

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

# АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ТЭК

SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL

AUTOMATION AND INFORMATIZATION  
OF THE FUEL AND ENERGY COMPLEX

---

**10(603) • 2023**

МОСКВА • ГУБКИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

# АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ТЭК

Научно-технический журнал

Основан в 1973 г.

Выходит 12 раз в год

№ 10(603)

Октябрь 2023 г.

**Учредитель журнала** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина"

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

*Казак А.С.* (главный редактор) – д-р техн. наук, профессор, ученый секретарь ООО "НИИГазэкономика", г. Москва;  
*Абрамов Г.С.* (зам. главного редактора) – д-р экон. наук, ТК 024 "Метрологическое обеспечение добычи и учета энергоресурсов (жидкостей и газов)", г. Тюмень;

*Кисленко Н.А.* (зам. главного редактора) – канд. техн. наук, начальник Департамента ПАО "Газпром", ген. директор ООО "НИИГазэкономика", г. Санкт-Петербург, г. Москва;  
*Поздняков А.П.* (зам. главного редактора) – д-р техн. наук, профессор РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва;

*Будзюляк Б.В.* – д-р техн. наук, профессор, президент СРО "АСГНИК", г. Москва;

*Григорьев Б.А.* – чл.-кор. РАН, д-р техн. наук, профессор, начальник отдела Ученого совета ООО "Газпром ВНИИ-ГАЗ", г. Москва;

*Гуревич М.С.* – Советник ген. директора ООО "Системы Нефть и Газ", действительный член РМА, г. Москва;

*Джавадов Н.Г.* – д-р техн. наук, профессор, акад. Международной и Азербайджанской Инженерной Академий, ген. директор НАКА, г. Баку;

*Жучков К.Н.* – канд. физ.-мат. наук, доцент, начальник АЦГП АО "Газпром диагностика", г. Санкт-Петербург;  
*Каневская Р.Д.* – д-р техн. наук, профессор, начальник отдела научно-технического развития и моделирования АО "Институт геологии и разработки горючих ископаемых" ПАО "НК "Роснефть", зав. кафедрой РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва;

*Кениг Е.Я.* – профессор, зав. кафедрой Университета Падерборн, Германия;

*Кизина И.Д.* – канд. техн. наук, доцент, зам. ген. директора АО "Нефтеавтоматика", директор Департамента разработки и внедрения ИАСУ, г. Уфа;

*Костогрызлов А.И.* – д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, ФИЦ ИУ РАН, г. Москва;

*Кузьяков О.Н.* – д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой ТИУ, г. Тюмень;

*Кучумов Р.Я.* – д-р техн. наук, профессор, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва;

*Лебедев В.Г.* – д-р техн. наук, главный научный сотрудник ИПУ РАН, г. Москва;

*Лопатин А.С.* – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва;

*Лукьянов Э.Е.* – д-р техн. наук, зам. ген. директора по научной работе НПП геофизической аппаратуры "Луч", г. Новосибирск;

*Сидоров В.В.* – канд. техн. наук, зав. кафедрой РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва;

*Степин Ю.П.* – д-р техн. наук, профессор РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва;

*Сухарев М.Г.* – д-р техн. наук, профессор РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва;

*Терехина Г.В.* – выпускающий редактор, Издательский дом "Губкин", г. Москва;

*Фадурин В.А.* – д-р техн. наук, профессор, КНИТУ, г. Казань.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ, ЭКСПЕРТНЫЕ, ОБУЧАЮЩИЕ СИСТЕМЫ

<b>Олейников А.В., Шакиров Р.А., Казак А.С., Бородуля Н.А.</b> Интеграция нейросетевых моделей и экспертных знаний для раннего выявления неисправностей в работе газоперекачивающих агрегатов .....	5
<b>Кисленко Н.А.</b> Методический подход к оценке стоимости поставок газа по новым маршрутам .....	17
<b>Еремин Н.А., Столяров В.Е., Черников А.Д.</b> Суперкомпьютинг как составной элемент цифровой нефтегазовой экосистемы .....	25
<b>Сафонов А.В.</b> Диагностика измерительных систем сжиженного природного газа .....	32

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

<b>Шибанов А.В., Почикеев Д.С., Кочубей Ф.А., Ильенко А.В., Оводкова К.В., Жучков К.Н.</b> Построение прогнозных моделей на основе искусственного интеллекта для решения задачи предсказания появления дефектов трубопроводов .....	38
<b>Арсеньев-Образцов С.С., Плющ Г.О.</b> Применение методов глубокого обучения в актуальных задачах обработки микроКТ образцов керн. Решение обратной задачи, интерполяция разреженных синопграмм, фильтрация изображений срезов.....	48

### ВЫСТАВКИ • СИМПОЗИУМЫ • КОНФЕРЕНЦИИ

<b>Материалы XVIII Всероссийского научного семинара с международным участием "Математические модели и методы анализа и оптимального синтеза развивающихся трубопроводных и гидравлических систем"</b>	
<b>Сухарев М.Г., Южанин В.В.</b> Квазистационарная гидравлическая модель течений в нефте- и нефтепродуктопроводах .....	59
<b>Филимонов С.А., Пряжников М.И., Пряжников А.И.</b> Развитие методов сетевой гидродинамики применительно к двухфазным течениям несмешивающихся жидкостей .....	70

# AUTOMATION AND INFORMATIZATION OF THE FUEL AND ENERGY COMPLEX

Scientific-Technical Journal

Founded in 1973

October 2023

№ 10(603)

12 issues per year

## CONTENTS

### INFORMATION, MEASURING, EXPERT, TRAINING SYSTEMS

Oleynikov A.V., Shakirov R.A., Kazak A.S., Borodulya N.A. Integration of neural network models and expert knowledge for early fault detection in operation of gas pumping units ..... 5

Kislenko N.A. Methodological approach to cost estimating gas supply new routes..... 17

Eremin N.A., Stolyarov V.E., Chernikov A.D. Supercomputing as a compositional element of digital oil and gas ecosystem ..... 25

Safonov A.V. Diagnostics of liquefied natural gas measuring systems ... 32

### MATHEMATICAL MODELING AND SOFTWARE

Shibanov A.V., Pochikeev D.S., Kochubey F.A., Ilenko A.V., Ovodkova K.V., Zhuchkov K.N. Building predictive models based on artificial intelligence to solve the problem of predicting defects precipitation in pipelines..... 38

Arseniev-Obraztsov S.S., Plusch G.O. Application of deep learning methods in actual tasks of core samples microcomputer tomography (micro-CT) processing. Solution of the inverse problem, interpolation of sparse sinograms, image slice filtration..... 48

### EXHIBITIONS • SYMPOSIA • CONFERENCES

Proceedings of the XVIII All-Russian scientific seminar with international participation "Mathematical models and methods of analysis and optimal synthesis of developing pipeline and hydraulic systems"

Sukharev M.G., Yuzhanin V.V. Quasi-stationary hydraulic model of flows in oil and oil product pipelines..... 59

Filimonov S.A., Pryazhnikov M.I., Pryazhnikov A.I. Development of methods of network hydrodynamics as applied to two-phase flows of immiscible liquids..... 70

**Founder of Journal** – National University of Oil and Gas "Gubkin University"

#### EDITORIAL BOARD:

Kazak A.S. (Chief Editor) – Dr. of tech. sci., Professor, Academic secretary of LLC "NIIgazekonomika", Moscow;  
Abramov G.S. (Deputy-Chief Editor) – Dr. of econ. sci., TC 024 "Metrollogical Support of Production and Accounting of Energy Resources (Liquids and Gases)", Tyumen;

Kislenko N.A. (Deputy-Chief Editor) – Cand. of tech. sci., Head of the Department of PJSC "Gazprom", General Director of LLC "NIIgazekonomika", St. Petersburg, Moscow;

Pozdnyakov A.P. (Deputy-Chief Editor) – Dr. of tech. sci., Professor, National University of Oil and Gas "Gubkin University", Moscow;

Budzulyak B.V. – Dr. of tech. sci., Professor, President of the Self-Regulated Organization "Association of constructors of gas and oil complexes", Moscow;

Grigoriev B.A. – Corresponding member of RAS, Dr. of tech. sci., Professor, Head of the Department of the Academic Council of LLC "Gazprom VNIIGAZ", Moscow;

Gurevich M.S. – Adviser of the General Director of LLC "Systems of Oil and Gas", full member of RMA, Moscow;  
Dzhavadov N.G. – Dr. of tech. sci., Professor, Academician of the International and Azerbaijan Engineering Academy, General Director AzNAA, Baku;

Zhuchkov K.N. – Cand. of phys.-math. sci., associate professor, Director of the Analytical Center of gas industry of JSC "Gazprom diagnostics", St. Petersburg;

Kanevskaya R.D. – Dr. of tech. sci., Professor, Head of the Department of Scientific-Technical Development and Modeling of JSC "Institute of Geology and Development of Fossil Fuel" of PJSC "NK "Rosneft", Head of the Department of National University of Oil and Gas "Gubkin University", Moscow;

Kenig E.Ya. – Dr. Ing. Habil, Head of the Department of Paderborn University, Germany;

Kizina I.D. – Cand. of tech. sci., associate professor, Deputy-General Director of JSC "Nefteavtomatika", Director of development and implementation "Integrated ACS" Department, Ufa;  
Kostogrysov A.I. – Dr. of tech. sci., Professor, Chief scientific employee, Federal Research Center Computer Science and Control of the Russian Academy of Sciences, Moscow;

Kuzyakov O.N. – Dr. of tech. sci., assistant professor, Head of the Department of TIU, Tyumen;

Kuchumov R.Ya. – Dr. of tech. sci., Professor, National University of Oil and Gas "Gubkin University", Moscow;

Lebedev V.G. – Dr. of tech. sci., Chief scientific employee of Institute of Control Sciences RAS, Moscow;

Lopatin A.S. – Dr. of tech. sci., Professor, Head of the Department of National University of Oil and Gas "Gubkin University", Moscow;

Lukyanov E.E. – Dr. of tech. sci., Deputy-General Director on Scientific work of "Luch" – Scientific-Production Company of geophysical equipment, Novosibirsk;

Sidorov V.V. – Cand. of tech. sci., Head of the Department of National University of Oil and Gas "Gubkin University", Moscow;

Stepin Yu.P. – Dr. of tech. sci., Professor, National University of Oil and Gas "Gubkin University", Moscow;

Sukharev M.G. – Dr. of tech. sci., Professor, National University of Oil and Gas "Gubkin University", Moscow;

Terekhina G.V. – production editor, "Gubkin" publishing house, Moscow;

Fafurin V.A. – Dr. of tech. sci., Professor, KNRTU, Kazan.

## Индекс журнала

10338, 10339 – по объединенному каталогу "Пресса России".

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77-74504 от 07.12.2018 г.

Журнал по решению Президиума ВАК Минобразования и науки РФ входит в "Перечень рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук".

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) и международную базу данных и систему цитирования Chemical Abstracts.

Издательство – Издательский дом "Губкин"  
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

Адрес редакции: 119991, Россия, г. Москва,  
Ленинский просп., 65, корп. 1.  
Тел. 8-499-507-91-49

Сайт: <https://www.gubkin.ru>;  
e-mail: [zavyalov.a@gubkin.ru](mailto:zavyalov.a@gubkin.ru),  
[zavyalovap@yandex.ru](mailto:zavyalovap@yandex.ru),  
[atisoil@mail.ru](mailto:atisoil@mail.ru)

Ведущий редактор: *Г.В. Терехина*

Компьютерный набор: *В.В. Васина*  
Компьютерная верстка: *Л.П. Ушанкина*  
Корректор: *Я.В. Ткачева*  
Перевод: *О.М. Бисярина*

Подписано в печать 10.10.2023 г.  
Формат 84×108<sup>1/16</sup>.  
Усл. печ. л. 7,77. Уч.-изд. л. 7,90.  
Тираж 1500 экз.  
Цена свободная.

Печатно-множительная база:  
ООО "ИИА "Пресс-Меню"  
129128, Россия, г. Москва, ул. Малахитовая, 21.

При перепечатке материала ссылка на издание обязательна.

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за соблюдение принципов научной этики и достоверность приведенных сведений.

## Редакционный совет научно-технических журналов, издаваемых РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

- Мартынов В.Г. – Ректор РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р экон. наук, профессор, академик РАО, председатель совета
- Максименко А.Ф. – Проректор по научной и международной работе РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р техн. наук, профессор, заместитель председателя совета
- Лопатин А.С. – Председатель комиссии по редакционно-издательской деятельности Ученого Совета РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, заведующий кафедрой, д-р техн. наук, профессор, главный редактор журнала "Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса", заместитель председателя совета
- Завьялов А.П. – Директор Издательского дома "Губкин" РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, канд. техн. наук, доцент, секретарь совета
- Близнюков В.Ю. – Руководитель проекта ПАО "НК "Роснефть", д-р техн. наук, профессор, главный редактор журнала "Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море" (по согласованию)
- Голунов Н.Н. – Проректор по дополнительному профессиональному образованию РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, канд. техн. наук, доцент
- Гриняев С.Н. – Декан факультета комплексной безопасности ТЭК РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р техн. наук, профессор
- Дедов А.Г. – Заведующий кафедрой РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р хим. наук, профессор, академик РАН, главный редактор журнала "Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина"
- Дмитриевский А.Н. – Научный руководитель ИПНГ РАН, д-р геол.-минерал. наук, академик РАН, главный редактор журнала "Геология, геофизика и разведка нефтяных и газовых месторождений" (по согласованию)
- Ивановский В.Н. – Заведующий кафедрой РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р техн. наук, профессор, главный редактор журнала "Территория Нефтегаз"
- Казак А.С. – Ученый секретарь ООО "НИИгазэкономика", д-р техн. наук, профессор, главный редактор журнала "Автоматизация и информатизация ТЭК" (по согласованию)
- Комков А.Н. – Начальник управления наукометрических исследований и поддержки публикационной активности, заведующий кафедрой РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, канд. техн. наук, доцент
- Лоповок Г.Б. – Директор Издательского центра РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, канд. экон. наук, доцент
- Мастепанов А.М. – Главный научный сотрудник Аналитического центра энергетической политики и безопасности ИПНГ РАН, профессор РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р экон. наук, профессор, главный редактор журнала "Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом"
- Мельгунов В.Д. – Заведующий кафедрой РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р юр. наук, профессор
- Мещеряков С.В. – Заведующий кафедрой РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р техн. наук, профессор, заместитель главного редактора журнала "Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе"
- Михайлов Н.Н. – Профессор РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р техн. наук, главный редактор журнала "Нефтепромысловое дело"
- Мурадов А.В. – Профессор РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р техн. наук, заместитель руководителя редакционной коллегии журнала "Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина"
- Поздняков А.П. – Профессор РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р техн. наук, заместитель главного редактора журнала "Автоматизация и информатизация ТЭК"
- Постникова О.В. – Декан факультета геологии и геофизики нефти и газа РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р геол.-минерал. наук, профессор
- Соловьянов А.А. – Заместитель директора ФГБУ "Всероссийский научно-исследовательский институт охраны окружающей среды", главный редактор журнала "Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе", д-р хим. наук, профессор (по согласованию)
- Телегина Е.А. – Декан факультета международного энергетического бизнеса РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р экон. наук, профессор, член-корреспондент РАН
- Туманян Б.П. – Профессор РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, д-р техн. наук, главный редактор журналов "Химия и технология топлив и масел", "Технологии нефти и газа", "Промышленный сервис"

