

На правах рукописи



**Дрозденко Юрий Вадимович**

**ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ БУРОШНЕКОВЫХ МАШИН**

Специальность 05.05.06 – «Горные машины»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Кемерово-2016

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Маметьев Леонид Евгеньевич,

Официальные оппоненты:

Данилов Борис Борисович доктор технических наук, ИГД СО РАН,  
лаборатория подземной строительной  
геотехники и геотехнологии, заведующий  
лабораторией

Казанцев Антон Александрович кандидат технических наук, доцент,  
Юргинский технологический институт  
Томского политехнического университета,  
кафедра «Горно-шахтного оборудования»,  
заведующий кафедрой

Ведущая организация Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Сибирский федеральный  
университет» г. Красноярск.

Защита состоится 26.05.2016 г. в 10-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.102.01 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва» по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28. Факс (3842) 36-16-87, e-mail: [siyu.eva@kuzstu.ru](mailto:siyu.eva@kuzstu.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва» и на сайте <http://science.kuzstu.ru/activities/gos-attestation/soresearchers/>

Автореферат разослан «   » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Семькина  
Ирина Юрьевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Расширение области применения буровых технологий и техники охватывает решение жизненно важных проблем многих отраслей промышленности, использующих комплекс скважин различного назначения. Особое значение, буровые технологии и техника имеют для горной, нефтяной, газовой и строительной отраслей промышленности. Развитие существующих промышленных предприятий и инфраструктуры городов предполагает и развитие сети подземных коммуникаций. Прокладка подземных коммуникаций открытым способом в промышленных условиях и плотной городской застройки весьма затруднительно. Поэтому применение бестраншейных технологий с использованием машин для бурения горизонтальных и слабонаклонных скважин является одним из рациональных способов проведения подземных коммуникаций.

Эффективная эксплуатация узлов и агрегатов электромеханического и гидравлического оборудования, которые составляют функциональную основу буровых машин (БШМ) и инструмента, достигается путем снижения потока отказов и повышения оперативности определения показателей фактического технического состояния. Достижение этих показателей выполнимо только при соблюдении соответствующих организационных и технологических мероприятий по ремонту и техническому обслуживанию эксплуатируемого оборудования. Такой подход особенно актуален при учете того, что проектирование и создание нового оборудования направлено на увеличение скорости выполнения поставленных ему задач, а стандартные системы планово-предупредительных ремонтов не способны обеспечить заданный уровень эксплуатационной надежности. Так как буровые машины и оборудование к ним выпускаются ограниченными партиями или в единственном экземпляре по требованиям заказчика то данные, которые регламентировали бы периодичность проведения ремонтных и восстановительных работ практически отсутствуют.

Процесс обнаружения и устранения неисправностей эксплуатируемого оборудования влечет значительные затраты временных и финансовых ресурсов, особенно если это касается аварийных случаев. В итоге, затраты на восстановление и поддержание оборудования в работоспособном состоянии могут превысить его стоимость, а простои оборудования могут привести к еще более значительным убыткам. В такой ситуации особое значение приобретает процесс диагностирования оборудования и определение его остаточного ресурса.

Развитие научно-технических основ оценки технического состояния узлов и агрегатов шнековых машин для бурения горизонтальных скважин обеспечит обоснование периодичности ремонта и технического обслуживания бурового оборудования, разработку технологических и технических решений повышения их работоспособности, базируется на выявлении закономерностей возникновения износов, повреждений в деталях и сборочных единицах, закономерностях развития деградиационных процессов и является актуальной научной задачей.

Работа выполнялась в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки России по проекту №632 «Исследование параметров технологии и техники для выбора и разработки инновационных технических решений по повышению эффективности эксплуатации выемочно-проходческих горных машин в Кузбассе».

**Степень проработанности.** Вопросами разработки и эксплуатации бурошнекового оборудования и развития бурошнековых технологий занимались такие ученые как М.С. Сафохин, Г. Е. Лавров, Б. Н. Смоляницкий, Л. Е. Маметьев, С. М. Карпенко; Б. Б. Данилов, А. В. Гилев, А. Н. Ананьев, О. В. Любимов. В работах данных исследователей обоснованы конструктивные и силовые параметры бурошнековых машин и оборудования, разработаны способы и средства для бурения горизонтальных скважин, а также намечены пути совершенствования бурошнекового оборудования. Однако вопросы диагностики и повышения уровня безотказности бурошнековых машин, а также вопросы, связанные с оценкой технического состояния не рассматривались.

**Цель работы.** Разработка метода оценки технического состояния узлов и агрегатов оборудования шнековых машин для бурения горизонтальных скважин.

**Идея работы** заключается в использовании методов вибрационного диагностирования фактического технического состояния узлов оборудования бурошнековых машин.

**Объект исследований:** комплект бурошнекового оборудования на базе станка вращательного бурения.

**Задачи исследований.** Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

1. Определить группу значимых показателей влияния на фактическое техническое состояние узлов оборудования бурошнековой машины для бурения горизонтальных скважин большого диаметра;
2. Выбор метода диагностики технического состояния узлов и агрегатов бурошнековой машины и схему диагностических обследований в процессе эксплуатации;
3. Разработать методику оценки фактического технического состояния узлов оборудования бурошнековых машин;
4. Предложить технические решения по снижению уровня механических колебаний в опорных подшипниковых узлах комплекта бурошнекового оборудования для двухэтапного бурения горизонтальных скважин.

**Методы исследований.** При выполнении работы использовались следующие методы: хронометрические наблюдения, экспериментальные исследования, системный анализ, а также методы математического моделирования и статистической обработки экспериментальных результатов, положения теории вероятностей и научный анализ литературных источников.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Величина коэффициента значимости  $K_{ЗН}$  устанавливает группу показателей влияния на фактическое техническое состояние узлов оборудования БШМ

характеризуемыми уровнем вибрации подшипниковых опор и случайными техногенными факторами.

2. Спектральные характеристики вибрационного сигнала устанавливают взаимосвязь фактического технического состояния узлов и агрегатов буровых машин с уровнем вибрации подшипниковых опор и оценивают их работоспособность или необходимость проведения мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту.

3. Снижение уровня вибраций в подшипниковых опорах вращательно-подающего механизма и инструмента буровых машин и, как следствие, сокращение периодичности мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту достигается за счет применения самогерметизируемых подшипниковых узлов.

### **Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

- представительным объемом статистической выборки (пробурено 43 горизонтальные скважины общей протяженностью более 1100 м с регулярным мониторингом вибрации);

- использованием современных методов измерения и анализа механических колебаний;

- положительными результатами внедрения новой конструкции подшипникового узла при сооружении горизонтальных скважин на промышленных площадках Кузбасса и других регионов России.

### **Научная новизна диссертации** заключается в следующем:

- впервые установлен перечень параметров, которые оказывают существенное влияние на эксплуатационную надежность и техническое состояние буровых машин горизонтального бурения;

- определены методы и разработаны требования для оценки технического состояния буровых машин, позволяющие устанавливать сроки проведения технического обслуживания и ремонта;

- разработаны средства снижения уровня вибрации во вращательно-подающем узле буровых машин, препятствующие попаданию продуктов разрушения на трущиеся поверхности подшипников.

### **Личный вклад** автора состоит:

- в проведении теоретических исследований и численных экспериментов, а также в обработке и анализе результатов натурных испытаний буровых машин и в обработке статистического материала, полученного в результате экспериментов проведенных при сооружении горизонтальных скважин в условиях Кузбасса и других регионов РФ;

- в реализации системы мониторинга механических колебаний в узлах буровых машин при сооружении горизонтальных скважин.

**Научное значение работы** заключается в разработке метода оценки технического состояния уникальных технических объектов, с учетом особенностей условий и режимов эксплуатации, базирующегося на использовании методов и

средств неразрушающего контроля, и разработке средств снижения влияния механических колебаний в узлах бурошнекового оборудования.

**Практическая значимость работы** заключается в разработке научно обоснованной методики объективной оценки фактического технического состояния бурошnekовой машины горизонтального бурения.

Предлагаемое решение конструкции подшипникового узла, в котором применяются подшипники с АФЗ, позволяет снизить негативное влияние механических колебаний на вращательно-подающий механизм бурошnekовой машины.

**Реализация выводов и рекомендаций работы.** Основные научные результаты диссертационной работы внедрены и находят практическое применение в учебных заведениях высшего профессионального образования (КузГТУ г. Кемерово) и организациях, являющихся заказчиками услуг по сооружению горизонтальных скважин (ОАО «Кемеровоэлектромонтаж» (г. Кемерово), ООО «Блок» (г. Нижневартовск), ООО «Прокопьевское специализированное предприятие» (г. Прокопьевск). К их числу относятся материалы по оценке технического состояния бурошnekowego оборудования, рекомендации по использованию средств неразрушающего контроля для оценки остаточного ресурса узлов, разделы лекционных курсов.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации и отдельные ее результаты докладывались и обсуждались на 26-й международной конференции «NO-DIG 2008» (г. Москва, 2008 г.), на четвертой международной конференции «Проблемы механики современных машин» (г. Улан-Уде, 2009 г.), на XIII Международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России. Новые походы к развитию угольной промышленности» (г. Кемерово, 2011 г.), на международных конференциях «NO-DIG 2010», «NO-DIG 2012» (г. Москва), на XV международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс» (г. Кемерово, 2014 г.), на Китайско-Российском форуме «Taishan Academic Forum – Project on Mine Disastes Prevention and Control» (Qingdao, China, 2014).

Результаты диссертационного исследования прошли практическую апробацию в рамках Федеральной целевой программы по теме: «Разработка экспериментальных конструкций комбинированного инструмента с применением сверхтвердых композиционных материалов для эффективного разрушения горных пород» (Соглашение № 14.607.21.0028 от 05.06.2014г.).

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 16 работ, 8 из которых в изданиях, рекомендуемых перечнем ВАК РФ.

**Объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и двух приложений общий объем 146 страниц, содержит 22 таблицы и 47 рисунков, библиографический список включает 136 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ**

**В первой** главе дан анализ оборудования для сооружения горизонтальных скважин. Определены требования, предъявляемые к бурошnekowому оборудова-

нию и наиболее значимые показатели, которые оказывают существенное воздействие на его техническое состояние.

Вопросам проектирования изготовления и эксплуатации бурошнекового оборудования посвящены работы М.С. Сафохина, Г. Е. Лаврова, Б. Н. Смоляницкого, Л. Е. Маметьева, Б. Б. Данилова, А. В. Гилева, А. Н. Ананьева, О. В. Любимова и других исследователей.

Для сбора и анализа факторов, влияющих на функционирование бурошнекового оборудования, предлагается принципиальная схема, в создание которой были положены модели, предложенные проф. Позиным Е.З. и проф. Линником Ю.Н. для описания шнековых исполнительных органов (рис.1).



Рис.1. Схема формирования эксплуатационных параметров бурошнековой машины и инструмента

Для описания работы бурошнекового оборудования используются следующие группы параметров: входные  $[x]$ ; выходные  $[y]$ ; конструктивные  $[k]$ ; регулируемые  $[r]$ ; случайные  $[z]$ .

Выделена группа показателей, которая характеризует процесс сооружения горизонтальной скважины. Для определения наиболее значимых показателей в выделенной группе применен метод ранговой корреляции. Он предусматривает выбор показателей и их ранжирование и определение наиболее значимых. На основании опроса группы экспертов составлены матрицы рангов, примеры которых представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Матрица рангов входных параметров(забойный массив)

Специалисты		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Показатели	P1-Прочность	7	7	4	8	2	5	3	1	7	6
	P2-Твердость	2	4	1	4	7	3	7	4	5	4
	P3- Влажность	3	2	7	1	1	2	6	3	1	3
	P4-Абразивность	1	3	3	2	8	1	4	5	4	1
	P5-Трещиноватость	4	5	6	3	4	6	2	6	2	5
	P6-Слоистость	8	1	2	5	3	4	1	2	3	7
	P7-Класс буримости породы	6	6	5	6	5	8	5	7	8	2
	P8-Структурная неоднородность	5	8	8	7	6	7	8	8	6	8

Матрица рангов выходных параметров (процесс бурения)

Специалисты		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Показатели	Р1-Соответствие оси скважины заданному направлению	5	1	1	4	1	1	2	3	1	5
	Р2-Энергоемкость сооружения скважины	3	7	6	7	7	6	7	6	6	7
	Р3-Параметры скважины	4	2	2	2	2	3	1	4	4	4
	Р4-Фактическая скорость бурения	1	4	3	5	4	4	5	5	3	3
	Р5-Уровень вибрации	7	5	7	6	6	5	6	7	7	6
	Р6-Объем выбуренной породы	2	3	4	1	3	2	3	2	2	1
	Р7- Технологическая схема бурения	6	6	1	3	5	7	4	1	5	2

Коэффициент конкордации является общим коэффициентом ранговой корреляции для группы, состоящей из  $n$  экспертов. Диапазон значений  $0 < W < 1$ . При полной согласованности мнений, когда все эксперты дают одинаковые оценки,  $W=1$ . При полном отсутствии согласованности оценки совершенно случайны и  $W=0$ .

$$W = \frac{mS}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{j=1}^n T_j}, \quad (1)$$

где  $k$  – число групп одинаковых рангов в каждой ранжировке (так как в оценках экспертов нет показателей с одинаковыми рангами, то  $T_j = 0$ );

$S = \sum_{i=1}^n d_i^2$  – сумма центрированных величин рангов каждого показателя;

$d_i = \sum_{j=1}^n q_{ji} - 0,5 n(m+1)$  – централизованная величина ранга каждого показателя;

$\sum_{j=1}^n q_{ji}$  – сумма рангов каждого показателя;

$n$  – число специалистов;  $m$  – число показателей.

Результаты расчета коэффициентов конкордации для каждой матрицы групп параметров, представлены в табл.3.

Установить значимость критерия конкордации можно с помощью критерия  $\chi^2$  (критерия Пирсона). Значение этого критерия зависит от числа степеней свободы и доверительной вероятности (для расчетов была принята доверительная вероятность  $P=0,90$ ).

$$v = m - 1; \quad (2)$$

$$\chi^2 = \frac{mS}{n \times m(m+1) - \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^n T_j}. \quad (3)$$

Результаты расчета значений критерия  $\chi^2$  приведены в табл.4.

Таблица 3

Значения коэффициента конкордации согласованности мнений  
группы экспертов

Группа параметров	Значение коэффициента конкордации $W$
1. Входные параметры	0,43
2. Выходные параметры	0,45
3. Конструктивные параметры	0,43
4. Регулируемые параметры	0,78
5. Случайные параметры	0,41

Методом пропорциональных отношений определен уровень значимости показателей процесса двухэтапного бурения горизонтальных скважин бурошнековыми машинами. Число значимых показателей ( $h$ ) равно числу слагаемых числителя пропорционального отношения

$$\frac{\sum_{i=1}^h V_i}{\sum_{k=h+1}^n V_k} \geq 1, \quad (4)$$

где  $V_i = K_n - K_i$ ;  $V_k = K_n - K_k$  – веса  $i$ -го и  $k$ -го показателей;  
 $K_n, K_i, K_k$  – суммы рангов  $n$ -го,  $k$ -го и  $i$ -го показателей.

По гистограммам ранжирования установлены наиболее значимые показатели процесса бурения горизонтальных скважин (рис. 2-6).

Таблица 4

Значения коэффициента  $\chi^2$

Группа параметров	$\chi^2$	$\chi_{\text{табл}}^2$
1. Входные параметры	23,26	2,83
2. Выходные параметры	38,6	2,20
3. Конструктивные параметры	39,20	3,49
4. Регулируемые параметры	34,20	1,61
5. Случайные параметры	35,16	2,20

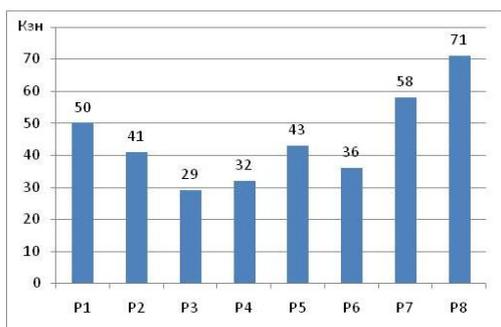


Рис. 2. Гистограмма ранжирования входных параметров

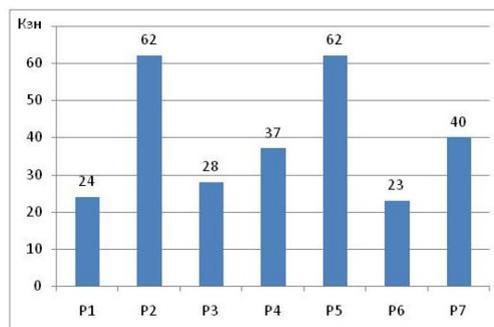


Рис. 3. Гистограмма ранжирования выходных параметров

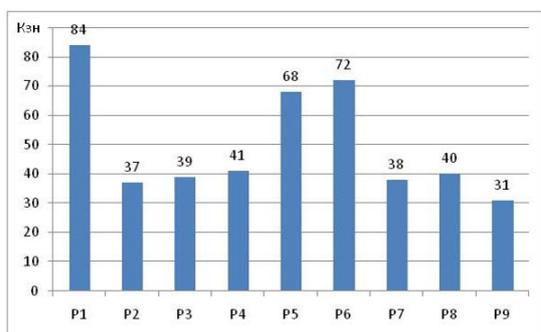


Рис. 4. Гистограмма ранжирования конструктивных параметров

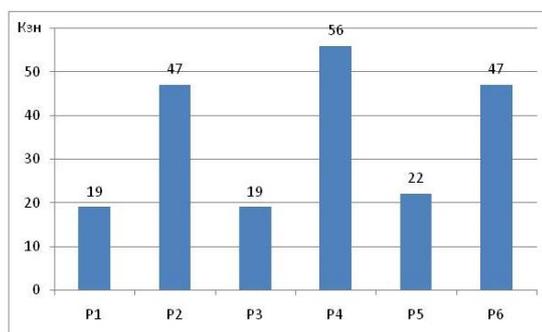


Рис. 5. Гистограмма ранжирования регулируемых параметров

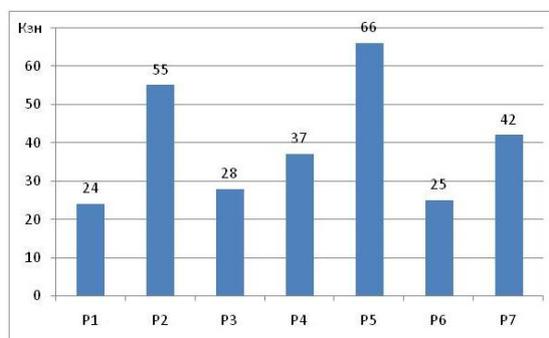


Рис. 6. Гистограмма ранжирования случайных параметров

После определения количества значимых факторов определяется уровень значимости по следующим выражениям:

$$K_{\text{зн}} = \begin{cases} K_h & \text{при } \Delta\{K\}_1 > \Delta\{K\}_2 \\ K_i + \frac{K_n h}{n} & \text{при } \Delta\{K\}_1 < \Delta\{K\}_2 \end{cases}, \quad (5)$$

где  $\Delta\{K\}_1 = \frac{K_h - K_i}{h}$  - среднее значение размаха распределения сумм рангов;

$\Delta\{K\}_2 = \frac{K_n - K_{h+1}}{n - h}$  - среднее значение размаха распределения несущественных показателей.

ных показателей.

Результаты расчетов  $K_{зн}$  представлены в табл. 5.

Сравнивая полученные значения  $K_{зн}$  со значениями на гистограммах, выбираем те факторы, у которых значения  $K_{зн}$  выше расчетного и из них составляется обобщенная матрица рангов и аналогично определяем наиболее значимые показатели (табл.6).

Таблица 5

Результаты расчета уровня значимости

Группа параметров	Количество значимых факторов $h$	$\Delta\{K\}_1$	$\Delta\{K\}_2$	$K_{зн}$
1. Входные параметры	2	2.5	6.50	46,75
2. Выходные параметры	2	5.0	7.75	40,07
3. Конструктивные параметры	3	7.3	4.15	48,3
4. Регулируемые параметры	2	1.5	8.5	37.6
5. Случайные параметры	2	9.5	6.2	42,8

Таблица 6

Обобщенная матрица рангов

Специалисты		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Показатели	P1 - Прочность породы	9	8	10	12	11	7	12	6	11	5
	P2 - Класс буримости породы	8	5	2	6	6	1	3	4	4	1
	P3 - Структурная неоднородность массива	5	9	3	4	1	2	5	1	3	6
	P4 - Энергоемкость сооружения скважины	3	2	4	11	2	3	1	5	2	11
	P5 - Уровень вибрации	12	13	11	9	12	13	7	10	10	13
	P6 - Мощность привода	13	3	9	5	3	4	2	3	5	2
	P7 - Вид потребляемой энергии	6	9	8	1	10	12	8	11	9	12
	P8 - Конструкция исполнительного органа	7	6	7	10	13	5	6	12	6	7
	P9 - Возможность изменения давления в гидросистеме	2	1	1	13	4	8	13	9	7	8
	P10 - Потребляемая мощность	4	10	6	3	5	9	11	13	1	3
	P11 - Усилие подачи	1	4	5	2	7	6	4	2	8	4
	P12 - Наличие техногенного мусора	10	11	12	7	9	10	10	8	13	10
	P13 - Неучтенные коммуникации	11	12	13	8	8	11	9	7	12	9

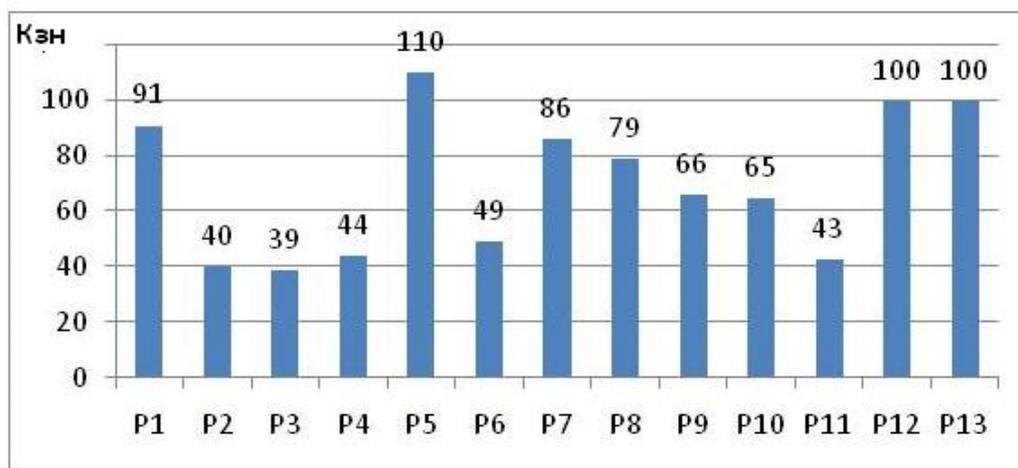


Рис. 7. Гистограмма ранжирования обобщенной матрицы

В результате обработки оценок данных экспертами в обобщенной матрице рангов получили следующие результаты:  $W = 0,53$ ;  $\chi^2 = 48,93$ ;  $K_{зн} = 55,9$ .

К наиболее значимым показателям относятся: P1 - прочность породы; P5 - уровень вибрации; P7 - вид потребляемой энергии; P8 - конструкция исполнительного органа; P9 - возможность изменения давления в гидросистеме; P10 - потребляемая мощность; P12 - наличие техногенного мусора; P13 - неучтенные коммуникации.

**Во второй главе** произведен обзор и сделан анализ по выбору методов и средств диагностики технического состояния бурового оборудования.

Все методы неразрушающего контроля разделены на две основные группы – тестовые и функциональные.

Тестовые методы основаны на выводе оборудования из эксплуатации, что зачастую не представляется возможным в процессе сооружения горизонтальной скважины. Поэтому для оценки технического состояния бурового оборудования целесообразно применение методов функциональной диагностики. К ним относятся: визуальный осмотр; анализ шумов механизма; виброметрия; тепловизионная диагностика; эмиссионный анализ.

Оценка технического состояния буровой машины на основе данных контроля вибрации является одним из наиболее эффективных методов.

Работа бурового оборудования характеризуется колебательными процессами. Общий закон движения описывается в виде функции изменения положения объекта в течение времени (6) и в частотной области (7).

$$x = f(t); \quad (6)$$

$$x = F(\omega). \quad (7)$$

Дефекты бурового оборудования, обусловленные конструктивным, технологическим или эксплуатационным происхождением, определяют уровень вибрационного процесса. В общем случае параметр вибрации бурового оборудования можно представить в виде:

$$P(t) = P_{НЧ}(t) + P_K(t) + P_{И}(t) + P_{Э}(t) + P_B(t) + P_{Ш}(t), \quad (8)$$

где  $P_{НЧ}(t)$  – периодическое низкочастотное возмущение;  $P_K(t)$  – кинематические возмущения;  $P_{И}(t)$  – динамические возмущения;  $P_{Э}(t)$  – экстраординарные

возмущения;  $P_B(t)$  – случайные возмущения от внешних источников;  $P_{III}(t)$  – шумовые возбуждения.

Описание модели (8) при помощи алгебраических и дифференциальных уравнений практически невозможно, из-за её сложности, а упрощение или разбиение на более простые части приведет к искажению и снижению точности результатов исследования.

Вибрационные процессы при работе бурошнекового оборудования, являются случайными временными функциями. Для работы с таким типом функций необходимо знать их вероятностные характеристики. Наиболее полная информация о случайном процессе извлекается из  $n$ -мерных функций распределения вероятностей (9) и плотности распределения вероятностей (10).

$$P_n(t_1, t_2, \dots, t_n; x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (9)$$

$$p_n(t_1, t_2, \dots, t_n; x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{d}{dx} P_n(t_1, t_2, \dots, t_n; x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (10)$$

Однако на практике получить  $n$ -мерные функции чрезвычайно сложно, поэтому для инженерных исследований вибрационных процессов в подшипниковых опорах бурошнековых машин и инструмента применяют одномерные и двумерные функции распределения.

Одним из наиболее эффективных методов анализа виброакустических сигналов является спектральный метод, который основан на двойственной природе описания сигнала (во временной и частотной области). Взаимосвязь между временным и частотным описанием вибрационного сигнала осуществляется прямым и обратным преобразованием Фурье.

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) e^{j\omega t} d\omega; \quad (11)$$

$$X(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt$$

Физический смысл этого преобразования заключается в том, что если известна реализация колебательного процесса во временной области, то можно перейти к распределению амплитуд в частотной области. Фурье-анализ – это основа для получения спектральных характеристик вибрационного сигнала и других методов его фильтрации (спектральный анализ, выделение когерентной составляющей, узкополосной) волновых явлений.

После вибрационного обследования для установления фактического технического состояния бурошнекового оборудования, выявления дефектов, неисправностей, других отклонений, которые могут привести к отказам, а также для планирования проведения и уточнения сроков и объёмов работ по ремонту и обслуживанию оборудования проводятся дополнительные технические обследования (осмотры, освидетельствования, диагностирование).

Итоги диагностирования оформляются в виде протоколов о состоянии технической документации, применяемых методов неразрушающего контроля, с заключением о техническом состоянии бурошнекового оборудования, в котором

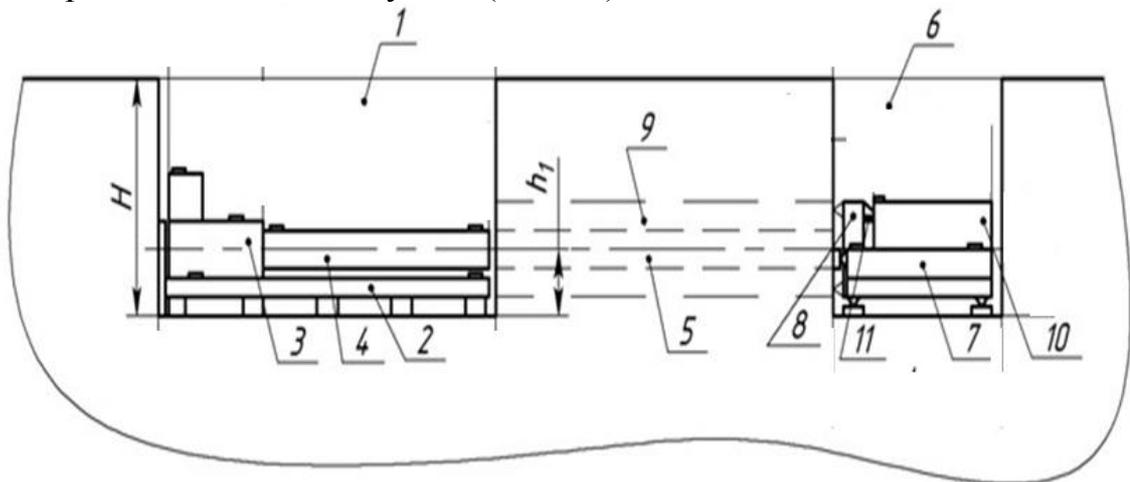
делается общий вывод о целесообразности проведения ремонтно-восстановительных работ или отсутствие таковой необходимости, рекомендации по методам и срокам проведения ремонтных работ, рекомендации по периодичности и методам обследований.

Использование системы современных диагностических методов предотвращает серьезные повреждения и сокращает эксплуатационные издержки на обслуживание комплекта бурового оборудования, так как ремонт проводится только тогда, когда результаты измерений указывают на его необходимость.

**В третьей** главе исследованы причины возникновения отказов в узлах бурового оборудования и обоснованы методы оценки фактического технического состояния бурового оборудования.

Предупреждение отказов буровых машин в значительной степени зависит от прогнозирования технического состояния, которое определяется рядом факторов, обуславливающих протекание деградиционных процессов. Данная задача осложнена тем, что информация об отказах и закономерностях их происхождения и развития отсутствует. Отказы бурового оборудования происходят в результате воздействия неблагоприятных факторов, негативно влияющих на эксплуатационную надежность и ремонтпригодность. Эти факторы могут быть обусловлены воздействием внешней среды (постоянные воздействия) и воздействиями эксплуатационного характера (временные воздействия).

В ходе хронометражных наблюдений за работой бурового оборудования (рис.8) в промышленных условиях были получены и систематизированы результаты по простоям отдельных узлов (табл. 7).



*Рис. 8. Схема бурового оборудования для двухэтапной технологии сооружения горизонтальных скважин: 1 – рабочий котлован; 2 – пастельная рама; 3 – буровой станок; 4 – кожух пионерной скважины; 5 – пионерная скважина; 6 – приемный котлован; 7 – центратор; 8 – расширитель обратного хода; 9 – проектная скважина; 10 – кожух, прокладываемый обратным ходом.*

Значимость количества отказов по какому-либо элементу и удельный вес простоев из-за отказа, возможно определить по величине коэффициента отказов  $K_0$  и коэффициента относительных простоев  $K_{оп}$ :

$$K_0 = \frac{n_i}{n}, \quad (12)$$

где  $n_i$  – количество отказов по элементу,  $n$  – общее количество отказов.

$$K_{0П} = \frac{n_i T_{Bi}}{n T_B} = K_0 \frac{T_{Bi}}{T_B}, \quad (13)$$

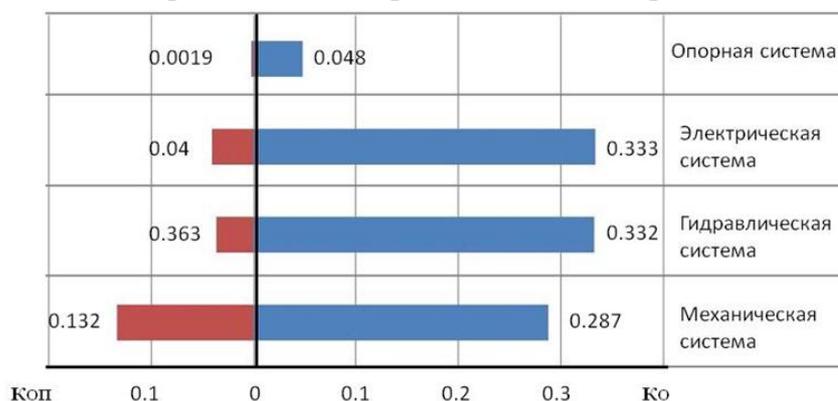
где  $T_{Bi}$  – время простоев из-за отказа элемента,  $T_B$  – общее время простоев за период наблюдений.

Таблица 7

Время простоев буровнекового оборудования

№ п/п	Узел	Количество отказов	Время простоев, ч.
1.	Редуктор	1	7
2.	Буровой замок	4	41
3.	Насосная станция	3	10
4.	Гидравлическое оборудование	4	9
5.	Электрооборудование	7	10,5
6.	Опорная рама	1	3,5
7.	Буровой инструмент	1	5

Результаты расчетов по определению коэффициента отказов  $K_0$  и коэффициента относительных простоев  $K_{0П}$  представлены на рис. 9.

Рис. 9. Значения коэффициентов  $K_0$  и  $K_{0П}$ 

Из рисунка 9 видно, что самая большая доля простоев из-за отказов приходится на механические узлы (буровой замок и редуктор), хотя чаще отказывает электрооборудование.

Климатические условия Сибири и Северо-Востока России характеризуются низкими температурами и сильными ветрами со снегом в течении длительного периода. При этом влияние низкой температуры отрицательно сказывается на ударной вязкости конструкционных материалов, приводит к замерзанию смазки и рабочих жидкостей, криогенному разрушению узлов и деталей.

Особенно в зимний период наблюдается рост отказов в несущих металлоконструкциях и гидравлической системе буровнекового станка. Параметр потока отказов ( $\omega$ ) возрастает на 20-60% по сравнению с летним периодом и как следствие идет увеличение аварийных, нерегламентированных простоев и снижение производительности по сооружению горизонтальной скважины.

На основании хронометражных наблюдений за работой бурового оборудования, построена диаграмма изменения параметра потока отказов в течение календарного года (рис. 10).

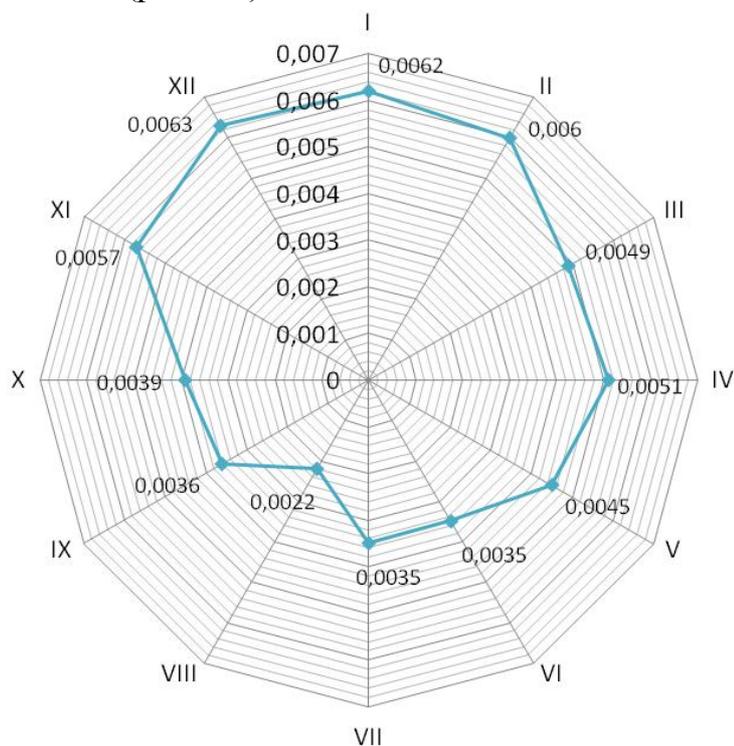


Рис. 10. Изменение параметра потока отказов бурового оборудования в течении года эксплуатации

Характер изменения потока отказов и оперативное выявление зон их локализации в элементах буровых машин и инструмента подтверждает необходимость проведения диагностических мероприятий для распознавания зарождения дефектов на самых ранних стадиях и предотвращения аварийных остановок в процессе бурения горизонтальных скважин по двухэтапной технологии.

Остаточный ресурс узлов буровой машины определяется как разность наработок механизма предельного и фактического уровня.

$$t_{\text{ост}} = \frac{\Delta t (\Delta X_{\text{пр}}^{\frac{1}{\alpha}} - \Delta X_{\text{ф}}^{1/\alpha})}{\Delta X_{\text{пр}}^{\frac{1}{\alpha}} - \Delta X_{\text{ф}-1}^{1/\alpha}}. \quad (18)$$

Достоверность прогнозирования остаточного ресурса, определяется точностью показателя  $\alpha$ . Значение  $\alpha$  для подшипников имеет значение 1,5. Данный способ оценки остаточного ресурса имеет высокую точность и может применяться для любого оборудования выпускаемого в единичных экземплярах или небольшими партиями.

**В четвертой** главе дано описание методики и условий проведения промышленных испытаний буровых машин и инструмента с опорными узлами на базе подшипников с антифрикционным наполнителем (АФЗ).

При бурении горизонтальных скважин, забойные массивы в приповерхностной толще земной коры были представлены на 80% глинистыми породами и

алевролитами, и на 20% – песчаными и супесчаными породами. В этих условиях эксплуатации наиболее уязвимыми являются опорные подшипниковые узлы.

Проведенные исследования на полноразмерных промышленных образцах комплекта бурошнекового оборудования позволили оценить режимные параметры различных способов бурения горизонтальных и слабонаклонных скважин. Бурение осуществлялось в глине с естественной влажностью  $W = 20 - 30\%$ . Увлажнение продуктов разрушения производилось до влажности  $W = 45 - 55\%$ .

При проведении испытаний фиксировались: мощность, потребляемая электродвигателем вращателя; напряжение в сети; частота вращения вала электродвигателя; скорость и усилие подачи бурового инструмента на забой. В комплекте измерительной аппаратуры использован приборный комплекс для регистрации электрических характеристик и манометрический комплект. Уровень вибрации фиксировался виброанализатором Агат-М. Это позволило оценить изменение параметров функционирования комплектов бурошнекового оборудования при двухэтапном бурении горизонтальных скважин и разработать научно-технические рекомендации по режимам бурения и совершенствованию бурошнековых машин.

Прогнозирование изменения технического состояния бурошнековой машины и инструмента по параметрам вибрации создает условия для решения широкого круга задач повышения работоспособности электромеханической системы. Эти задачи повышают информационную эффективность параметров процесса бурения и состояния функциональных элементов бурошнекового оборудования и заключается в:

- оценке степени влияния конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов на эксплуатационную надежность и долговечность механизмов;
- разработке вопросов диагностики и прогнозирования ресурса машин и механизмов по параметрам вибрации;
- созданию универсальных высокоэффективных систем контроля надежности и долговечности машин.

На рис. 11 приведены результаты замеров виброускорения на корпусе траверсы с двусторонним радиально-упорным опорным подшипниковым узлом и буровым замком на подвижном шлицевом шпинделе механизма подачи бурошнековой машины.

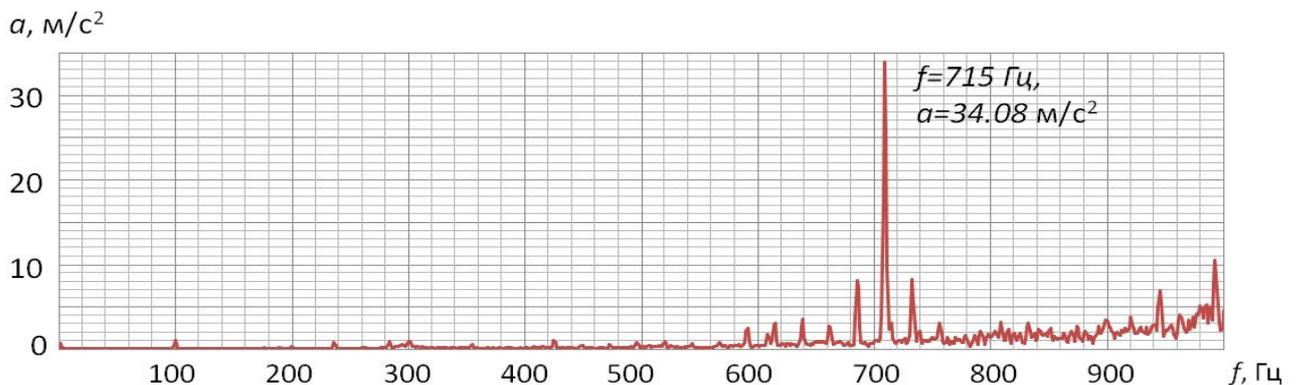


Рис. 11. Спектр виброускорения на корпусе траверсы подшипникового узла бурового замка

Анализ спектров вибрационного сигнала, полученных на подшипниковых узлах бурового инструмента, показал, что наиболее вероятными дефектами являются: раковины, трещины, износ тел качения, перекосы, разрушение сепаратора и нарушение смазки и герметичности подшипников. Все перечисленные повреждения вызывают повышенный уровень вибрации в узлах бурового оборудования и при несвоевременном их устранении могут привести к аварийному отказу. Высокий уровень вибрации подшипника электродвигателя объясняется консольным расположением валов и несовпадением плоскостей вращения звездочек цепной передачи, что предопределяет их преждевременный износ. Регистрация высокого уровня виброускорения в опорном подшипниковом узле бурового замка указывает на повреждение условий вращения тел качения и сепаратора с вероятностью аварийного уровня разрушения и остановки процесса бурения. При этом в процессе эксплуатации происходит разгерметизация корпуса и попадание внутрь продуктов разрушения.

Для предотвращения заштыбовки подшипниковых опор шнекового става, снижения уровня механических колебания и негативного влияния вибрации на узлы вращательно-подающего механизма бурового инструмента на кафедре горных машин и комплексов Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева разработан способ бурения горизонтальных и слабонаклонных скважин и устройство для его осуществления (рис. 12).

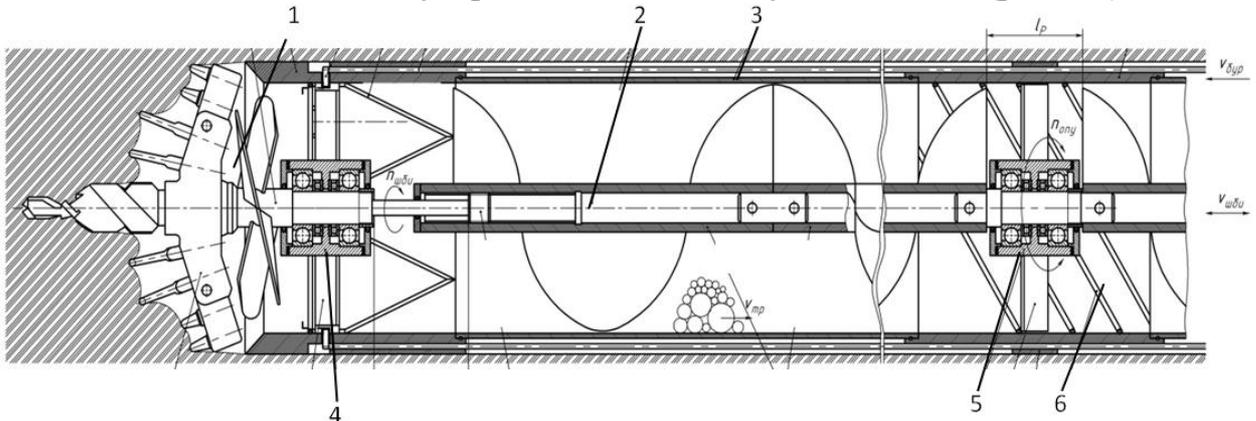


Рис. 12. Узлы оборудования к реализации способа и устройства для бурения горизонтальных и слабонаклонных скважин по патенту РФ 2578081: 1 – расширитель; 2 – шнековый став; 3 – колонна обсадных труб; 4 – головной опорный подшипниковый узел; 5 – подшипниковый узел, размещенный в разрыве шнековой спирали; 6 – проставка – замок с внутренней спиралью

В процессе бурения пионерных горизонтальных и слабонаклонных скважин расширитель 1 бурового инструмента прикрепляют к забойной части колонны обсадных труб 3, через зафиксированные лучи головного опорного подшипникового узла 4, непрерывно вращают и перемещают вместе с ней поступательно в осевом направлении со скоростью  $V_{бур}$ . Опорные подшипниковые узлы 5 установлены в разрывах шнековой спирали и размещены внутри вкладышей-замков 6, жестко соединенных с секциями комплекта обсадных труб 3 с возможностью поворотно-кинематического взаимодействия с внутренней винтовой спиралью. Так как трехгранные опоры подшипниковых узлов 5 осуществляют

возвратно-циклические осевые перемещения вместе с секционным, непрерывно вращающимся шнековым ставом 2 со скоростью  $V_{шби}$ , то они поворачиваются реверсивно либо по часовой стрелке, либо против, что обеспечивает непрерывное транспортирование продуктов разрушения забоя через участки разрывов шнековой спирали длиной  $l_p$ .

Для снижения уровня механических колебания и негативного влияния вибрации на узлы вращательно-подающего механизма бурошнековой машины на кафедре горных машин и комплексов Кузбасского государственного технического университета разработан оригинальный подшипниковый узел (рис. 13). Применение в данной конструкции радиальных подшипников с твердым антифрикционным наполнителем (АФЗ) позволит увеличить их ресурс и предотвратит попадание продуктов разрушения на трущиеся поверхности подшипника.

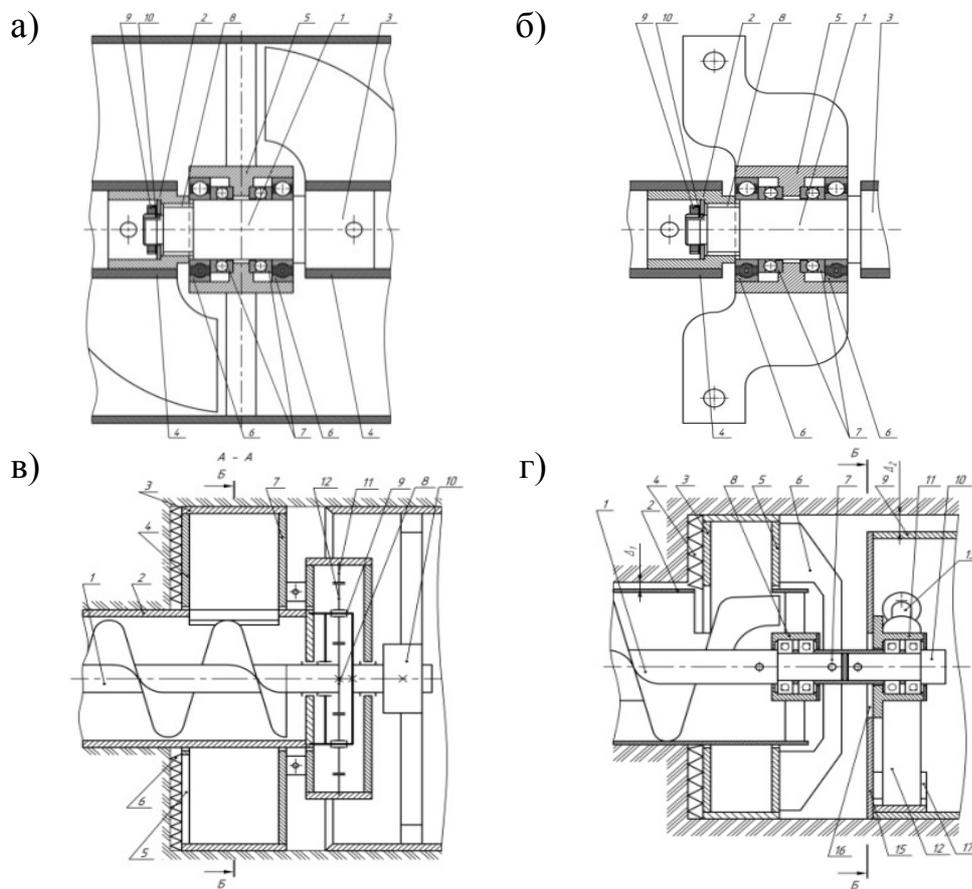


Рис. 13. Опорные узлы на подшипниках с АФЗ: а) бурового замка (Патент РФ № 144475); б) промежуточной опоры бурового става (Патент РФ № 144475); в) расширителя обратного хода с планетарным редуктором (Патент РФ № 156637); г) расширителя обратного хода с радиальной разгрузкой якорно-прицепного устройства от веса кожуха (Патент РФ № 156638)

Результаты сравнения замеров вибрации на подшипниковых узлах, оснащенных подшипниками, как с антифрикционным наполнителем, так и без него, при бурении горизонтальных скважин для прокладки магистрального водовода в 10-м микрорайоне г. Прокопьевска представлены на рис. 14. Пробурено три скважины диаметром 530 мм на длину от 25 до 30 м в глинистых грунтах с влажностью близкой к границе налипания.

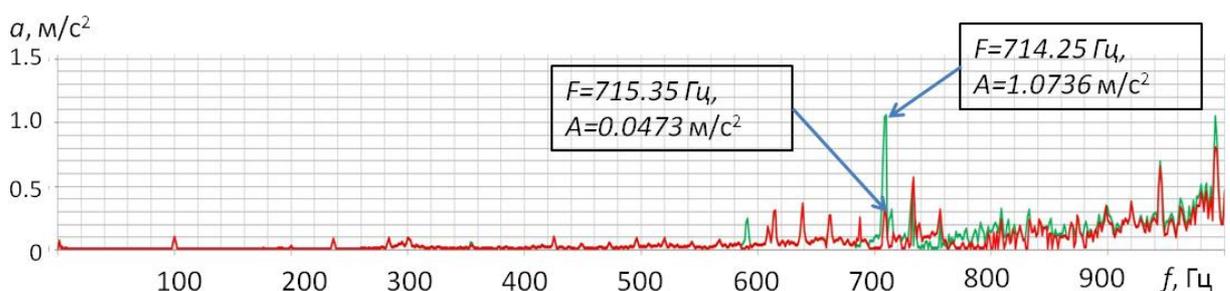


Рис. 14. Результаты замеров уровня вибрации на подшипниковом узле с новыми подшипниками (—) и радиальными подшипниками с АФЗ (—)

Как видно из рис. 14, уровень вибрации в опорном узле оснащенном подшипниками с АФЗ снизился по сравнению с обычными радиальными подшипниками.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе дано новое решение актуальной научной задачи установления связей фактического технического состояния отдельных узлов и агрегатов буровых машин и инструмента с их вибрационными характеристиками, позволяющее повысить эффективность и безотказность эксплуатации при бурении горизонтальных и слабонаклонных скважин большого диаметра.

В результате выполненных автором исследований получены следующие основные результаты:

1. Определен диапазон коэффициента значимости ( $K_{зн} = 55,9-120$ ) факторов, влияющих на эксплуатационную надежность опорных узлов оборудования БШМ и инструмента по результатам ранжирования групп приоритетных параметров.

2. Установлено, что простои от отказов вращательно-подающего механизма и бурового инструмента превышают в 1,8 раза простои от отказов других систем БШМ.

3. Обоснован метод функциональной диагностики параметров вибрационных колебаний, генерируемых на корпусе радиально-упорных подшипниковых узлов систем вращения и подачи, а также в промежуточных опорах бурового инструмента, для оценки технического состояния БШМ.

4. Предложены технические решения, обеспечивающие снижение уровня вибрации в опорных подшипниковых узлах буровой машины и инструмента для двухэтапного бурения горизонтальных скважин большого диаметра (530-2000 мм).

5. Доказано, что применение в опорных узлах буровых машин и инструмента подшипников с АФЗ (Патенты РФ № 144475, 156637, 156638, 2578081) позволяет снизить общий уровень вибрации в 1,75-2,3 раза, преждевременный износ секционного шнекового става и весовые нагрузки на расширитель обратного хода.

### Направления дальнейших исследований

1. Изучить влияние развития уровня механических колебаний на сохранение прямолинейности сооружаемой скважины.

2. Разработать методику оценки технического состояния бурошнековой машины с комплектом инструмента на этапе расширения горизонтальных скважин обратным ходом.

3. Сформировать комплект датчиков положения и вибрации элементов бурошнекового оборудования в рабочем пространстве для контроля точности процесса бурения скважины и определение её критической длины.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

**Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:**

1. Герике Б. Л. Оценка технического состояния бурошнековых машин по параметрам вибрации / Б. Л. Герике, Л. Е. Маметьев, **Ю. В. Дрозденко** // Горное оборудование и электромеханика. – 2015. – №7. – С. 28-31.

2. Маметьев Л. Е. Обоснование параметров технического ресурса подшипниковых узлов инструмента бурошнековых машин / Л. Е. Маметьев, О. В. Любимов, **Ю. В. Дрозденко** // Вестник Кузбасского государственного технического университета. - 2013. - № 1(95). - С. 16-18.

3. Маметьев Л. Е. К вопросу реализации бурошнековых технологий в горном деле и подземном строительстве/ Л. Е. Маметьев, О. В. Любимов, **Ю. В. Дрозденко**//Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2012. - № 2. - С. 211-216.

4. Маметьев Л. Е. Анализ существующих направлений повышения ресурса опорных узлов шнекового става машин горизонтального / Л. Е. Маметьев, О. В. Любимов, **Ю. В. Дрозденко**//Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2012. - №56. - С. 43-50.

5. Маметьев Л. Е. Роль опорных подшипниковых узлов в буровой и горно-транспортной технике / Л. Е. Маметьев, О. В. Любимов, **Ю. В. Дрозденко**//Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2011. - №55. - С. 142-153.

6. Маметьев Л. Е. Конструктивные элементы узлов и механизмов для шнековых машин горизонтального бурения / Л. Е. Маметьев, О. В. Любимов, **Ю. В. Дрозденко**//Справочник. Инженерный журнал с приложением. - 2010. - №11. - С. 25-26.

7. Маметьев Л. Е. О направлении создания бестраншейных технологий в материалах 26-й международной конференции «NO-DIG 2008» / Л. Е. Маметьев, **Ю. В. Дрозденко**, К. А. Ананьев, О. В. Любимов, // Вестник Кузбасского государственного технического университета. - 2013. - № 1. - С. 55-59.

8. Герике Б. Л. Оценка технического состояния бурошнековых машин по параметрам вибрации / Л. Е. Маметьев, **Ю. В. Дрозденко**, О. В. Любимов // Горное оборудование и электромеханика. – 2010. – №5. – С. 47-49.

**Патенты РФ:**

9. Пат. 144475 РФ: МПК Е 21 В10/44 (2006.01). Опорный подшипниковый узел бурошнекового инструмента / Л. Е. Маметьев, О. В. Любимов, **Ю. В. Дрозденко**: патентообладатель Федер. гос. бюджет.образоват. учреждение высш. профессион. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т.Ф. Горбачева» (КузГТУ). - №2014112400/03.Заявл. 31.03.2014; опубл. 20.08.2014. Бюл. №23. – 2 с.

10. Пат. 156637 РФ: МПК Е 21 В7/28 (2006.01). Расширитель для бурения горизонтальных скважин / Л. Е. Маметьев, О. В. Любимов, **Ю. В. Дрозденко**, Е. А. Маметьев, К. Д. Пономарев: патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессион. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т.Ф. Горбачева» (КузГТУ). - №2015116469/03. Заявл. 29.04.2015; опубл. 10.11.2015. Бюл. №31. – 2 с.

11. Пат. 156638 РФ: МПК Е 21 В7/28 (2006.01). Расширитель для бурения горизонтальных скважин / Л. Е. Маметьев, О. В. Любимов, **Ю. В. Дрозденко**, Е. А. Маметьев, К. Д. Пономарев: патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессион. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т.Ф. Горбачева» (КузГТУ). - №2015117310/03. Заявл. 06.05.2015; опубл. 10.11.2015. Бюл. №31. – 2 с.

12. Пат. 2578081 РФ: МПК Е 21 В7/28 Способ бурения горизонтальных и слабонаклонных скважин и устройство для его осуществления/ Л. Е. Маметьев, О. В. Любимов, **Ю. В. Дрозденко**, Маметьев Е. А., Пономарев К. Д.: патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т.Ф. Горбачева» (КузГТУ). - № 2015102313/03. Заявл. 26.01.2015; опубл. 20.03.1016. Бюл. №8. – 14 с.

#### **Прочие публикации:**

13. Герике Б. Л. Промышленная апробация методики диагностического обследования бурошнекового оборудования / Б. Л. Герике, Л. Е. Маметьев, **Ю. В. Дрозденко** // Проблемы экспертизы промышленной безопасности в Сибирском Федеральном округе. Сборник трудов Т.2 / под ред. А. Н. Смирнова. – М.: Машиностроение. – 2015. – С. 68-74.

14. Герике Б. Л. Методология проведения диагностических обследований бурошнекового оборудования по параметрам механических колебаний / Б. Л. Герике, **Ю. В. Дрозденко**, Субботин А. Г. // Проблемы экспертизы промышленной безопасности в Сибирском Федеральном округе. Сборник трудов Т.1/ под ред. А. Н. Смирнова. – М.: Машиностроение. – 2015. – С. 68-78.

15. Drozdenko Y.V. Formation Auger Equipment Reliability // Taishan Academic Forum - Project on Mine Disaster Prevention and Control. - 2014. - С. 171-176.

16. Маметьев Л. Е. Оценка работоспособности необслуживаемых подшипников с АФЗ опорных узлов шнекового става при ресурсных испытаниях / Л. Е. Маметьев, О. В. Любимов, **Ю. В. Дрозденко** // Научно-технический журнал «Горная Промышленность». - 2013. - № 1. - С. 86.

**Личный вклад** автора в работах, выполненных в соавторстве, заключается в следующем:

[1], [2], [8], [16] – проведение основного объема исследований, разработка теоретических положений, обработка полученных данных;

[13], [14] – разработка методики проведения вибрационных замеров;

[3] [9] [10] [11] – проведение экспериментов, обработка результатов;

[4] [7] – проведение аналитического обзора, формулировка выводов;

[5], [6], [12] – общий анализ, обработка данных, формулировка выводов.