

10(382).2024

ISSN 0130-3872



**Строительство  
нефтяных  
и  
газовых  
скважин**

**на суше  
и на море**

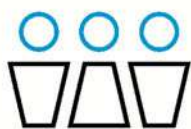
**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ**



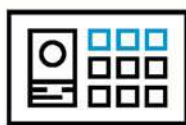
# РОССИЙСКИЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ КОНГРЕСС



РНТК



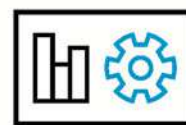
400+ делегатов



3 дня общения



25+ технических  
и постерных сессий



150+ технических  
презентаций

РНТК является продолжателем традиций Российской нефтегазовой технической конференции, которая проводится ежегодно в октябре уже 15 лет и заслуженно считается значимым событием для профессионалов нефтегазовой отрасли. Ученые и инженеры, руководители и молодые специалисты, представители нефтегазодобывающих компаний, сервисных предприятий и научно-исследовательских институтов собираются вместе раз в год на площадках конференции для обмена опытом и достижениями, для дискуссий и дебатов, а также для долгожданных встреч с единомышленниками и друзьями.

## Возможности для Вашего продвижения на рынке

Конгресс и выставка привлекут в качестве участников ключевых менеджеров компаний, что обеспечит Вам, как партнеру Конгресса, уникальные возможности для встречи с новыми заказчиками. Большой зал будет удобным местом для размещения стенда Вашей компании. Выбор одного из партнерских пакетов позволит Вам заявить о своей компании, продукции и услугах и стать лидером быстрорастущего рынка.

Контактная информация  
+7 (495) 190-7216  
[info@rntk.org](mailto:info@rntk.org)

Дата и место проведения конгресса  
29 - 31 октября 2024  
Отель Сафмар Лесная  
Москва, ул. Лесная, 15



[www.rntk.org](http://www.rntk.org)



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

Научно-технический журнал

# **СТРОИТЕЛЬСТВО НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН НА СУШЕ И НА МОРЕ**

Scientific-technical journal

**Construction  
of oil and gas wells on land  
and sea**

# СТРОИТЕЛЬСТВО НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН НА СУШЕ И НА МОРЕ

Октябрь 2024 г.

№ 10(382)

Издается с 1993 г.  
Выходит 12 раз в год

## Учредитель

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

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Близиуков В.Ю.** (главный редактор) – д-р техн. наук, проф., г. Москва

*Калинина О.А.* – зам. главного редактора, выпускающий редактор,

*Агзамов Ф.А.* – д-р техн. наук, проф., г. Уфа,  
*Антониади Д.Г.* – д-р техн. наук, проф., г. Краснодар,

*Бастриков С.Н.* – д-р техн. наук, проф., г. Тюмень,

*Вахромеев А.Г.* – д.г.-м.н., проф., г. Иркутск,  
*Евсеев В.Д.* – д-р техн. наук, проф., г. Томск,  
*Кузнецов Ю.С.* – д-р техн. наук, проф., г. Москва,  
*Куликов В.В.* – д-р техн. наук, проф., г. Москва,  
*Курбанов Я.М.* – д-р техн. наук, проф., г. Тюмень,  
*Кязимов Э.А.* – д-р техн. наук, г. Баку,  
*Литвиненко В.С.* – д-р техн. наук, проф., г. Санкт-Петербург,  
*Нескоромных В.В.* – д-р техн. наук, проф., г. Красноярск,

*Нижник А.Е.* – д-р техн. наук, проф., г. Краснодар,  
*Повалихин А.С.* – д-р техн. наук, доцент, г. Москва,

*Рябokonь С.А.* – д-р техн. наук, проф., г. Краснодар,  
*Сочнев О.Я.* – д-р техн. наук, г. Москва,  
*Трифанов Г.Д.* – д-р техн. наук, проф., г. Пермь,  
*Хегай В.К.* – д-р техн. наук, проф., г. Ухта,  
*Хузина Л.Б.* – д-р техн. наук, доцент, г. Альметьевск,  
*Шайдаков В.В.* – д-р техн. наук, проф., г. Уфа.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕХНИКА БУРЕНИЯ И ОСВОЕНИЯ СКВАЖИН

*Галикеев И.А., Миловзоров А.Г.* Основы классификации скважин по траекториям .....5

### БУРОВЫЕ РАСТВОРЫ

*Некрасова И.Л., Казаков Д.А., Хвоцкин П.А., Гаришина О.В.* Подходы к проектированию и контролю качества буровых растворов при строительстве скважин .....9

### КРЕПЛЕНИЕ СКВАЖИН

*Нигматов Л.Г.* Эффективность применения обратной срезки цементного раствора для снижения аварийности при креплении эксплуатационных хвостовиков .....17  
*Громов А.Д., Мнацаканов В.А., Лихущин А.М.* Современные подходы к обеспечению целостности крепи скважин в многолетнемерзлых породах ...23

### ОБОРУДОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ

*Шестакова Е.В., Лягов И.А., Ямалиев В.У., Лягов А.В.* Использование критерия диагностирования для определения работоспособности фрезерного инструмента .....29

### ГЕОЛОГОРАЗВЕДКА, ОСВОЕНИЕ СКВАЖИН И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

*Близиуков В.Ю., Каменских С.В., Пармузина Л.В., Ростовщиков В.Б.* Агрессивность флюидов месторождений Тимано-Печорской нефтегазовой провинции .....38

### ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

*Брагина О.А., Хушвактов Ш.Ш., Вахромеев А.Г., Буглов Н.А., Сверкунов С.А.* Кинетика взаимодействия сероводорода с нейтрализаторами и их влияние на структурно-реологические свойства промысловых жидкостей .....43  
*Аль-Идриси М.С., Шостак Н.А.* Предупреждение гидратообразования при строительстве скважин на примере условий Тамбейской группы месторождений .....51

Семь лет труда и более 400 опытов! В УГТУ – новый доктор наук .....59

# CONSTRUCTION OF OIL AND GAS WELLS ON LAND AND SEA

October 2024

№ 10(382)

published since 1993

12 issues per year

## CONTENTS

### TECHNIQUE OF DRILLING AND WELLS DEVELOPMENT

*Galikeyev I.A., Milovzorov A.G.* Basics of wells classification by trajectories.....5

### DRILLING FLUIDS

*Nekrasova I.L., Kazakov D.A., Khvoshchin P.A., Garshina O.V.* Approaches to design and quality control of drilling fluids when constructing wells .....9

### WELLS CEMENTING

*Nigmatov L.G.* Efficiency of using cement slurry back cutting-off to reduce accidents during fastening of operational liners.....17

*Gromov A.D., Mnatsakanov V.A., Likhushin A.M.* Modern approaches to ensuring the integrity of wells lining in permafrost rocks.....23

### EQUIPMENT AND OPERATION

*Shestakova E.V., Lyagov I.A., Yamaliev V.U., Lyagov A.V.* Use of a diagnostic criterion to determine the performance of a milling tool .....29

### GEOLOGICAL PROSPECTING, WELLS DEVELOPMENT AND OPERATION OF OIL AND GAS FIELDS

*Bliznyukov V.Yu., Kamenskikh S.V., Parmuzina L.V., Rostovshchikov V.B.* Aggressiveness of fluids in the Timan-Pechora oil- and gas-bearing province.....38

### OPERATION OF OIL AND GAS FIELDS

*Bragina O.A., Khushvaktov Sh.Sh., Vakhromeev A.G., Buglov N.A., Sverkunov S.A.* Kinetics of hydrogen sulfide interaction with neutralizers and their influence on structural-rheological properties of washing fluids.....43

*Al-Idrisi M.S., Shostak N.A.* Prevention of hydrate formation during wells construction on the example of the Tambei group of deposits.....51

7 years of working and more than 400 experiments. New Doctor of Science in Ukhta State Technical University .....59

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

#### EDITORIAL BOARD:

**Bliznyukov V.Yu. (Chief editor)** – DSc, professor,

*Kalinina O.A.* – Deputy Chief editor, the issuing editor

*Agzamov F.A.* – DSc, professor,

*Antoniadi D.G.* – DSc, professor,

*Bastrikov S.N.* – DSc, professor,

*Vakhromeev A.G.* – DSc, professor,

*Evseev V.D.* – DSc, professor,

*Kuznetsov Yu.S.* – DSc, professor,

*Kulikov V.V.* – DSc, professor,

*Kurbanov Ya.M.* – DSc, professor,

*Kyazimov E.A.* – DSc

*Litvinenko V.S.* – DSc, professor,

*Neskoromny V.V.* – DSc, professor,

*Nizhnik A.E.* – DSc, professor,

*Povalikhin A.S.* – DSc, professor,

*Ryabokon S.A.* – DSc, professor,

*Sochnev O.Ya.* – DSc, professor,

*Trifanov G.D.* – DSc, professor,

*Khagay V.K.* – DSc, professor,

*Khuzina L.B.* – DSc, professor,

*Shaidakov V.V.* – DSc, professor.

Решением Президиума ВАК Минобрнауки России НТЖ "Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море" включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Свидетельство о регистрации средств массовой информации ПИ № ФС 77-77940 от 19.02.2020.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) и международную реферативную базу данных и системы 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.

Сайт: <https://www.gubkin.ru>  
E-mail: [zavyalov.a@gubkin.ru](mailto:zavyalov.a@gubkin.ru), [zavyalovap@yandex.ru](mailto:zavyalovap@yandex.ru),  
[olenka.kalinina.00@inbox.ru](mailto:olenka.kalinina.00@inbox.ru)  
Тел. 8-499-507-91-68.



Зам. главного редактора, ведущий редактор,  
выпускающий редактор *О.А. Калинина*

Компьютерная верстка *Т.Д. Диатропова*  
Корректор *Т.В. Быстракова*  
Переводчик *О.М. Бисярина*

Подписано в печать 16.09.2024 г. Формат 84×108 1/16.  
Бумага офсетная. Офсетная печать. Усл. печ. л. 6,72.  
Уч.-изд. л. 6,84. Тираж 1000 экз.  
Цена свободная.

#### Индекс журнала

10334, 10335 – по объединенному каталогу  
"Пресса России".

Печатно-множительная база:  
ООО "Типография 24"  
109369, Россия, г. Москва, ул. Перерва, 19, стр. 1, пом. 1103.

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

© РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,  
2024

При перепечатке материалов ссылка на издание обязательна.

## 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 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
- 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.-минер. наук, профессор, академик РАН, главный редактор журнала "Геология, геофизика и разработка 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 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. – Заведующий Аналитическим центром 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 юрид. 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"
- 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"



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИТЕРИЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА

Е.В. Шестакова<sup>1</sup>, И.А. Лягов<sup>2</sup>, В.У. Ямалиев<sup>3</sup>, А.В. Лягов<sup>4</sup>

<sup>1, 3, 4</sup>Уфимский государственный нефтяной технический университет (УГНТУ), Уфа, Россия

<sup>2</sup>ООО "Перфобур", Москва, Россия

<sup>3</sup>vilyzich@yandex.ru

**Аннотация.** В статье представлена информация о вторичных методах вскрытия продуктивного пласта с использованием технической системы "Перфобур". Описана её компоновочная часть для перфорации каналов малого диаметра. Рассмотрена общая информация об использовании колебаний технологических параметров осевой нагрузки на фрезерный инструмент и давления промывочной жидкости во время фрезерования, представленных в виде случайного процесса. Приведены критерии диагностирования для оценки технического состояния глубинного оборудования. Установлено, что применение этих критериев не даёт универсальных рекомендаций о рациональном времени работы глубинного оборудования. Предложен новый критерий определения работоспособного состояния фрезерного инструмента – критерий Гувера. На основе проведённых расчётов по испытанию фрезы диаметром 82 мм для колонны диаметром 178 мм группой прочности Е были определены значения критериев диагностирования работоспособности по Гуверу и основные виды отказов оборудования, соответствующие им.

**Ключевые слова:** вторичное вскрытие пласта, бурение каналов малого диаметра, эксплуатационная колонна, оценка состояния оборудования, временные ряды, контроль параметров, техническая диагностика, случайные колебания, критерий Гувера

**Для цитирования:** Использование критерия диагностирования для определения работоспособности фрезерного инструмента / Е.В. Шестакова, И.А. Лягов, В.У. Ямалиев, А.В. Лягов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2024. – № 10(382). – С. 29–37.

Original article

### USE OF A DIAGNOSTIC CRITERION TO DETERMINE THE PERFORMANCE OF A MILLING TOOL

E.V. Shestakova<sup>1</sup>, I.A. Lyagov<sup>2</sup>, V.U. Yamaliev<sup>3</sup>, A.V. Lyagov<sup>4</sup>

<sup>1, 3, 4</sup>Ufa State Petroleum Technological University (USPTU), Ufa, Russia

<sup>2</sup>"Perfobur" LLC, Moscow, Russia

<sup>3</sup>vilyzich@yandex.ru

**Abstract.** The authors of the article present information on secondary methods of a productive formation opening using the "Perfobur" technical system. Its assembly part for perforating small-diameter channels is described. The general information on the use of the technological parameters fluctuations of the axial load on the milling tool and the pressure of the drilling fluid during milling, presented as a random process, is considered. Diagnostic criteria for assessing the technical state of downhole equipment are given. It has been determined that these criteria application does not provide universal recommendations on the rational operating time of downhole equipment. A new criterion for determining the operability of a milling tool – the Hoover criterion – is proposed. Based on the calculations carried out to test a 82 mm diameter cutter for a column with a diameter of 178 mm of strength group E, the values of the criteria for diagnosing operability according to Hoover and the main types of equipment failures corresponding to them were determined.

**Keywords:** secondary formation opening, small-diameter channel drilling, production casing string, equipment state assessment, time series, parameters control, technical diagnostics, random fluctuations, Hoover criterion

Одним из основных и сложных этапов заканчивания скважин является вторичное вскрытие продуктивной зоны пласта. Один из распространённых способов вторичного вскрытия – кумулятивный. Однако при его использовании разрушается цементный камень, что приводит к заколонным перетокам, а стенки канала, образованные кумулятивной струей, имеют зону остекления, что негативно сказывается на качестве гидравлической связи скважина – пласт, при этом продуктивный коллектор дополнительно загрязняется перфорационной жидкостью [1]. Для повыше-

ния качества гидродинамической связи продуктивного пласта с материнской скважиной на завершающем этапе ее строительства или при капитальном ремонте, разработана техническая система "Перфобур", являющаяся технологией которой, путем бурения разветвленных каналов в продуктивном интервале нефтяных и газовых скважин, а также благодаря возможности их исследования и стимуляции за одну операцию, обеспечивает искомый результат [2, 3].

Основным элементом компоновочной части для перфорации каналов малого диаметра является специ-

альный винтовой забойный двигатель (ВЗД). Основные узлы двигателя: одна или две секции рабочих органов, шарнирные механизмы и секция шпинделя-отклонителя, соединяющиеся между собой с помощью малоконических резьб [4, 5]. Во время работы ВЗД могут возникать колебания, при этом анализ протекающих при бурении каналов физических процессов, специфика и условия работы глубинного оборудования показывают, что эти явления часто носят непредсказуемый, случайный характер.

Изучение этих сложных явлений, наряду с широко распространенными детерминированными методами, требует также вероятностного подхода, нахождения вероятностных законов, присущих случайным событиям. Колебательные процессы непосредственно присущи процессу бурения скважин или фрезерования эксплуатационной колонны. Они носят как положительный характер, связанный с разрушением горной породы или металла эксплуатационной колонны, выносом их на поверхность, безусловно являясь информативными с выделением этой информации на устье скважины, так и отрицательный, оказывающий влияние на снижение показателей надежности оборудования, эффективности его применения, приводя к появлению внезапных отказов [6].

Колебаниям, возникающим при бурении скважин или фрезеровании эксплуатационной колонны, отводят особую роль при оценке технического состояния глубинного оборудования в процессе его эксплуатации. Поэтому с каждым годом возрастает интерес к данной теме и ведутся дальнейшие исследования [7]. Разрабатываются различные способы и подходы к расшифровке получаемой информации. При этом интерес представляют исследования контроля забойных параметров по вибрациям, измеренных на устье скважины. В этом случае долото или фрез являются естественным источником колебаний. Бурильная колонна представляет собой канал связи между забоем и устьем скважины. Колебания технологических параметров, сопровождающих процесс бурения или фрезерования, могут быть выражены в изменениях их спектральной характеристики и учтены в алгоритмах косвенной обработки измеряемых сигналов.

Визуальное изучение полученных реализаций колебаний осевой нагрузки на долото или фрез и давления промывочной жидкости показали, что эти колебания не только являются гармоническими и непериодическими, но имеют еще и случайный характер, а полученные закономерности имеют статистический смысл. Возможность многократного измерения случайных колебаний технологических параметров процесса бурения или фрезерования при одновременной оценке технического состояния глубинного бурового оборудования позволяет применять методы теории вероятности и математической статистики. Использование случайных процессов при правильной расшифровке позволяет оценивать техническое состояние глубинного бурового оборудования [8].

Исследования последних лет показывают, что состояние глубинного оборудования в процессе эксплуатации можно контролировать, используя математическую обработку достаточно длинных временных рядов случайных колебаний технологических параметров процессов бурения или фрезерования колонн, представленных в виде стационарного, случайного процесса с помощью спектрально-корреляционного и других методов анализа [8]. Методика оценки забойных параметров вибрации и динамических характеристик вибрационных кривых с позиции теории случайных процессов позволяет обнаружить вероятностные закономерности и получить полное представление о регулярных составляющих и мощности вибрации [6, 9].

Временные ряды измерений технологических параметров при бурении скважины или фрезеровании эксплуатационной колонны удобно представить в виде последовательностей случайных величин, что позволяет использовать вероятностные и спектральные методы анализа, являющиеся универсальными и применимыми к данным различной природы. При анализе графиков временных рядов измерений, сделанных в ходе бурения скважины или фрезерования колонны, можно обнаружить их фрактальную структуру, которая связана с пространственно-временной фрактальностью явлений, сопровождающих этот процесс.

Вопросами изучения использования вероятностно-статистической оценки состояния оборудования в бурении и добыче как случайного процесса занимались Ганджумян Р.А., Галеев А.С., Григулецкий В.Г., Гуреев И.Л., Зотов А.Н., Ишемгузин Е.И., Керимов З.Г., Лягов А.В., Мирзаджанзаде А.Х., Наumenко А.П., Симонов В.В., Симонянц С.Л., Санников Р.Х., Хасанов М.М., Шайдаков В.В., Юнин Е.К., Ямалиев В.У и многие другие.

Сегодня существует множество различных диагностических критериев оценки технического состояния глубинного оборудования в процессе эксплуатации, предложенных разными авторами, но ввиду непрерывного изменения условий бурения или фрезерования они не дали однозначного ответа на вопрос о рациональном времени работы глубинного оборудования. Поэтому на практике используют как можно больше критериев [10]. Например, установлено, что для косвенной оценки технического состояния породоразрушающего инструмента в процессе бурения скважин можно использовать следующие критерии: коэффициент Джини [11]; энтропийный анализ [12]; коэффициент вариации случайного процесса [13]; показатель Херста [14]; выбросы случайных колебаний за некоторый уровень [8]; корреляционную размерность [15]; вейвлет-анализ [16] и другие. В ходе работы установлено, что их применение не дает универсальных рекомендаций о рациональном времени работы глубинного оборудования. В связи с этим авторами предложен новый критерий определения работоспособного состояния фрезерного инструмента, ранее используемый в области экономики, который называется критерий Гувера. Он позволит повысить



помехоустойчивость и точность расчета определения выхода из строя инструмента более простым способом, при этом сохраняя потенциальную эффективность обработки инструмента.

Установлено, что метод имеет ряд преимуществ: во-первых, дает возможность точного определения, в какой момент времени происходит наибольшее отклонение от эталонного значения критерия диагностирования при фрезеровании колонны; во-вторых, дает возможность расчета критериев диагностирования для колонн разных групп прочности, а также разных условий фрезерования.

Критерий Гувера (т. е. мера неравномерности) [17] рассчитывается как максимальный по длине вертикальный отрезок, образуемый между кривой Лоренца и линией абсолютного равенства (рис. 1). Для построения кривой Лоренца строится зависимость количества значений случайных величин  $p$  (технологических параметров, замеренных в процессе фрезерования) по оси координат в % – от количества этих значений  $n$  в начале и конце каждого интервала работы, по оси абсцисс в % – для различных состояний анализируемых объектов управления.

Критерий работоспособности по Гуверу определяется по выражению:

$$H_p = \frac{1}{2} \frac{\sum_i^n |p_i - \bar{p}|}{\sum_i^n p_i}, \quad H_F = \frac{1}{2} \frac{\sum_i^n |F_i - \bar{F}|}{\sum_i^n F_i},$$

где  $H_p$  – критерий работоспособности по Гуверу колебаний давления промывочной жидкости;  $H_F$  – критерий работоспособности по Гуверу колебаний осевой нагрузки на фрезерный инструмент;  $p_i$  – значение фрагмента записи колебания давлений промывочной жидкости (представлен в виде статистического ряда, числовые значения получены через равные промежутки времени);  $\bar{p}$  – среднее значение фрагмента записи колебания давлений промывочной жидкости;  $n$  – количество значений колебаний всего ряда;  $F_i$  – значение фрагмента записи колебания осевой нагрузки (представлен в виде статистического ряда, числовые значения получены через равные промежутки времени);  $\bar{F}$  – среднее значение фрагмента записи колебания осевой нагрузки.

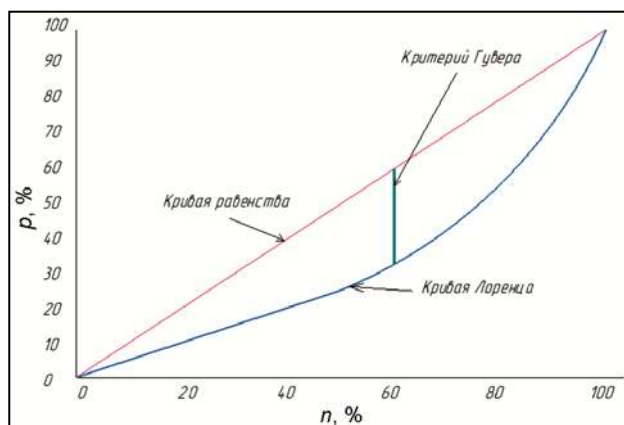


Рис. 1. Графическое изображение кривой Лоренца и критерия Гувера

Способ определения работоспособности фрезерного инструмента, находящегося в составе технической системы "инструмент – компоновка низа бурильной колонны – насос", включает измерения колебаний давления промывочной жидкости и колебаний осевой нагрузки на инструменте, выбор текущих критериев работоспособности, задание их эталонных значений и определение работоспособности фрезерного инструмента сравнением текущих значений критериев с их эталонными значениями [17].

Эталонные значения критерия диагностирования работоспособности по Гуверу  $K_{HP}$  колебаний давления промывочной жидкости и критерия диагностирования работоспособности по Гуверу  $K_{HF}$  колебаний осевой нагрузки определяют экспериментально на испытательном стенде. В качестве текущих критериев диагностирования работоспособности по Гуверу принимают величины соответствующих сигналов

$$K_{HP} = H_{p2}/H_{p1} \text{ и } K_{HF} = H_{F2}/H_{F1},$$

где  $H_{p1}$  и  $H_{F1}$  – критерии работоспособности по Гуверу, соответственно, значений колебаний давления промывочной жидкости и значений колебаний осевой нагрузки в начале фрезерования;  $H_{p2}$  и  $H_{F2}$  – критерии работоспособности по Гуверу, соответственно, значений колебаний давления промывочной жидкости и значений осевой нагрузки в процессе фрезерования в текущий момент времени.

В качестве эталонных значений критериев диагностирования, полученных на стенде, принимают значения в интервалах:  $0 < K_{HP} < 1,1$  и  $0 < K_{HF} < 1,4$ , соответствующие стабильной работе.

На рис. 2 обозначены: фрезерный инструмент 1, гидравлический индикатор 2 веса, цифровой манометр 3, аналогово-цифровой преобразователь 4, блок обработки и управления 5, блок индикации 6, блок индикации  $\Phi 1$  и  $\Phi 2$ .

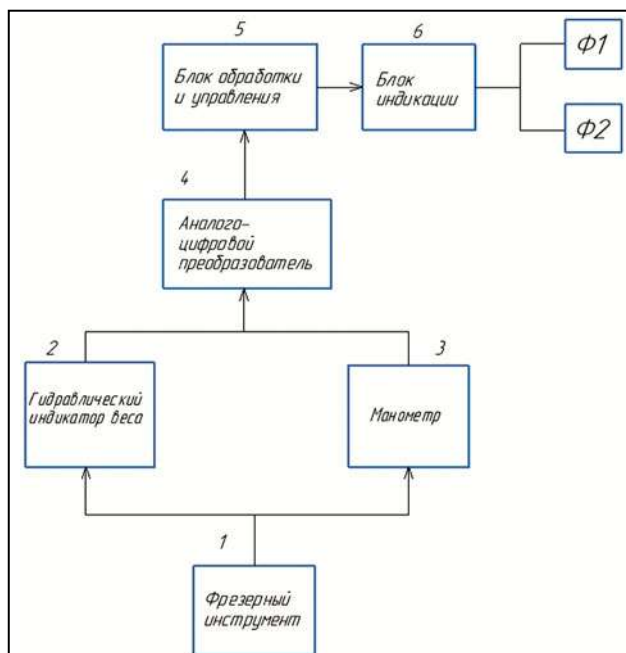


Рис. 2. Схема определения работоспособности фрезерного инструмента

Предлагаемый способ определения работоспособности фрезерного инструмента в условиях буровой установки реализуется следующим образом. Фрезерный инструмент 1 в составе компоновки низа бурильной колонны (КНБК) спускают в скважину на нужную глубину. Гидравлический индикатор 2 веса устанавливают на неподвижном конце талевого каната для измерения колебаний осевой нагрузки на фрезерный инструмент 1, а цифровой манометр 3 – на манифольдной линии насоса для измерения колебаний давления промывочной жидкости. При фрезеровании эксплуатационной колонны сигналы осевой нагрузки и давления, каждый по своему каналу связи, поступают на аналого-цифровой преобразователь 4 [17].

Блок 5 обработки и управления формирует управляющие сигналы и вычисляет критерий работоспособности по Гуверу  $H_F$  колебаний давления промывочной жидкости и критерий работоспособности по Гуверу  $H_F$  колебаний осевой нагрузки на фрезерный инструмент в любой момент фрезерования. Блок 6 индикации предназначен для визуального контроля за изменением текущих величин критериев работоспособности фрезерного инструмента с определением критериев диагностирования работоспособности по

Гуверу  $K_{HF}$  и  $K_{HF}$ . Данные значения сравниваются с эталонными, полученными на испытательном стенде. На блоке 6 индикации выводится расшифровка сигнала работоспособного состояния [17].

Для расчета критериев диагностирования работоспособности по Гуверу были проведены испытания на стенде ООО "Перфобур", изображенном на рис. 3. Испытательный стенд позволяет регистрировать получаемое в процессе испытаний значение на персональный компьютер. На рис. 4 изображен процесс стендовых испытаний. Ниже приведены описание испытаний и расчет коэффициента диагностирования и работоспособности фрезерного инструмента [2].

Все фрезы проходят испытания на специальном стенде и после этого вносятся корректировки для дальнейшего производства. Использование технической системы "Перфобур" позволяет многократно заходить в пробуренный канал для управления его траекторией, ремонта, интенсификации добычи пластового флюида, установки фильтров и генераторов и других операций [3, 18–20].

Для расчета был проанализирован и обработан временной ряд процесса фрезерования колонны по колебаниям давления промывочной жидкости и колебаниям осевой нагрузки, состоящий из 45393 значений с интервалом дискретности  $\Delta t = 1$  с.

Для проведения испытания на стенде ООО "Перфобур" были выбраны:

- 1) обсадная колонна (ОК) с диаметром 178 мм с толщиной стенки 10,8 мм, группа прочности – Е;
- 2) ВЗД диаметром 54 мм (с углом перегиба 2°);
- 3) фреза диаметр 82 мм с дробленым карбидом вольфрама (стандартная);
- 4) тип промывочной жидкости – техническая вода с плотностью 1000 кг/м<sup>3</sup> (1 г/см<sup>3</sup>).

Характеристика фрезерования:  
– общее время фрезерования (без учета простоя) – 45393 с (12,9 ч);

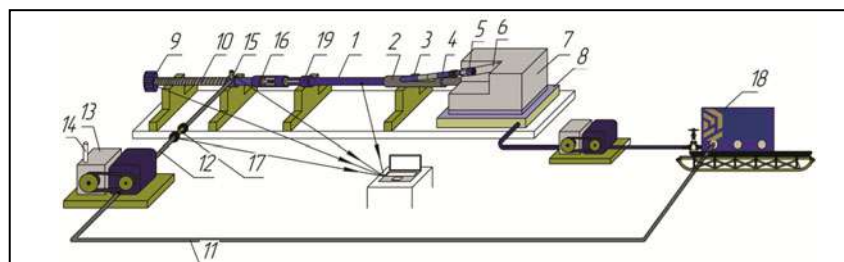


Рис. 3. Схема испытательного стенда "Перфобур" с регистрацией значений на ПК:

1 – корпус перфобура; 2 – клин-отклонитель; 3 – силовая секция винтового забойного двигателя; 4 – шпиндель; 5 – фреза; 6 – перфорационный канал; 7 – искусственный цементно-песчаный блок; 8 – приемная емкость; 9 – привод ходового винта-нагрузжателя; 10 – ходовой винт; 11 – трубопровод низкого давления для слива промывочной жидкости; 12 – выкидная линия насоса; 13 – трехпоршневая насосная станция СИН 46 с частотно-регулируемым приводом насоса; 14 – компенсатор колебаний давления; 15 – контрольно-измерительные приборы давления и осевой нагрузки; 16 – гидронагрузжатель; 17 – рукав высокого давления; 18 – емкость; 19 – датчик вибрации



Рис. 4. Процесс стендовых испытаний "Перфобура" по фрезерованию обсадной трубы

- проходка (от нулевой точки подающего устройства) – 0,950 м (950 мм);
- максимальная осевая нагрузка – 3000 Н;
- общая наработка ВЗД – 45390 с (12,9 ч);
- максимальная скорость проходки –  $5,00 \cdot 10^{-5}$  м/с (18,00 см/ч);
- минимальная скорость проходки –  $2,78 \cdot 10^{-6}$  м/с (1,00 см/ч);
- средняя скорость проходки –  $1,75 \cdot 10^{-5}$  м/с (6,30 см/ч);
- максимальный перепад давления на ВЗД – 2,9 МПа (29 кг/см<sup>2</sup>).

После испытаний диаметр фрезы составляет 81 мм. Длина отфрезерованного окна – 30 мм. По накладке пройдено 94 мм, глубина снятия металла по накладке – 1–2 мм.

В процессе испытаний профрезеровать "окно" в обсадной колонне 178 мм удалось. По подающему устройству пройдено 950 мм (согласно размеру толкателя, применяемого при бурении радиального канала радиусом кривизны 17 м). Фрез за обсадную колонну не вышел, работа торцом фрезы неполная.

Были произведены расчеты с различным интервалом обработки. Выявлено, что необходимый интервал результатов 60 с, т. е. обработка результатов происходит каждую минуту, так как при большем интервале наблюдается угнетение значений ряда. В таблице приведены критерии диагностирования ряда из 45393 значений с временным интервалом 60 с (выбранные участки), т. е. обработка результатов происходит каждую минуту.

**Расчет критериев диагностирования по значениям колебаний давления промывочной жидкости и колебаний осевой нагрузки при фрезеровании колонны с интервалом 60 с**

Начальный интервал работы, с	Конечный интервал работы, с	Критерий диагностирования работоспособности по Гуверу по нагрузке	Критерий диагностирования работоспособности по Гуверу по давлению	Начальный интервал работы, с	Конечный интервал работы, с	Критерий диагностирования работоспособности по Гуверу по нагрузке	Критерий диагностирования работоспособности по Гуверу по давлению
№	№	$K_{HF}$	$K_{HP}$	№	№	$K_{HF}$	$K_{HP}$
1921	1980	0,8395	1,0829	19261	19320	0,7683	0,6603
1981	2040	0,6457	1,0179	19321	19380	1,6571	1,8364
2041	2100	3,7267	1,9095	19381	19440	6,5282	1,4619
2101	2160	0,2358	0,4292	19441	19500	1,7133	0,3091
9121	9180	3,1596	1,1689	19501	19560	0,3011	1,2252
9181	9240	0,2817	0,8822	19561	19620	0,2397	1,5932
9241	9300	5,5467	1,0824	19621	19680	1,8247	1,1062
9301	9360	0,3313	0,8484	19681	19740	0,6069	0,9982
9361	9420	0,3190	1,0645	19741	19800	1,3727	0,4974
9421	9480	4,4985	1,1112	19801	19860	3,1088	1,9791
9481	9540	0,2947	0,8116	19861	19920	1,5976	1,1184

Установлено, что предлагаемый критерий диагностирования работоспособности по Гуверу позволяет спрогнозировать начало выхода из строя инструмента и возможный отказ оборудования, так как наблюдается взаимосвязь между критерием и разрушением объекта управления – фрезером.

На рис. 5, а, изображен график записи значений осевой нагрузки за всё время фрезерования колонны. По результатам испытаний известно, что во время работы происходили подклинивания и заклинивание ВЗД, отключение установки производилось четыре раза.

На рис. 5, б – график записи значений давления промывочной жидкости за всё время фрезерования колонны. По результатам испытаний известно, что во время работы происходили подклинивания и заклинивание ВЗД, а также один раз происходила остановка насоса и его ремонт из-за неравномерной подачи. Неравномерная работа насоса наблюдалась до интервала 32581 с.

В ходе исследования по испытанию фрезы 82 для колонны диаметром 178 мм группой прочности Е, установлены следующие значения критериев диагностирования работоспособности по Гуверу:

1) По колебаниям давления промывочной жидкости:

$K_{HP} \leq 1,1$  – работа в следующем интервале – стабильная;

$1,1 < K_{HP} \leq 1,9$  – работа в следующем интервале – нестабильная;

$K_{HP} > 1,9$  – отказ оборудования в следующем интервале.

2) По колебаниям осевой нагрузки:

$K_{HF} \leq 1,4$  – работа в следующем интервале – стабильная;

$1,4 < K_{HF} \leq 3,5$  – работа в следующем интервале – нестабильная;

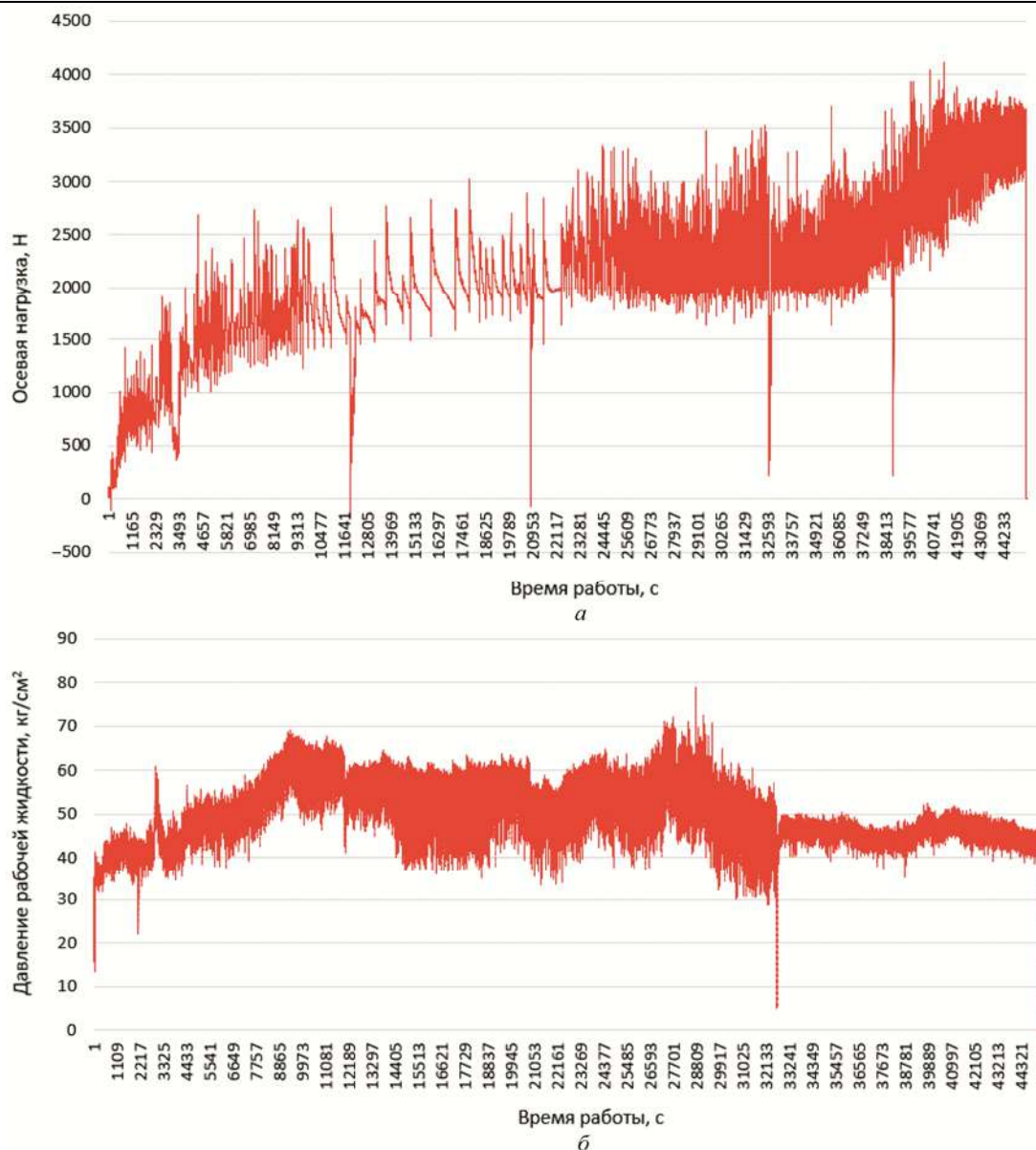
$K_{HF} > 3,5$  – отказ оборудования в следующем интервале.

Установлено, что при одновременном увеличении значений обоих критериев диагностирования работоспособности по Гуверу выше критических наступает момент отказа оборудования – заклинивание ВЗД.

Также установлено, что при увеличении значения одного из критериев диагностирования работоспособности по Гуверу выше критического наступает момент отказа оборудования – подклинивание ВЗД.

На рис. 6 и 7 изображен выбранный интервал колебаний давления промывочной жидкости и осевой нагрузки, соответственно. Данные графики отображают интервал по времени фрезерования с 1861 до 2520 с, на них приведены посчитанные значения критерия работоспособности по Гуверу с интервалом дискретности  $\Delta t = 60$  с.

Установлено, что перед моментом заклинивания ВЗД (интервал 2101–2160 с) критерий диагностирования работоспособности по Гуверу по давлению промывочной жидкости начал постепенно увеличиваться (рис. 6):



**Рис. 5.** Значения осевой нагрузки и давления промывочной жидкости за всё время фрезерования колонны:  
 а – запись колебаний осевой нагрузки по времени; б – запись колебаний давления промывочной жидкости по времени

на интервале 1861–1920 с –  $K_{HP} = 0,843$  (интервал 1921–1980 с – стабильная работа);

на интервале 1921–1980 с –  $K_{HP} = 1,083$  (интервал 1981–2040 с – стабильная работа);

на интервале 1981–2040 с –  $K_{HP} = 1,018$  (интервал 2041–2100 с – стабильная работа);

на интервале 2041–2100 с –  $K_{HP} = 1,910$  (интервал 2101–2160 с – отказ оборудования: заклинивание ВЗД);

на интервале 2101–2160 с –  $K_{HP} = 0,429$  (интервал 2161–2220 с – восстановление: стабильная работа).

Установлено, что перед моментом заклинивания ВЗД (интервал 2101–2160 с) критериев диагностирования работоспособности по Гуверу по осевой нагрузке начал постепенно увеличиваться (рис. 7):

на интервале 1921–1980 с –  $K_{HF} = 0,839$  (интервал 1981–2040 с – стабильная работа);

на интервале 1981–2040 с –  $K_{HF} = 0,646$  (интервал 2041–2100 с – стабильная работа);

на интервале 2041–2100 с –  $K_{HF} = 3,727$  (интервал 2101–2160 с – отказ оборудования: заклинивание ВЗД);

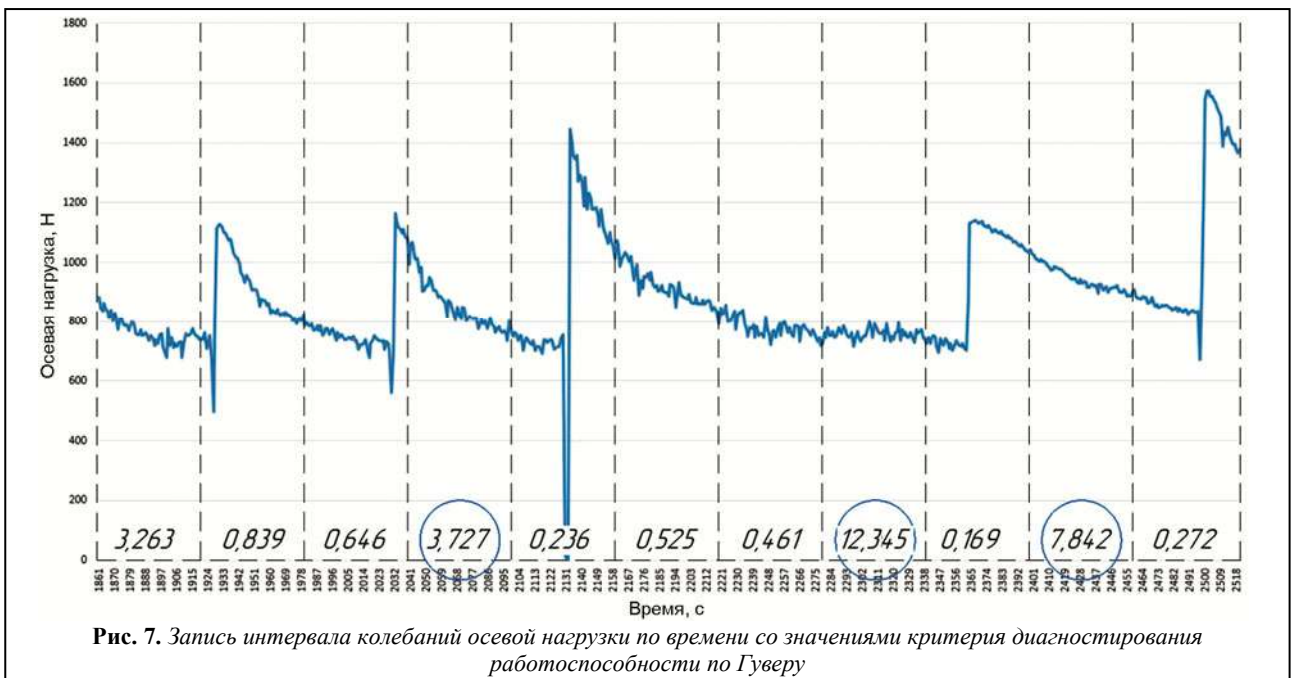
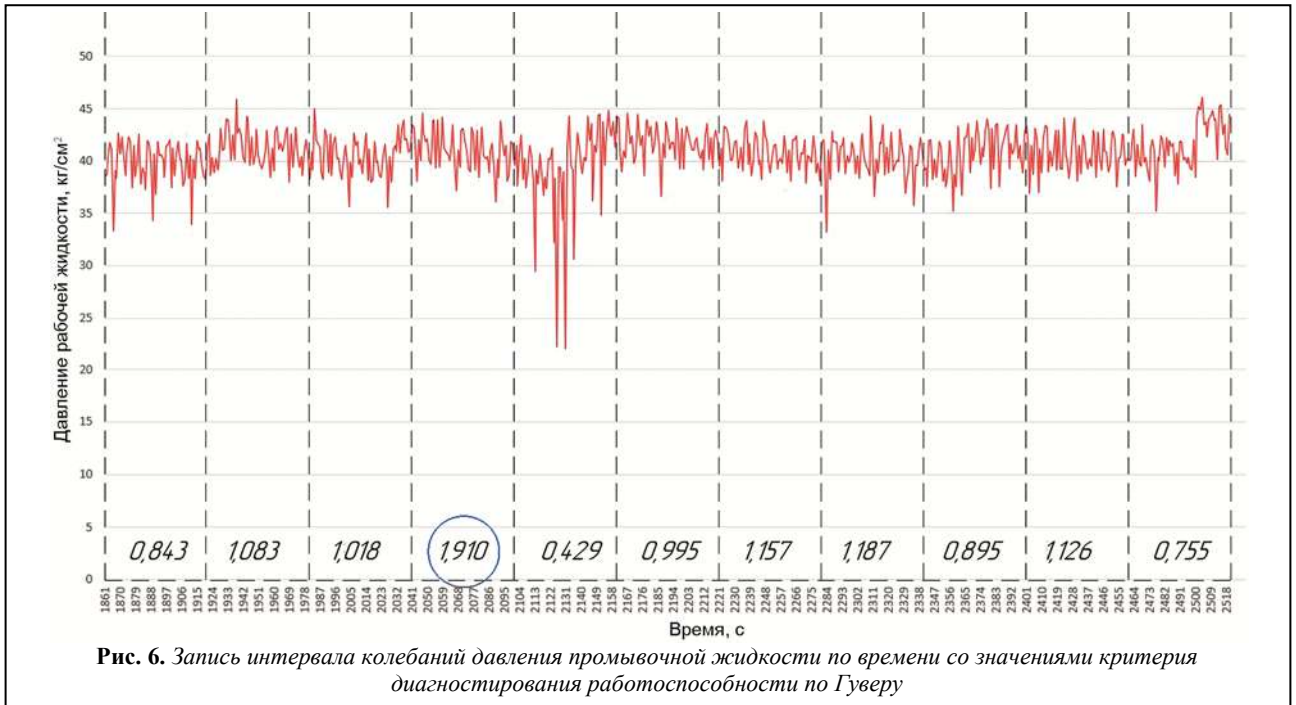
на интервале 2101–2160 с –  $K_{HF} = 0,236$  (интервал 2161–2220 с – восстановление: стабильная работа);

на интервале 2281–2340 с –  $K_{HF} = 12,345$  (интервал 2341–2400 с – отказ оборудования: подклинивание ВЗД);

на интервале 2401–2460 с –  $K_{HF} = 7,842$  (интервал 2461–2520 с – отказ оборудования: подклинивание ВЗД).

В ходе расчета был проанализирован и обработан временной ряд процесса фрезерования колонны по колебаниям давления промывочной жидкости и колебаниям осевой нагрузки, состоящий из 45393





значений с интервалом дискретности  $\Delta t = 1$  с. Испытание проводилось на стенде ООО "Перфобур" для фрезы с диаметром 82 мм с дробленой частью карбида вольфрама для ОК диаметром 178 мм группой прочности Е. Установлено, что:

1) критические значения критерия диагностирования работоспособности по Гуверу:

по колебаниям давления промывочной жидкости:  $K_{HP} > 1,9$ ;

по колебаниям осевой нагрузки:  $K_{HF} > 3,5$ ;

2) в момент отказа оборудования, а именно заклинивания ВЗД наблюдается одновременное увеличение значений обоих критериев диагностирования ра-

ботоспособности по Гуверу выше критических ( $K_{HP} > 1,9$  и  $K_{HF} > 3,5$ );

3) в момент отказа оборудования, а именно подклинивания ВЗД наблюдается увеличение значения одного из критериев диагностирования работоспособности по Гуверу выше критических ( $K_{HP} > 1,9$  или  $K_{HF} > 3,5$ );

4) при нестабильной работе насосного оборудования наблюдается увеличение значений критерия диагностирования работоспособности по Гуверу по колебаниям промывочной жидкости до критического ( $K_{HF} < 1,4$  и  $1,1 < K_{HP} \leq 1,9$ );



5) износ фрезы наблюдается при увеличении значения критерия диагностирования работоспособности по Гуверу по осевой нагрузке до критического ( $K_{HF} < 1,1$  и  $1,4 < K_{HF} \leq 3,5$ ).

Вторичное вскрытие пластов является важной, завершающей и технически трудной операцией при строительстве скважин. Основной ее задача – установление надежной гидравлически совершенной связи пласта со скважиной [21–23].

В ходе работы установлено, что применение критерия Гувера дает возможность точного определения момента, когда происходит наибольшее отклонение от эталонного значения критерия диагностирования при фрезеровании колонны. Кроме того, появляется возможность расчета критериев диагностирования для колонн разных групп прочности, а также для разных условий фрезерования.

К моменту написания статьи было успешно завершено строительство более 180 радиальных каналов в карбонатных и терригенных коллекторах российских и зарубежных компаний. Работы выполнялись, в том числе, с фрезерованием окон в эксплуатационных колоннах различных групп прочности. Технологическая успешность выполненных работ составила 100 %, геологическая успешность – 80 %.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Совершенствование технологии вторичного вскрытия и освоения скважин / А.В. Лягов, Е.Л. Маликов, Н.Ю. Кузнецова [и др.] // *Электрон. науч. журн. Нефтегазовое дело.* – 2011. – № 6. – С. 160–173.
2. Техническая система "Перфобур" для вторичного вскрытия продуктивного пласта / И.А. Лягов, А.В. Лягов, В.В. Шайдаков [и др.] // *Стр-во нефтяных и газовых скважин на суше и на море.* – 2022. – № 2(350). – С. 47–52. – DOI: 10.33285/0130-3872-2022-2(350)-47-52
3. Пат. на полез. модель 195139 Рос. Федерация, МПК E21B 4/02, E21B 21/00, E21B 7/04. Бурильная компоновка с малогабаритным гидравлическим забойным двигателем / А.В. Лягов, И.А. Лягов; патентообладатель ООО "Перфобур". – № 2019120556; заявл. 25.12.2017; опубл. 15.01.2020, Бюл. № 2.
4. Пат. на полез. модель 217542 Рос. Федерация, МПК F01C 1/16. Героторный механизм рабочих органов объемной гидравлической машины / Д.Ф. Балденко, Ф.Д. Балденко, И.А. Лягов [и др.]; патентообладатель Перфобур Инк. – № 2022127178; заявл. 19.10.2022; опубл. 04.04.2023, Бюл. № 10.
5. Пат. 2674485 Рос. Федерация, МПК E21B 4/02. Малогабаритный шпиндель секционного винтового забойного двигателя / А.В. Лягов, И.А. Лягов, М.А. Качемаева [и др.]; патентообладатель ООО "Перфобур". – № 2017141481; заявл. 29.11.2017; опубл. 11.12.2018, Бюл. № 35.
6. Ганджумян Р.А., Симонянц С.Л. К вопросу об изучении вибрации бурильной колонны как случайного процесса // *Стр-во нефтяных и газовых скважин на суше и на море.* – 2018. – № 3. – С. 5–8. – DOI: 10.30713/0130-3872-2018-3-5-8
7. Габдрахимов М.С., Миннивалеев Т.Н., Галимов Р.М. Исследование и оценка влияния неравномерности давления промысловой жидкости на работу бурового инструмента // *Экспозиция Нефть Газ.* – 2013. – № 2(27). – С. 65–67.
8. Ишемгузин И.Е., Ямалиев В.У., Ишемгузин Е.И. Диагностирование объектов нефтегазодобычи при случайных колебаниях технологических параметров бурения // *Нефтегазовое дело.* – 2011. – Т. 9, № 3. – С. 17–20.
9. Ганджумян Р.А., Симонянц С.Л. О статистическом подходе к исследованию буровых процессов // *Стр-во нефтяных и газовых скважин на суше и на море.* – 2018. – № 4. – С. 19–22. – DOI: 10.30713/0130-3872-2018-4-19-22
10. Шестакова Е.В., Ямалиев В.У. Критерии оценки технического состояния объекта при случайных колебаниях // *Современные проблемы нефтегазового оборудования – 2021: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Уфа, 15 дек. 2021 г.* – Уфа: УГНТУ, 2021. – С. 323–328.
11. Пат. 2182659 Рос. Федерация, МПК E21B 44/06, E21B 45/00. Способ определения работоспособности породоразрушающего инструмента / А.Х. Мирзаджанзаде, В.У. Ямалиев, М.М. Хасанов [и др.]; патентообладатель ООО "ЮганскНИПИнефть". – № 2001107329/03; заявл. 19.03.2001; опубл. 20.05.2002, Бюл. № 14.
12. Авт. свид. 1555469 СССР, МПК E21B 45/00. Способ определения степени износа породоразрушающего инструмента / Е.И. Ишемгузин, Б.З. Султанов, В.У. Ямалиев [и др.]; патентообладатель Уфимский нефтяной ин-т. – № 4448583; заявл. 27.06.1988; опубл. 07.04.1990, Бюл. № 13.
13. Авт. свид. 1629455 СССР, МПК E21B 45/00. Способ определения степени износа опор турбобура / Е.И. Ишемгузин, Б.З. Султанов, В.У. Ямалиев, О.А. Залкина; патентообладатель Уфимский нефтяной ин-т. – № 4391324; заявл. 10.03.1988; опубл. 23.02.1991, Бюл. № 7.
14. Пат. 2739875 Рос. Федерация, МПК E21B 45/00. Способ определения работоспособности породоразрушающего инструмента / В.У. Ямалиев, И.Р. Мамалимова; патентообладатель ФГБОУ ВО "Уфимский гос. нефт. техн. ун-т". – № 2020116660; заявл. 12.05.2020; опубл. 29.12.2020, Бюл. № 1.
15. Авт. свид. 1800011 СССР, МПК E21B 45/00. Способ определения работоспособности породоразрушающего инструмента / А.Х. Мирзаджанзаде, Е.И. Ишемгузин, М.М. Хасанов [и др.]; патентообладатель Уфимский нефтяной ин-т. – № 4910926; заявл. 12.02.1991; опубл. 07.03.1993, Бюл. № 9.
16. Пат. 2188939 Рос. Федерация, МПК E21B 44/06, E21B 45/00. Способ определения работоспособности породоразрушающего инструмента / В.У. Ямалиев, М.М. Хасанов, Р.Н. Якупов [и др.]; патентообладатель ООО "ЮганскНИПИнефть". – № 2001113974/03; заявл. 25.05.2001; опубл. 10.09.2002, Бюл. № 25.
17. Пат. 2819317 Рос. Федерация, МПК E21B 47/007, E21B 45/00. Способ определения работоспособности фрезерного инструмента / Е.В. Шестакова, И.А. Лягов, В.У. Ямалиев [и др.]; патентообладатель ФГБОУ ВО "Уфимский гос. нефт. техн. ун-т". – № 2023133380; заявл. 12.12.2023; опубл. 17.05.2024, Бюл. № 14.
18. Применение технологии радиального вскрытия пласта на Северо-Хоседаюском месторождении / О.В. Акимов, К.В. Кемпф, Д.В. Шкарин [и др.] // *Нефт. хоз-во.* – 2024. – № 4. – С. 28–31. – DOI: 10.24887/0028-2448-2024-4-28-31
19. Выбор необходимого количества промывочных переводников в специальной компоновке и исследование их работы при бурении радиально-разветвленных каналов секционными винтовыми двигателями / И.А. Лягов, А.В. Лягов, Д.Р. Исангулов, А.А. Лягова // *Зап. Горного ин-та.* – 2024. – Т. 265. – С. 78–86.
20. Прогнозирование рисков заклинивания для исключения возможности прихватов технической системы "Перфобур" при бурении разветвленных каналов в терригенных коллекторах / И.А. Лягов, А.Г. Губайдуллин, А.В. Лягов [и др.] // *Изв. Томского политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов.* – 2019. – Т. 330, № 10. – С. 126–136. – DOI: 10.18799/24131830/2019/10/2304

## SPISOK ISTOCHNIKOV

1. Sovershenstvovanie tekhnologii vtorichnogo vskrytiya i osvobozhdeniya skvazhin / A.V. Lyagov, E.L. Malikov, N.Yu. Kuznetsova [i dr.] // *Elektron. nauch. zhurn. Neftegazovoe delo*. – 2011. – № 6. – S. 160–173.
2. Tekhnicheskaya sistema "Perfobur" dlya vtorichnogo vskrytiya produktivnogo plasta / I.A. Lyagov, A.V. Lyagov, V.V. Shaydakov [i dr.] // *Str-vo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*. – 2022. – № 2(350). – S. 47–52. – DOI: 10.33285/0130-3872-2022-2(350)-47-52
3. Pat. na polez. model' 195139 Ros. Federatsiya, MPK E21B 4/02, E21B 21/00, E21B 7/04. Buril'naya komponentovka s malogabaritnym gidravlicheskim zaboynym dvigatelem / A.V. Lyagov, I.A. Lyagov; patentoobladatel' OOO "Perfobur". – № 2019120556; yayavl. 25.12.2017; opubl. 15.01.2020, Byul. № 2.
4. Pat. na polez. model' 217542 Ros. Federatsiya, MPK F01C 1/16. Gerotornyy mekhanizm rabochikh organov ob'emnoy gidravlicheskoy mashiny / D.F. Balenko, F.D. Balenko, I.A. Lyagov [i dr.]; patentoobladatel' Perfobur Ink. – № 2022127178; yayavl. 19.10.2022; opubl. 04.04.2023, Byul. № 10.
5. Pat. 2674485 Ros. Federatsiya, MPK E21B 4/02. Malogabaritnyy shpindel' sektiionnogo vintovogo zaboynogo dvigatelya / A.V. Lyagov, I.A. Lyagov, M.A. Kachemaeva [i dr.]; patentoobladatel' OOO "Perfobur". – № 2017141481; yayavl. 29.11.2017; opubl. 11.12.2018, Byul. № 35.
6. Gandzhumyan R.A., Simonyants S.L. K voprosu ob izuchenii vibratsii buril'noy kolonny kak sluchaynogo protsesssa // *Str-vo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*. – 2018. – № 3. – S. 5–8. – DOI: 10.30713/0130-3872-2018-3-5-8
7. Gabdrakhimov M.S., Minnivaliev T.N., Galimov R.M. Issledovanie i otsenka vliyaniya neravnomernosti davleniya promyshlennoy zhidkosti na rabotu burovogo instrumenta // *Ekspozitsiya Neft' Gaz*. – 2013. – № 2(27). – S. 65–67.
8. Ishemguzhin I.E., Yamaliev V.U., Ishemguzhin E.I. Diagnostirovanie ob"ektov neftegazodobychi pri sluchaynykh kolebaniyakh tekhnologicheskikh parametrov bureniya // *Neftegazovoe delo*. – 2011. – T. 9, № 3. – S. 17–20.
9. Gandzhumyan R.A., Simonyants S.L. O statisticheskom podkhode k issledovaniyu burovyykh protsessov // *Str-vo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*. – 2018. – № 4. – S. 19–22. – DOI: 10.30713/0130-3872-2018-4-19-22
10. Shestakova E.V., Yamaliev V.U. Kriterii otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya ob"ekta pri sluchaynykh kolebaniyakh // *Sovremennye problemy neftegazovogo oborudovaniya* – 2021: *materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.*, Ufa, 15 dek. 2021 g. – Ufa: UGNTU, 2021. – S. 323–328.
11. Pat. 2182659 Ros. Federatsiya, MPK E21B 44/06, E21B 45/00. Sposob opredeleniya rabotosposobnosti porodorazrushayushchego instrumenta / A.Kh. Mirzadzhanzade, V.U. Yamaliev, M.M. Khasanov [i dr.]; patentoobladatel' OOO "Yugansk-
- NIPIneft"*. – № 2001107329/03; yayavl. 19.03.2001; opubl. 20.05.2002, Byul. № 14.
12. Avt. svid. 1555469 SSSR, MPK E21B 45/00. Sposob opredeleniya stepeni iznosa porodorazrushayushchego instrumenta / E.I. Ishemguzhin, B.Z. Sultanov, V.U. Yamaliev [i dr.]; patentoobladatel' Ufimskiy neftyanoy in-t. – № 4448583; yayavl. 27.06.1988; opubl. 07.04.1990, Byul. № 13.
13. Avt. svid. 1629455 SSSR, MPK E21B 45/00. Sposob opredeleniya stepeni iznosa opor turbobura / E.I. Ishemguzhin, B.Z. Sultanov, V.U. Yamaliev, O.A. Zalkina; patentoobladatel' Ufimskiy neftyanoy in-t. – № 4391324; yayavl. 10.03.1988; opubl. 23.02.1991, Byul. № 7.
14. Pat. 2739875 Ros. Federatsiya, MPK E21B 45/00. Sposob opredeleniya rabotosposobnosti porodorazrushayushchego instrumenta / V.U. Yamaliev, I.R. Mamalimova; patentoobladatel' FGBOU VO "Ufimskiy gos. nef. tekhn. un-t". – № 2020116660; yayavl. 12.05.2020; opubl. 29.12.2020, Byul. № 1.
15. Avt. svid. 1800011 SSSR, MPK E21B 45/00. Sposob opredeleniya rabotosposobnosti porodorazrushayushchego instrumenta / A.Kh. Mirzadzhanzade, E.I. Ishemguzhin, M.M. Khasanov [i dr.]; patentoobladatel' Ufimskiy neftyanoy in-t. – № 4910926; yayavl. 12.02.1991; opubl. 07.03.1993, Byul. № 9.
16. Pat. 2188939 Ros. Federatsiya, MPK E21B 44/06, E21B 45/00. Sposob opredeleniya rabotosposobnosti porodorazrushayushchego instrumenta / V.U. Yamaliev, M.M. Khasanov, R.N. Yakupov [i dr.]; patentoobladatel' OOO "YuganskNIPIneft". – № 2001113974/03; yayavl. 25.05.2001; opubl. 10.09.2002, Byul. № 25.
17. Pat. 2819317 Ros. Federatsiya, MPK E21B 47/007, E21B 45/00. Sposob opredeleniya rabotosposobnosti frezernogo instrumenta / E.V. Shestakova, I.A. Lyagov, V.U. Yamaliev [i dr.]; patentoobladatel' FGBOU VO "Ufimskiy gos. nef. tekhn. un-t". – № 2023133380; yayavl. 12.12.2023; opubl. 17.05.2024, Byul. № 14.
18. Primenenie tekhnologii radial'nogo vskrytiya plasta na Severo-Khosedayuskom mestorozhdenii / O.V. Akimov, K.V. Kempf, D.V. Shkarin [i dr.] // *Neft. khoz-vo*. – 2024. – № 4. – S. 28–31. – DOI: 10.24887/0028-2448-2024-4-28-31
19. Vybory neobkhodimogo kolichestva promyshlennykh pervovodnikov v spetsial'noy komponentovke i issledovanie ikh raboty pri burenii radial'no-razvetvlyennykh kanalov sektiionnymi vintovymi dvigateleyami / I.A. Lyagov, A.V. Lyagov, D.R. Isangulov, A.A. Lyagova // *Zap. Gornogo in-ta*. – 2024. – T. 265. – S. 78–86.
20. Prognozirovaniye riskov zaklinivaniya dlya isklyucheniya vozmozhnosti prikhvatov tekhnicheskoy sistemy "Perfobur" pri burenii razvetvlyennykh kanalov v terrigennykh kollektorakh / I.A. Lyagov, A.G. Gubaydullin, A.V. Lyagov [i dr.] // *Izv. Tomskogo politekhn. un-ta. Inzhiniring georesursov*. – 2019. – T. 330, № 10. – S. 126–136. – DOI: 10.18799/24131830/2019/10/2304

## Информация об авторах

Евгения Владимировна Шестакова, аспирант  
Илья Александрович Лягов, канд. техн. наук, ген. директор  
Виль Узбекович Ямалиев, д-р техн. наук, профессор  
Александр Васильевич Лягов, д-р техн. наук, профессор

## Information about the authors

Evgeniya V. Shestakova, postgraduate student  
Ilya A. Lyagov, PhD (engineering), General Director  
Vil U. Yamaliev, DSc (engineering), Professor  
Alexander V. Lyagov, DSc (engineering), Professor

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
**НЕФТИ и ГАЗА**  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)  
**имени И.М. ГУБКИНА**  
Базовый вуз нефтегазового комплекса России