



DOI: 10.18721/JEST.230419

УДК 62–237

*А.А. Лобачев, А.В. Ащеулов*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия

АНАЛИЗ ДАННЫХ ТЕЛЕМЕТРИИ ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ

Рассмотрены варианты анализа данных, полученных в процессе бурения глубоких скважин нефти- и газодобычи с использованием силового верхнего привода. Выполнена обработка собранных данных методами математической статистики с помощью пакета программ для ЭВМ (Matlab Simulink). Приведен пример общего и многофакторного анализа данных, поступающих с датчиков и отражающих корректность работы буровой установки. Проведено исследование зависимостей нагружения верхнего привода крутящим моментом от характеристик процесса бурения: глубины расположения забоя, веса на крюке, нагрузки на долото, скорости спуска верхнего привода, давления бурового раствора. Итогом работы стали рекомендации по повышению востребованности силового верхнего привода. Результатом многофакторного анализа являются таблицы факторных нагрузок параметров и характеристик процесса бурения с выделенными вероятными действующими факторами. По составу параметров, имеющих наибольшие факторные нагрузки, можно в дальнейшем оценить физическую причину выделенных факторов. БУРЕНИЕ; СИЛОВОЙ ВЕРХНИЙ ПРИВОД; АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ; ИМПУЛЬС; МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ; ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ.

Ссылка при цитировании:

А.А. Лобачев, А.В. Ащеулов. Анализ данных телеметрии процесса бурения // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2017. Т. 23. № 4. С. 191–203. DOI: 10.18721/JEST.230419.

A.A. Lobachev, A.V. Ashcheulov

Peter the Great St. Petersburg polytechnic university. St. Petersburg, Russia

DATA ANALYSIS OF DRILLING PROCESS TELEMETRY

Variants of the analysis of the data received during drilling of deep wells of oil and gas extraction with use of a power top drive are considered. Processing of the collected data of the work process by the methods of mathematical statistics and software package (Matlab Simulink) is performed. An example of a general and multifactor analysis of data coming from sensors, reflecting the correctness of the drilling rig operation, is given. The dependence of the loading of the upper drive on the drilling characteristics of the drilling process is analyzed: the depth of the slaughtering of the weight on the hook, the load on the bit, the rate of descent of the upper drive, the pressure of the drilling mud. The result of the work was recommendations on the application of data obtained in the analysis to increase the demand for top drive. The result of the multifactor analysis is the tables of factor loads of the parameters and characteristics of the drilling process with the identified probable acting factors. In terms of the composition of the parameters that have the greatest factor loads, we can further evaluate the physical cause of the factors selected. Drilling; Power Upper Drive; Dynamic Load Analysis; Impulse; Mathematical Model; Factor Analysis.

Citation:

A.A. Lobachev, A.V. Ashcheulov, Data analysis of drilling process telemetry, *Peter the Great St. Petersburg polytechnic university journal of engineering sciences and technology*, 23(04)(2017) 191–203, DOI: 10.18721/JEST.230419.

Введение

Системы мониторинга, используемые на буровых установках с верхним приводом, служат для регистрации большого числа параметров, характеризующих процессы бурения и сопутствующие ему операции. Эти данные записываются в электронном виде в специальных форматах [1–3], а для их воспроизведения требуются соответствующие программные продукты.

Регистрации данных системами мониторинга нужна для слежения техническими службами и руководителями работ за происходящими процессами¹. Однако в научном аспекте можно выделить ряд других целей: изучение отдельных процессов; использование полученных зависимостей и данных для улучшения конструкций отдельных элементов буровой установки.

Цель работы — провести анализ данных процесса бурения и найти зависимости основных параметров для дальнейшего их использования в науке и проектировании.

Состояние вопроса и теоретические предпосылки

Для проведения научных исследований в области машиностроения из всего многообразия регистрируемых параметров нужно выделить те, которые будут характеризовать изучаемые процессы. Обычно это процессы, во время которых возникают наибольшие или наиболее продолжительные нагрузки, например непосредственно процесс бурения [4–6], где представляющими интерес параметрами являются режимные: давление и расход бурового раствора, скорость спуско-подъемной операции, глубина бурения и др., а также параметр нагружения — крутящий момент на роторе привода [9–12]².

¹ См. также: Миниханов Р.Ф. Повышение эффективности буровой установки с верхним приводом. дисс. ... канд. техн. наук. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГГУ, 2008. 158 с.

Файнзильбер М.Л. Рациональное управление режимом нагрузки землеройных машин непрерывного действия как средство повышения производительности: автореферат дисс. ... канд. техн. наук. Л., 1974. 24 с.

² См. также: Добронравов С.С. Исследование взаимодействия рабочего органа роторного траншейного экскаватора с грунтом: дисс. ... канд. техн. наук. М., 1974. 169 с.

В указанных системах используются две системы мониторинга. Первая записывает показания датчиков буровой установки в целом; ее файлы открываются программой GeoScare. Вторая имеет дело с данными только от верхнего привода, а для просмотра зарегистрированной информации используется оригинальная программа Visual Manager.

Указанные программные продукты позволяют визуально оценить записанную информацию, но не дают возможности прямого преобразования данных к виду, пригодному для дальнейшего численного преобразования и исследования. Поэтому возникла необходимость в создании методик преобразования исходных данных к требуемому виду.

Мы проводили исследования с использованием пакета MATLAB, что и определило формат файла с преобразованными данными систем мониторинга.

Расчет основных анализируемых параметров рабочего процесса бурения с использованием верхнего привода производился по данным, регистрируемым системой мониторинга. Для дальнейшего описания расчетных зависимостей введены следующие обозначения необходимых параметров:

- i — номер элемента в массиве значений регистрируемых данных;
- t — массив значений времени записи значений регистрируемых данных;
- H — массив значений глубин забоя регистрируемых системой мониторинга;
- N — массив значений числа установленных свечей бурильных труб в регистрируемые моменты времени;
- Q — массив значений расхода бурового раствора подаваемого в буровую трубу в регистрируемые системой мониторинга моменты времени;
- P — массив значений давления бурового раствора подаваемого в буровую труду в регистрируемые системой мониторинга моменты времени;
- G_K — массив значений веса на крюке в регистрируемые системой мониторинга моменты времени;
- $G_{\text{дол}}$ — массив значений веса приходящегося на долото в регистрируемые системой мониторинга моменты времени;

- $M_{кр}$ — массив значений крутящего момента на роторе верхнего привода в регистрируемые системой мониторинга моменты времени;
- n — массив значений скорости вращения ротора верхнего привода в регистрируемые системой мониторинга моменты времени;
- i_1, i_2 — начальное и конечное значения номеров значений регистрируемых пара-

метров в массивах в рассматриваемом промежутке времени.

Приведем выражения (табл. 1) для расчета усредненных характеристик анализируемых данных, взятых из систем мониторинга буровых установок, (все эти параметры определяются на заранее выбранном промежутке времени, где происходит изучаемый процесс, от t_{i1} до t_{i2}).

Таблица 1

Обозначения данных и расчетные зависимости усредненных характеристик обрабатываемых данных

Table 1

Data designations and calculated dependencies of the averaged characteristics of the processed data

№	Описание	Расчетная формула
1	Время начала (момент начала изучаемого промежутка времени), сут	t_{i1}
2	Время конца (момент начала изучаемого промежутка времени), сут	t_{i2}
3	Продолжительность (рассматриваемого процесса), с	$Dt = 86400(t_{i2} - t_{i1})$
4	Глубина в начале, м	H_{i1}
5	Глубина в конце, м	H_{i2}
6	Пробуренное расстояние, м	$DH = H_{i2} - H_{i1}$
7	Среднее значение скорости спуско-подъемной операции, м/с*	$V = \frac{(i2 - i1 + 1) \sum_{i1}^{i2} (H_i t_i) - \sum_{i1}^{i2} H_i \sum_{i1}^{i2} t_i}{86400 \left[(i2 - i1 + 1) \sum_{i1}^{i2} (t_i^2) - \sum_{i1}^{i2} (t_i)^2 \right]}$
8	Средний расход бурового раствора, л/с	$Q_{cp} = \sum_{i1}^{i2} Q_i / (i2 - i1 + 1)$
9	Среднее квадратичное отклонение расхода бурового раствора, л/с	$\sigma_Q = \sqrt{\sum_{i1}^{i2} [(Q_i - Q_{cp})^2] / (i2 - i1)}$
10	Среднее давление бурового раствора, атм.	$P_{cp} = \sum_{i1}^{i2} P_i / (i2 - i1 + 1)$
11	Среднее квадратичное отклонение давления бурового раствора, атм.	$\sigma_P = \sqrt{\sum_{i1}^{i2} [(P_i - P_{cp})^2] / (i2 - i1)}$
12	Максимальный вес на крюке, т	$G_{kmax} = \max(G_{ki})$
13	Средний вес на крюке, т	$G_{kcp} = \sum_{i1}^{i2} G_{ki} / (i2 - i1 + 1)$

Окончание табл. 1

№	Описание	Расчетная формула
14	Среднее квадратичное отклонение веса на крюке, т	$\sigma_{G_{\text{кр}}} = \sqrt{\frac{\sum_{i1}^{i2} [(G_{\text{ки}} - G_{\text{крп}})^2]}{(i2 - i1)}}$
15	Максимальное значение нагрузки на долото, т	$G_{\text{дол max}} = \max(G_{\text{дол}i})$
16	Минимальное значение нагрузки на долото, т	$G_{\text{дол min}} = \min(G_{\text{дол}i})$
17	Среднее значение нагрузки на долото, т	$G_{\text{дол ср}} = \frac{\sum_{i1}^{i2} G_{\text{дол}i}}{(i2 - i1 + 1)}$
18	Среднее квадратичное отклонение нагрузки на долото, т	$\sigma_{G_{\text{дол}}} = \sqrt{\frac{\sum_{i1}^{i2} [(G_{\text{дол}i} - G_{\text{дол ср}})^2]}{(i2 - i1)}}$
19	Максимальное значение крутящего момента на роторе верхнего привода, кН·м	$M_{\text{кр max}} = \max(M_{\text{кр}i})$
20	Минимальное значение крутящего момента на роторе верхнего привода, кН·м	$M_{\text{кр min}} = \min(M_{\text{кр}i})$
21	Средний крутящий момент на роторе верхнего привода, кН·м	$M_{\text{кр ср}} = \frac{\sum_{i1}^{i2} M_{\text{кр}i}}{(i2 - i1 + 1)}$
22	Среднее квадратичное отклонение крутящего момента на роторе верхнего привода, кН·м	$\sigma_{M_{\text{кр}}} = \sqrt{\frac{\sum_{i1}^{i2} [(M_{\text{кр}i} - M_{\text{кр ср}})^2]}{(i2 - i1)}}$
23	Среднее значение частоты вращения ротора, об/мин	$n_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i1}^{i2} n_i}{(i2 - i1 + 1)}$
24	Среднее квадратичное отклонение частоты вращения ротора, об/мин	$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum_{i1}^{i2} [(n_i - n_{\text{ср}})^2]}{(i2 - i1)}}$
25	Коэффициенты разложения функции $M_{\text{кр}}(t)$ в ряд Фурье по косинусам	$a_j = \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_2} M_{\text{кр}}(t) \cos\left(j \frac{2\pi}{T} t\right) dt$
26	Коэффициенты разложения функции $M_{\text{кр}}(t)$ в ряд Фурье по синусам	$b_j = \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_2} M_{\text{кр}}(t) \sin\left(j \frac{2\pi}{T} t\right) dt$
27	Амплитуды отдельных гармонических колебаний (j – номер частоты)	$A_j = \sqrt{a_j^2 + b_j^2}$

* Величина среднего значения скорости спуско-подъемной операции определяется как коэффициент b при линейаризации зависимости $H(t) = a + bt$ методом наименьших квадратов.

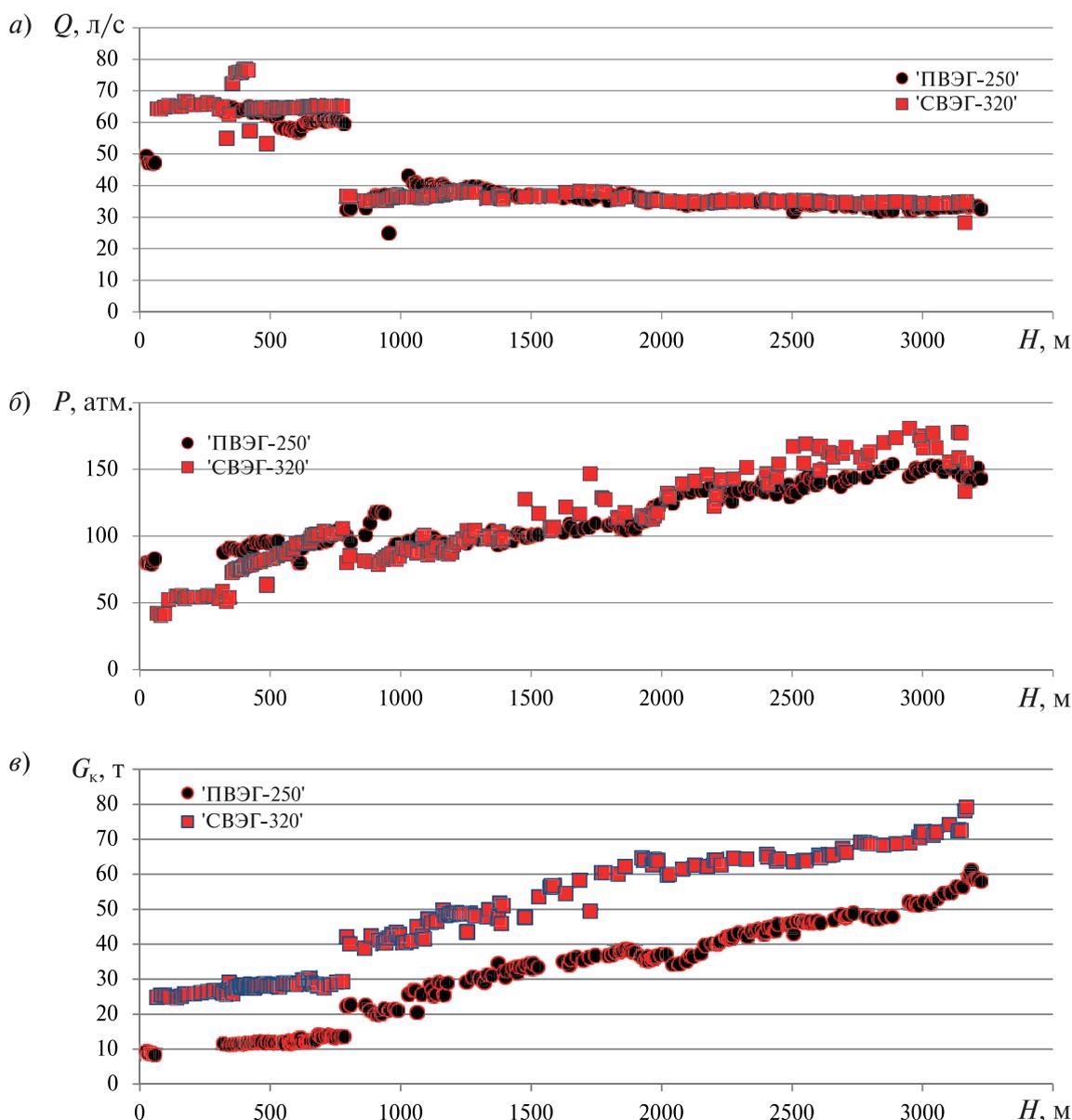
Исследование зависимостей нагружения верхнего привода крутящим моментом от характеристик процесса бурения

Для анализа были получены данные систем мониторинга буровой установки двух объектов: установки БУ3900/225 ЭК БМ с приводом верхним электрогидравлическим ПВЭГ-250 и установки БУ4000/250 ЭЧК БМ-2 с системой верхнего электрического привода СВЭП-320.

Среди всего объема полученных данных была выделена информация, относящаяся только к тем промежуткам времени, во время ко-

торых производилось бурение с совместным использованием забойного двигателя и вращением ротора верхнего привода.

Оценка средних значений параметров рабочих процессов установленных при бурении в двух исследуемых установках показывает их близость на всем протяжении процесса бурения: бурение до глубины 750 м происходило при расходе бурового раствора около 65–60 л/с, после этого расход уменьшается до 40–30 л/с (график на рис. 1, а); давление бурового раствора постепенно наращивается с 40 до 180 атм. в зависимости от глубины бурения (рис. 1, б).



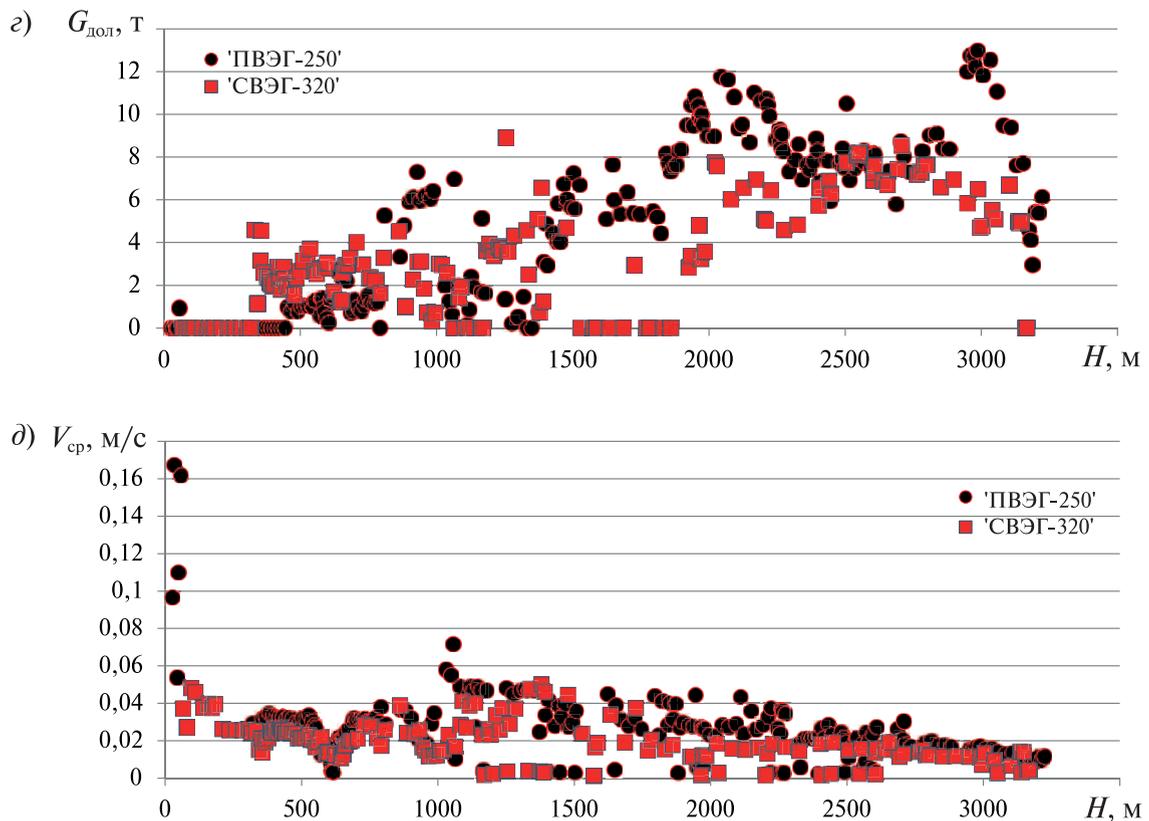


Рис. 1. Диаграммы средних значений параметров процесса бурения при различной глубине:
a — расход бурового раствора; *b* — давление бурового раствора; *в* — вес на крюке при бурении;
г — нагрузка на долото (нулевые значения соответствуют недостоверным данным);
д — скорость спуска верхнего привода при бурении

Fig. 1. Diagrams of the average values of the drilling process parameters at different depths:
a — consumption of drilling mud; *b* — mud pressure; *в* — weight on the hook while drilling;
г — the load on the bit (zero values correspond to unreliable data);
д — rate of descent of the top drive during drilling

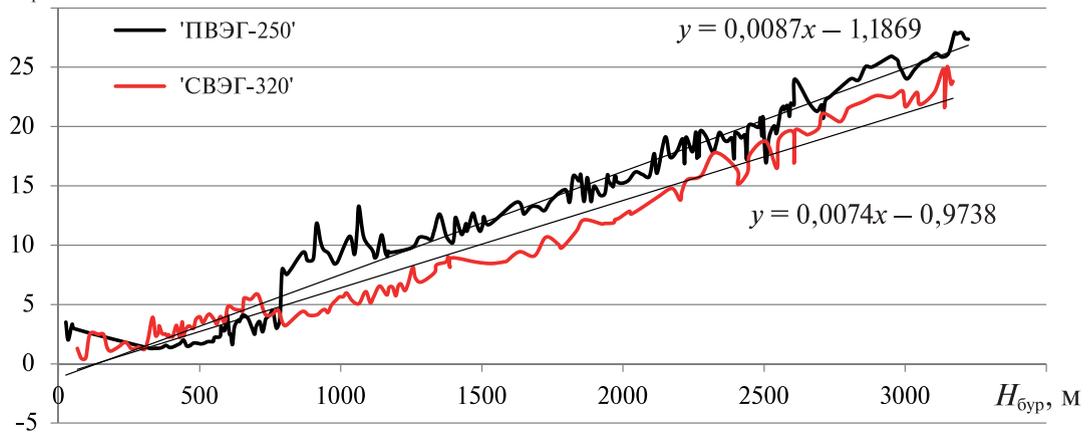
Полный вес буровой колонны можно оценить по среднему весу на крюке и нагрузке на долото, регистрируемым системой мониторинга. Как и следовало ожидать, с ростом глубины бурения растет и вес буровой колонны (рис. 1, *в*) Нагрузка на долото (рис. 1, *г*) также увеличивается с ростом глубины, хотя этот параметр является режимным и может контролироваться бурильщиком в процессе работы. Различие в весе колонны между исследуемыми установками составляет в среднем 15 т.

Наибольшие скорости спуска, до 0,16 м/с, наблюдаются в установке с приводом ПВЭГ-250 на малых глубинах бурения (рис. 2, *д*). На глубинах более 1500 м скорости спуска в среднем не превышают 0,04 м/с в установке с ПВЭГ-250 и 0,02 м/с в СВЭП-320.

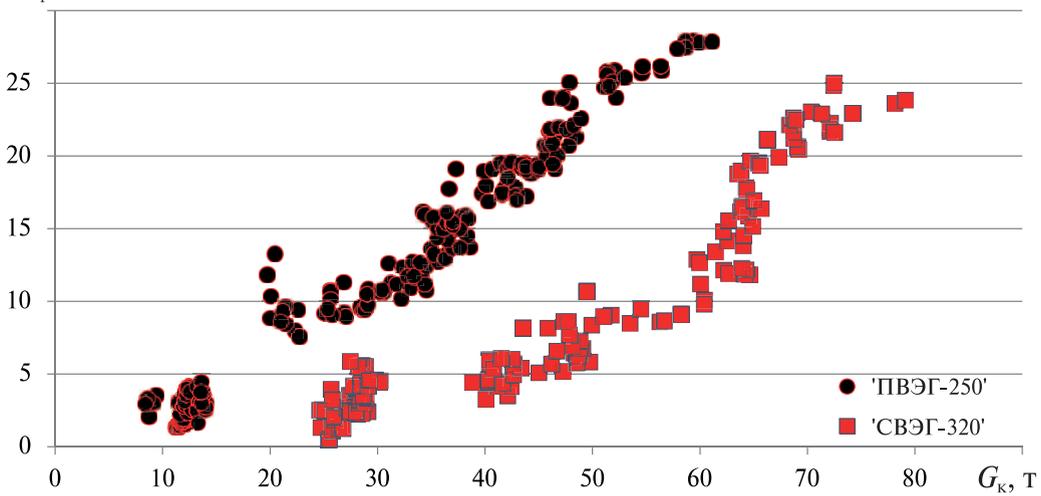
Таблицы со значениями характеристик изучаемого процесса, рассчитанные согласно методике обработки данных процесса бурения, могут быть подвергнуты качественному и количественному сравнению для двух испытываемых установок.

Графики изменения среднего значения крутящего момента на роторе верхнего привода (рис. 2, *а*) показывают его рост с увеличением глубины бурения [13]. Максимальное различие двух рассматриваемых вариантов установок по моменту на роторе составляет 7,7 кН·м при глубине бурения порядка 1000 м. На графике также указаны линии тренда и уравнения, отражающие статистическую зависимость параметра нагрузки от глубины бурения.

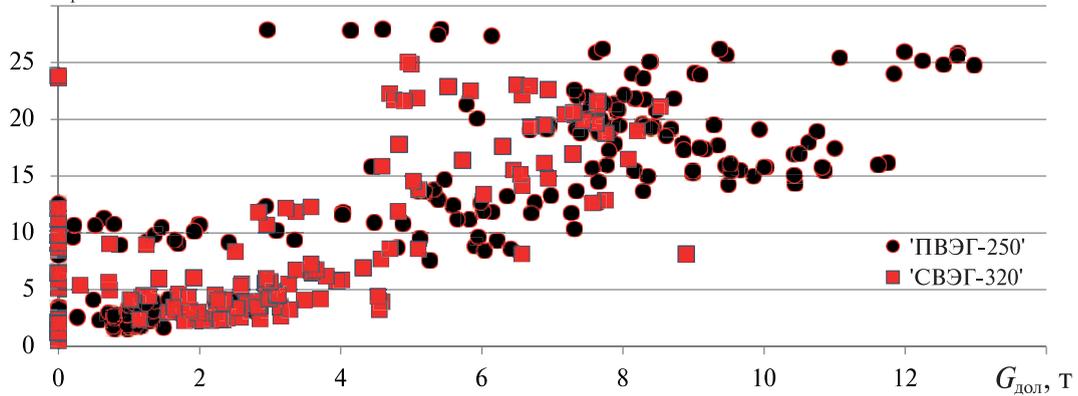
а) $M_{кр}, \text{кН}\cdot\text{м}$



б) $M_{кр}, \text{кН}\cdot\text{м}$



в) $M_{кр}, \text{кН}\cdot\text{м}$



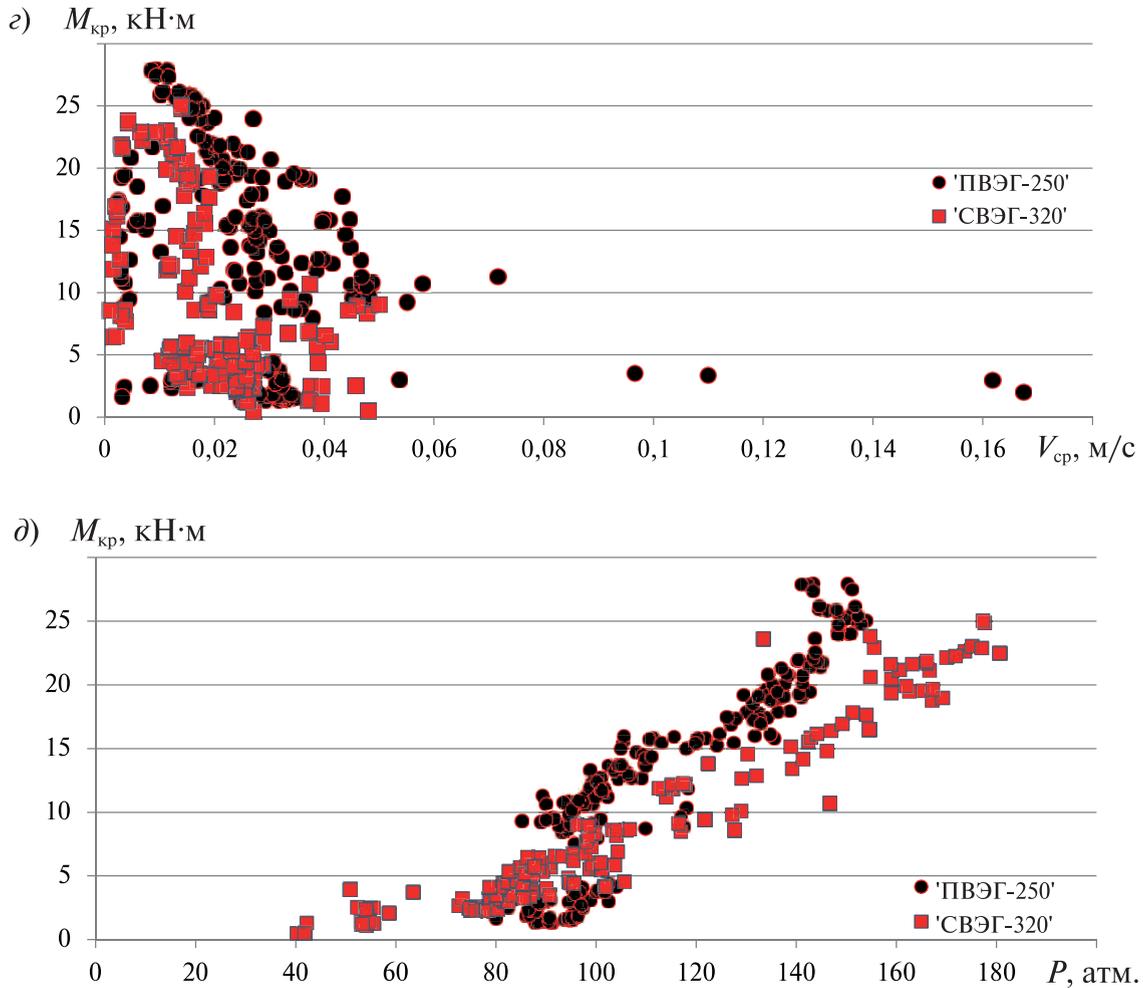


Рис. 2. Графики и диаграммы зависимостей крутящего момента на роторе верхнего привода от режимных параметров бурения:
a — глубины расположения забоя; *б* — веса на крюке; *в* — нагрузки на долот;
г — скорости спуска верхнего привода; *д* — давления бурового раствора
 Fig. 2. Graphs and graphs of the torque dependencies on the top drive rotor on the drilling parameters:

a — the depth of the slaughter location; *б* — the weight on the hook; *в* — loads on the bit;
г — the rate of descent of the upper drive; *д* — mud pressure

Как и следовало ожидать, значение средних нагрузок увеличивается с ростом режимных параметров процесса бурения (рис. 2, б, в, д). Эти зависимости больше статистические и не должны рассматриваться как физические взаимосвязи между параметрами и нагрузкой.

На некоторых графиках и диаграммах рис. 2 отчетливо видны явно разделенные совокупности кривых и точек. Они соответствуют изменениям среднего крутящего момен-

та при глубине бурения до 750 м (рис. 2, а), точки с низким крутящим моментом ротора (до 5 кН·м) при небольшой массе колонны (рис. 2, б) и при достаточно высоких скоростях спуска (рис. 2, г).

Рабочий процесс бурения во время снятия показаний, соответствующих указанным точкам, производился иным буровым оборудованием (при бурении до глубины примерно 750 м использовалось одно забойное оборудование и долото, а после оборудование заменялось

на новое и бурение производилось при других режимных параметрах). В частности, был уменьшен расход бурового раствора, служащий рабочей жидкостью забойного двигателя. Поэтому бурение до замены бурового оборудования и после можно рассматривать как отдельные процессы.

Многофакторный анализ зависимости нагрузки на верхний привод от параметров режима бурения

В предыдущем разделе при рассмотрении графиков и диаграмм была установлена некоторая статистическая взаимосвязь между крутящим моментом на роторе и режимными параметрами бурения. Для оценки степени корреляции этих параметров был произведен в пакете STATISTICA 10 факторный анализ полученных данных.

Далее представлены следующие отчетные материалы по проведенному анализу для уста-

новок с приводом ПВЭГ-250 и СВЭП-320: таблицы факторных нагрузок, рассчитанные методами «главных компонент» и «максимального правдоподобия факторов»; таблицы корреляций анализируемых параметров; графики взаимной корреляции параметров; диаграммы распределения частот параметров.

Факторный анализ рабочих параметров бурения приводом ПВЭГ-250 обоими расчетными методами выявил два независимых фактора. Первый фактор связан с корреляцией таких параметров, как глубина бурения, расход и давление бурового раствора, вес на крюке, нагрузка на долото, среднее значение крутящего момента (таблица 2). Второй фактор связывает корреляционные зависимости между средними квадратичными отклонениями давления бурового раствора и веса на крюке буровой установки. Графики корреляции средних значений параметров для этого случая приведены на рис. 3.

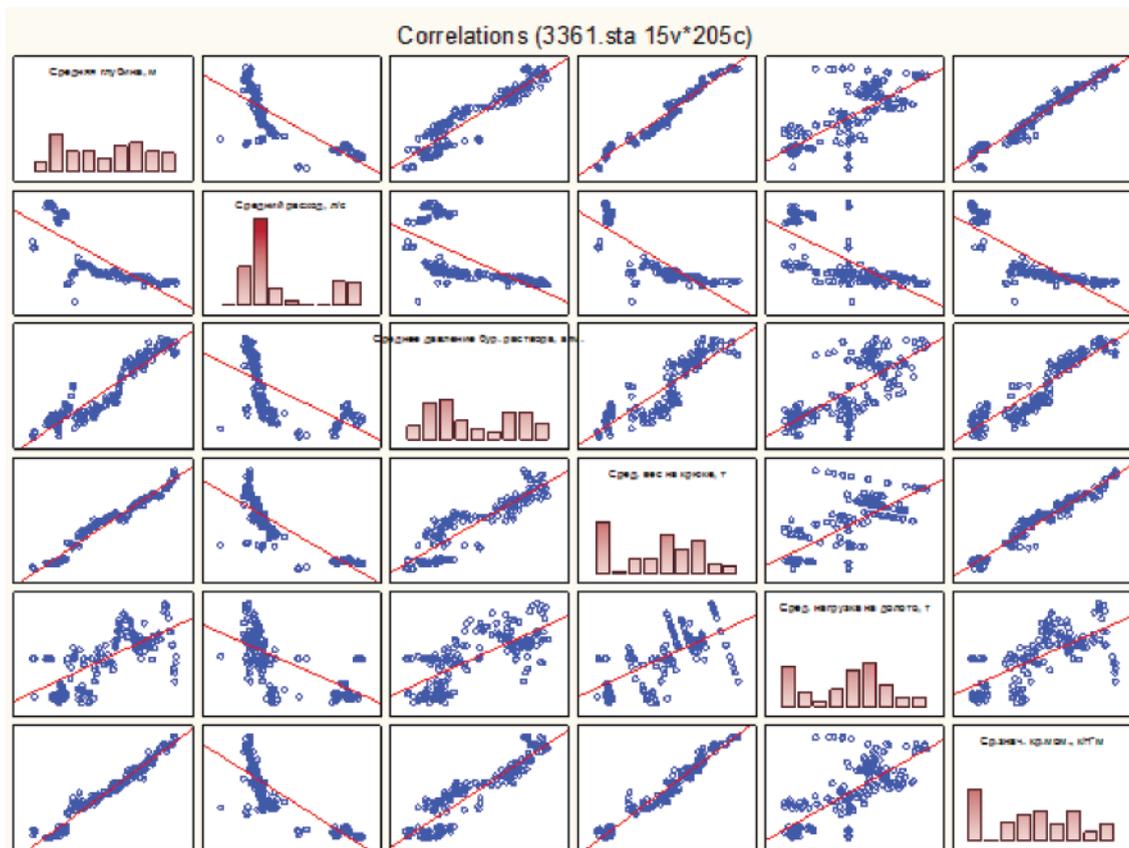


Рис. 3. Графики корреляции средних параметров рабочего процесса бурения приводом ПВЭГ-250
 Fig. 3. Graphs of correlation of the average parameters of the drilling process by the drive ПВЭГ-250

Факторный анализ параметров для установки с приводом СВЭП-320 выделил методом «главных компонент» четыре независимых фактора, а методом «максимального правдоподобия факторов» — три. В первом случае два последних фактора имеют максимальные факторные нагрузки только по одному из параметров, что означает отсутствие зависимостей этих параметров с другими (см. таблицы факторных нагрузок). Графики корреляции средних значений параметров для второго случая приведены на рис. 4.

В обоих случаях, для установок с приводом ПВЭГ-250 и с СВЭП-320, наиболее значимый фактор связан с одними и теми же параметрами, выделенными полужирным шрифтом в табл. 2. Второй значимый фактор для СВЭП-320 связывает среднее квадратичное отклонение давления бурового раствора

и его расход, тогда как с отклонением веса на крюке корреляция составляет всего 39 % [7, 8].

Описанная работа была проведена сотрудниками ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» совместно с индустриальным партнером — АО «ПромТехИнвест». Заказчик работы — Минобрнауки России (в рамках реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» по теме «Создание экономичного верхнего электропривода для мобильных буровых установок» (Соглашение № 14.577.21.0054 от 5.06.2014 г.)). Уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) — RFMEFI57714X0054. Данный проект проводится при финансовой поддержке Минобрнауки России.

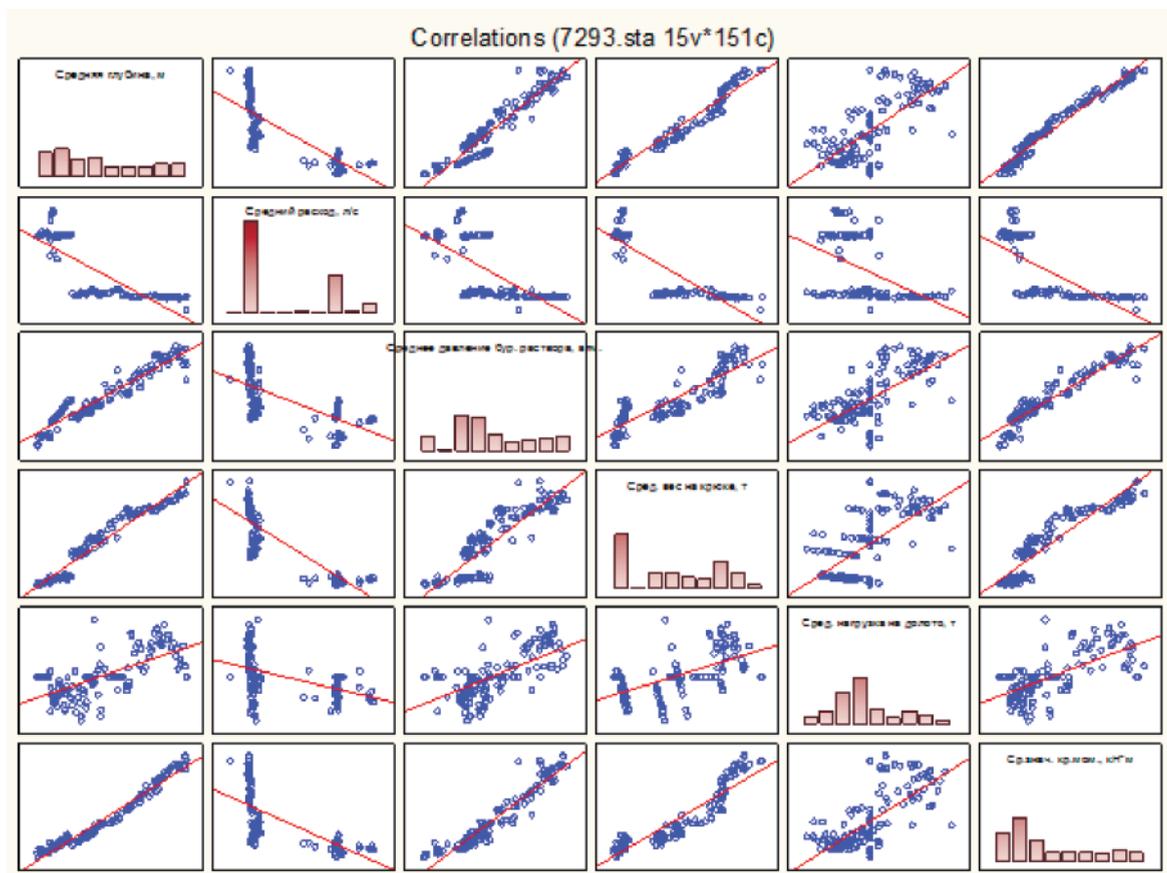


Рис. 4. Графики корреляции средних параметров рабочего процесса бурения приводом ПВЭГ-250
 Fig. 4. Graphs of the correlation of the average parameters of the drilling process by the drive ПВЭГ-250

Таблица 2

Факторные нагрузки параметров процесса бурения приводами ПВЭГ-250 и СВЭП-320, рассчитанные методом «максимального правдоподобия факторов»

Table 2

Factor loads of drilling process parameters by ПВЭГ-250 and СВЭП-320 drives calculated using the “maximum likelihood factor” method

Параметры (переменные), ед. измерения	ПВЭГ-250 Factor Loadings (Biquartimax raw) Extraction: Maximum likelihood factors		СВЭП-320 Factor Loadings (Unrotated) Extraction: Maximum likelihood factors		
	Factor 1	Factor 2	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Средняя глубина, м	0,9875	0,0699	-0,9759	0,1672	0,0019
Среднее значение скорости с/п операции, м/с	-0,4148	0,1286	0,5255	-0,0582	-0,0355
Средний расход, л/с	-0,7663	-0,5246	0,7532	-0,2112	0,1141
Среднеквадратичное отклонение расхода, л/с	-0,1246	0,3651	0,1464	0,0056	-0,7539
Среднее давление бурового раствора, атм.	0,9411	-0,0579	-0,9428	0,1406	0,0495
Среднеквадратичное отклонение давления бурового раствора, атм.	0,4203	0,8512	-0,1587	0,0954	-0,9740
Средний вес на крюке, т	0,9776	0,1485	-0,9529	0,2073	-0,0016
Среднеквадратичное отклонение веса на крюке, т	0,1944	0,8289	-0,0428	0,1812	-0,3787
Средняя нагрузка на долото, т	0,7000	0,1818	-0,7869	-0,6034	0,0013
Среднеквадратичное отклонение нагрузки на долото, т	0,6977	0,2096	-0,7875	-0,6019	-0,0180
Среднее значение крутящего момента, кН·м	0,9790	0,1477	-0,9752	0,1246	0,0025
Среднеквадратичное отклонение крутящего момента, кН·м	0,5560	0,4185	-0,8126	0,0404	-0,1388
Среднее значение частоты вращения ротора, об/мин	—	—	-0,3796	-0,1097	-0,1127
Среднеквадратичное отклонение частоты вращения ротора, об/мин	—	—	-0,0474	-0,2077	-0,0353
Expl.Var	6,0509	2,1414	6,6392	0,9796	1,7110
Prp.Totl	0,5042	0,1784	0,4742	0,0699	0,1222

Заключение

Наиболее значимый фактор — Factor 1 — связывает корреляционной зависимостью средние величины параметров бурения с крутящим моментом на валу ротора. Второй значимый фактор определяет зависимости между различными параметрами процесса бурения для привода ПВЭГ250 и СВЭП-320, что может говорить о том, что между ними существует некая физическая зависимость.

В собранных данных имеются важные для исследователей и конструкторов записи переходных процессов. Полученные знания о нагрузках на основной механизм буровой установки при выполнении различных технологических операциях позволяют в дальнейшем построить математические модели всей буровой установки. К примеру, значения крутящего момента были получены на выходном валу СВП, что позволяет приложить результаты анализа к любым аналогичным машинам, применяемым в том же регионе эксплуатации.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы»

по теме: «Создание экономичного верхнего электропривода для мобильных буровых установок» (Соглашение № 14.577.21.0054 от 5.06.2014 г.). Уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57714X0054.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ащеулов А.В., Лобачев А.А., Хорошанский А.Е., Шестопалов А.А.** Анализ системы верхнего привода (СВП) буровых установок // XLII Неделя науки СПбГПУ: Материалы Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов 2013 года. СПб, Изд-во Политехн. ун-та, 2014. С. 3.
2. **Ащеулов А.В., Лобачев А.А., Шестопалов А.А.** Анализ динамической нагруженности силового верхнего привода буровых установок // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2016. № 3. С. 4.
3. **Ащеулов А.В., Шестопалов А.А.** Особенности работы буровых установок с системой верхнего привода // ISSN0023–1126. Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2015. № 2. С. 14–17.
4. **Абезгауз В.Д.** Режущие органы машин фрезерного типа для разработки горных пород и грунтов. М.: Машиностроение, 1965. 280 с.
5. **Алимов О.Д., Дворников Л.Т.** Механизм разрушения горных пород при вращательном бурении твердосплавным инструментом // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. Новосибирск: Наука, 1972. № 6. С. 82–89.
6. **Басарьгин Ю.М., Булатов А.И., Проселков Ю.М.** Бурение нефтяных и газовых скважин: учеб. для вузов. М.: Недра-Бизнесцентр, 2002. 632 с. ISBN5-8365-0128-9.
7. **Башмур К.А., Петровский Э.А.** Оптимальные параметры системы верхнего привода при бурении на обсадной колонне // Бурение & Нефть, 2014. № 1. С. 38–40.
8. **Башмур К.А.** Динамика системы верхнего привода буровой установки // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. СПб.: Лань, 2013. № 5. С. 4–7.
9. **Белкин Ю.Г., Кронгауз В.С.** Анализ резонансных явлений в гидрообъемном приводе ротора буровой установки. Новое оборудование для бурения и добычи нефти: сб. науч. тр. М.: ВНИИнефтемаш, 1977.
10. **Буткин В.Д.** О рациональных значениях чисел оборотов и осевых нагрузок на долото при шарошечном бурении на карьерах // Известия вузов. Горный журнал. 1964. № 3. С. 39–43.
11. **Докукин А.В., Красников Ю.Д., Хургин З.Я.** Корреляционный анализ нагрузок выемочных машин. М.: Наука, 1969. 136 с.
12. **Карнаухов Н.Н., Тархов А.И.** Приводы траншейных экскаваторов. М.: Недра, 1999. 381 с.
13. **Юртаев В.Г.** Динамика буровых установок. М.: Недра, 1987. 155 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ЛОБАЧЕВ Александр Александрович — сотрудник Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.
E-mail: lobachev.pti@gmail.com

АЩЕУЛОВ Александр Витальевич — доктор технических наук профессор Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.
E-mail: studgidro@gmail.com

REFERENCES

- [1] **Ashcheulov A.V., Lobachev A.A., Khoroshanskiy A. Ye., Shestopalov A.A.** Analiz sistemy verkhnego privoda (SVP) burovyykh ustanovok. *XLII Nedelya nauki SPbGPU: Materialy Vserossiyskoy mezhvuzovskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov i aspirantov 2013 goda*. SPb, Izd-vo Politekhn. un-ta, 2014. S. 3.
- [2] **Ashcheulov A.V., Lobachev A.A., Shestopalov A.A.** Analiz dinamicheskoy nagruzhennosti silovogo verkhnego privoda burovyykh ustanovok. *Khimicheskoye i neftegazovoye mashinostroyeniye*. 2016. № 3. S. 4.
- [3] **Ashcheulov A.V., Shestopalov A.A.** Osobennosti raboty burovyykh ustanovok s sistemoy verkhnego privoda. ISSN0023–1126. *Khimicheskoye i neftegazovoye mashinostroyeniye*. 2015. № 2. S. 14–17. (rus.)
- [4] **Abezgauz V.D.** Rezhushchiye organy mashin frezernogo tipa dlya razrabotki gornyykh porod i gruntov. М.: Mashinostroyeniye, 1965. 280 s. (rus.)

- [5] **Alimov O.D., Dvornikov L.T.** Mekhanizm razrusheniya gornyykh porod pri vrashchatelnom burenii tverdosplavnyim instrumentom. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. Novosibirsk: Nauka, 1972. № 6. S. 82–89. (rus.)
- [6] **Basarygin Yu.M., Bulatov A.I., Proselkov Yu.M.** Bureniye neftyanykh i gazovykh skvazhin: ucheb. dlya vuzov. M.: Nedra-Biznestsentr, 2002. 632 s. ISBN5–8365–0128–9. (rus.)
- [7] **Bashmur, K.A., Petrovskiy E.A.** Optimalnyye parametry sistemy verkhnego privoda pri burenii na obsadnoy kolonne. *Bureniye & Neft*. 2014. № 1. S. 38–40. (rus.)
- [8] **Bashmur K.A.** Dinamika sistemy verkhnego privoda burovoy ustanovki. *Oborudovaniye i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa*. SPb.: Izd-vo Lan', 2013. № 5. S. 4–7. (rus.)
- [9] **Belkin Yu.G., Krongauz V.S.** Analiz rezonansnykh yavleniy v gidro-obyemnom privode rotora burovoy ustanovki. *Novoye oborudovaniye dlya bureniya i dobychi nefii: sb. nauch. tr.* M.: VNIIneftemash, 1977.
- [10] **Butkin V.D.** O ratsionalnykh znacheniyakh chisel oborotov i osevykh nagruzok na doloto pri sharoshechnom burenii na karyerakh. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 1964. № 3. S. 39–43. (rus.)
- [11] **Dokukin A.V., Krasnikov Yu.D., Khurgin Z. Ya.** Korrelyatsionnyy analiz nagruzok vyemochnykh mashin. M.: Nauka, 1969. 136 s. (rus.)
- [12] **Karnaukhov N.N., Tarkhov A.I.** Privody tranzheynykh ekskavatorov. M.: Nedra, 1999. 381 s. (rus.)
- [13] **Yurtayev V.G.** Dinamika burovyykh ustanovok. M.: Nedra, 1987. 155 s. (rus.)

AUTHORS

LOBACHEV Aleksandr A. — *Peter the Great St. Petersburg polytechnic university.*

E-mail: lobachev.pti@gmail.com

ASHCHEULOV Aleksandr V. — *Peter the Great St. Petersburg polytechnic university.*

E-mail: studgidro@gmail.com

Дата поступления статьи в редакцию: 12 декабря 2017 г.