугольных в плане, шарнирно опертых в углах, стержневых плит с кубической и пирамидальной ячейкой при изменении высоты плиты и соотношения сторон плиты для выявления закономерностей НДС связанных с геометрией плит.

#### **Задачи работы.**

1. Выполнить расчет и анализ напряженно-деформированного состояния стержневой плиты с различной формой ячейки, высотой плиты и соотношением сторон.

2. Выявить закономерности связанные с варьированием формы ячейки, высоты плиты и соотношением сторон влияющие на усилия, деформации, частоты и формы колебаний.

3. Определить закономерности влияния жесткости плиты на частоту и форму колебаний.

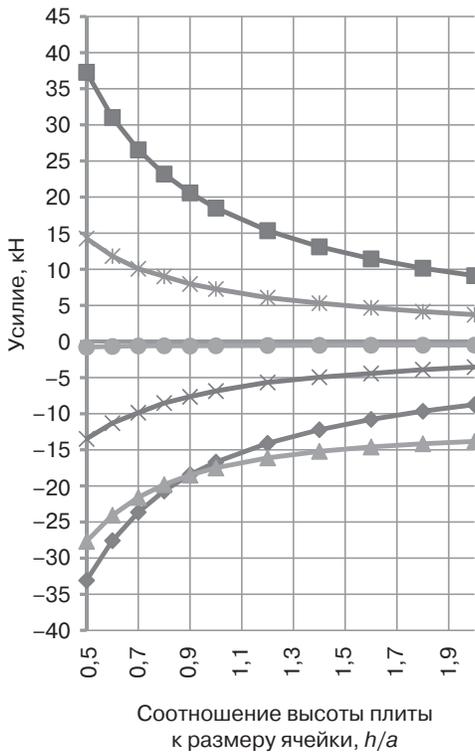
#### **Объект исследования и обработка результатов.**

Объектом исследования данной работы были прямоугольные в плане стержневые плиты с кубической и пирамидальной ячейками, опертые по вершинам нижнего прямоугольника, образованного внешним контуром нижнего пояса.

Для исследования использовался расчетный комплекс ЛИРА САПР основанный на МКЭ [19; 20]. Создана пространственная расчетная схема, состоящая из верхней и нижней сетки с квадратными ячейками соединенными раскосами. В расчетных схемах и схемах нагружений стержневых плит (рис. 1, 2) общим параметром является размер ячейки  $1 \times 1$  м. Варьируются тип ячейки, высота плиты и соотношение сторон плиты. Опорные закрепления осуществлены в угловых узлах плиты по нижнему поясу, со свободными горизонтальными деформациями.



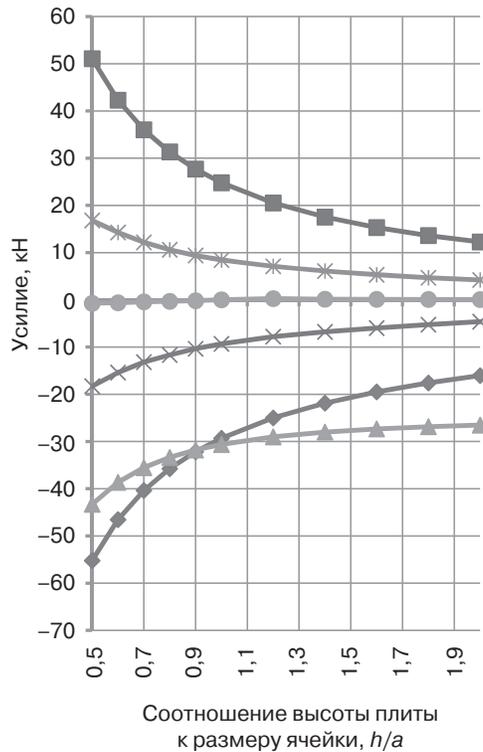
- соотношение усилий в продольных стержнях к поперечным, в зависимости от соотношения сторон плиты (рис. 5, 6);
- прогиб середины плиты для различных соотношений высоты плиты к размеру ячейки  $h/a$  (рис. 7, 8);
- частота собственных колебаний для различных соотношений высоты плиты к размеру ячейки  $h/a$  (рис. 9, 10);
- прогиб середины плиты в зависимости от соотношения сторон плиты (рис. 11, 12);
- частота собственных колебаний в зависимости от соотношения сторон плиты (рис. 13, 14).



Условные обозначения:

- ◆ — максимальное усилие в верхнем поясе, кН;
- — максимальное усилие в нижнем поясе, кН;
- ▲ — максимальное усилие в раскосах, кН;
- × — мат. ожидаемое усилие в верхнем поясе, кН;
- \* — мат. ожидаемое усилие в нижнем поясе, кН;
- — мат. ожидаемое усилие в раскосах, кН

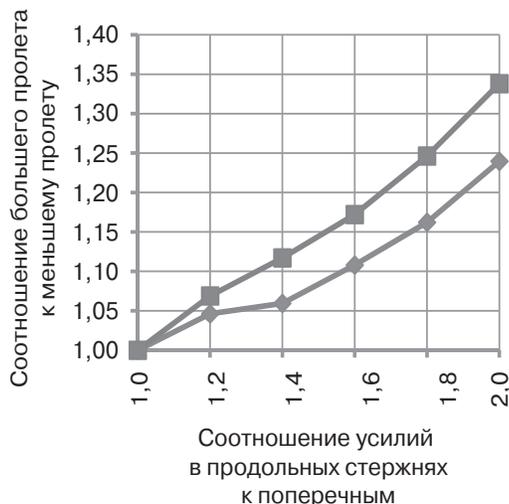
**Рис. 3.** Кривые зависимости усилий в элементах плиты с кубическими ячейками от соотношения высоты плиты к размеру ячейки  $h/a$   
[Fig. 3. The graph of the dependence of forces in the elements of a plate with cubic cells on the ratio of the height of the plate to the size of the cell,  $h/a$ ]



Условные обозначения:

- ◆ — максимальное усилие в верхнем поясе, кН;
- — максимальное усилие в нижнем поясе, кН;
- ▲ — максимальное усилие в раскосах, кН;
- × — мат. ожидаемое усилие в верхнем поясе, кН;
- \* — мат. ожидаемое усилие в нижнем поясе, кН;
- — мат. ожидаемое усилие в раскосах, кН

**Рис. 4.** Кривые зависимости усилий в элементах плиты с пирамидальными ячейками от соотношения высоты плиты к размеру ячейки  $h/a$   
[Fig. 4. The graph of the dependence of forces in the elements of a plate with pyramidal cells on the ratio of the height of the plate to the size of the cell,  $h/a$ ]

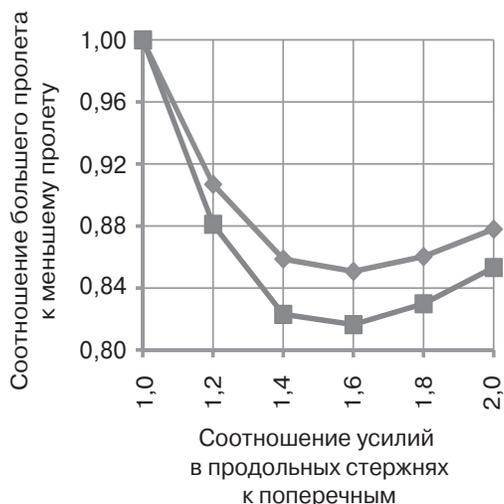


Условные обозначения:

◆ — нижний пояс; ■ — верхний пояс

**Рис. 5.** Кривые зависимости отношения усилий в продольных стержнях к поперечным стержням от соотношения сторон плиты с кубическими ячейками

[Fig. 5. The graph of the dependence of the ratio of forces in longitudinal rods to transverse rods on the ratio of the sides of a plate with cubic cells]

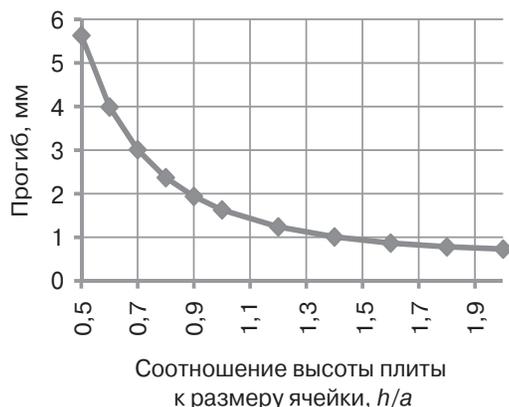


Условные обозначения:

◆ — нижний пояс; ■ — верхний пояс

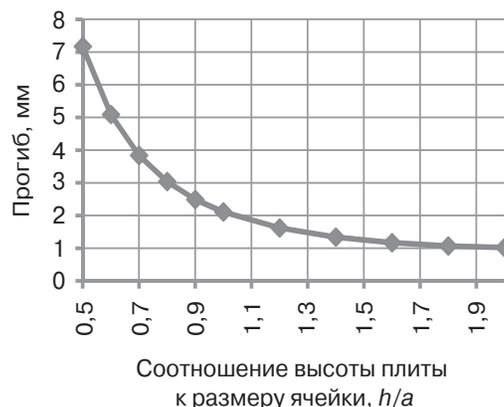
**Рис. 6.** Кривые зависимости отношения усилий в продольных стержнях к поперечным стержням от соотношения сторон плиты с пирамидальными ячейками

[Fig. 6. The graph of the influence of the ratio of forces in longitudinal rods to transverse rods on the ratio of the sides of a plate with pyramidal cells]



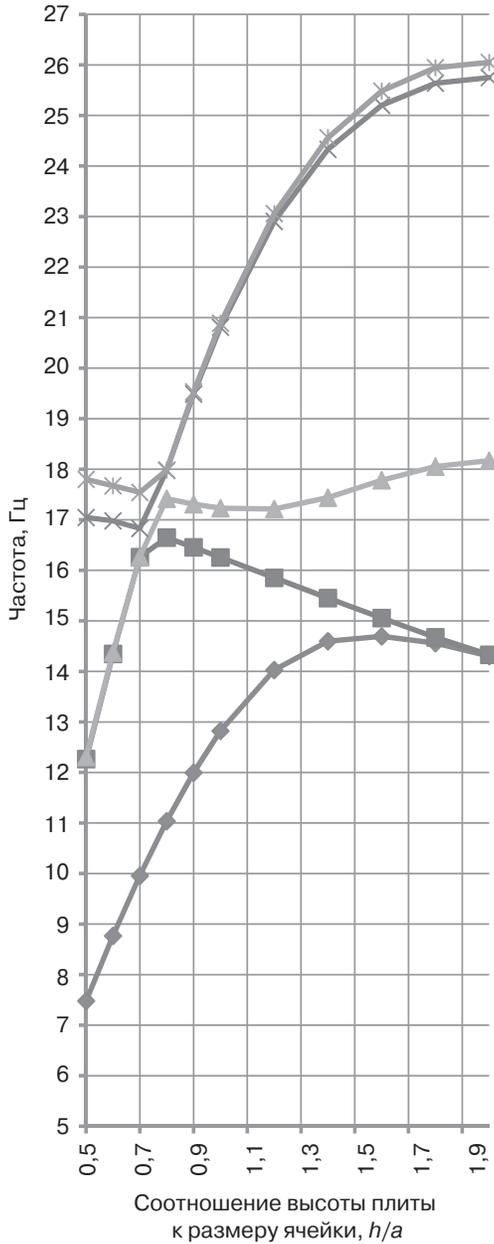
**Рис. 7.** Зависимость прогиба середины плиты с кубическими ячейками от соотношения высоты плиты к размеру ячейки  $h/a$

[Fig. 7. Graph of the dependence of the deflection of the middle of the plate with cubic cells on the ratio of the plate height to the cell size,  $h/a$ ]



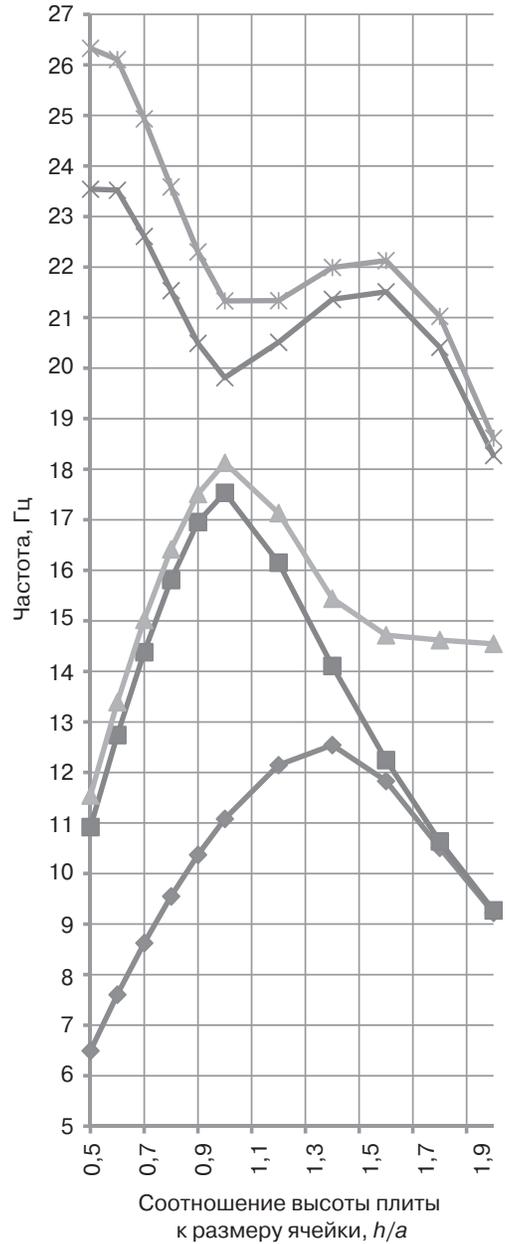
**Рис. 8.** Зависимость прогиба середины плиты с пирамидальными ячейками от соотношения высоты плиты к размеру ячейки  $h/a$

[Fig. 8. Graph of the dependence of the deflection of the middle of the plate with pyramidal cells on the ratio of the plate height to the cell size,  $h/a$ ]



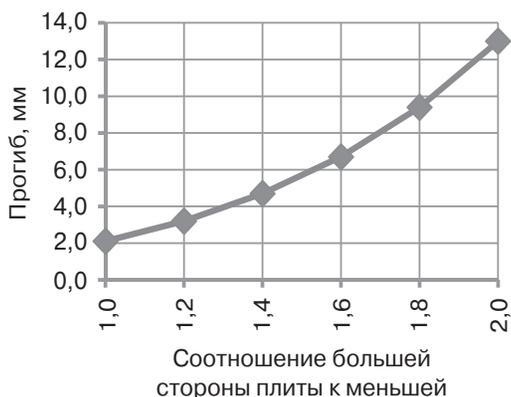
Условные обозначения:  
 ◆ — 1-й тон; ■ — 2-й тон;  
 ▲ — 3-й тон; ✕ — 4-й тон;  
 ✱ — 5-й тон

**Рис. 9.** Кривые зависимости частоты собственных колебаний плиты с кубическими ячейками от соотношения высоты плиты к размеру ячейки  $h/a$   
 [Fig. 9. The graph of the frequency of natural oscillations of a plate with cubic cells on the ratio of the plate height to the cell size  $h/a$ ]



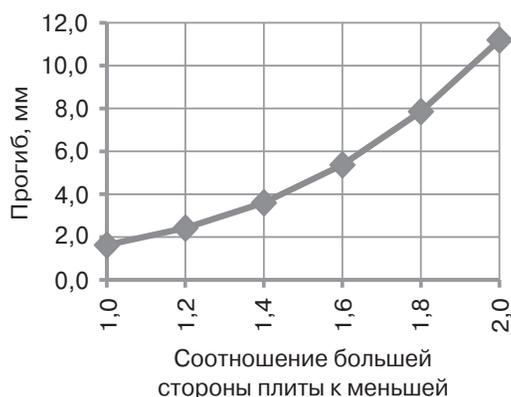
Условные обозначения:  
 ◆ — 1-й тон; ■ — 2-й тон;  
 ▲ — 3-й тон; ✕ — 4-й тон;  
 ✱ — 5-й тон

**Рис. 10.** Кривые зависимости частоты собственных колебаний плиты с пирамидальными ячейками от соотношения высоты плиты к размеру ячейки  $h/a$   
 [Fig. 10. The graph of the frequency of natural oscillations of a plate with pyramidal cells on the ratio of the plate height to the cell size  $h/a$ ]



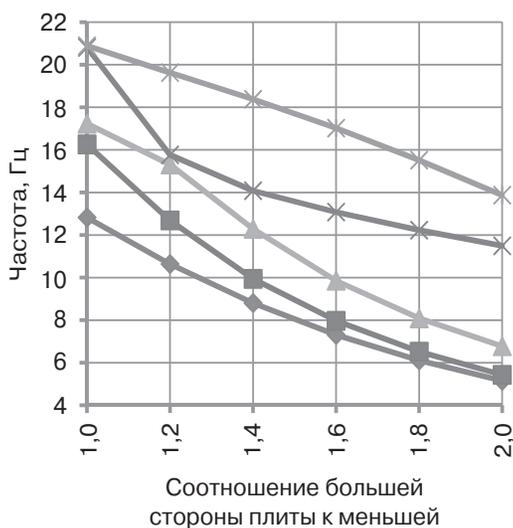
**Рис. 11.** Зависимость прогиба середины плиты с кубическими ячейками от соотношения сторон плиты

[Fig. 11. Graph of the dependence of the deflection of the middle of the plate with cubic cells on the ratio of the side of the plate]



**Рис. 12.** Зависимость прогиба середины плиты с пирамидальными ячейками от соотношения сторон плиты

[Fig. 12. Graph of the dependence of the deflection of the middle of the plate with pyramidal cells on the ratio of the side of the plate]

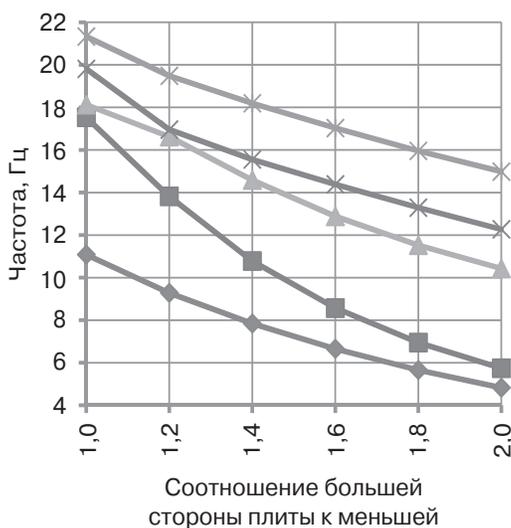


Условные обозначения:

- ◆ — 1-й тон; ■ — 2-й тон;
- ▲ — 3-й тон; ✕ — 4-й тон;
- ✱ — 5-й тон

**Рис. 13.** Кривые зависимости частот собственных колебаний плиты с кубическими ячейками от соотношения сторон плиты

[Fig. 13. Graph of the frequency of natural vibrations of a plate with cubic cells from the ratio of the side of the plate]



Условные обозначения:

- ◆ — 1-й тон; ■ — 2-й тон;
- ▲ — 3-й тон; ✕ — 4-й тон;
- ✱ — 5-й тон

**Рис. 14.** Кривые зависимости частот собственных колебаний плиты с пирамидальными ячейками от соотношения сторон плиты

[Fig. 14. Graph of the frequency of natural vibrations of a plate with pyramidal cells from the ratio of the side of the plate]

Графики изменения усилий и прогибов от высоты поперечного сечения плиты и графики изменения усилий и прогибов от соотношения сторон плиты были аппроксимированы с помощью простых математических функций и сведены в таблицы 1–4. Формы колебаний для первых 5-ти частот были изучены и занесены в таблицу 5, а их соответствующее графическое отображение на рисунке 15.

Таблица 1

**Аппроксимирующие функции кривых для кубической ячейки**  
[Approximating functions of the curves for a cubic cell]

Тип кривой	Макс. верхний пояс, кН	Макс. нижней пояс, кН	Макс. раскосы, кН	Мат.ожд. верхний пояс, кН	Мат.ожд. нижний пояс, кН	Прогиб плиты, мм
Формула кривой	$y = \frac{1}{(a + bx^c)}$					
<i>a</i>	5,644 e–3	–3,138 e–4	–3,138 e–4	–1,635 e–3	9,416 e–3	1,360 e–1
<i>b</i>	–6,548 e–2	–5,376 e–2	–5,376 e–2	–1,436 e–1	–1,478 e–1	–7,293 e–1
<i>c</i>	8,700 e–1	1,020 e+0	1,020 e+0	9,888 e–1	8,923 e–1	1,221 e+0

Таблица 2

**Аппроксимирующие функции кривых для пирамидальной ячейки**  
[Approximating functions of the curves for a pyramidal cell]

Тип кривой	Макс. верхний пояс, кН	Макс. нижней пояс, кН	Макс. раскосы, кН	Мат.ожд. верхний пояс, кН	Мат.ожд. нижний пояс, кН	Прогиб плиты, мм
Формула кривой	$y = \frac{1}{(a + bx^c)}$					
<i>a</i>	2,890 e–3	7,935 e–4	7,184 e–1	–4,127 e–3	–4,952 e–3	1,416 e–1
<i>b</i>	–3,698 e–2	–4,105 e–2	–7,501 e–1	–1,026 e–1	–1,125 e–1	–5,982 e–1
<i>c</i>	8,157 e–1	1,013 e+0	1,532 e–2	1,022 e+0	1,051 e+0	1,094 e+0

Таблица 3

**Аппроксимирующие функции прогибов для плит с вариацией длины**  
[Approximating functions of deflections for plates with a length variation]

Тип кривой	Прогиб с кубической ячейкой, мм	Прогиб с пирамидальной ячейкой, мм
Формула кривой	$y = a + bx + cx^2$	
<i>a</i>	8,35 e+0	6,96 e+0
<i>b</i>	–1,467'375 e+1	–1,252 e+1
<i>c</i>	8,031'250 e+0	7,746 e+0

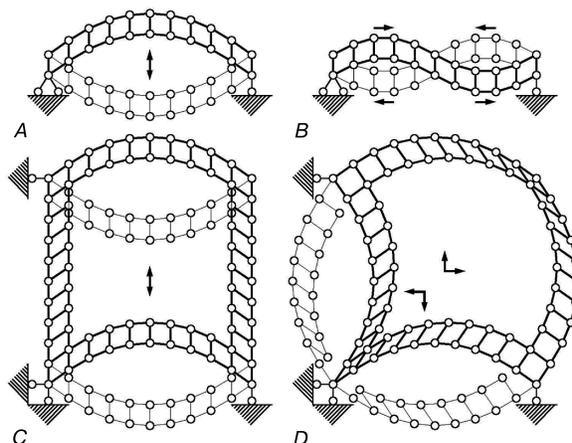
Таблица 4

**Аппроксимирующие функции усилий для плит с вариацией длины**  
[Approximating functions of force for slabs with a length variation]

Тип кривой	Усилия в нижнем поясе с кубической ячейкой, кН	Усилия в верхнем поясе с кубической ячейкой, кН	Усилия в нижнем поясе с пирамидальной ячейкой, кН	Усилия в верхнем поясе с пирамидальной ячейкой, кН
Формула кривой	$y = \frac{1}{(a + bx^c)}$		$y = a + bx + \frac{c}{x^2}$	
<i>a</i>	1,046 e+0	1,213 e+0	2,966 e–1	8,757 e–2
<i>b</i>	–5,136 e–2	–2,198 e–1	2,315 e–1	3,074 e–1
<i>c</i>	2,194 e+0	1,073 e+0	4,733 e–1	6,060 e–1

**Тон собственных колебаний плиты и соответствующая ему форма**  
**[The tone of the natural oscillations of the plate and the corresponding form]**

Тон колебаний	1	2	3	4	5
Тип формы колебания	A	B	B	C	B+D



**Рис. 15.** Типы форм собственных колебаний стержневой плиты  
**[Fig. 15.** Types of forms of natural oscillations rods plate]

**Выводы.** По результатам выполненных расчетов и анализа НДС можно прийти к следующему:

1) изучена работа стержневых плит, выполнен анализ напряженно-деформированного состояния и выявлены закономерности, связанные с влиянием варьированием формой ячейки, высотой плиты от 0,5 м до 2,0 м и соотношения сторон от 1×1 до 2×1 на усилия, деформации, частоты и формы колебаний;

2) получены новые научные данные, не представленные в обзоре литературы, ценные для понимания характера изменения НДС стержневых плит при вариации их геометрии;

3) усилия в элементах могут быть описаны по обратной степенной функции, принимая максимальные значения при наименьшей высоте плиты и минимальные значения при наибольшей высоте плиты. Это связано с тем, что изменение высоты плиты изменяет плечо внутренней пары сил, являющейся эквивалентом изгибающего момента в континуальной пластинке к которой можно свести дискретную стержневую плиту;

4) прогиб середины плиты может быть описан по полиномиальной функции, принимая максимальные значения при наименьшей высоте плиты и минимальные значения при наибольшей высоте плиты. Это связано с тем, что высота плиты изменяет геометрические характеристики ее поперечного сечения, что сказывается на ее изгибной жесткости;

5) соотношение между усилиями в стержнях в продольном и поперечном направлениях, при кубической ячейке, возрастают линейно в 1,3 раза при изменении соотношения сторон от 1×1 до 2×1. Соотношение при этом остается положительным (усилия в продольных стержнях больше чем в поперечных);

6) соотношение между усилиями в стержнях в продольном и поперечном направлениях, при пирамидальной ячейке, характеризуются следующими закономерностями: уменьшаются от 1,00 до 0,81 при изменении соотношения сторон от  $1 \times 1$  до  $1,6 \times 1$ , увеличиваются от 0,81 до 0,86 при изменении соотношения сторон от  $1,6 \times 1$  до  $2 \times 1$ . Соотношение при этом остается отрицательным (усилия в продольных стержнях меньше, чем в поперечных), это можно связать с большей жесткостью на кручение пирамидальной ячейки;

7) прогиб середины плиты изменяется по параболе, возрастая в 6 раз при изменении соотношения сторон от  $1 \times 1$  до  $2 \times 1$ ;

8) при всех вариациях высоты поперечного сечения плиты форма колебаний сохраняется соответствующей каждому тону. Так, для первого тона характерны поступательные движения в вертикальной плоскости, которые можно охарактеризовать как «батут». Для второго и третьего тона характерно волнообразное поступательное движение в вертикальной плоскости из одного угла плиты в другой по диагонали. Их расхождение на графиках можно обосновать условиями закрепления, допускающими горизонтальные деформации. Для четвертого тона характерны горизонтальные, поочередно сменяющиеся, движение вдоль и поперек плиты. Для пятого тона характерна форма, совмещающая в себе движения характерные для второго и четвертого тонов;

9) частоты собственных колебаний первых 5-ти тонов уменьшаются, в среднем, в 2 раза, при изменении соотношения сторон от  $1 \times 1$  до  $2 \times 1$ .

Все полученные данные можно использовать для оптимизации конструкции стержневой плиты при проектировании реальных сооружений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Hilton J.* Space grid structures. Oxford: Architectural Press, 2000. 191 p.
- [2] *Беленя Е.И., Балдин В.А., Веденников Г.С. [и др.]* Металлические конструкции. М.: Стройиздат, 1986. 560 с.
- [3] *Горев В.В.* Металлические конструкции: в 3 тт. Т. 2. М.: Высшая школа, 2004. 528 с.
- [4] *Клячин А.З.* Металлические решетчатые пространственные конструкции регулярной структуры. Екатеринбург: Диамант, 1994. 276 с.
- [5] *Кузнецов В.В.* Металлические конструкции. Справочник проектировщика: в 3 тт. Т. 2. М.: АСВ, 1998. 512 с.
- [6] *Мельников Н.П.* Металлические конструкции. Справочник проектировщика. М.: Стройиздат, 1980. 776 с.
- [7] *Трофимов В.И., Бегун Г.Б.* Структурные конструкции. М.: Стройиздат, 1972. 272 с.
- [8] *Трущев А.Г.* Пространственные металлические конструкции. М.: Стройиздат, 1983. 215 с.
- [9] *Файбишенко В.К.* Металлические конструкции. М.: Стройиздат, 1984. 336 с.
- [10] Серия 1.466-2 Пространственные решетчатые конструкции из труб типа «Кисловодск». М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1973.
- [11] Серия 1.460-6/81 Структурные конструкции покрытий одноэтажных производственных зданий пролетом 18 и 24 м из прокатных профилей типа ЦНИИСК. Чертежи КМ.
- [12] *Игнатьев В.А.* Расчет регулярных стержневых систем. Саратов: СВВХКУ, 1973.
- [13] *Игнатьев В.А.* Системы перекрестных балок и ферм. М.: ВИНТИ, 1978.
- [14] *Игнатьев В.А.* Редукционные методы расчета в статике и динамике пластинчатых систем. Волгоград: ВИСИ, 1991.
- [15] *Игнатьев В.А.* Регулярные стержневые системы (теория и методы расчета). Волгоград: ВолгГАСУ, 2006. 552 с.

- [16] *Никифоров В.Г.* Оптимизация многостержневых систем по наименьшему весу // Строительная механика, расчет и конструирование сооружений. Вып. 5. М.: Тп. МАРХИ, 1976. 44—52 с.
- [17] Рекомендации по проектированию структурных конструкций. М.: Стройиздат, 1984. 295 с.
- [18] *Хисамов Р.И.* Расчет и конструирование структурных покрытий. Киев: Будівельник, 1981. 48 с.
- [19] *Городецкий А.С., Зоворицкий В.И. [и др.]*. Метод конечных элементов в проектировании транспортных сооружений. М.: Транспорт, 1981. 143 с.
- [20] *Городецкий А.С., Евзеров И.Д.* Компьютерные модели конструкций. Киев: Факт, 2005. 344 с.
- [21] *Лихтарников Я.М.* Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций. М.: Стройиздат, 1979. 319 с.

© Анিকেев И.Д., Голиков А.В., 2017

#### **История статьи:**

Дата поступления в редакцию: 25 сентября 2017

Дата принятия к печати: 18 октября 2017

#### **Для цитирования:**

**Аникеев И.Д., Голиков А.В.** Исследование влияния геометрии ортогональных стержневых плит на их напряженно-деформированное состояние // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: «Инженерные исследования»*. 2017. Т. 18. № 4. С. 505—517. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-505-517

#### **Сведения об авторах:**

*Аникеев Илья Дмитриевич*, магистрант кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений института архитектуры и строительства Волгоградского государственного технического университета. *Область научных интересов:* пространственные стержневые конструкции, в частности, перекрестно-стержневые системы. *Контактная информация:* E-mail: anikeevd@yandex.ru

*Голиков Александр Владимирович*, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений института архитектуры и строительства Волгоградского государственного технического университета. *Область научных интересов:* расчет и проектирование высотных сооружений, оценка состояния эксплуатируемых конструкций. *Контактная информация:* E-mail: alexandr\_golikov@mail.ru

## **RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE GEOMETRY OF ORTHOGONAL RODS PLATES ON THEIR STRESS-STRAIN STATE**

**I.D. Anikeev, A.V. Golikov**

Volgograd State Technical University  
*Akademicheskaja str., 1, Volgograd, Russian Federation, 400074*

In this work is studied the effect of the geometry of the rods plates on their stress-strain state. The rods plates with the cubic and pyramidal shape of the cell are considered in order to obtain the dependences of internal forces, deformations and frequencies of natural oscillations on the height of

the plate and the aspect ratio of the plate. Spatial design schemes with a variation of the cell shape, the height of the plate, and the aspect ratio have been constructed. A static design is made of the unit load applied to the upper grid and the modal analysis. The values of the forces in the elements, the displacement of the nodes, the frequency and the shape of the natural oscillations are obtained. The graphs describing the dynamics of the stress-strain state change depending on the influencing factors are constructed.

**Key words:** rods plate, design scheme, stress-strain state, internal forces, design, comparative design, oscillation frequency

## REFERENCES

- [1] Hilton J. *Space grid structures*. Oxford: Architectural Press, 2000. 191 p.
- [2] Belenja E.I., Baldin V.A., Vedennikov G.S. *Metallicheskie konstrukcii* [Metal constructions]. Moscow: Strojizdat, 1986. 560 p.
- [3] Gorev V.V. *Metallicheskie konstrukcii*. Moscow: Vysshaja shkola, 2004. 528 p.
- [4] Kljachin A.Z. *Metallicheskie reshchatye prostranstvennye konstrukcii reguljarnoj struktury*. Ekaterinburg: Diamant, 1994. 276 p.
- [5] Kuznecov V.V. *Metallicheskie konstrukcii. Spravochnik proektirovshhika*. Moscow: ASV, 1998. 512 p.
- [6] Melnikov N.P. *Metallicheskie konstrukcii. Spravochnik proektirovshhika*. Moscow: Strojizdat, 1980. 776.
- [7] Trofimov V.I., Begun G.B. *Strukturnye konstrukcii*. Moscow: Strojizdat, 1972. 272 p.
- [8] Trushhev A.G. *Prostranstvennye metallicheskie konstrukcii*. Moscow: Strojizdat, 1983. 215 p.
- [9] Fajbishenko V. K. *Metallicheskie konstrukcii*. Moscow: Strojizdat, 1984. 336 p.
- [10] Serija 1.466-2 *Prostranstvennye reshchatye konstrukcii iz trub tipa «Kislovodsk»*. Moscow: CИTP Gosstroja USSR, 1973. 16 p.
- [11] Serija 2.460-11 *Tipovye detali pokrytij unificirovannyh odnojetazhnyh promyshlennyh zdaniy iz legkih metallicheskih konstrukcij*. Moscow: CИTP Gosstroja USSR, 1973. 22 p.
- [12] Ignatev V.A. *Raschet reguljarnyh sterzhnevnyh sistem*. Saratov: SVVHKU, 1973.
- [13] Ignatev V.A. *Sistemy perekrestnyh balok i ferm*. Moscow: VINITI, 1978.
- [14] Ignatev V.A. *Redukcionnye metody rascheta v statike i dinamike plastinchatyh sistem* [Reduction methods of analysis in statics and dynamics of plate systems]. Volgograd: VISI, 1991. 142 p.
- [15] Ignatev V.A. *Regulyarnye sterzhnevnye sistemy teorii i metody*. Volgograd: VolgGASU, 2006. 552 p.
- [16] Nikifirov V.G. *Optimizaciya mnogosterzhnevnyh sistem po naimenshemu vesu // stroitel'naya mekhanika, raschet i konstruirovanie sooruzhenij*. Moscow: MARHI, 1981. 44—52 pp.
- [17] *Rekomendacii po proektirovaniju strukturnykh konstrukcij*. Moscow: Strojizdat, 1984. 295 p.
- [18] Hisamov R.I. *Raschet i konstruirovanie strukturnykh pokrytij*. Kiev: Budivelnik, 1981. 48 p.
- [19] Gorodeckij A.S., Zovorickij V.I. *Metod konechnykh elementov v proektirovanii transportnykh sooruzhenij*. Moscow: Transport, 1981. 143 p.
- [20] Gorodeckij A.S., Evzerov I.D. *Kompjuternye modeli*. Kiev: Fakt, 2005. 344 p.
- [21] Lihtarnikov J.M. *Variantnoe proektirovanie i optimizacija stal'nykh konstrukcij*. Moscow: Strojizdat, 1979. 319 p.

### Article history:

Received: 25 September 2017

Accepted: 18 October 2017

### For citation:

Anikeev I.D., Golikov A.V. (2017) Research of the influence of the geometry of orthogonal rods plates on their stress-strain state. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 18(4), 505—517. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-505-517

**Bio Note:**

*Ilya D. Anikeev*, student master of the Department of Building Constructions, Foundations and Reliability of Structures, Institute of Architecture and Construction, Volgograd State Technical University. *Research interests*: space rods structures, in particular, cross-rod systems. *Contact information*: E-mail: anikeevd@yandex.ru

*Alexander V. Golikov*, PhD (in Technical Sciences), Associate Professor of the Department of Building Structures, Foundations and Reliability of Structures, Institute of Architecture and Construction, Volgograd State Technical University. *Research interests*: calculation and designing of high-rise constructions, evaluation of existing structures. *Contact information*: E-mail: alexandr\_golikov@mail.ru



DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-4-518-527

УДК 513.073

## ОРТОГОНАЛЬНАЯ КРИВОЛИНЕЙНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ И ПОСТРОЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ТРАПЕЦИЕВИДНО- КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПЛАНАХ

В.Н. Иванов, Т.С. Имомназаров, И.Т. Фархан

Российский университет дружбы народов  
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Тонкостенные пространственные конструкции на криволинейных планах все более широко используются при строительстве общественных зданий, торговых центров, спортивных сооружений. Разработка методов формообразования поверхностей на криволинейных планах является одной из современных задач архитектуры и градостроительства. В статье рассматривается ортогональная система координат, образованная в плоскости с произвольной направляющей кривой и системой прямых линий, ортогональных направляющей кривой. Координатная система образует в плоскости криволинейно-трапециевидную область. Задание функции координаты ортогональной плоскости позволяет образовывать разнообразные поверхности на криволинейных планах. Сопрягая различные направляющие кривые в плоскости, можно формировать комбинированные поверхности. В статье приведена система ортогональных координат криволинейно-трапециевидных планов и способы формообразование поверхностей на этих планах. Рассмотрены поверхности с функцией вертикальной координаты общего вида, приведены поверхности на комбинированных планах из сегментов одного типа.

**Ключевые слова:** плоская кривая, ортогональная криволинейная система координат, криволинейно-трапециевидный план, формообразование поверхностей на криволинейных планах

**Введение.** В работах [1; 2] на основе подхода аппроксимации сложных поверхностей, предложенного американским ученым Стивеном Кунсом [3], рассмотрены возможности формообразования тонкостенных пространственных конструкций на трапециевидных планах для использования их в современном градостроительстве. Поверхности Кунса образуются суммированием линейчатых поверхностей [4], построенных на опорных кривых противоположных сторон трапециевидного плана. Если опорные кривые трапециевидного плана лежат в вертикальной плоскости, то координатная система трапециевидного плана состоит из системы неортогональных прямых. В работах [5; 6] рассмотрена возможность формообразования поверхностей модифицированных поверхностей Кунса с наклонными опорными кривыми. Координатная система в плане образуется системой не ортогональной кривых. Если опорные кривые трапециевидного плана лежат в горизонтальной плоскости, то поверхность Кунса вырождается в плоскость, образуя в плоскости криволинейную неортогональную систему координат.

Задание функции вертикальной координаты позволяет получить разнообразные формы поверхностей [7]. Во всех рассмотренных работах координатная система криволинейных планов и координатная система поверхности неортогональная. В статье рассматривается ортогональная координатная система криволинейно-трапециевидных планов и способы формообразования поверхностей на этих планах.

Рассмотрим систему координат, образуемую системой прямых ортогональных плоской базовой кривой  $r_0(u) = x(u)i + y(u)j$  (рис. 1). Уравнение координатной системы получаем в виде

$$r(u, v) = r_0(u) + ve(u), \tag{1}$$

где  $e(u) = -v$ ,  $v$  — нормаль базовой кривой;  $v$  — координата образующих прямых по нормали к базовой кривой. Положительное значение координаты прямых принимаем в сторону выпуклости базовой кривой.

Получаемая координатная система состоит из системы эквидистантных кривых — кривых параллельных базовой кривой и системы ортогональных им прямых, т.е. координатная система является ортогональной.

Если базовая кривая — окружность, то получается полярная система координат. Для произвольной базовой кривой координатную систему можно назвать псевдо-полярной системой координат.

Ограничивая значения координат

$u_1 \leq u \leq u_2$ ,  $v_1 \leq v \leq v_2$  в общем случае получаем криволинейно-трапециевидную область. Если базовой кривой является замкнутая кривая, например, эллипс, то получаем овално-криволинейную замкнутую область.

Отметим, что при отрицательных значениях прямолинейных координат (координаты в направлении вогнутости базовой кривой) на некотором расстоянии от базовой кривой (зависит от функции базовой кривой) получается взаимно пересекающаяся координатная система, поэтому далее будем в основном рассматривать области с положительными значениями координаты  $v$ .

На криволинейных планах с различными базовыми кривыми (рис. 2) координата прямой образующей изменяется в диапазоне  $0 \leq v \leq v_k$ , где  $v_k$  определяет ширину криволинейной полосы. Можно рассматривать планы с диапазоном  $v_n \leq v \leq v_k$ , с шириной полосы  $v_k - v_n$ .

Ортогональность торцов криволинейных планов с псевдо-полярной системой координат криволинейным координатным линиям, позволяет строить комбинированные криволинейные планы из отрезков однотипных или различных отрезков полос с одинаковой шириной. При этом обеспечивается сопряженность координатных кривых по касательной. Радиусы кривизны в точках сопряжения в общем

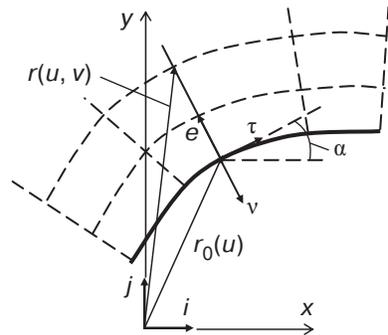
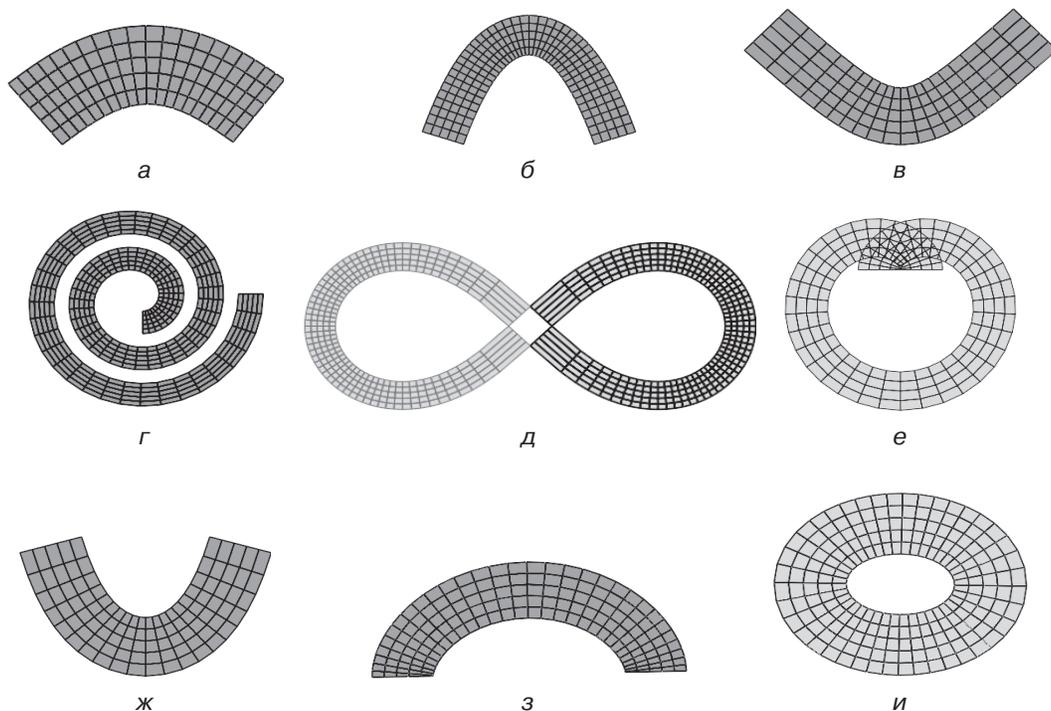


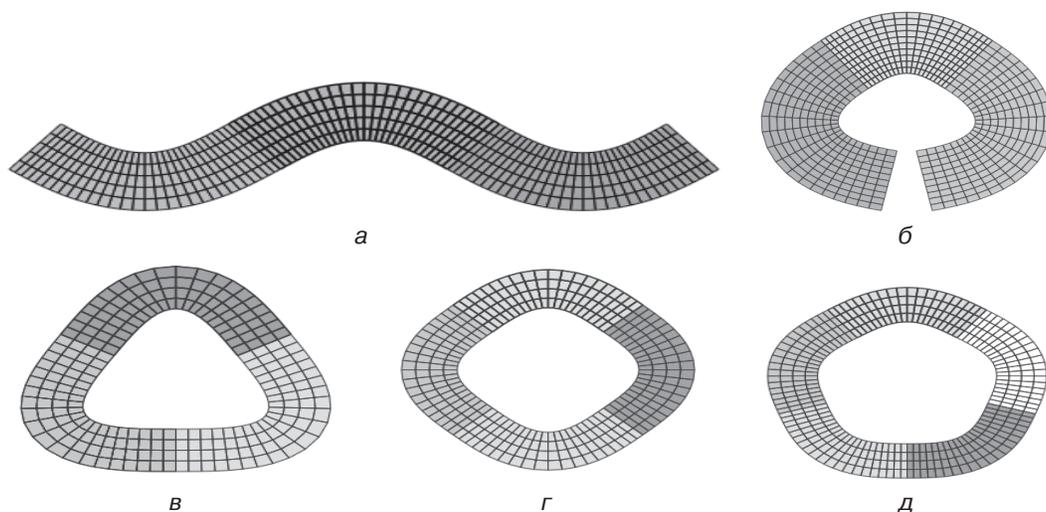
Рис. 1. Псевдо-полярная система координат [Fig. 1. False-polar coordinate system]

случае будут различны. На рисунке 3 приведены примеры комбинированных планов с базовой синусоидой (косинусоидой) из отсеков на одну полуволну синусоиды.



**Рис. 2.** Криволинейные планы с ортогональной системой координат и различными базовыми кривыми: а — синусоидой (косинусоидой) на одну полуволну; б — параболой; в — гиперболой; г — эвольвентой круга; д — лемнискатой Бернулли; е — кардиоидой; ж — цепной линией; з — циклоидой; и — эллипсом

[Fig. 2. Curvilinear plans with orthogonal coordinate system]



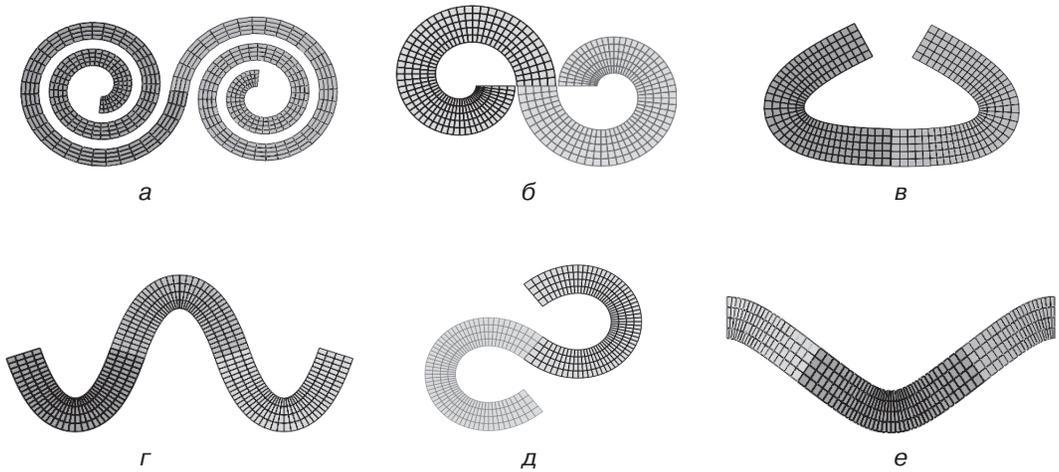
**Рис. 3.** Комбинированные планы из синусоидальных отсеков: а — комбинация отсеков проведена из отсеков с положительной и отрицательной амплитудой синусоиды; б–д — комбинированный план получен путем поворота начального отсека на угол пересечения торцевых прямых

[Fig. 3. Combined plans from sinusoidal compartments]

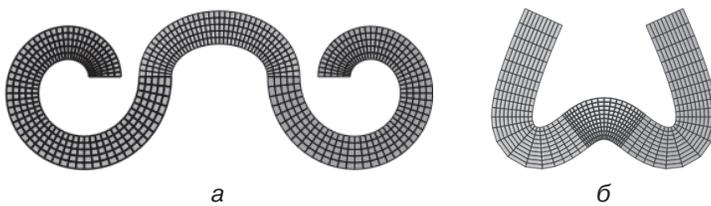
Отметим, что криволинейный синусоидальный план не может быть образован с синусоидой на две и больше полуволн, так как на четных полуволнах координатные прямые (для обеспечения непрерывности плана) пойдут в сторону вогнутости синусоиды и получится самопересекающаяся координатная система прямых.

Если угол пересечения торцов криволинейного отсека  $\theta$  не кратен  $2\pi$ , то получается незамкнутая криволинейная область комбинированного плана (рис. 3, б). Если угол  $\theta = 2\pi/k$  ( $k$  — целое число), то из  $k$  отсеков получаем замкнутый  $k$ -угольный криволинейный план (рис. 3, в—д).

Примеры комбинированных криволинейных планов на основе отсеков однотипных базовых кривых приведены на рисунке 4.



**Рис. 4.** Комбинированные планы из однотипных отсеков на основе базовых кривых: а, б — эвольвенты круга; в, г — равнобочной параболы; д — лемнискаты Бернулли; е — гиперболы  
 [Fig. 4. Combined plans from the same compartment]

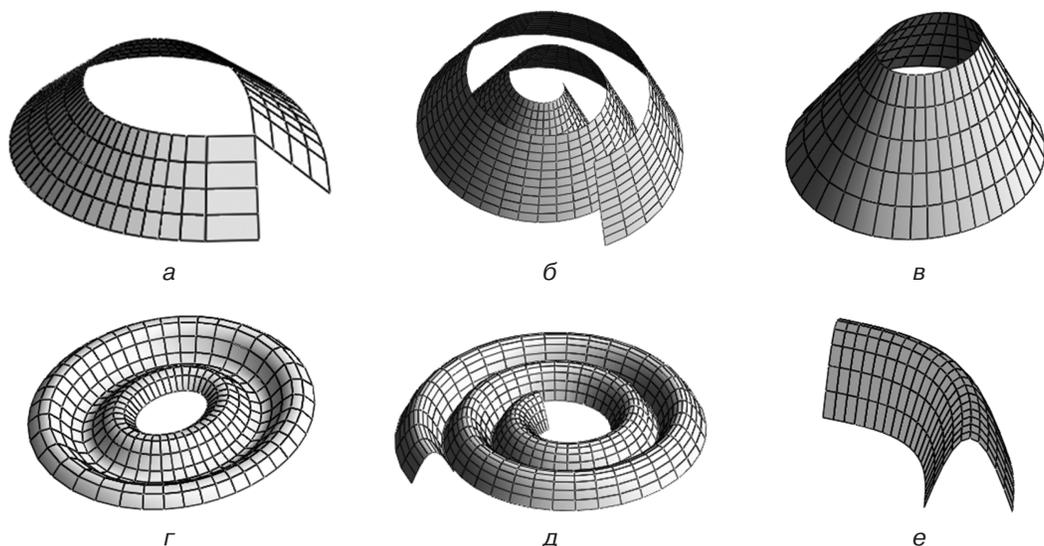


**Рис. 5.** Комбинированные планы из отсеков разного вида с различными базовыми кривыми: а — две эвольвенты круга и циклоида; б — синусоида и две неравнобочные параболы  
 [Fig. 5. Combined plans from compartments of different types]

На рисунке 5 показаны примеры комбинированных планов из отсеков с различными базовыми кривыми.

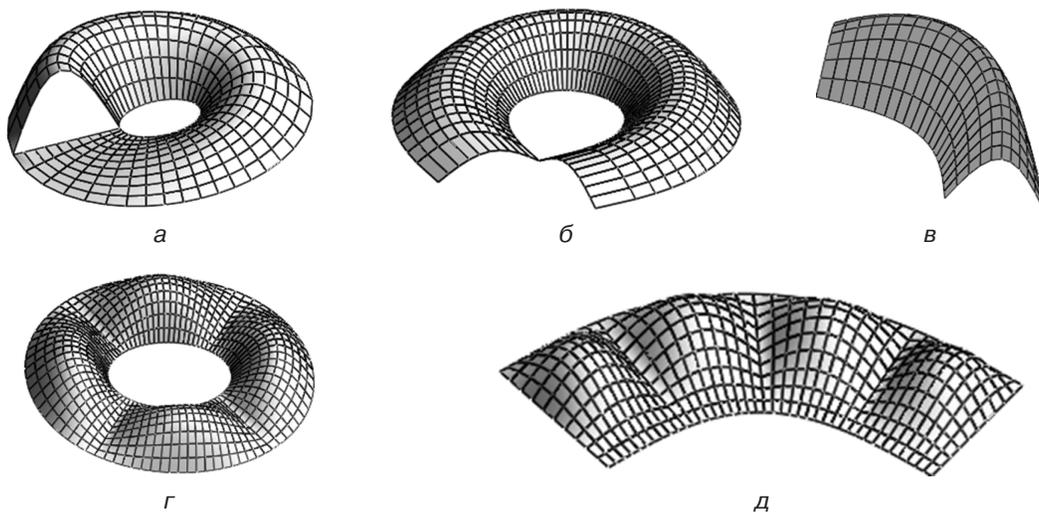
Приведенные примеры криволинейных планов дают возможность построения разнообразных видов поверхностей. Задаваясь функцией вертикальной координаты  $z(u, v)$ , получаем уравнение поверхности:

$$\rho(u, v) = r_0(u) + ve(u) + z(u, v)k. \tag{2}$$



**Рис. 6.** Резные поверхности Монжа с различными базовыми кривыми: а — лемниской Бернулли; б — эвольвентой круга; в — эллипсом; г — эллипсом, образующая — синусоида на три полуволны; д — эвольвентой круга, образующая — синусоида на одну полуволну; е — синусоидой, образующая — парабола

[Fig. 6. Carved Monge surfaces with different base curves]



**Рис. 7.** Поверхности с произвольной функцией образующей базовой кривой: а — эллипсом, образующая — синусоида с линейным изменением амплитуды; б — лемниской Бернулли, образующая — синусоида с линейным изменением амплитуды; в — синусоидой, образующая — синусоида с параболическим законом изменением амплитуды; г — эллипсом; д — синусоидой, образующие синусоиды с изменениями амплитуды вдоль базовой кривой  $z(u, v) = a \sin(v) |\sin(ku)|$ ; для эллипса  $k = 1, 0 \leq u \leq 2\pi$ ; для синусоиды  $k = 2, 0 \leq u \leq \pi$

[Fig. 7. Surfaces with an arbitrary function of the generating curve]

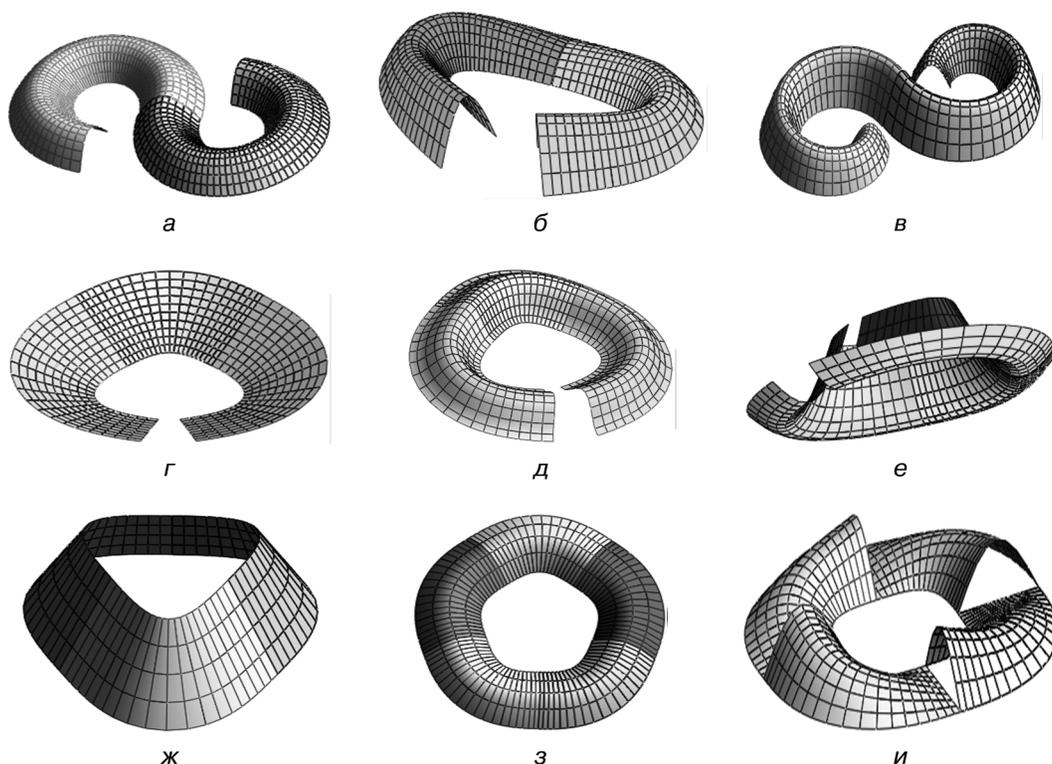
Если функция вертикальной координаты будет функцией только параметра  $v$ , то получим резную поверхность Монжа [7—9] — образующая кривая не изменится при движении в нормальной плоскости базовой кривой. Если образующей будет прямая линия  $-z = cv$ , то получаем поверхность одинакового ската — тор-

совую, развертывающую поверхность. Поверхность одинакового ската относится к классу резных поверхностей Монжа. Поверхностная система координат резных поверхностей Монжа является линиями главных поверхностей. При произвольной функции  $z = z(u, v)$  координатная система поверхности будет неортогональной и несопряженной — не являясь системой главных кривизм поверхности.

Формы резных поверхностей Монжа с различными базовыми кривыми представлены на рисунке 6.

На рисунке 7 представлены поверхности с функцией вертикальной координаты общего вида  $z = z(u, v)$ .

Далее на рисунке 8 приведены поверхности на комбинированных планах из сегментов одного типа (см. рис. 3, 4).



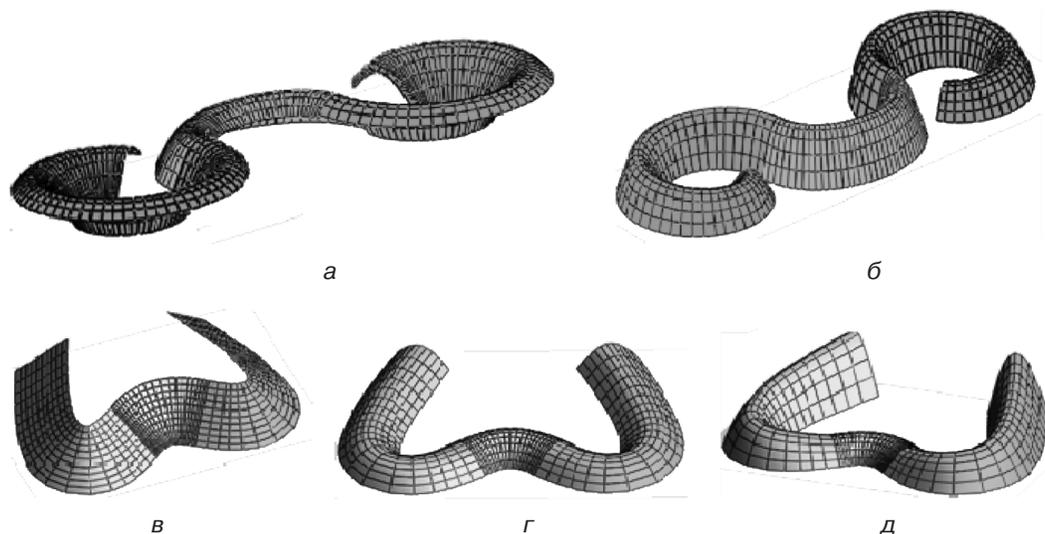
**Рис. 8.** Поверхности на комбинированных планах с сегментами одного типа с базовыми кривыми: а — лемниской Бернулли; б — равнобочной параболой; в — эвольвентой круга. Образующие — синусоиды на одну полуволну: а — постоянная амплитуда; б, в — линейно изменяющаяся амплитуда; г–и — комбинированные планы из отрезков с поворотом образующей синусоиды; г–е — незамкнутый комбинированный план; ж–и — замкнутые планы с различным количеством сегментов.

Образующие: г, ж — наклонные прямые; д — косинусоида на две полуволны; е — наклонная синусоида; з — синусоида с постоянной амплитудой; и — синусоида с линейно меняющейся амплитудой — отсеки поверхности не сопряжены на границах сегментов плана

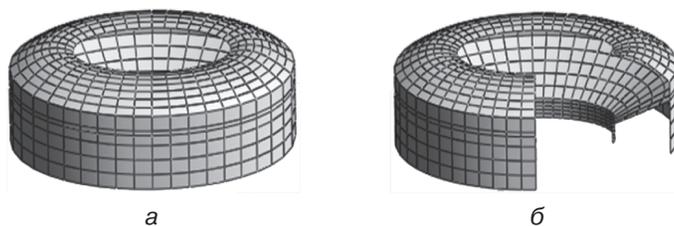
[Fig. 8. Surfaces on combined plans with segments of the same type]

На рисунке 9 приведены поверхности на комбинированных планах из сегментов различных видов плана (см. рис. 5): а — образующая кривая на всех сегментах плана наклонная синусоида; б — образующая на сегментах с базовой эвольвентой

круга — синусоида с линейным изменением амплитуды, на участке с базовой циклоидой синусоида с постоянной амплитудой равной амплитуде синусоиды сопрягаемых сегментов на грани сопряжения;  $v$  — на всех участках образующая прямая линия — поверхность одинакового ската;  $z$  — синусоида с постоянной амплитудой — резная поверхность Монжа;  $d$  — на среднем участке (базовая кривая синусоида) образующая кривая синусоида с постоянной амплитудой, на краевых участках (базовые кривые — неравнобочные параболы) образующие кривые синусоиды с линейно меняющейся амплитудой (начальная амплитуда равна амплитуде синусоиды среднего участка).



**Рис. 9.** Поверхности на комбинированных планах с сегментами разного типа (а–д)  
[Fig. 9. Surfaces on combined plans with segments of different types]



**Рис. 10.** Пространственная конструкция спортивного комплекса (а, б)  
[Fig. 10. Spatial construction of a sports complex]

На рисунке 10 приведена пространственная конструкция спортивного сооружения с базовым эллипсом с прямолинейной (трибуны) и синусоидальной (покрытие) образующими и цилиндрическими опорными стенками. На данном примере показана возможность конструирования пространственных сооружений с различными образующими кривыми на одном отрезке криволинейного плана.

Приведенные примеры планов и поверхностей показывают большие возможности формообразования поверхностей на криволинейных планах для создания новых конструктивных форм в архитектуре современного градостроительства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Иванов В.Н.* Архитектурные композиции на основе поверхностей Кунса // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2007. № 4. С. 5—10.
- [2] *Иванов В.Н., Романова В.А.* Конструкционные формы пространственных конструкций. Визуализация поверхностей в системах “MathCad” и “AUTOCad”: монография. М.: Изд-во АСВ, 2016. 412 с.
- [3] *Steven A. Coons.* Surfaces for Computer-Aided Design in Space Form. Massachusetts Institute of Technology Cambridge, MA, USA, 1967.
- [4] *Иванов В.Н.* Линейчатые поверхности на заданных опорных кривых // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2015. № 3. С. 9—16.
- [5] *Иванов В.Н.* Геометрия и формообразование модифицированных поверхностей Кунса // *Вестник Российского университета дружбы народов. Сер.: Инженерные исследования*. 2011. № 2. С. 85—90.
- [6] *Иванов В.Н.* Формообразование поверхностей на заданных криволинейных планах // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2017. № 3. С. 3—8.
- [7] *Monge G.* Memoire sur l'entegrationsde quelques equations aux derives partielles. Mem. Ac. sci. 1787. 309 p.
- [8] *Иванов В.Н., Ризван Мухаммад.* Геометрия резных поверхностей Монжа и конструирование оболочек // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений: Межвузовский сборник научных трудов. Вып. 11.* М.: Изд-во АСВ, 2002. С. 27—36.
- [9] *Bulca B., Arslan K.* “Surfaces Given with the Monge Patch in E4E4”. *Журн. матем. физ., анализ, геом.*, 9:4, p. 435—447. (2013).

© Иванов В.Н., Имомназаров Т.С., Фархан И.Т., 2017

### История статьи:

Дата поступления статьи: 14 сентября 2017

Дата принятия статьи к печати: 10 октября 2017

### Для цитирования:

**Иванов В.Н., Имомназаров Т.С., Фархан И.Т.** Ортогональная криволинейная система координат и построение поверхностей на трапециевидно-криволинейных планах // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: «Инженерные исследования»*. 2017. Т. 18. № 4. С. 518—527. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-518-527

### Сведения об авторах:

*Иванов Вячеслав Николаевич*, доктор технических наук, профессор департамента архитектуры и строительства инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Область научных интересов:* геометрия, формообразование поверхностей и методы расчета тонкостенных конструкций сложных форм. *Контактная информация:* E-mail: i.v.ivn@mail.ru

*Имомназаров Тимур Соибназарович*, аспирант департамента архитектуры и строительства инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Область научных интересов:* строительная механика, геометрия, формообразование поверхностей и методы расчета тонкостенных конструкций сложных форм. *Контактная информация:* E-mail: timur-imomnazarov@mail.ru

*Исмаил Таха Фархан*, аспирант департамента архитектуры и строительства инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Область научных интересов:* строительная механика, геометрия, формообразование поверхностей и методы расчета тонкостенных конструкций сложных форм. *Контактная информация:* E-mail: ismael.civilengineer@gmail.com

## ORTHOGONAL CURVED COORDINATE SYSTEM AND FORMING THE SURFACES ON TRAPEZIUM-CURVED PLANS

V.N. Ivanov, T.S. Imomnazarov, I.T. Farhan

Peoples' Friendship University of Russia  
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

Thin space constructions on curved plans there are used at building of public structures, trade centers. Sport constructions. Working-out the methods of forming of the surfaces on the curved plans that is one of the modern task of the architecture and town building. The orthogonal coordinate system that is formed at the plane with some plane directrix curve and the system of the right lines orthogonal to the directrix curve there is regarded at the stat. The coordinate system forms some trapezium-curved segment. Taking some function of the vertical coordinate there is possible to receive different surfaces at the curved plans. Conjugating different directrix curves, it's possible to receive the combined surfaces. The article presents a system of orthogonal coordinates of curvilinear-trapezoidal planes and methods for forming surfaces on these planes. Surfaces with a function of the vertical coordinate of a general view are considered, and surfaces on combined plans of segments of the same type are shown.

**Key words:** plane curve, orthogonal curved coordinate system, curved promethium plan, forming of the surfaces on curved plans

### REFERENCES

- [1] Ivanov V.N. Architectural compositions on the base of Coons surfaces. — *Structural mechanics of engineering constructions and buildings*. 2007. No. 4. P. 5—10.
- [2] Ivanov V.N., Romanova V.A. Constructive forms of space constructions. Visualization of the surfaces at the systems “MathCad” and “AUTOCad”: monograph. Moscow: Izd-vo ASV, 2016. 412 p.
- [3] Steven A. Coons. *Surfaces for Computer-Aided Design in Space Form*. Massachusetts Institute of Technology Cambridge, MA, USA, 1967.
- [4] Ivanov V.N. Ruled surfaces on the given supporting curves. *Structural mechanics of engineering constructions and buildings*. 2015. No. 3. P. 9—16.
- [5] Ivanov V.N. Geometry and forming of the modified Coons surfaces. *Vestnik of Peoples' Friendship University of Russia. Ser.: Engineering investigations*. 2011. No. 2. P. 85—90.
- [6] Ivanov V.N. The forming of the surfaces on the curved counter planes. *Structural mechanics of engineering constructions and buildings*. 2017. No. 3. P. 3—8.
- [7] Monge G. Memoire sur l'entegrationsde quelques equations aux derives partielles. *Mem. Ac. sci.* 1787. 309 p.
- [8] Ivanov V.N. Geometry of Monge surfaces and construction of the shells. *Structural mechanics of engineering constructions and buildings. Mezhhuzovskie sbornic of science works. Vip. 11.* Moscow: Izd-vo ASV, 2002. P. 27—36.
- [9] Bulca B., Arslan K. (2013) Surfaces Given with the Monge Patch in  $E^4$ . *Jour. Math. phis., Analit., Geom.* 9(4). P. 435—447.

#### Article history:

Received: 14 September 2017

Accepted: 10 October 2017

#### For citation:

Ivanov V.N., Imomnazarov T.S., Farhan I.T. (2017) Orthogonal curved coordinate system and forming the surfaces on trapezium-curved plans. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 18(4), 518—527. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-518-527

**Bio Note:**

*Vyacheslav Nikolaevich Ivanov*, doctor of technical science, professor of department of architecture and building of Peoples' friendship university of Russia. *Research interests*: geometry, forming and methods of design of the thin space constructions of complex forms. *Contact information*: E-mail: i.v.ivn@mail.ru

*Timur Soibnazarovich Imomnazarov*, post — graduated student of department of architecture and building of Peoples' friendship university of Russia. *Research interests*: construction mechanics, geometry, surface shaping and methods for calculating thin-walled structures of complex shapes. *Contact information*: E-mail: timur-imomnazarov@mail.ru

*Ismael Taha Farhan*, post — graduated student of department of architecture and building of Peoples' friendship university of Russia. *Research interests*: construction mechanics, geometry, surface shaping and methods for calculating thin-walled structures of complex shapes. *Contact information*: E-mail: ismael.civilengineer@gmail.com



DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-4-528-533

УДК 725

## РАЗМЕЩЕНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЖИЛЫХ КОМПЛЕКСОВ В УСЛОВИЯХ ГОРОДОВ В ОБЪЕДИНЕННЫХ АРАБСКИХ ЭМИРАТАХ

А. Иншаси

Российский университет дружбы народов  
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В статье рассмотрены особенности размещения многофункциональных жилых комплексов различных типов в условиях городов ОАЭ. При существующей социальной дифференциации в современном обществе назрела необходимость в проектной разработке и внедрении МФЖК, отвечающих потребностям различных социальных слоев. Все современные МФЖК в ОАЭ с обслуживанием предназначены исключительно для людей с высоким уровнем доходов. При этом, практически, отсутствуют МФЖК с обслуживанием для людей с небольшим и средним уровнем доходов. Постоянно меняющиеся социально-экономические условия жизнедеятельности подталкивают к поиску новых перспективных путей усовершенствования многофункционального жилища и обслуживания при нем.

Автором описаны оптимальные характеристики различных типов МФЖК для различных социальных групп населения и размещение МФЖК в зависимости от распределения этих социальных групп на территории городов ОАЭ. Рассмотрены МФЖК для людей с высоким и средним уровнем достатка. Проведя анализ ограниченной выборки жилых строений различных Эмиратов ОАЭ, выявлена закономерность, указывающая на оптимальную жилую площадь на одного человека в ОАЭ. Кроме того, предложены оптимальные функциональные составляющие для каждого вида таких жилых комплексов. Рассмотрены критерии размещения их на разных территориях городов.

**Ключевые слова:** многофункциональный жилой комплекс, МФЖК, Объединенные Арабские Эмираты, ОАЭ, жилой комплекс, размещение МФЖК

Размещение многофункциональных жилых комплексов (МФЖК) в городской жилой среде позволяет решать многие архитектурно-планировочные, градостроительные и социально-экономические задачи развития городов.

При существующей социальной дифференциации в современном обществе назрела необходимость в проектной разработке и внедрении МФЖК, отвечающих потребностям различных социальных слоев [1].

Все современные МФЖК в ОАЭ с обслуживанием предназначены исключительно для людей с высоким уровнем доходов. При этом, практически, отсутствуют МФЖК с обслуживанием для людей с небольшим и средним уровнем доходов. Постоянно меняющиеся социально-экономические условия жизнедеятельности подталкивают к поиску новых перспективных путей усовершенствования многофункционального жилища и обслуживания при нем.

МФЖК для людей с высоким уровнем доходов, целесообразно размещать в центральной части города, так как это наиболее дорогие участки в городе, которые весьма удобны для проживания. Строительство комплексов такого типа скорее будет вестись на реконструируемых территориях поэтому комплекс такого типа может иметь небольшие размеры территории — около 1 га и она должна быть закрыта и благоустроена [1]. Наиболее вероятный, несмотря на градостроительную ситуацию, тип функционирования такого МФЖК — закрытый. При этом в состав обслуживающих учреждений такого комплекса могут быть включены не только салоны красоты, приемные пункты прачечной, химчистки и др., но и не характерные для обычных жилых комплексов учреждения, такие как рестораны, кинотеатры, театры для жителей комплекса, бассейны, оранжереи и др. Учреждения обслуживания могут размещаться не только на первых этажах жилых домов и на территории комплекса, но и непосредственно на квартирных этажах. Это могут быть как учреждения обслуживания, так и рекреации [2].

Один из ярких примеров МФЖК для людей с высоким уровнем доходов — МФЖК «Бурдж Халифа» в г. Дубаи. Здание представляет собой небоскреб высотой 828 м и является одним из самых высоких сооружений в мире. «Бурдж-Халифа» размещен в центральной части города и служит ключевым элементом нового делового центра в Дубае. Внутри комплекса размещены: отель, квартиры, офисы и торговые центры. Здание имеет три отдельных входа: вход в отель, вход в апартаменты и вход в офисные помещения. На разных этажах расположены тренажерные залы, бассейны, смотровые площадки с джакузи, рестораны.

Жилой комплекс *для людей со средним уровнем доходов* также может размещаться в зоне, прилегающей к центру города. Жилые комплексы такого типа располагаются как в центральной части, так и на периферии, так как данная категория населения наиболее заинтересована в том, чтобы максимально быстро добраться до мест работы, учебы, каких-либо деловых центров [1; 2]. Комплексы этого типа могут занимать довольно обширные территории в среднем до 5 га. При этом наиболее характерный тип функционирования этого комплекса — полузакрытый. В комплексах этого типа наиболее характерно размещение учреждений обслуживания, которые максимально позволяют сократить временные затраты для современного человека — продуктовые магазины, салоны красоты, химчистки, фитнес-центры, детские сады, различные секции для детей и обязательные парковки. Наиболее целесообразно размещение обслуживаний в стилобатной части жилых домов и в отдельностоящих зданиях на территории комплекса, причем, все учреждения, находящиеся в отдельностоящих зданиях, должны быть доступны не только жильцам комплекса.

Жилой комплекс, предназначенный *для проживания людей с высоким и средним уровнями доходов* располагается в центральной части города. По мнению социологов, наиболее редко случаются конфликты между смежными социальными категориями, таким образом, в городах ОАЭ возможно объединить в одном комплексе дома, предназначенные для людей с высоким и средним уровнем доходов. Данные комплексы желательно размещать в центральной части города. При этом обслуживание все-таки осуществляется разделено, таким образом — учреждения,

нехарактерные для жилых комплексов, предназначенные исключительно для людей с высоким уровнем доходов, должны размещаться в структуре домов, предназначенных данной категории населения, и быть доступны исключительно жильцам данных домов. Остальные учреждения могут размещаться в домах людей со средним уровнем доходов и в отдельностоящих зданиях на территории комплекса, при этом учреждения в отдельностоящих зданиях должны располагаться на периферии комплекса и быть доступны не только жильцам. Состав учреждений обслуживания должен быть выявлен с учетом потребностей данных категорий населения и с учетом градостроительной ситуации.

Наиболее целесообразным можно считать следующее размещение обслуживающих учреждений по уровням: в подземном уровне — автостоянки; уровень земли — офисные и торговые учреждения, основные группы входных вестибюлей для жилых групп помещений, досуговые учреждения; выше — жилые уровни; на крыше — зеленые пространства общего пользования. Часть учреждений располагается на территории жилого комплекса и является доступной людям со средним и низким уровнями доходов, а также проживающим в прилегающих к комплексу кварталах. Учреждения обслуживания, предназначенные для людей с высоким уровнем доходов, — система обслуживания закрытая. Все учреждения обслуживания располагаются в структуре жилого дома, доступны исключительно жильцам дома.

МФЖК такого типа в большинстве эмиратов ОАЭ (Дубаи, Шарджа) являются центром жилой группы находятся в более благоприятных условиях, чем остальные дома жилого комплекса. Тип дома — башенный, все учреждения обслуживания связаны вертикальной связью со всеми жилыми квартирами и дополнительных связей не требуется. Дом такого типа имеет развитые нижние этажи, в которых размещается все обслуживание, за исключением торговли. По всей высоте дома (на каждом этаже или через этаж) должны располагаться рекреационные зоны с салонами и общественными помещениями для отдыха жильцов.

При возведении новых МФЖК в черте города необходимо произвести расчет количественных характеристик жилой группы [3; 4]. В случае, когда изначально задана площадь участка МФЖК, необходимо определить среднюю плотность жилого фонда для данной жилой группы, которая отражает общую жилую площадь в квадратных метрах на единицу территории жилой группы. После этого можно получить плотность жилого фонда по формуле  $P_{\text{жил.ф.}} = S_{\text{жил.общ.}}/S_{\text{участка}}$  [4], где  $S$  — площади, соответственно: жилая общая; участка,  $\text{м}^2$ .

Большинство МФЖК в эмирате Дубаи расположены на площадях свыше пределов 3—4 га. В среднем, площадь застройки МФЖК в ОАЭ составляет 7 га. При этом, этажность зданий в структуре МФЖК, как правило, превышает 5—6 этажей, а чаще представляет собой многоэтажные корпуса.

Получив это значение и зная нормативную жилую площадь на 1-го человека, можно варьировать население данной жилой группы.

Однако следует учитывать, что в эмиратах ОАЭ, жилая площадь на 1-го человека практически всегда значительно превышает принятую в Европейских странах и России. Проведя анализ ограниченной выборки жилых строений различных

Эмиратов ОАЭ, выявлена закономерность, указывающая на то, что в среднем, жилая площадь на 1-го человека в ОАЭ составляет 24 м<sup>2</sup>:

$$S_{\text{ж.ф.}} = \Pi_{\text{жил.ф.}} \times S_{\text{участка}},$$

где  $S_{\text{ж.ф.}}$  — общая площадь жилого фонда;  $\Pi_{\text{жил.ф.}}$  — средняя плотность жилого фонда;  $S_{\text{участка}}$  — площадь участка жилой застройки

$$N_{\text{жит}} = S_{\text{ж.ф.}} / S_{\text{норм}} \text{ (полученное число округляется до целого значения),}$$

где  $N_{\text{жит}}$  — количество жителей;  $S_{\text{норм}}$  — нормируемая общая площадь на одного жителя.

С учетом планирующейся этажности домов и числа секций в них, имея вычисленные значения, есть возможность рассчитать количество домов определенной этажности и тем самым задавать уровень и категорию МФЖК [4; 5]. Плотность жилого поселения увеличивается при увеличении этажности.

Проектно-планировочные материалы при составлении генерального плана населенного места включают в свой состав систему мероприятий, к которым относятся: наиболее благоприятное размещение на территории МФЖК общественных зданий, производственных и хозяйственных предприятий и других элементов населенных мест; рациональная организация рельефа местности; создание системы культурно-бытового обслуживания; оснащение инженерными сетями и оборудованием; архитектурно-художественное решение отдельных ансамблей и населенного места в целом. Все эти мероприятия взаимосвязаны и решаются комплексно с учетом экономических требований. Градостроительное проектирование предопределяет архитектурно-планировочную структуру города, его функциональное зонирование, архитектурный облик и единую улично-дорожную сеть [4; 5]. Архитектурно-планировочная структура — взаимное расположение частей города в плане — определяется его размером, характером климатических условий и особенностями градообразующих структур. При этом различаются города компактной, расчлененной и рассредоточенной структуры [5]. Компактная структура присуща малым и средним городам ОАЭ при их расположении на спокойном рельефе.

Расчлененная структура характерна для средних и крупных городов ОАЭ. Расчленяющими факторами служат природные особенности территории (заливы на побережье, горы, островные территории), включения внешнего транспорта или промышленного предприятия, выделяющие значительные вредности. Рассредоточенная структура присуща городам, для которых градообразующей основой послужили предприятия нефтедобывающей промышленности. Они требуют сохранять незастроенными отдельные участки территории в местах залежей полезных ископаемых). Иногда рассредоточенную структуру имеют города, расположенные на сильно пересеченной гористой местности [5]. В проекте планировки и застройки города предусматривается членение его территории на функциональные зоны (функциональное зонирование) — жилую, промышленную зону, коммунально-складскую, зону внешнего транспорта, мест отдыха населения (парковая зона) и санитарно-защитную.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Вильковский М. Социология архитектуры. М.: Фонд «Русский авангард», 2010. 592 с.
- [2] Гельфонд А.Л. Архитектурное проектирование общественных зданий и сооружений. М.: Архитектура-С, 2007. 71 с.
- [3] Каздым А.А., Разин А.Д. Социально-экологические основы архитектурного проектирования: метод. указания к изучению курса. М.: РУДН, 2008. 21 с.
- [4] Карташова К.К. Формирование архитектурно-планировочной структуры городского жилища на социально-демографической основе: автореф. дисс. ... д-ра архитектуры. М., 1985. 42 с.
- [5] Кияненко К.В. Архитектура и социальное моделирование жилища: дисс. ... д-ра архитектуры. Вологда, 2005. 70 с.

© Иншаси А., 2017

### История статьи:

Дата поступления в редакцию: 12 августа 2017

Дата принятия к печати: 1 октября 2017

### Для цитирования:

Иншаси А. Размещение многофункциональных жилых комплексов в условиях городов в Объединенных Арабских Эмиратах // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: «Инженерные исследования». 2017. Т. 18. № 4. С. 528—533. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-528-533

### Сведения об авторе:

Иншаси Ахмед, аспирант департамента архитектуры и строительства инженерной академии Российского университета дружбы народов. Область научных интересов: архитектура стран Ближнего Востока. Контактная информация: E-mail: ahmed2008.82@mail.ru

## LOCATING MULTIFUNCTIONAL RESIDENTIAL COMPLEXES IN THE CITIES OF UNITED ARAB EMIRATES

A. Inshasi

Peoples' Friendship University of Russia  
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

The article deals with the features of locating multi-functional residential complexes of various types in the urban conditions of the UAE. With the existing social differentiation in modern society, there is a need for design development and implementation of multi-functional residential complexes. All modern multi-functional residential complexes with services in the UAE are designed exclusively for people with high income. At the same time, practically, there are no multi-functional residential complexes with services for people with a small or medium income level. Constantly changing socio-economic factors of human life push to search for new promising ways to improve multi-functional housing and associated services.

The author describes the optimal characteristics of different types of multi-functional residential complexes for different social groups of the population and the location of the multi-functional residential complexes depending on the distribution of these social groups in the cities of the UAE.

Multi-functional residential complexes for people with high and medium incomes are considered. Through analyzing a limited sample of residential structures from various Emirates of the UAE, a regularity has been observed, indicating an optimal residential area per person in the UAE. In addition, optimal functional components for each type of such residential complexes are proposed. The criteria for locating them on different territories of cities are considered.

**Key words:** multifunctional residential complex, United Arab Emirates, residential complex, locating multifunctional residential complexes

## REFERENCES

- [1] Vil'kovskii M. *Sotsiologiya arkhitektury* [Sociology of architecture]. M.: Fond «Russkii avangard», 2010. 592 s. (in Russ.)
- [2] Gel'fond A.L. *Arkhitekturnoe proektirovanie obshchestvennykh zdaniy i sooruzhenii* [Architectural design of public buildings and facilities]. M.: Arkhitektura-S, 2007. 3—271 s. (in Russ.)
- [3] Kazdym A.A., Razin A.D. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniju kursa «Social'no-jekologicheskie osnovy arkhitekturnogo proektirovaniya»* [Instructional guidelines for “Socio-ecological fundamentals of architectural design” course] M.: Izdatel'stvo Rossijskogo universiteta druzhby narodov, 2008. 21 s. (in Russ.)
- [4] Kartashova K.K. *Formirovanie arkhitekturno-planirovochnoj struktury gorodskogo zhilishha na social'no-demograficheskoj osnove: avtoref. diss. ... d-ra arkhitektury* [Organizing architectural planning structure of residential facilities based on social demographics: doctoral thesis]. M., 1985. 42 s. (in Russ.)
- [5] Kijanenko K.V. *Arhitektura i social'noe modelirovanie zhilishha: diss. ... d-ra arkhitektury* [Architecture and social modelling of housing: doctoral thesis]. Vologda, 2005. 12—370 s. (in Russ.).

### Article history:

Received: 12 August 2017

Accepted: 1 October 2017

### For citation:

Inshasi A. (2017) **Locating multifunctional residential complexes in the cities of United Arab Emirates.** *RUDN Journal of Engineering Researches*, 18(4), 528—533. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-528-533

### Bio Note:

Ahmed Inshasi, Postgraduate student at Architecture and Urban Development Department, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia. *Research interests:* Architecture of Arabic countries. *Contacts informations:* E-mail: ahmed2008.82@mail.ru



DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-4-534-540

УДК 72.023

## ОРИГИНАЛЬНОЕ ПРОЕКТНОЕ РЕШЕНИЕ МАЛОГО РЕКРЕАЦИОННО-ТУРИСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

В.М. Шувалов<sup>1</sup>, Кази Шибли Суман<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Московский архитектурный институт (Государственная академия)

*Б. Дмитровка, 24, стр. 1, Москва, Россия, 107031*

<sup>2</sup> Российский университет дружбы народов

*ул. Миклухо-Маклая, 6, 117193, Москва, Россия, 117193*

В статье рассматривается архитектурный проект рекреационно-туристического комплекса «Школа путешественников Федора Конюхова» в Домодедовском районе Московской области близ села Битягово. В работе отмечаются проблемы качества рекреационных пространств и их организации для подростков. Проводится анализ необходимых мер по организации таких пространств на базе донного проекта, где будет проводиться обучение и подготовка детей и их родителей к семейным путешествиям. Рассмотрена основная концепция архитектурного формирования комплекса, даны технические характеристики проекта, определены цели проекта. Проект «Поляна слетов» решает следующие задачи: нравственное воспитание и духовное развитие; популяризация здорового образа жизни и туризма; военно-патриотическое воспитание молодежи в духе преданности и любви к своей Родине; физическая подготовка детей и молодежи к сложным походам и экспедициям; развитие творческих и спортивных талантов у детей; помощь молодежи в определении своего жизненного пути. В планах инвесторов проекта: культурно-массовые мероприятия; организация слетов молодежных групп со всех уголков России; торжественное празднование знаменательных исторических дат; проведение тематических фестивалей и выставок; смотры-конкурсы и поиски новых талантов; состязания и соревнования; создание Музея путешественников и Российской Аллеи Славы; создание детского театра; занятия астрономией со специалистами, мастер-классы; высаживание и изучение деревьев, кустарников, травянистых растений, в том числе лекарственных.

**Ключевые слова:** рекреационно-туристический комплекс, архитектурная концепция, технические характеристики проекта

Проект<sup>1</sup> по возрождению<sup>2</sup> поляны слетов обусловлен ее историей, географическим положением и необходимостью создания центра духовного, спортивного,

---

<sup>1</sup> Архитектурный проект Поляны слетов «Базовый лагерь Школы путешественников Фёдора Конюхова» выполнен объединенной группой студентов — архитекторов: Московского архитектурного института (Государственной академии) и Российского университета дружбы народов. Научные руководители — доцент В.М. Шувалов и доцент Е.В. Малая.

<sup>2</sup> В советское время лесная поляна уже использовалась туристам и любителями загородного отдыха, многие поколения добрым словом вспоминают это замечательное место. Поляна удобно расположена по отношению к столице. Чтобы добраться из центра Москвы до лесной опушки потребуется чуть больше часа.

культурного и военно-патриотического воспитания молодежи. Поляна расположена вблизи села Битягово<sup>1</sup> на берегу р. Рожайки, впитывающей в себя воды родников, недалеко от уникального Серафимо-Знаменского скита. Земельный участок представлен поляной с единичными деревьями сосны, березы, ольхи серой, ивы древовидной, ольхи черной, клена остролистного, вяза, яблони лесной, дуба низкоствольного.

Площадь застройки равна 4 га. Рельеф участка с перепадами высот 2,5 м, возрастание высоты от берега реки. На участке растут группы деревьев, которые сохранятся в процессе строительства, часть зеленых насаждений будет пересажена в более удобное место. При благоустройстве и озеленении прилегающей территории планируется использование современных архитектурных форм: устройство цветников, установка малых архитектурных форм, беседок и организация детских площадок.

Разработанный генеральный план участка, основан на исторически сложившихся закономерностях ландшафтного принципа планировки русских поселений, с учетом особенностей проектирования, существовавших на Руси до XVII века. Основным принцип которого, заключающегося в сохранении окружающего живописного пейзажа и создании композиционного силуэта территории [1—3].

Принятое архитектурно-планировочное решение учитывает положение участка и продиктовано топоосновой и зелеными насаждениями. Структура генерального плана выражается во взаимном размещении главных функциональных зон и системе связи между ними. Безусловно, центром композиции является храм, воплощающий духовное богатство, и окружающая его площадь, завершающаяся спуском к живописному мостику через реку. Рядом с общим кострищем, расположенным перед водной гладью Рожайки, будут проводиться праздничные мероприятия, сборы, пение у костра.

Весь участок ограждается оригинальным забором, при въезде планируется устройство домика охраны и парковки, передвижение транспорта по территории не предусмотрено. При этом ширина основных пешеходных связей 3,5 м, они могут использоваться как пожарный проезд. Второстепенные пешеходные дорожки — шириной от 80 до 140 см. Вдоль них будут проложены лотки для стока дождевых вод. Школа, спортивные тренажеры, амфитеатр и храм располагаются

<sup>1</sup> Село Битягово — одно из древнейших в Домодедовском районе. Находится в живописной местности, окруженной лесами, на берегу р. Рожайки — водной артерии, вдоль которой в старину расселялся русский народ. Битягово впервые упоминается в духовной грамоте великого князя Ивана Даниловича Калиты в 1339 году, возникло на месте поселения славян-вятичей, древние курганы которых находятся вблизи села. Старинное село Битяговское (так первоначально оно называлось по фамилии первых его владельцев Битяговских) было расположено на правом высоком берегу Рожайки и существовало до 1572 года. С XVII века на левом берегу Рожайки, вблизи села Константиново, существовала вотчина князей Ромодановских. В начале XIX века имение стало принадлежать семье Пржевальских. Великий русский путешественник Николай Михайлович Пржевальский очень любил эти красивые места. На р. Рожайке в давние времена была устроена водяная мельница. По преданию известно, что крестьяне со всей 30-верстовой округи на повозках доставляли сюда зерно для переработки его в муку, из которой выпекались дивные целебные хлеба. Мельница существовала до пятидесятых годов XX века.

в зоне видимости всех посетителей и возглавляют живописную застройку участка, в общей композиции выступают в роли доминант. В здании школы (культурно-образовательного центра) размещаются трапезная и выставочные пространства, а также необходимые для функционирования административно-хозяйственные, технические и вспомогательные помещения, на втором этаже — учебные и лекционные классы, мастерские. Проекты жилых домов для посетителей выполнены по примеру русской избы, являющейся самым удобным и комфортным жилищем в нашем климате.

Жилые блоки будут образовывать внутренние дворики с пространством для детских площадок. Убранство резных расписных фасадов выполнено в традициях жилых домов Русского Севера XVII—XVIII веков, это позволит будущим путешественникам почувствовать себя частью великой культуры. Использование русской деревянной резьбы создаст неповторимый образ каждого жилого дома с учетом современных требований к комфорту внутри помещений и к инсоляции спальных комнат. Перед входом в каждое жилище будут располагаться флагшток (знак командной общности), штурвал, якорь и рында (атрибуты рода путешественников). По возвращении домой путешественники будут рассказывать своим друзьям, как выбирали символы своего дома, сами наносили их на полотно и водружали его каждое утро на рассвете перед зарядкой. Неповторимое уютное убранство, необычная деревянная или кованая мебель запомнятся им навсегда.

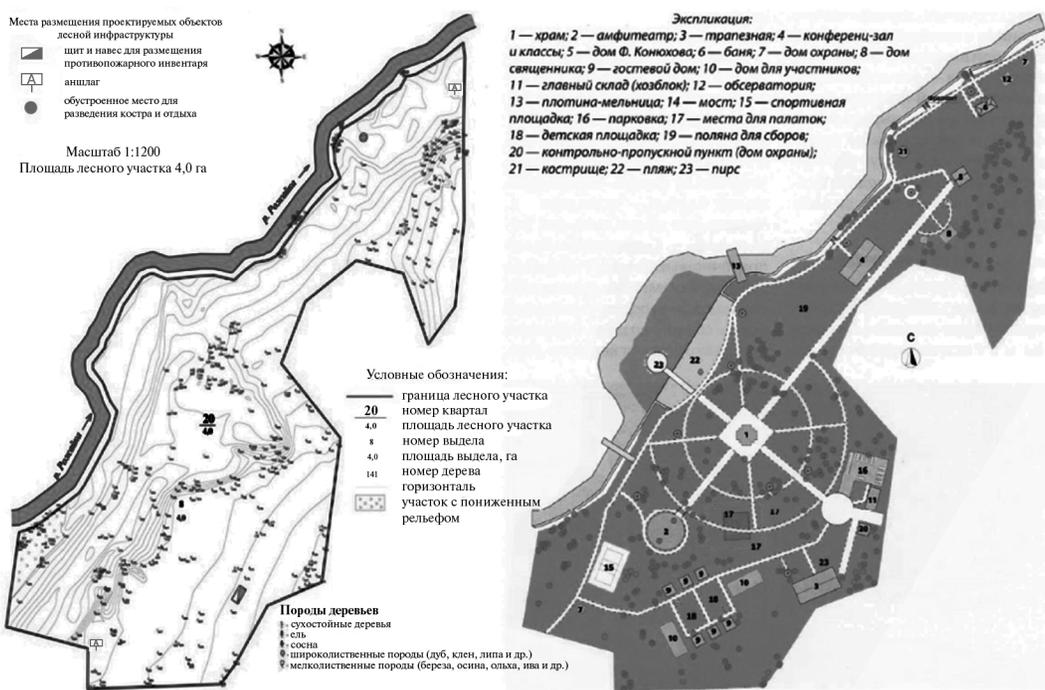
Для проведения различных мероприятий и театральных постановок, в которых живописные берега реки могут использоваться в качестве декораций, на территории «Поляны слетов» проектом предусмотрен открытый амфитеатр на 350 мест, вписанный в естественный рельеф (рисунки).

Между деревянными мостами на реке будут созданы запруда с мельницей, причал для небольших лодок и три комплекса спортивных тренажеров. Мельница поможет будущим путешественникам освоить основы механики и принципы мукомольного производства, а небольшая обсерватория — азы астрономии. На обособленной площади будет разбит участок для выращивания и изучения лекарственных растений, эти знания помогут ребятам в любой ситуации находить возможность оказать помощь себе и своим товарищам [4–6].

Инженерное обеспечение проекта предусматривает применение экологических и энергосберегающих решений. Предлагается выбор принципиальных схем вентиляции воздуха в помещениях с использованием рекуператоров в зависимости от назначения, режимов работы и места расположения помещений, характера и величины теплопотерь, количества людей. Вентиляция жилых блоков и помещений общественного назначения обеспечивается самостоятельными приточно-вытяжными системами с механическим побуждением, обеспечивающими подачу санитарной нормы свежего воздуха. Проектом предусмотрено освещение всех жилых и общественных зон, автостоянки, открытых и закрытых площадок [7].

Обустройство поляны принадлежит автономной некоммерческой организации духовного, спортивного и культурного развития населения «ГЛОБУС», совместно с Экспедиционным штабом Фёдора Конюхова при поддержке Русского гео-

графического общества воссоздается уникальный для России объект — «Поляна слетов» в Домодедовском районе. Одно из основных направлений развития «Поляны слетов» является создание базового лагеря Экспедиционного штаба и Школы путешественников Фёдора Конюхова, где будет проводиться обучение и всесторонняя подготовка детей и их родителей к семейным путешествиям, а также к сохранению и приумножению славного наследия наших предков. В походах дети становятся терпеливее, активнее, внимательнее друг к другу, бережнее относятся к природе. У них появляется возможность принятия самостоятельных решений, что дает ощущение реальной ответственности за дело, за себя, за свою семью. Путешествия повышают веру в собственные силы и возможности.



**Рисунок.** Ситуационный план и план комплекса «Поляна слетов» в Домодедовском районе Московской области

[Figure. Site plan and plan of complex "clearing rallies" in the Domodedovo district of the Moscow region]

Предложения по рекреационно-туристическому объекту — «Поляна слетов» заключаются в выделении территории на основе организации различных функциональных схем включенных в основные зоны поляна слетов. Функционально-планировочная организация комплекса содержит предложения по созданию единого многофункционального комплекса на рассматриваемой территории. Продуманное благоустройство территории и планировочные решения позволяют сделать ее любимой частью комплекса для подростков. Благоустройство территории проводится с помощью ландшафтных средств (в соответствии с принципом обратимости). Создаваемый многофункциональный комплекс станет не только туристическим, но и образовательным и развлекательным центром.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Поляна слетов Фёдора Конохова. Возврат к добрым традициям семейного туризма // Научно-технический и производственный журнал Технологии Интеллектуального Строительства. 2015. № 3. С. 59–62.
- [2] Шувалов В.М. Развитие рекреационной архитектуры в постиндустриальном обществе. Архитектурная наука и образование // Научная конференция МАРХИ. Т. IV. М.: Архитектура-С, 2003. С. 198–202.
- [3] Шувалов В.М. Развитие форм придорожных рекреационных комплексов. М.: Архитектура-С, 2012. 224 с.
- [4] Шувалов В.М., Шибли Кази Суман. Основы системного формирования рекреационно-туристического кластера // Тр. МАРХИ: Материалы Межд. науч.-практ. конф. «Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАРХИ», 3–7 апреля 2017 г. М.: МАРХИ. С. 320–322.
- [5] Шибли Кази Суман, Ахмед Иншаси. Методы системного подхода к формированию рекреационно-туристического кластера // Межд. науч.-практ. конф. «Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАРХИ» Тезисы докл. Межд. науч.-практ. конф. профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов. Т. 2. М.: МАРХИ, 2016. С. 47–49.
- [6] Shuvalov V.M. (2017) Synergistic Methods in the Development of Modern Roadside Objects Architecture. *Architecture and Modern Information Technologies*. No. 4(41). Pp. 257–271. Available at: [http://marhi.ru/eng/AMIT/2017/4kvart17/19\\_shuvalov/index.php/](http://marhi.ru/eng/AMIT/2017/4kvart17/19_shuvalov/index.php/)
- [7] Шувалов В.М., Шибли Кази Суман. Типологические особенности объемно-планировочной структуры объектов РТК // Межд. науч.-техн. конф. «Современные Технологии в Мирном научном пространстве». 2017. С. 152–157.

© Шувалов В.М., Кази Шибли Суман, 2017

### История статьи:

Дата поступления в редакцию: 22 сентября 2017

Дата принятия к печати: 17 октября 2017

### Для цитирования:

Шувалов В.М., Кази Шибли Суман. Оригинальное проектное решение малого рекреационно-туристического комплекса // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: «Инженерные исследования»*. 2017. Т. 18. № 4. С. 534–540. DOI: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-534-540

### Сведения об авторах:

*Шувалов Василий Максимович*, кандидат архитектуры, доцент, профессор кафедры архитектуры сельских населенных мест Московского архитектурного института (Государственная академия). *Область научных интересов:* рекреационно-туристические комплексы в придорожном и межселенном пространстве. *Контактная информация:* E-mail: shuvvasilij@yandex.ru

*Кази Шибли Суман*, аспирант департамента архитектуры и строительства инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Область научных интересов:* рекреационно-туристические комплексы в Бангладеш. *Контактная информация:* E-mail: quazi2002bd@yandex.ru

## THE ORIGINAL DESIGN OF THE PROJECT RECREATION AND TOURISM SMALL COMPLEX

V.M. Shuvalov<sup>1</sup>, Quazi Shibli Suman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Moscow Institute of Architecture

*B. Dmitrovka str., 24/1, Moscow, Russia, 107031*

<sup>2</sup>Peoples' Friendship University of Russia

*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117193*

The article deals with the architectural design of the recreational and tourist complex “School traveler Fyodor Konyukhov” in the Domodedovo district of Moscow region, near the village Bityagovo. The paper notes the problem of quality recreation spaces and their organizations for teenagers analyzes the necessary steps to arrange such spaces on the basis of the bottom of the project where you will be training and preparing children and their parents to family travel. The basic concepts of architectural complex formation, given the technical characteristics of the project goals and objectives of the project. The main objectives of the project “clearing rallies”: spiritual and moral education; promoting tourism and a healthy lifestyle; the military-Patriotic upbringing of youth in spirit of devotion and love for his Homeland; physical training of children and youth to challenging treks and expeditions; the development of creative and sporting talent in children; help the youth in determining their life path. The plans of the investors of the project cultural events: organization of meetings of youth groups from all over Russia; celebration of important historical dates; the holding of thematic festivals and exhibitions; festivals and finding new talent; contests and events; creation Museum travelers and the Russian walk of Fame; the creation of children’s theatre; classes in astronomy with experts, workshops; planting and study of trees, shrubs, herbaceous plants, including medicinal.

**Key words:** recreation and tourism complex, architectural concept, technical characteristics of the project

### REFERENCES

- [1] Polyana zletov Fyodora Konyukhova. Vozvrat k dobrim traditsiyam semeinogo tyrizma. Scientific-technical and production journal. *Technology Intelligent Building*. Moscow, 2015. № 3. 59—62. (in Russ.)
- [2] Shuvalov V.M. Razvitie rekreacionnoi arxitekturi v postindustrialnom obshestve. *Nauchvay konpherenziy MARXI. T. IV. M.: Arxitektura-C*, 2003. 198—202 (in Russ.)
- [3] Shuvalov V.M. Razvitie phorm pridorojnix rekreacionnix kompleksov. M.: *Arxitektura-C*, 2012 (in Russ.)
- [4] Shuvalov V.M., Shibli Quazi Suman. Osnovi cestemnogo formerovaney rekreacionno-tyresteschickogo klactera. *Trude MARXI: Materiali migdunarodnoi nauschno-prakticheskoi konferenzii, 3-7 aprily 2017, Moscow: MARXI*, 320—322. (in Russ.)
- [5] Shibli Quazi Suman, Ahmad Inshasi. Metodi sistemnogo podhoda k formerovaney rekreacionno-tyresteschickogo klactera. *Nauka, obrazovanei e ekspirementalnoi proektirovanie v MARXI: Tezisi dokladov migdunarodnoi nauschno-prakticheskoi konferenzii professorckogo-prepodovatel'skogo sostava, molodix uschenix i studentov. T. 2. M.: MARXI*, 2016. 47—49. (in Russ.)
- [6] Shuvalov V.M. Synergistic Methods in the Development of Modern Roadside Objects Architecture. *Architecture and Modern Information Technologies*, 2017. No. 4(41). Pp. 257—271. Available at: [http://marhi.ru/eng/AMIT/2017/4kvart17/19\\_shuvalov/index.php](http://marhi.ru/eng/AMIT/2017/4kvart17/19_shuvalov/index.php)
- [7] Shuvalov V.M. Quazi Shibli Suman. Typological features of space — planning structure of objects RTK. *Migdunarodnoi nauschno-tixnescheskoi konferenzii “Sovriminnii Tixnologee v Merovom nauschom prostranstvi” (28.09.2017.)*. Collected papers. Ch. 3. Ufa: AETIRNA, 2017. 152—157. (in Russ.)

**Article history:**

Received: 22 September 2017

Accepted: 17 October 2017

**For citation:**

Shuvalov V.M., Quazi Shibli Suman. (2017) The original design of the project recreation and tourism small complex. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 18(4), 534—540. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-534-540

**Bio Note:**

*Vasily M. Shuvalov*, candidate of architecture, associate Professor, Professor of the Department of architecture of the rural occupied places of the Moscow architectural Institute (state Academy).

*Research interests:* recreational and tourist complexes in the roadside and inter-settlement space.

*Contact information:* E-mail: shuv-vasilij@yandex.ru

*Quazi Shibli Suman*, Postgraduate student at Architecture and Urban Development Department, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia. *Research interests:* recreational and tourist complexes in Bangladesh. *Contact information:* E-mail: quazi2002bd@yandex.ru

ф. СП-1

ФГУП «ПОЧТА РОССИИ»

АБОНЕМЕНТ на журнал

**18230**

(индекс издания)

**ВЕСТНИК РУДН**  
**Серия «Инженерные**  
**исследования»**

Количество  
комплектов:

на 2018 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

**ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА**

на журнал

**18230**

(индекс издания)

ПВ	место	литер

**ВЕСТНИК РУДН**

**Серия «Инженерные исследования»**

Стои- мость	подписки	_____ руб. ____ коп.	Количество комплектов:	
	переадресовки	_____ руб. ____ коп.		

на 2018 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

**ДЛЯ ЗАМЕТОК**

---

ф. СП-1

ФГУП «ПОЧТА РОССИИ»

АБОНЕМЕНТ на журнал

(индекс издания)

**ВЕСТНИК РУДН**

Серия \_\_\_\_\_

Количество комплектов:

на 2018 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

**ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА**

ПВ	место	литер

на журнал

(индекс издания)

**ВЕСТНИК РУДН**

Серия \_\_\_\_\_

Стоимость	подписки	_____ руб. ____ коп.	Количество комплектов:	<input type="text"/>
	переадресовки	_____ руб. ____ коп.		

на 2018 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

**ДЛЯ ЗАМЕТОК**

---