

**Предельно достижимый уровень погрешности при измерении
механической скорости бурения**

В. А. Кузнецов, С. А. Михеев*

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

**e-mail: mixs817@yandex.ru*

Аннотация. Рассматривается проблема измерения механической скорости в глубоких скважинах. Гостированный предел погрешности установлен на уровне 2,5 %. Однако существующие методы измерения параметров бурения обладают большими погрешностями, связанными с наличием сил трения в скважине, изменением температуры с глубиной, компоновкой колонны и др. Также погрешность вносит дискретный метод измерения, проявляющийся в сглаживании полезного сигнала и запаздывании информации о значении скорости на половину интервала усреднения. Целью работы является определение реально достижимых значений погрешности механической скорости разбуривания. Для этого произведен расчет приведенной погрешности по верхнему пределу измерения согласно ГОСТу. Графически представлена зависимость погрешности от глубины скважины и скорости бурения. Дана оценка погрешности для различного вида бурения и различной компоновки колонны. Анализ полученных результатов показал, что заданное значение погрешности может быть достигнуто далеко не во всем диапазоне изменения скорости и глубины забоя.

Ключевые слова: механическая скорость бурения; приведенная погрешность; динамическая погрешность дискретного измерения; интервал усреднения

**The maximum achievable level of error in measuring
the mechanical drilling speed**

Vladimir A. Kuznetsov, Sergey A. Mikheev*

Samara State Technical University, Samara, Russia

**e-mail: mixs817@yandex.ru*

Abstract. The article is devoted to the problem of mechanical velocity measurement in deep wells. The standard error limit is set at 2,5 %. However, the existing methods of measurement of drilling parameters have large errors associated with the presence of friction forces in the well, temperature changes with depth,

column layout, etc. The error is also introduced by the discrete measurement method, which manifests itself in smoothing of the useful signal and delay in the information about the speed value by half the averaging interval. The aim of the work is to determine the realistically achievable values of the mechanical drilling speed. For this, the reduced error was calculated according to the upper limit of measurement in accordance with GOST. The dependence of the error on the depth of the well and the drilling speed is graphically presented. The error estimation for different type of drilling and different column layout is given. The analysis of the obtained results showed that the set value of the error can be achieved not in the entire range of changes in the speed and depth of the well bottom.

Key word: mechanical drilling speed; reduced error; dynamic error of a discrete measurement; the averaging interval

Введение

Процессом бурения управляют путем анализа выходных параметров и регулирования входных параметров контрольно-измерительной аппаратуры на основе определенных критериев, характеризующих эффективность проходки скважины [1–6]. Простейший из этих критериев связан с поиском и поддержанием максимального значения механической скорости бурения $v(t)$. Для реализации других, более сложных критериев [7–9] также необходима информация о скорости бурения.

Создание безопасных долот PDC позволило совершить настоящий прорыв в технологии бурения скважин, заключающийся в кратном росте проходки на долото по сравнению с трехшарошечными долотами и увеличении механической скорости проходки. При бурении мягких и средних пород, представленных в геологическом разрезе большинства нефтегазовых месторождений России, долота PDC являются основным породоразрушающим инструментом. Средняя проходка на долота PDC в Западной Сибири составляет 10 000–15 000 м, механическая скорость проходки при бурении под кондуктор достигает более 100 м/ч, а под эксплуатационную колонну — 50–75 м/ч, поэтому проблема измерения механической скорости в верхнем пределе с достаточной точностью является актуальной [10, 11].

Механическая скорость — основная характеристика эффективности процесса разбуривания породы, а также главный показатель рациональности выбранного режима бурения, то есть оптимального соотношения регулируемых параметров процесса: осевой нагрузки, скорости вращения, количества и качества промывочной жидкости при заданных характеристиках бурового оборудования.

Средняя механическая скорость измеряется в основном двумя способами: определяется проходка за определенный интервал времени Δt или измеряется время, затраченное на проходку Δh заданной величины. Такой дискретный метод измерения приводит к возникновению динамической погрешности, вследствие чего в текущий момент используется значение механической скорости, вычисленное за предыдущий промежуток времени.

Также большое число возмущений происходит из-за изменений свойств породы, жесткости и колебаний системы труб, сил трения и т. п., ведет к непрерывным колебаниям — вибрации, иногда с очень большой частотой и амплитудой осевых нагрузок, крутящих моментов, и, как результат — непостоянству механических скоростей и проходок. Однако возможность влияния с такой же частотой на процесс управления с поверхности для его поддержания

в заданных пределах практически отсутствует. Главной причиной является наличие между рабочим органом — долотом и элементами управления на поверхности очень инерционного звена — колонны буровых труб. Физически колонна труб длиной в несколько километров представляет собой пружину, которая, несмотря на жесткость ее элементов (свечей труб), может сжиматься, разжиматься, скручиваться, раскручиваться и изгибаться во всех направлениях. На колонну действуют упругие силы, факторы, генерирующие продольные и поперечные колебания, силы трения о жидкость и стенки скважины и т. д. Поэтому попытки управления по непрерывно изменяющимся данным приводят лишь к потере устойчивости параметров в системе управления [12–20].

Объект и методы исследования

При разработке контрольно-измерительной аппаратуры исходят из допустимой погрешности измерения. Величина последней либо регламентирована ГОСТом, либо выбирается исходя из необходимой точности измерения, ее достижимости реальными методами измерения, стоимости аппаратуры и пр.

Согласно ГОСТ 14169-93¹ основная приведенная погрешность измерения механической скорости бурения, при верхнем пределе измерения 50 м/ч, не должна превышать 2,5 %.

Вопрос о достижимости заданного уровня погрешности является важнейшим и может быть решен только после учета всех предполагаемых методов и их детального анализа.

Однако подробный анализ погрешностей измерения как мгновенной, так и средней механической скорости бурения показывает, что достижение такого уровня погрешности существующими методами измерения удастся не во всем диапазоне изменения скорости бурения и глубины забоя.

Ниже приведены результаты такого анализа для случая измерений средней скорости. При этом были учтены две основные группы факторов, приводящих к погрешности измерения:

- неравномерность поддержания веса на крюке, наличие сил сопротивления движению буровых труб в скважине, способ бурения, компоновка колонны и конфигурация скважины;
- дискретный характер процесса измерения и сглаживающие свойства измерителя.

Анализ погрешности измерения из-за влияния первой группы факторов дает следующее выражение для ее среднеквадратического значения [1]

$$\sigma_1 = \frac{1,41L\sigma_\kappa}{ES[1 + 2fm\frac{D}{d}(l_c - 0,4L)\sin\arctan\frac{v}{v_0}]t_y} = \frac{\theta L\sigma_\kappa}{t_y}, \quad (1)$$

где L — длина буровой колонны, м; l_c — длина сжатой части колонны, м; σ_κ — среднеквадратическое веса на крюке, кг; f — коэффициент сопротивления, определяемый как отношение силы сопротивления движению колонны в скважине к прижимающей силе; m — коэффициент пропорциональности меж-

¹ ГОСТ 14169-93. Системы наземного контроля процесса бурения нефтяных и газовых скважин. Общие технические требования и методы испытаний [Электронный ресурс]. – Введ. 1996-01-01. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200024095>.

ду суммарным углом охвата и длиной колонны, рад/км; D — диаметр скважины, м; d — наружный диаметр бурильных труб, м; v — механическая скорость бурения, м/ч; v_0 — окружная скорость труб в точке контакта со стенкой скважины, м/ч; t_y — интервал усреднения, ч.

Механическая скорость бурения — изменяющаяся функция времени. Дискретное усреднение скорости является фильтрацией нижних частот входного сигнала фильтром, частотная характеристика которого имеет вид

$$W(j\omega) = \frac{\sin \frac{\omega t_y}{2}}{\frac{\omega t_y}{2}} e^{-j\omega \frac{t_y}{2}}. \quad (2)$$

Зависимость модуля $|W(j\omega)|$ от частоты и наличие элемента запаздывания в выражении (2) приводят к возникновению динамической погрешности измерения, проявляющейся в сглаживании полезного сигнала и запаздывании информации о значении скорости на половину интервала усреднения.

Следует учесть, что погрешность измерения, определяемая частотной характеристикой измерителя (2), соответствует только моментам отсчета.

Если же знание скорости необходимо на всем последующем интервале усреднения, то возникает дополнительная погрешность экстраполяции. В частном случае ступенчатой экстраполяции выражение (2) принимает вид

$$W(j\omega) = \frac{\sin \frac{\omega t_y}{2}}{\frac{\omega t_y}{2}} e^{-j\omega[0,5t_y + \tau(t)]}.$$

где $\tau(t)$ «пробегают» последовательно все значения от 0 (в момент отсчета) до t_y (в момент, предшествующий отсчету).

Анализ динамической погрешности методами статистической динамики показал, что с достаточной точностью среднеквадратическое значение динамической погрешности σ_2 , в области возможных значений величины t_y , аппроксимируется выражением [1]

$$\sigma_2 = b_i \cdot v t_y, \quad (3)$$

где b_i — статистический коэффициент, характеризующий динамичность функции скорости бурения $v_0(t)$, 1 ч.

Значения b_i находятся из семейства кривых $\sigma_2(t_y)$, построенных с помощью корреляционных функций функции скорости бурения.

При пренебрежении запаздыванием информации и с учетом только погрешности усреднения и восстановления исходной функции по дискретным отсчетам (для случая линейной интерполяции) $b_1 = 2,5 \frac{1}{4}$.

Если информация о скорости используется только в момент отсчета, $b_2 = 4,5 \frac{1}{4}$.

Для случая использования информации в течение всего интервала усреднения, следующего за моментом отсчета, при ступенчатой экстраполяции $b_3 = 7,5 \frac{1}{\text{ч}}$.

Следует отметить, что динамические свойства функции механической скорости зависят в основном от свойств разбуриваемой породы и чередуемости пластов с различной буримостью. Поэтому естественно предположить, что для различных площадей значения коэффициента b_i будут несколько отличаться друг от друга.

Рассмотренные погрешности независимы и случайны, поэтому суммарная погрешность измерения

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} . \quad (4)$$

Подставив в уравнение (4) выражения (1) и (3), продифференцировав по параметру t_y и приравняв производную к нулю, найдем уравнение оптимального, по минимуму погрешности, интервала усреднения погрешности. Затем, подставив полученное выражение в уравнение (4), найдем уравнение предельно достижимой среднеквадратической погрешности измерения средней скорости бурения

$$\sigma_{пред} = \sqrt{2b_i v \sigma_{\kappa} L \theta} . \quad (5)$$

Результаты

Как следует из уравнения (5), $\sigma_{пред}$ зависит только от параметров колонны, режима и способа бурения, способа подачи, конфигурации скважины, текущего значения скорости, ее динамических свойств и не зависит от величины интервала усреднения. Это позволяет проанализировать влияние каждого фактора на величину $\sigma_{пред}$.

Опуская данный анализ, найдем приведенную погрешность γ устройства, реализующего алгоритм оптимального усреднения скорости (без учета его инструментальной погрешности) и имеющего верхний предел измерения $v_{\theta} = 50 \text{ м/ч}$.

$$\gamma = \frac{k \sigma_{пред}}{v_{\theta}} 100 = 2,82k \sqrt{b_i v \sigma_{\kappa} L \theta} ,$$

где k — коэффициент, зависящий от закона распределения результирующей погрешности измерения.

Закон распределения погрешностей неизвестен, однако из физических соображений можно сделать вывод о близости его к нормальному закону. Поэтому примем $k = 2$.

Рассмотрение точек пересечения кривых $\gamma = f(L)$, построенных для случая роторного бурения стальными трубами ($ES = 82 \cdot 10^6$) и $b_i = 2,5 \frac{1}{\text{ч}}$, с уровнем гостимуемой погрешности $\gamma = 2,5 \%$ показывает, что даже при бурении с автоматической подачей бурового инструмента ($\sigma_{\kappa} = 250 \text{ кг}$) и глубиной забоя до 2,5 км в заданный уровень погрешности укладываются кривые, соответствующие скорости бурения примерно до 15 м/ч (рис. 1).

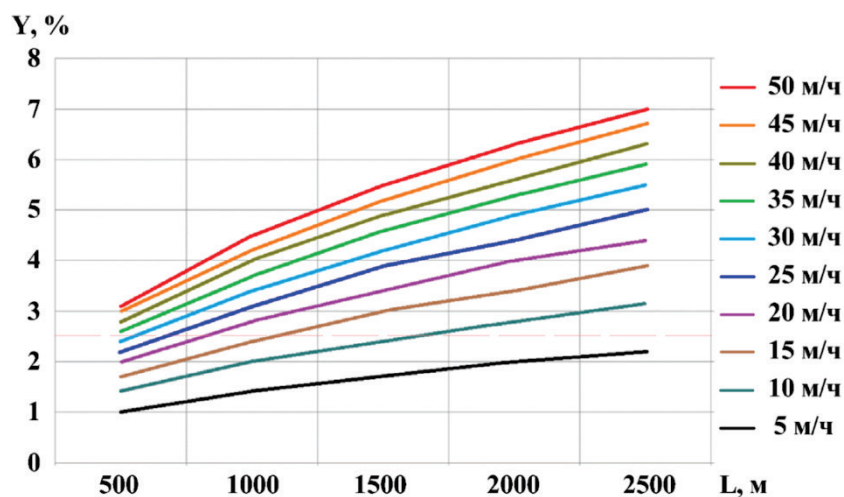


Рис. 1. Зависимость погрешности (γ) от глубины бурения (L) при различных скоростях проходки, бурение роторным способом с автоматической подачей бурового инструмента

При ручной подаче ($\sigma_k = 1\,000$ кг) почти все кривые выходят за уровень $\gamma = 2,5\%$ в диапазоне глубин $L = 0 \div 2,5$ км (рис. 2).

При уменьшении верхнего предела измерения скорости приведенная погрешность будет только увеличиваться.

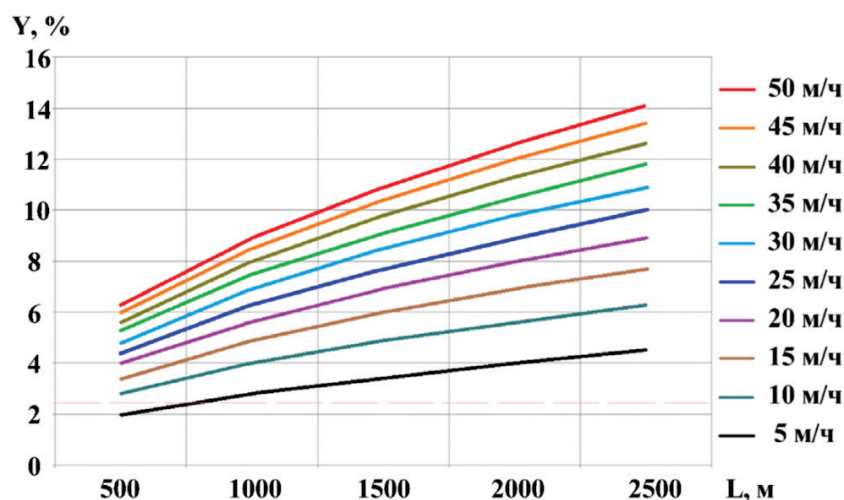


Рис. 2. Зависимость погрешности (γ) от глубины бурения (L) при различных скоростях проходки, бурение роторным способом с ручной подачей бурового инструмента

Влияние сил сопротивления проявляется при турбинном бурении ($v_0 = 0$) (2). Так, для наиболее распространенного значения $f = 0,2$; $m = 1$ рад/км и $l_c = 0,1$ L ординаты всех кривых возрастают в 1,1–1,3 раза в диапазоне $L = 1 \div 2,5$ км (рис. 3).

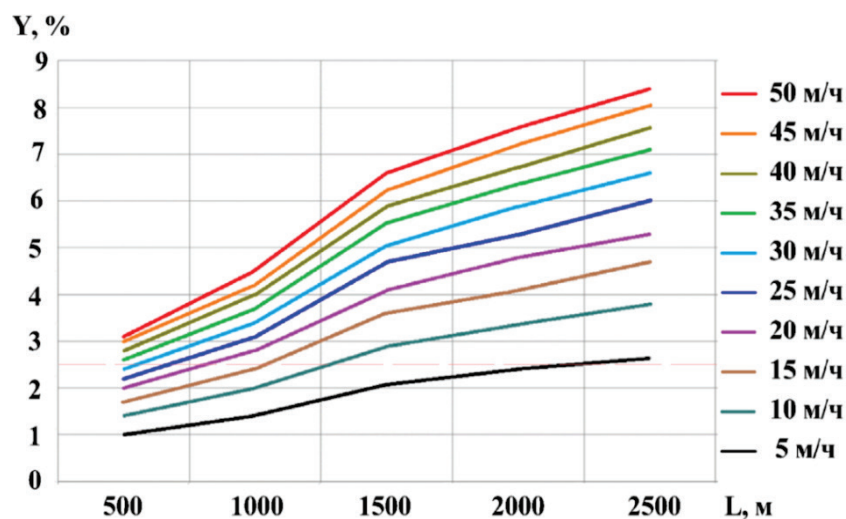


Рис. 3. Зависимость погрешности (γ) от глубины бурения (L) при различных скоростях проходки, бурение турбинным способом с автоматической подачей бурового инструмента

При компоновке колонны бурильных труб легкосплавными трубами, имеющими меньший модуль упругости, при прочих равных условиях, погрешность измерения возрастает в 1,4–1,7 раза (рис. 4).

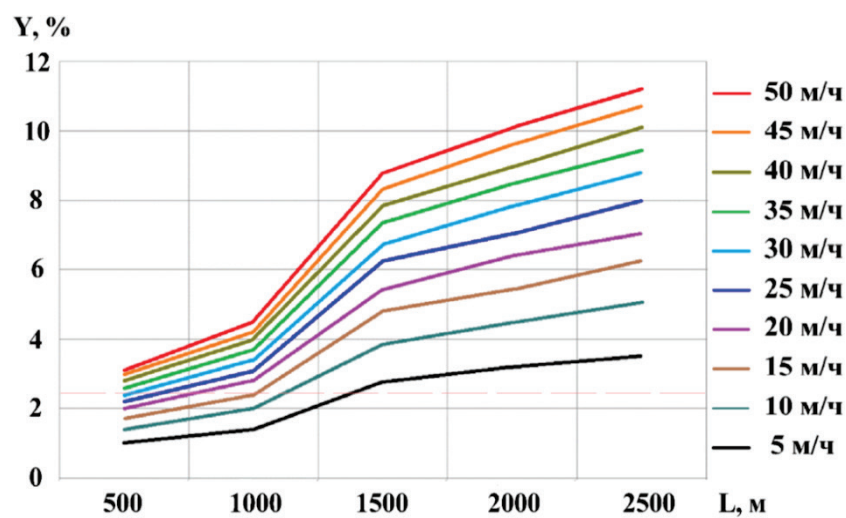


Рис. 4. Зависимость погрешности (γ) от глубины бурения (L) при различных скоростях проходки, бурение роторным способом легкосплавными трубами с автоматической подачей

Если погрешность измерения оценивать с учетом запаздывания измерительной информации ($b_2 = 4,5 \frac{1}{\text{ч}}$) (рис. 5) или с учетом запаздывания

и экстраполяции ($b_3 = 7,5 \frac{1}{\text{ч}}$) (рис. 6), ординаты всех кривых увеличиваются в $\sqrt{\frac{b_2}{b_1}}$ или в $\sqrt{\frac{b_3}{b_1}}$ соответственно.

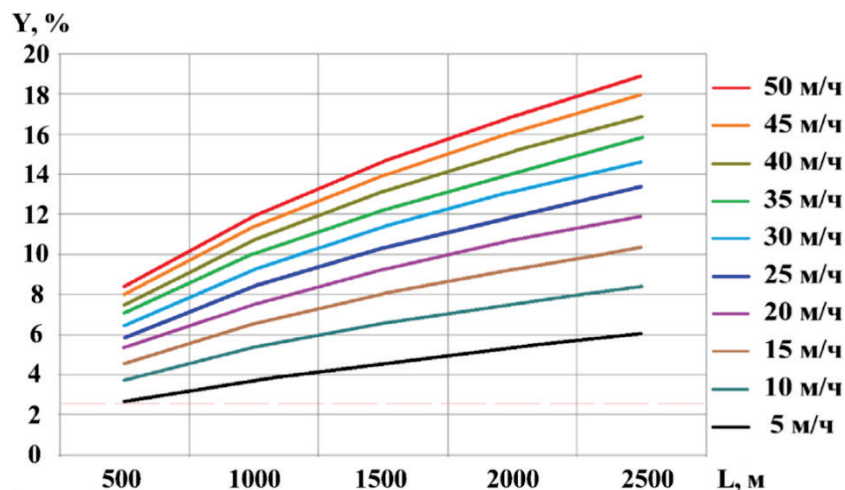


Рис. 5. Зависимость погрешности (γ) от глубины бурения (L) при различных скоростях проходки, ручная подача, бурение роторным способом с учетом запаздывания измерительной информации ($b_2 = 4,5 \frac{1}{\text{ч}}$).

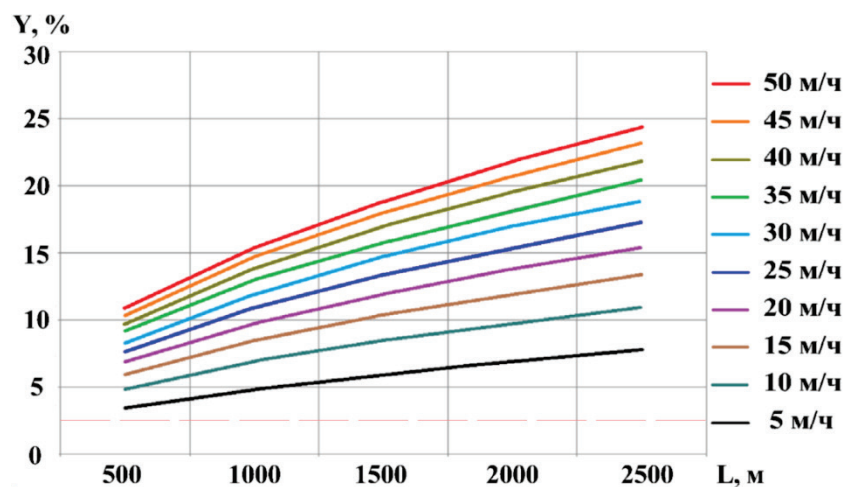


Рис. 6. Зависимость погрешности (γ) от глубины бурения (L) при различных скоростях проходки, ручная подача, бурение роторным способом с учетом запаздывания и экстраполяции ($b_3 = 7,5 \frac{1}{\text{ч}}$).

Выводы

Из изложенного ясно, что погрешность измерения механической скорости существенно зависит от вида бурения, компоновки колонны и точности поддержания веса на крюке. Видно, что даже при усреднении скорости на опти-

мальных интервалах уровень погрешности, определяемый ГОСТ 14169-93², может быть достигнут далеко не во всем диапазоне изменения скорости и глубины забоя. Это приводит к снабжению недостоверной информацией систем и органов управления, и, следовательно, к снижению эффективности разбуривания и показателей всей буровой установки.

Дополнительное средство повышения точности — применение метода скользящего усреднения. Так, при скользящем усреднении уменьшается динамическая погрешность дискретного измерения, то есть изменяется значение коэффициента b . По приблизительным подсчетам это позволит снизить погрешность измерения примерно на треть от представленных значений. Все это представляет предмет дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Бражников, В. А. Информационные устройства для определения эффективности управления процессом бурения / В. А. Бражников, Кузнецов В. А. — М.: Недра, 1978. — 108 с. — Текст : непосредственный.
2. Бревдо, Г. Д. Проектирование режима бурения / Г. Д. Бревдо. — М.: Недра, 1988. — 200 с. — Текст : непосредственный.
3. Бродов, Г. С. Технологические измерения и автоматизация процесса бурения / Г. С. Бродов, И. Г. Шелковников, Э. К. Егоров. — Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский горный институт, 2004. — 105 с. — Текст : непосредственный.
4. Булатов, А. И. Контроль процессов бурения нефтяных и газовых скважин / А. И. Булатов, В. И. Демихов, П. П. Макаренко. — Москва : Недра, 1998. — 345 с. — Текст : непосредственный.
5. Храменков, В. Г. Основы организации и планирования производственных работ на буровой. Автоматизация производственных процессов : учебное пособие для СПО / В. Г. Храменков. — Саратов : Профобразование, 2017. — 342 с. — Текст : непосредственный.
6. Ганджумян, Р. А. Инженерные расчеты при бурении глубоких скважин : справочное пособие / Р. А. Ганджумян, А. Г. Калинин, Б. А. Никитин ; под ред. А. Г. Калинин. — Москва : Недра, 2000. — 489 с. — Текст : непосредственный.
7. Цуприков, А. А. Анализ математических моделей механической скорости проходки для оптимизации процесса бурения нефтегазовых скважин / А. А. Цуприков. — Текст : электронный // Научный журнал КубГАУ. — 2015. — № 107 (03). — С. 903–915. — URL: <http://ej.kubagro.ru/archive.asp?n=107>.
8. Цуприков, А. А. Математическая модель скорости проходки для оптимального управления бурением скважин / А. А. Цуприков. — Текст : электронный // Научный журнал КубГАУ. — 2015. — № 107 (03). — С. 916–926. — URL: <http://ej.kubagro.ru/a/viewaut.asp?id=1543>.
9. Фингерит, М. А. Рациональная эксплуатация шарошечных долот / М. А. Фингерит. — Москва : Недра, 1965. — 216 с. — Текст : непосредственный.
10. К вопросу оценки перспектив бурения долотами PDC / Э. С. Гинзбург, И. К. Бикбулатов, Г. И. Вышегородцева, С. А. Цеденов. — Текст : непосредственный // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. — 2013. — № 2. — С. 16–17.
11. Чулкова, В. В. Разработка методических и технологических решений по выбору долот PDC с усиленным антивибрационным вооружением : 25.00.15 «Технология бурения и освоения скважин» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Чулкова Виктория Валерьевна ; Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина. — Москва, 2017. — 129 с. — Текст : непосредственный.
12. Цуприков, А. А. Интеллектуальная система адаптивного управления технологическим процессом бурения нефтегазовых скважин : 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Цуприков Александр Александрович ; Кубанский государственный технологический университет. — Краснодар, 2018. — 429 с. — Текст : непосредственный.

²ГОСТ 14169-93.

13. Оптимизация режимов бурения шарошечными долотами при различных приводах долота / Е. С. Коршунов, С. Г. Плотень, Е. И. Романова, М. Г. Эскин. – Москва : [б. и.], 1967. – 60 с. – (Тематические научно-технические обзоры. Серия «Бурение» / М-во нефтедобывающей пром-сти СССР. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т организации, управления и экономики нефтегазовой пром-сти). – Текст : непосредственный.
14. Григулецкий, В. Г. Оптимальное управление при бурении скважин / В. Г. Григулецкий. – Москва : Недра, 1988. – 227 с. – Текст : непосредственный.
15. Рабинович, Н. Р. Инженерные задачи механики сплошной среды в бурении. – Москва : Недра, 1989. – 270 с. – Текст : непосредственный.
16. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А. А. Красовского. – Москва : Физматлит, 1987. – 712 с. – Текст : непосредственный.
17. Погарский, А. А. Оптимизация процессов глубокого бурения / А. А. Погарский, К. А. Чефранов, О. П. Шишкин. – Москва : Недра, 1981. – 296 с. – Текст : непосредственный.
18. Бражников, В. А. Информационное обеспечение оптимального управления бурением скважин / В. А. Бражников, А. А. Фурнэ. – Москва : Недра, 1989. – 206 с. – Текст : непосредственный.
19. Лукьянов, Э. Е. Геолого-технологические и геофизические исследования в процессе бурения / Э. Е. Лукьянов. – Новосибирск: ИД «Историческое наследие Сибири», 2009. – 145 с. – Текст : непосредственный.
20. Храменков, В. Г. Автоматизация производственных процессов: учебник / В. Г. Храменков ; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического ун-та, 2011. – 343 с. – Текст : непосредственный.

References

1. Brazhnikov, V. A., & Kuznetsov, V. A. (1978). Informatsionnye ustrojstva dlya opredeleniya effektivnosti upravleniya protsessom bureniya. Moscow, Nedra Publ., 108 p. (In Russian).
2. Brevdo, G. D. (1988). Proektirovanie rezhima bureniya. Moscow, Nedra Publ., 200 p. (In Russian).
3. Brodov, G. S., Shelkovnikov, I. G., & Egorov, E. K. (2004). Tekhnologicheskie izmereniya i avtomatizatsiya protsessa bureniya. St. Petersburg, Saint-Petersburg Mining University Publ., 105 p. (In Russian).
4. Bulatov, A. I., Demikhov, V. I., & Makarenko, P. P. (1998). Control over Processes of Drilling Oil and Gas Wells. Moscow, Nedra Publ., 345 p. (In Russian).
5. Khramenkov, V. G. (2017). Osnovy organizatsii i planirovaniya proizvodstvennykh rabot na burovoj. Avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov. Saratov, Profobrazovanie Publ., 342 p. (In Russian).
6. Gandzhumyan, R. A., Kalinin, A. G., & Nikitin, B. A. (2000). Inzhenernye raschety pri burenii glubokikh skvazhin. Moscow, Nedra Publ., 489 p. (In Russian).
7. Tsouprikov, A. A. (2015). The analysis of mathematical models of mechanical speed of driving for optimization of process of drilling of oil and gas wells. Scientific Journal of KubSAU, 107(03), pp. 903-915. (In Russian). Available at: <http://ej.kubagro.ru/archive.asp?n=107>
8. Tsouprikov, A. A. (2015). Mathematical model of speed of the driving for optimum control of drilling of wells. Scientific Journal of KubSAU, 107(03), pp. 916-926. (In Russian). Available at: <http://ej.kubagro.ru/a/viewaut.asp?id=1543>
9. Fingerit, M. A. (1965). Ratsional'naya ekspluatatsiya sharoshechnykh dolot. Moscow, Nedra Publ., 216 p. (In Russian).
10. Ginzburg, E. S., Bikbulatov, I. K., Vyshegorodtseva, G. I., & Tsedenov, S. A. (2013). Assessing prospects for PDC drilling. Bulletin of the Association of Drilling Contractors, (2), pp. 16-17. (In Russian).
11. Chulkova, V. V. (2017). Razrabotka metodicheskikh i tekhnologicheskikh resheniy po vyboru dolot PDC s usilennym antivibratsionnym vooruzheniem. Diss. ...kand. techn. nauk. Moscow, 129 p. (In Russian).
12. Tsouprikov, A. A. (2018). Intellektual'naya sistema adaptivnogo upravleniya tekhnologicheskimi protsessami bureniya neftegazovykh skvazhin. Diss. ... doct. techn. nauk. Krasnodar, 429 p. (In Russian).

13. Korshunov, E. S., Ploten', S. G., Romanova, E. I., & Eskin, M. G. (1967). Optimizatsiya rezhimov bureniya sharoshechnymi dolotami pri razlichnykh privodakh dolota. Moscow, 60 p. (In Russian).
14. Griguletskiy, V. G. (1988). Optimal'noe upravlenie pri burenii skvazhin. Moscow, Nedra Publ., 227 p. (In Russian).
15. Rabinovich, N. R. (1989). Inzhenernye zadachi mekhaniki sploshnoy sredy v burenii. Moscow, Nedra Publ., 270 p. (In Russian).
16. Krasovskiy, A. A. (Ed.) (1987). Spravochnik po teorii avtomaticheskogo upravleniya. Moscow, Fizmatlit Publ., 712 p. (In Russian).
17. Pogarskiy, A. A., Chefranov, K. A., & Shishikin, O. P. (1981). Optimizatsiya protsessov glubokogo bureniya. Moscow, Nedra Publ., 296 p. (In Russian).
18. Brazhnikov, V. A., & Furne, A. A. (1989). Informatsionnoe obespechenie optimal'nogo upravleniya bureniem skvazhin. Moscow, Nedra Publ., 206 p. (In Russian).
19. Luk'yanov, E. E. (2009). Geologo-tekhnologicheskie i geofizicheskie issledovaniya v protsesse bureniya. Novosibirsk, Istoricheskoe nasledie Sibiri Publ., 145 p. (In Russian).
20. Khramenkov, V. G. (2011). Avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ., 343 p. (In Russian).

Сведения об авторах

Кузнецов Владимир Андреевич, к. т. н., доцент кафедры информационно-измерительной техники, Самарский государственный технический университет, г. Самара

Михеев Сергей Андреевич, аспирант кафедры информационно-измерительной техники, Самарский государственный технический университет, e-mail: mixs817@yandex.ru

Information about the authors

Vladimir A. Kuznetsov, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Information and Measuring Equipment, Samara State Technical University

Sergey A. Mikheev, Postgraduate at the Department of Information and Measuring Equipment, Samara State Technical University, e-mail: mixs817@yandex.ru