

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2024.3.316-332>

EDN ZTROCI

УДК 622.243.27+622.243.56

Совершенствование методики прогнозирования искривления нефтяных скважин при бурении с использованием роторных управляемых систем

Мухаметгалиев И.Д., Аглиуллин А.Х.

*ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
Уфа, Россия*

Improving the methodology for predicting the curvature of oil wells during drilling using rotary steerable systems

I.D. Mukhametgaliev, A.H. Agliullin

Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia

E-mail: ilmir8787@mail.ru

Аннотация. Для прогнозирования интенсивности искривления скважин при бурении с использованием РУС для ориентируемого бурения скважин с горизонтальным окончанием не выполнен расчёт дифференциальных уравнений упругой линии КНБК и не определены усилия, возникающие при взаимодействии КНБК со стенкой скважины в зависимости от осевой нагрузки на бурильную колонну. При этом современная тенденция развития индустрии наклонно-направленного бурения предполагает активное внедрение роторных управляемых систем как высокотехнологичного оборудования, позволяющегократноувеличитьдлинугоризонтальныхучастковнефтяныхигазовыхскважин, и тем самым увеличить зону дренирования продуктивного пласта.

Вместе с тем активно развивается разработка отечественных забойных телеметрических систем (ЗТС) и локализация их производства. Российские разработчики РУС имеют унифицированный подход в конструировании системы, которая заключается в возможности применения различных телеметрических модулей совместно с разрабатываемым РУС. Причина такого подхода заключается в распространенности достаточно большого количества ЗТС, работающих на основе гидравлического канала связи. Очевидным является задача поиска решения по подбору НУБТ модуля телеметрии для РУС

по технико-технологическим условиям бурения. Представлен расчет по результатам аналитического исследования взаимодействия НУБТ с РУС со стенкой скважины, определены допущения для расчетных моделей, проведено сравнение величин усилия на долоте и усилия на плашках РУС с различной осевой нагрузкой на бурильную колонну.

Ключевые слова: дифференциальные уравнения, интенсивность искривления скважины, строительство скважин, КНБК, роторная управляемая система

Для цитирования: Мухаметгалиев И.Д., Аглиуллин А.Х. Совершенствование методики прогнозирования искривления нефтяных скважин при бурении с использованием роторных управляемых систем // Нефтяная провинция.-2024.-№3(39).-С. 316-332. - DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2024.3.316-332>. - EDN ZTROCI

Abstract. To predict the dog-leg severity (DLS) of well during drilling using RSS for oriented drilling of wells with horizontal section, the differential equations of the elastic line of the BHA have not been calculated and the forces arising from the interaction of the BHA with the well wall, depending on the axial load on the drill string, have not been determined. At the same time, the current trend in the development of the directional drilling industry involves the active introduction of rotary steerable systems (RSS) as high-tech equipment that allows to multiply the length of horizontal sections of oil and gas wells and thereby increase the drainage zone of the productive reservoir.

At the same time, the development of domestic measurement while drilling (MWD) tools the localization of their production are actively developing. Russian RSS developers have a unified approach to the design of the system, which consists in the possibility of using various MWD modules in conjunction with the developed RSS. The reason for this approach is the prevalence of a sufficiently large number of MWD operating on the basis of a hydraulic communication channel. The obvious task is to find a solution for the selection of a non-magnetic drilling collars (NMDC) for MWD module for RSS according to the technical and technological conditions of drilling. A calculation based on the results of an analytical study of the interaction of NMDC with RSS with the well wall is presented, assumptions for even models are determined, and the values of the force on the bit and the force on the RSS dies with different axial loads on the drill string are compared.

Key words: differential equations, dog-leg severity, well construction, BHA, rotary steerable system

For citation: I.D. Mukhametgaliev, A.H. Agliullin Sovershenstvovanie metodiki prognozirovaniya iskrivleniya neftyanykh skvazhin pri burenii s ispol'zovaniem rotornykh upravlyaemykh sistem [Improving the methodology for predicting the curvature of oil wells during drilling using rotary steerable systems]. Neftyanaya Provintsiya, No. 3(39), 2024. pp. 316-332. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2024.3.316-332>. EDN ZTROCI (in Russian)

Введение

Представлен расчет по результатам аналитического исследования взаимодействия НУБТ с РУС со стенкой скважины, определены допущения для расчетных моделей, проведено сравнение величин усилия на долоте и усилия на плашках РУС с различной осевой нагрузкой на бурильную колонну.

Область представленного в диссертационной работе исследования связана с использованием РУС, отклоняющий модуль которых представлен плашками (Push-the-Bit). Для проведения расчетов и моделирования множеств параметров были приняты различные величины зенитного угла (θ) скважины, осевой нагрузки на бурильную колонну, изгибной жесткости НУБТ, диаметров выдвижных плашек (Табл. 1).

Таблица 1

Принятые для расчета технические и технологические параметры

Параметр	ед. изм	Величины					
		6	8	10	12	14	–
Осевая нагрузка на бурильную колонну, Р	т*с	6	8	10	12	14	–
	Н	58860	78480	98100	117720	137340	–
Зенитный угол, θ	град	30		60		90	
Диаметр плашек РУС, \varnothing	мм	203		210		220	
Изгибная жесткость НУБТ, EI	кН*м ²	3535	3598	3623	4371	4508	4637

Представлены результаты аналитического исследования взаимодействия НУБТ с РУС со стенкой скважины, целью которого было численное решение дифференциальных уравнений упругой линии КНБК с РУС и модулем телеметрии. Для этого в КНБК в качестве значения изгибной жесткости и данных по распределенной нагрузке от веса элементов использовались геометрические размеры поперечного сечения, указанные в паспорте (руководстве по эксплуатации, схем компоновок, технических отчетов). Диаметр долота принят равным 220,7 мм, т.к. расчеты проводились для скважин двухколонной конструкции, где эксплуатационная секция имеет длину от 2200 до 4500 м. Диаметр РУС по корпусу равен 178 мм.

Определены допущения для расчетных моделей трех секций КНБК (1-я

– направляющая с интегрированным модулем выдвижных плашек, 2-я – гибкий патрубок, 3-я – модуль телеметрии, размещенный в НУБТ).

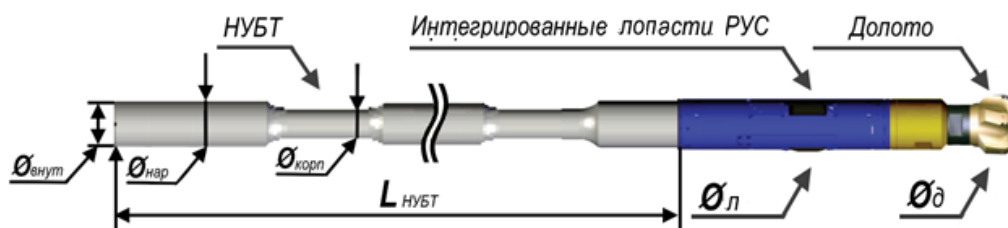


Рис. 1. Общий вид компоновки РУС с применением НУБТ

Таблица 2

Параметры расчетных вариантов НУБТ

Вариант НУБТ	$\varnothing_{\text{долота}} = 220,7 \text{ мм}; \varnothing_{\text{РУС}} = 178 \text{ мм.}$					
	$\varnothing_{\text{нар}}, \text{ мм}$	$\varnothing_{\text{корп}}, \text{ мм}$	$\varnothing_{\text{внут}}, \text{ мм}$	$L_{\text{НУБТ}}, \text{ мм}$	$E_{\text{НУБТ}}, \text{ кН*м}^2$	Диапазон изменения $\varnothing_{\text{пл}}, \text{ мм}$
1.	172	127	83	8300	3535	203, 210, 220
2.	168	127	76	8300	3598	
3.	165	127	60	8300	3623	
4.	165	127	57	8300	4371	
5.	184	140	105	8300	4508	
6.	184	140	102	8300	4637	

В расчетной схеме, учитывающей конструктивные особенности современных КНБК с РУС, приняты следующие допущения:

- форма изгиба оси КНБК плоская;
- ось ствола скважины прямолинейная или является дугой окружности;
- КНБК нагружена продольными и поперечными силами;
- долото является шарнирной опорой, а опора на плашках интегрированного стабилизатора РУС - точечной опорой;
- каждая секция КНБК имеет различные жесткость на изгиб, диаметр и вес единицы длины;
- веса элементов КНБК определены в жидкости плотностью равной 1000 кг/м^3 ;
- зенитный угол скважины для расчетной модели 1 и 2 составляет $\alpha \leq 90^\circ$ и $\alpha > 90^\circ$ соответственно.

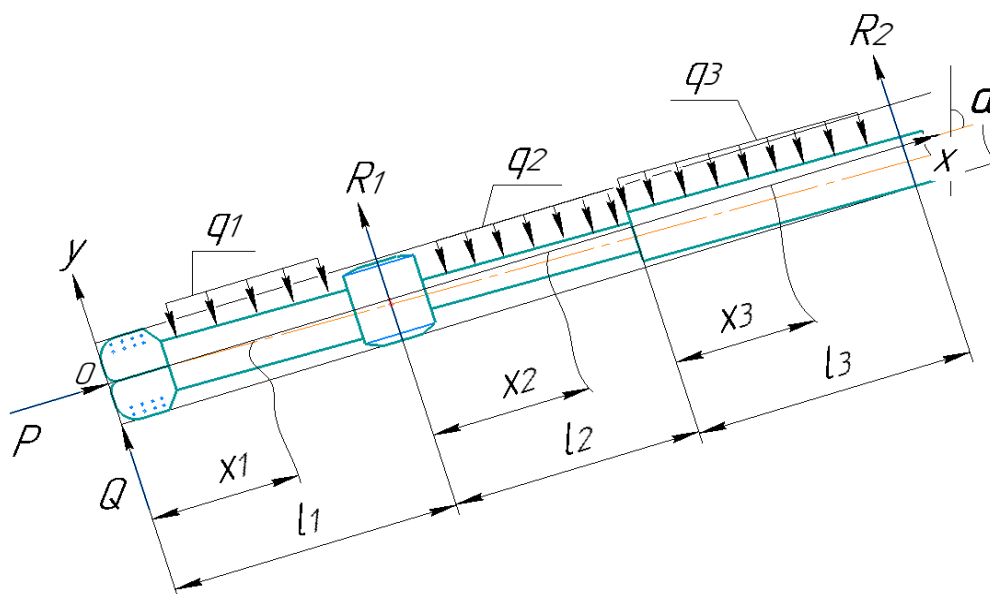


Рис. 2. Расчетная схема модели 1 при зенитном угле скважины $\alpha \leq 90^\circ$

Для модели 1 дифференциальное уравнение упругой линии КНБК на каждом из участков имеет вид:

$$E * I_1 * \frac{d^2 y_1}{dx_1^2} = -P * y_1 + Q * x_1 + \frac{q_1 * x_1^2}{2}; \quad (1)$$

$$E * I_2 * \frac{d^2 y_2}{dx_2^2} = -P * y_2 + Q * (l_1 + x_2) - R_1 * x_2 + \frac{q_2 * x_2^2}{2} + \frac{q_1 * l_1^2}{2} + q_1 * l_1 * x_1 \quad (2)$$

$$E * I_3 * \frac{d^2 y_3}{dx_3^2} = -P * y_3 + Q * (l_1 + l_2 + x_3) - R_1 * (l_2 + x_3) + \frac{q_1 * l_1^2}{2} + q_1 * l_1 * l_2 + q_1 * l_1 * x_3 + \frac{q_2 * l_2^2}{2} + q_2 * l_2 * x_3 + \frac{q_3 * x_3^2}{2}. \quad (3)$$

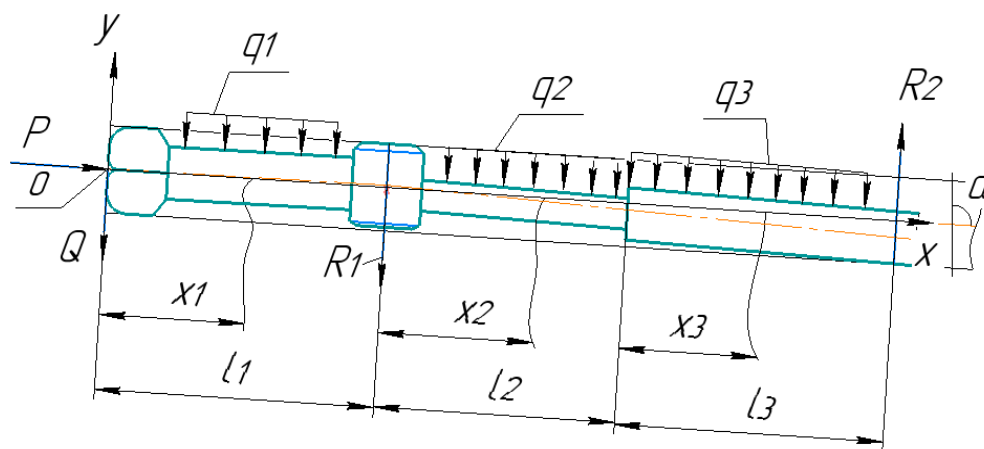


Рис. 3. Расчетная схема модели 2 при зенитном угле скважины $\alpha > 90^\circ$

Для модели 2 дифференциальное уравнение упругой линии КНБК на каждом из участков имеет вид:

$$E * I_2 * \frac{d^2 y_1}{dx_1^2} = P * y_1 - Q * x_1 + \frac{q_1 * x_1^2}{2}; \quad (4)$$

$$E * I_2 * \frac{d^2 y_2}{dx_2^2} = P * y_2 - Q * (l_1 + x_2) + R_2 * x_2 + \frac{q_2 * x_2^2}{2} + \frac{q_1 * l_1^2}{2} + q_1 * l_1 * x_2 \quad (5)$$

$$E * I_3 * \frac{d^2 y_3}{dx_3^2} = P * y_3 - Q * (l_1 + l_2 + x_3) + R_1 * (l_2 + x_3) + \frac{q_1 * l_1^2}{2} + q_1 * l_1 * l_2 + q_1 * l_1 * x_3 + \frac{q_2 * l_2^2}{2} + q_2 * l_2 * x_3 + \frac{q_3 * x_3^2}{2}. \quad (6)$$

Граничные условия для каждой секции имеют вид:

$$\begin{array}{ll} \text{– при } x_1=0 \text{ и } y_1=0 & \frac{d^2 y_1}{dx_1^2} = 0; \quad \text{– при } x_1=l_1 \text{ и } x_2=0 & y_1=\Delta_1, y_2=\Delta_1, \frac{dy_1}{dx_1} = \frac{dy_2}{dx_2}; \\ \text{– при } x_2=l_2 \text{ и } x_3=0 & y_2=y_3, \frac{dy_2}{dx_2} = \frac{dy_3}{dx_3}; \quad \text{– при } x_3=l_3 \text{ и } y_3=\Delta_2 & \frac{dy_3}{dx_3} = 0, \frac{d^2 y_3}{dx_3^2} = 0. \end{array}$$

В уравнениях (1 – 6) приняты следующие обозначения: $E * I_1$, $E * I_2$, $E * I_3$ – жесткость на изгиб секций КНБК, кН*м²; P – осевая нагрузка на долоте, т*с; Q – отклоняющая сила на долоте, т*с; q_1 , q_2 , q_3 – вес одного метра секций КНБК с учетом текущего значения зенитного угла скважины, кН/м; y_1 , x_1 , y_2 , x_2 , y_3 , x_3 – текущие координаты упругой линии на участке I; R_1 , R_2 – реакций на опорах, т*с.

Каждая из системы уравнений решается относительно неизвестных опорных реакций и длины активной части КНБК.

Проведенные расчеты показали, что в горизонтальном участке скважины положение точки контакта НУБТ со стенкой скважины меняется в зависимости от диаметра плашек РУС в разной градации, но установлено, что диаметры рассматриваемых НУБТ влияния не оказывают. Данная корреля-

ция между прогибом от оси КНБК и изменением активной части КНБК, которая касается стенки скважины, позволяет сделать вывод о влиянии точки контакта на отклоняющую силу на долоте и плашках РУС (Рис. 4).

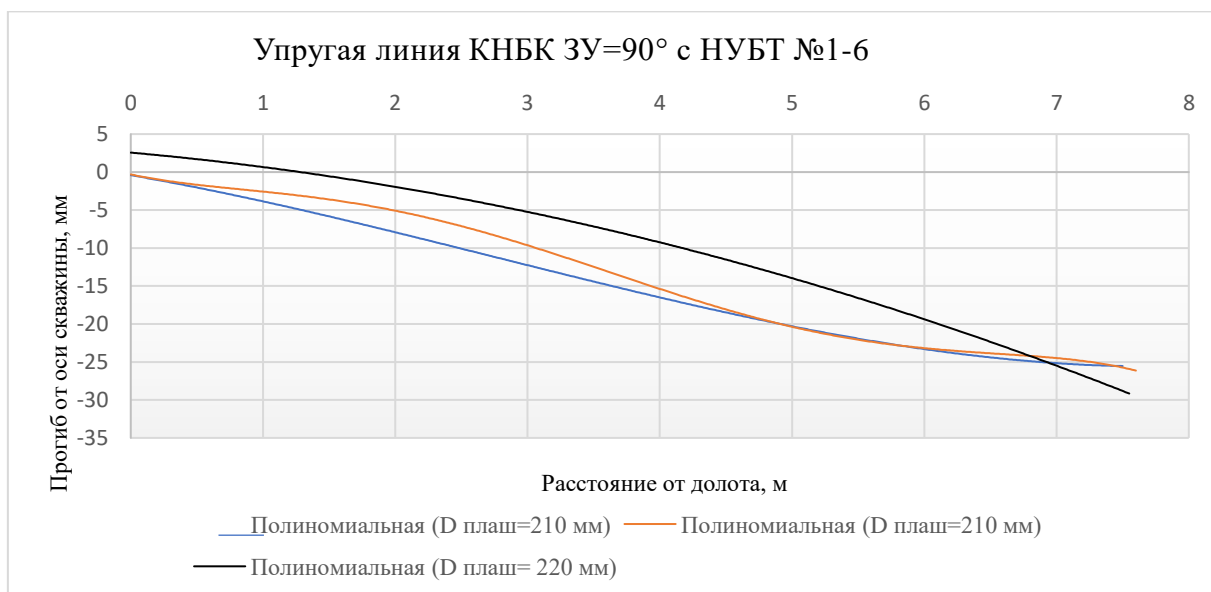


Рис. 4. Длины активной части КНБК при нагрузке на бурильную колонну 14 тс

Проведено сравнение величин усилия на долоте и усилия на плашках РУС с различной осевой нагрузкой на бурильную колонну при бурении секций с ЗУ равным 90° и более 90°. Получены результаты расчетов, которые показывают, что величина усилия на плашках РУС больше усилия на бурильную колонну на 81 % при осевой нагрузке на бурильную колонну 6 тс и диаметре плашек РУС 203 мм на участке скважины с ЗУ равным 90°. Бурение при тех же условиях секции более 90° сопровождается усилием на плашки РУС с долей лишь 26 % при оказываемом усилиии бурильной колонны в 6 тс.

Расчеты, проведенные для зенитного угла скважины 60° показывают снижение распределения осевого усилия на долото с 39 % до 29 % на плашки РУС при увеличении осевого усилия с 6 до 14 т*с соответственно (Рис. 5). Похожая ситуация наблюдается при расчетах на участок

ствола скважины с зенитным углом 30°, где рост осевого усилия на бурильную колонну с 6 до 14 т*с способен снизить распределяемое усилие на долото с 45 до 33 %.

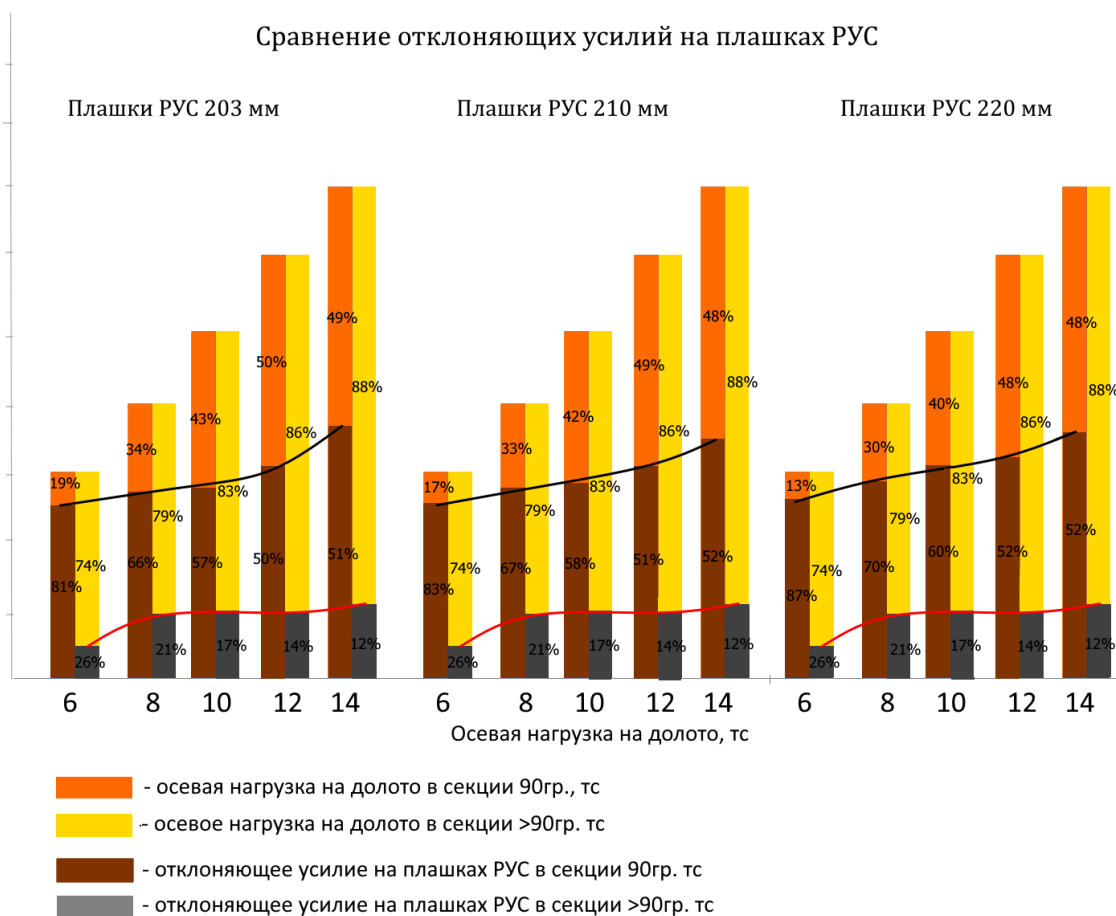


Рис. 5. Сравнение отклоняющих усилий на плашках РУС

Используя РУС важно планировать параметры бурения на длинные участки ствола скважины, которые могут составлять более 4 тыс. м., в том числе для скважин с двухколонной конструкцией. Анализ зависимости отклоняющей силы на долоте от диаметра плашек РУС по полученной модели показал (Рис. 6), что при бурении горизонтальной секции скважины размерность НУБТ и диаметр плашек РУС не оказывает значимого эффекта на изменение отклоняющей силы на долоте при осевом усилии на бурильную колонну до 6 т*с. Увеличение осевой нагрузки на бурильную колонну до 8т*с, то есть на 25 %, ведет росту отклоняющей силы на долоте на 13 % с НУБТ №1 и №3, 12 % с НУБТ №2 и лишь 9,7 % с НУБТ №4 для РУС с диаметром

плашек 220 мм. Равномерная градация отклоняющей силы наблюдается при любом диаметре плашек РУС и также наблюдается влияние конструкции НУБТ.

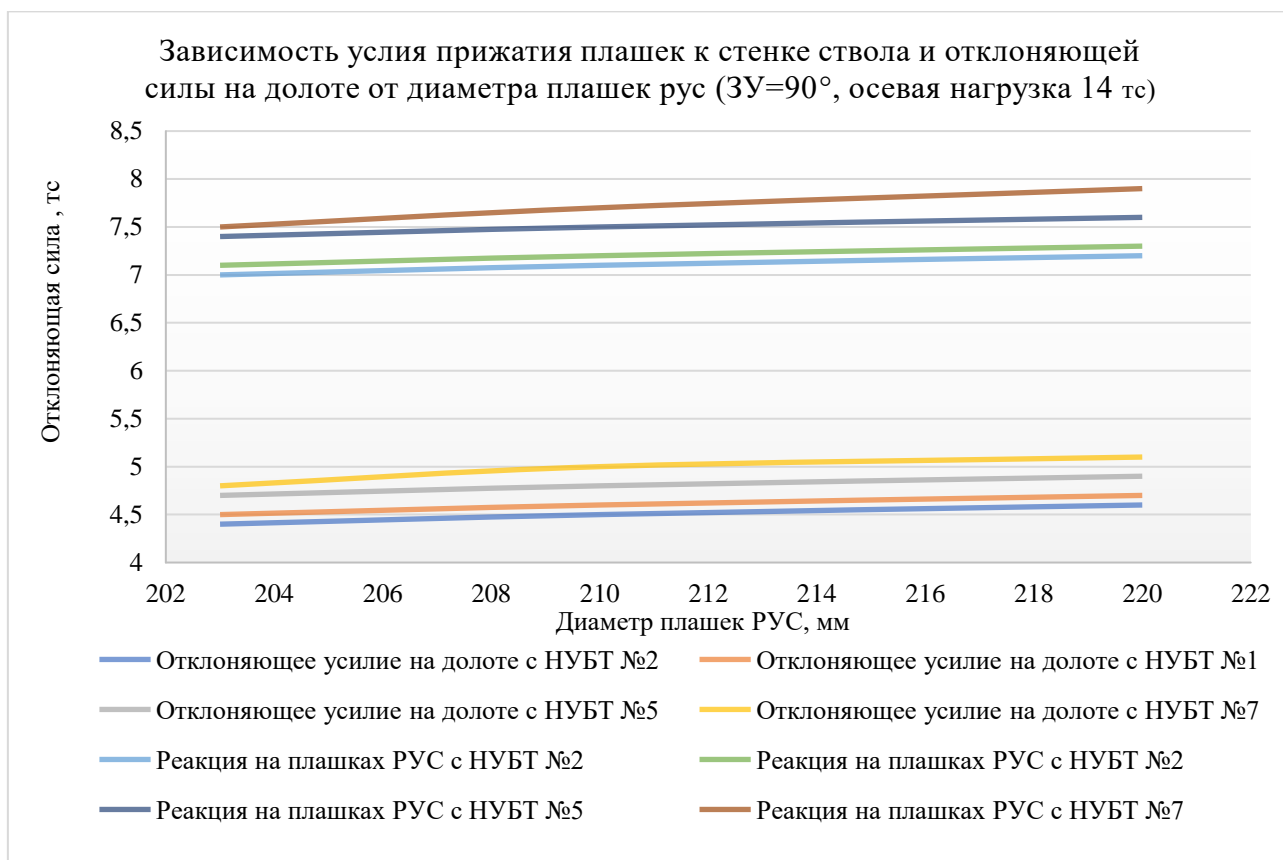


Рис. 6. Диаграмма влияния изменения $\varphi_{пл}$ РУС и EI НУБТ на отклоняющую силу на долоте и плашки РУС

Оптимизация КНБК с применением РУС и НУБТ позволяет сократить непроизводительное время на подъем и смену НУБТ и риск отклонения от плановой траектории из-за низкой интенсивности кривизны. Соблюдение предложенной технологии подбора НУБТ и соблюдения технологии позволяют реализовать следующую рабочую гипотезу: «использование возможностей РУС в сочетании с НУБТ подходящего типоразмера могут оптимизировать процесс строительства наклонно-направленных скважин в том числе с горизонтальным окончанием при постоянной оптимизации режима бурения с учётом величины осевой нагрузки на бурильную колонну, диа-

метра плашек РУС, зенитного угла скважины и позволяет проводить скважины двухколонной конструкции без отклонений от плановой траектории, сроков строительства скважин».

Выполнен расчет интенсивности искривления ствола скважины при различных величинах её ЗУ и применении обозначенных НУБТ и диаметров плашек РУС, что позволяет проектировать КНБК и рассчитать оптимальную осевую нагрузку на долото (Рис. 7). Задачей расчета и прогнозирования искривления скважины на основе расчетной отклоняющей силы занимался Н.А. Григорян, который представил методику геометрического расчета. Остальные многочисленные расчеты других авторов приводятся без учета характеристик изгибной жесткости и режимных параметров бурения. Рост интенсивности искривления ствола от увеличения осевой нагрузки на долото отмечался А.И. Шахназаровым, П. Голяковым, В.С. Федоровым. Чем больше осевая нагрузка, тем интенсивнее искривление при одинаковых геологических условиях. С увеличением осевой нагрузки увеличиваются изгибающие усилия, укорачивается полуволна бурильных труб и сильнее отклоняется ось КНБК от оси скважины.

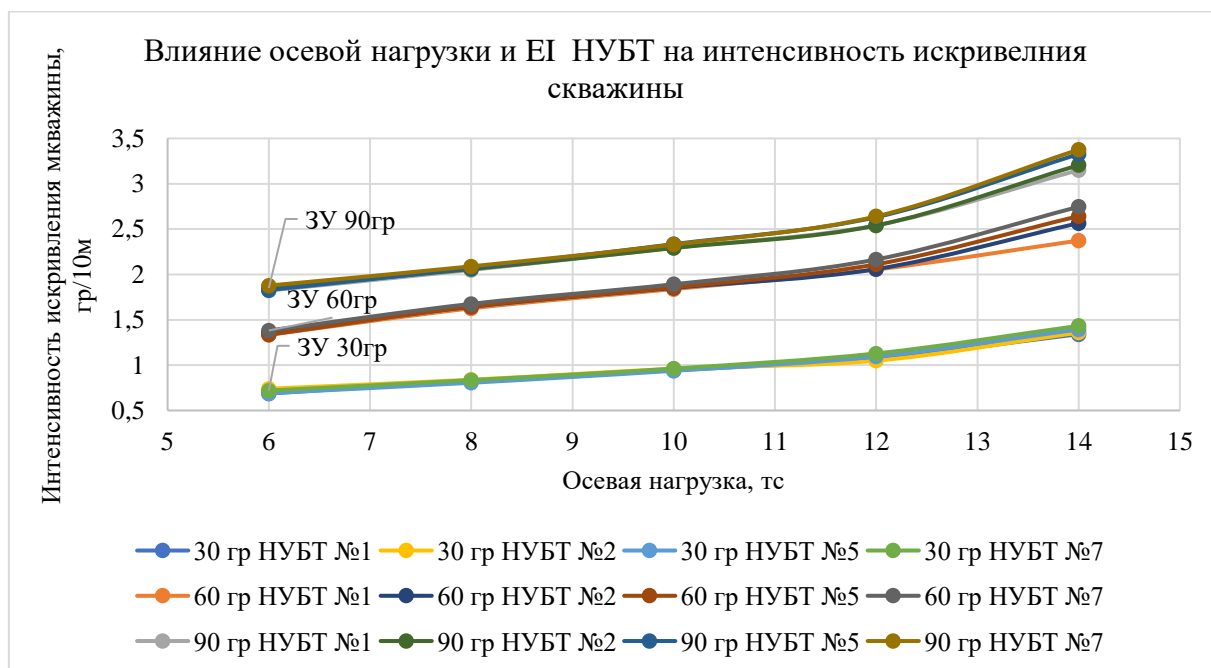


Рис. 7. Интенсивность искривления скважины в различных секциях скважины при вариации нагрузки на долото и EI НУБТ

Усовершенствованная модель В.С. Федорова позволила провести комбинированный расчет интенсивности кривизны скважины, что в свою очередь дало возможность построить алгоритм расчета на базе прикладного программного обеспечения.

Изложены результаты разработки универсальной методики поддержки принятия решения при работе РУС, позволяющей определить радиус искривления ствола скважины с учётом технико-технологических условий бурения скважин на месторождениях Западной Сибири и адаптировать оборудование для соответствия местным условиям, и даны примеры расчета радиусов для действующих образцов.

Диаграмма на рис. 7 показывает величину интенсивности искривления скважины с учетом отклоняющего усилия плашек РУС при использовании обозначенных НУБТ.

Разработанная система поддержки принятия решения, реализованная на базе созданной автором программы тренажера, способна дать рекомендации по подбору НУБТ при использовании заранее подготовленной траектории скважины. Получаемые в режиме реального времени данные со скважинной телеметрии затем используются для подготовки рекомендаций об изменении диаметра плашек РУС и осевой нагрузки на долото. Схематично работа прикладного программного обеспечения представлена на рис. 8.

Приведены результаты практической реализации методики аналитического решения дифференциальных уравнений упругой линии КНБК для определения отклоняющей силы на долоте в зависимости от вылета (диаметра) плашек РУС.

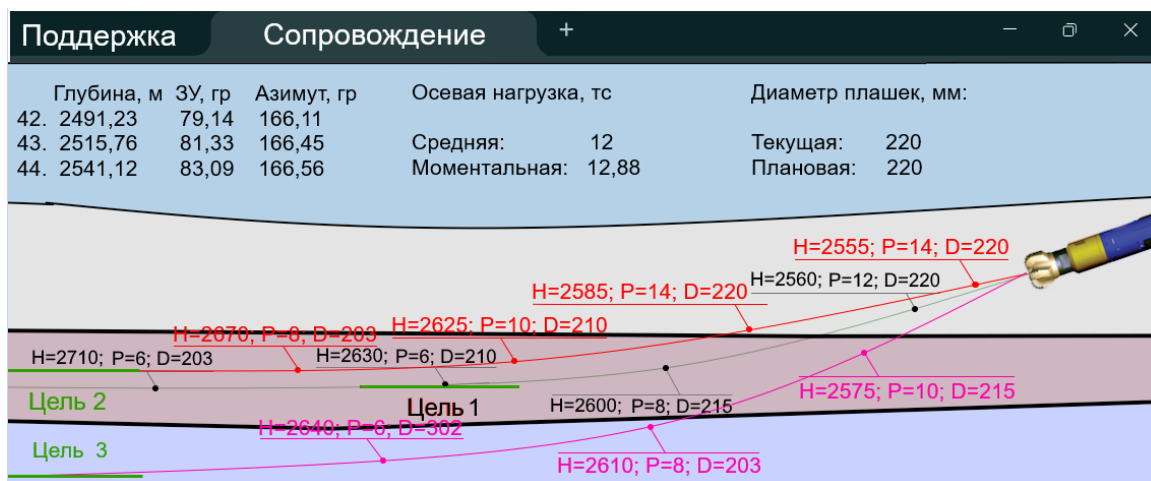


Рис. 8. Диалоговое окно интерфейса программы-тренажера

Еще одним способом применения полученных данных при решении дифференциальных уравнений упругой линии КНБК с РУС для определения отклоняющей силы стала разработка программного обеспечения, позволяющего моделировать отклоняющее усилие на долоте в зависимости от усилия создаваемого плашками интегрированного переводника РУС, изгибной жесткости каждой из трех секций (от долота до точки касания третьей секции РУС стенки скважины) и осевой нагрузки на долото.

Далее на рис. 9 приведено сравнение полученных промысловых данных об интенсивности кривизны и рассчитанных на базе программы-тренажера.



Рис. 9. Сравнение интенсивности кривизны скважины, полученных при бурении 125 скважин с расчетными на базе моделирования программы-тренажера

Данные о промысловых значениях интенсивности кривизны скважины получены от ЗТС при применении импортного РУС при бурении 291 скважины. Сравнение проведено для КНБК с РУС с различными НУБТ и представлено на рис. 10 в интервале бурения горизонтального участка с зенитным углом 89-91° с нагрузкой на долото 7-8 тс. Сравнение показало, что достоверность расчета составляет в среднем 92 %.

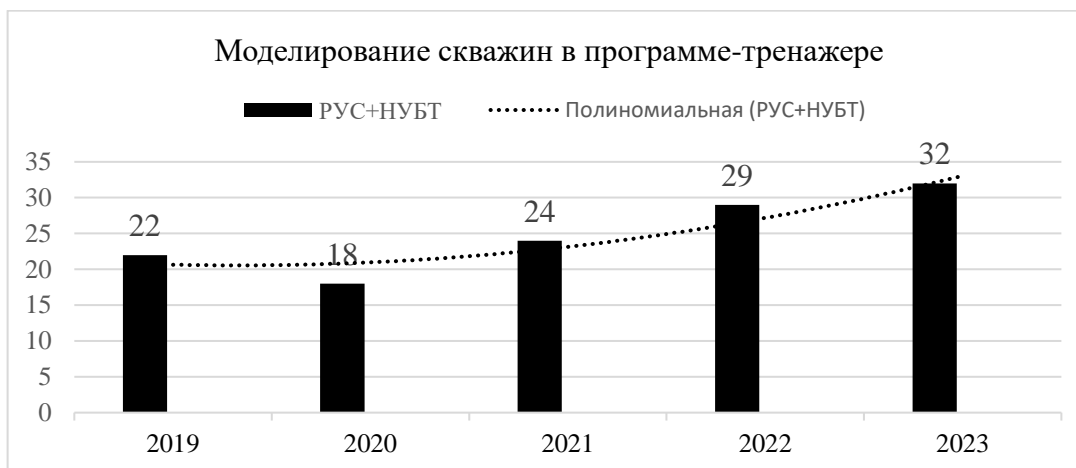


Рис. 10. Скважины смоделированные в программе-тренажере

Программа-тренажер использована для моделирования типоразмера НУБТ для РУС, используемой в Западной Сибири при строительстве горизонтальных участков в 125 скважинах, пробуренных компанией с 2019 по 2023 гг. с использованием КНБК с РУС и с подбором НУБТ.

Заключение

1. Разработана комплексная методология проектирования и технология сопровождения проводки горизонтальных секций скважин при использовании РУС, включающая в себя точный подбор НУБТ, оптимальный подбор параметров бурения при отклонении от траектории скважины и соблюдение плана, которая позволила повысить точность заданного пластового «коридора» в горизонтальной секции скважин на 76 % и попадания проектного забоя скважины в круг допуска целей бурения на 86 %.

2. Разработан метод автоматизации расчета интенсивности искривления ствола скважины при работе РУС на основе использования данных о

технических характеристиках КНБК и режимно-технологических параметров бурения, который позволяет по данным забойной телеметрической системы корректировать режимы управления РУС для соблюдения плановой траектории горизонтальной секции скважины, в результате чего точность прогнозирования траектории скважины при бурении горизонтальной секции скважин повышена на 83 %.

3. Разработана программа-тренажер «Слайд мастер 1.18» (свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ №2015618263, 2017663673, 2017663672, 2020613187, 2020613186), работающая на базе системы поддержки принятия решения сопровождения бурения скважин, способной подбирать режим эксплуатации роторной управляемой системы для обеспечения дискретного характера управления траекторией и позволяющей осуществить проводку горизонтальной секции скважин с минимальными затратами, позволившей получить удельный экономический эффект на одну скважину от внедрения до 1 700 000 рублей на скважину в год.

Список литературы

1. Мухаметгалиев, И.Д. Теоретические предпосылки к вопросу моделирования устойчивости стенок скважины и прогнозирования гидроразрыва / А.Н. Попов, Р.А. Исмаков, Ф.Н. Янгиров, А. Р. Яхин, Ю.А.Ю. Абусал, И.Д. Мухаметгалиев, Г.Л. Гаймалетдинова // SOCAR Proceedings. – 2021. – № 1. – С. 41–49.
2. Мухаметгалиев, И.Д. Некоторые вопросы обеспечения устойчивости стенок наклонно-направленных скважин и предупреждения поглощений технологических жидкостей / А.Н. Попов, Р.А. Исмаков, А.Р. Яхин, И.Д. Мухаметгалиев // SOCAR Proceedings. – 2021. – № 1. – С. 60–67.
3. Мухаметгалиев, И.Д. Развитие моделирования параметров КНБК для наклонно-направленного бурения / И.Д. Мухаметгалиев, А.Х. Аглиуллин, Р.А. Исмаков, М.Е. Логинова, А.Р. Яхин // SOCAR Proceedings. – 2020. – № 4. – С. 15–23.
4. Мухаметгалиев И.Д., Аглиуллин А.Х., Чистов Д.И., Яхин А.Р. Аналитические исследования взаимодействия компоновки низа бурильной колонны со стенками скважины с горизонтальным окончанием // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. Вып. 6 (146). С. 29-39.
5. Мухаметгалиев, И.Д. Оптимизация режимов бурения с помощью устройства для измерения отклоняющей силы компоновки низа бурильной колонны во время бурения / Яхин А.Р., Мухаметгалиев И.Д., Трушкин О.Б., Ядрин В.В. // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2022. – № 6. – С. 55-65.

6. Мухаметгалиев, И.Д. Разработка программы-тренажера по наклонно-направленному бурению / И.Д. Мухаметгалиев, Р.А. Исмаков, Р.М. Тимиров, А.Р. Нургалиев // Вестник Ассоциации Буровых подрядчиков. – 2020. – № 3. – С. 34–39.
7. Мухаметгалиев, И.Д. Разработка человеко-машинного интерфейса тренажера наклонно-направленного бурения / И.Д. Мухаметгалиев, З.В. Агзамов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2020. – Вып. 1 (123). – С. 38–55.
8. Мухаметгалиев, И.Д. Система поддержки принятия решений по формированию компоновки низа бурильной колонны для управления направленным бурением скважин / З.В. Агзамов, И.Д. Мухаметгалиев // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2019. – № 6(122). – С. 9-20.
9. Мухаметгалиев, И.Д. Анализ работы имитационных тренажерных комплексов для обучения практическим навыкам бурения / И.Д. Мухаметгалиев, Р.А. Исмаков, А.Р. Хафизов, С.Г. Гуменников, М.Р. Галлямов // Нефтегазовое дело. – 2016. – Т. 14, № 4. – С. 9–13.
10. Пат. 2801729 РФ, МПК E21B 47/12. Геонавигационный комплекс, совмещённый с наддолотным модулем для измерения силовых параметров / О.Б. Трушкин, А.Р. Яхин, Ю.А.Ю. Абусал, И.Д. Мухаметгалиев (РФ). – 2022133758; 21.12.2022, Оpubл. 15.08.2023. Бюл. № 23.
11. Пат. 143548 РФ, МПК E21B 7/08, E21B 29/06. Клиновой отклонитель для забуривания боковых стволов из скважины / И.Д. Мухаметгалиев, Р.А. Исмаков, А.Г. Габсаляхов (РФ). – 2014107115/03; Оpubл. 27.07.2014. Бюл. № 21.
12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020613186. Имитационное моделирование процесса проектирования компоновки низа бурильной колонны / Мухаметгалиев И.Д., Аглиуллин А.Х., Исмаков Р.А., Мухаметгалиев Р.Д.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «УГНТУ». – 2020612369; заявл. 04.03.2020; опубл. 11.03.2020. Бюл. №3.
13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020613187. Имитационное моделирование процесса строительства скважины / Мухаметгалиев И.Д., Аглиуллин А.Х., Исмаков Р.А., Мухаметгалиев Р.Д.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «УГНТУ». – 2020612371; заявл. 04.03.2020; опубл. 11.03.2020. Бюл. №3.
14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017663673. Программа для работы с ликвидацией газонефтеводопроявления (ГНВП) / Мухаметгалиев И.Д., Янгиров Ф.Н., Яхин А.Р.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «УГНТУ». – 2017660657; заявл. 23.10.2017; опубл. 08.12.2017.
15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017663672. Программа для работы с забойным буровым оборудованием КНБК / Мухаметгалиев И.Д., Янгиров Ф.Н., Яхин А.Р.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «УГНТУ». – 2017660656; заявл. 23.10.2017; опубл. 08.12.2017.
16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015618263. Слайд Мастер 1.18 / Мухаметгалиев И.Д., Исмаков Р.А., Чиглинцев С.С.; заявитель и правообладатель Мухаметгалиев Ильмир Дамирович. – 2015614740; заявл. 04.06.2015; опубл. 04.08.2015.
17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015612134. Компьютерный тренажер «Буровой Инжиниринг v 2.15» / Мухаметгалиев И.Д., Исмаков Р.А., Конев Р.М., Чиглинцев С.С.; заявитель и правообладатель Мухаметгалиев Ильмир Дамирович. – 2014663103; заявл. 16.12.2014; опубл. 13.02.2015.

References

1. Mukhametgaliev, I.D. Theoretical prerequisites for modeling the stability of well walls and forecasting hydraulic fracturing / A.N. Popov, R.A. Ismakov, F.N. Yangirov, A.R. Yakhin, Yu.A.Yu. Abusal, I.D. Mukhametgaliev, G.L. Gaimaletdinova // SOCAR Proceedings. - 2021. – No. 1. – pp. 41-49. (in Russian)
2. Mukhametgaliyev, I.D. Some issues of ensuring the stability of the walls of directional wells and preventing the absorption of technological liquids / A.N. Popov, R.A. Ismakov, A.R. Yakhin, I.D. Mukhametgaliyev // SOCAR Proceedings. – 2021. – No. 1. – pp. 60-67. (in Russian)
3. Mukhametgaliev, I.D. Development of modeling of the parameters of the BSC for directional drilling / I.D. Mukhametgaliev, A.H. Agliullin, R.A. Ismakov, M.E. Loginova, A.R. Yakhin // SOCAR Proceedings. – 2020. – No. 4. – pp. 015-023. (in Russian)
4. Mukhametgaliev I.D., Agliullin A.H., Chistov D.I., Yakhin A.R. Analytical studies of the interaction of the layout of the bottom of the drill string with the walls of a well with a horizontal end // Problems of collection, preparation and transport of oil and petroleum products. 2023. Issue 6 (146). pp. 29-39. (in Russian)
5. Mukhametgaliev, I.D. Optimization of drilling modes using a device for measuring the deflecting force of the bottom of the drill string during drilling / Yakhin A.R., Mukhametgaliev I.D., Trushkin O.B., Yadrin V.V. // Problems of collecting, preparing and transporting oil and petroleum products. – 2022. – No. 6. – Pp. 55-65. (in Russian)
6. Mukhametgaliev, I.D. Development of a simulator program for directional drilling / I.D. Mukhametgaliev, R.A. Ismakov, R.M. Timirov, A.R. Nurgaliev // Bulletin of the Association of Drilling Contractors. - 2020. – No. 3. – pp. 34-39. (in Russian)
7. Mukhametgaliev, I.D. Development of the human-machine interface of the directional drilling simulator / I.D. Mukhametgaliev, Z.V. Agzamov // Problems of collecting, preparing and transporting oil and petroleum products. – 2020. – Issue 1 (123). – pp. 38-55. (in Russian)
8. Mukhametgaliev, I.D. Sistema decision support for the formation of the layout of the bottom of the drill string to control directional drilling of wells / Z.V. Agzamov, I.D. Mukhametgaliev // Problems of collection, preparation and transport of oil and petroleum products. – 2019. – № 6(122). – Pp. 9-20. (in Russian)
9. Mukhametgaliev, I.D. Analysis of the work of simulation simulator complexes for teaching practical drilling skills / I.D. Mukhametgaliev, R.A. Ismakov, A.R. Khafizov, S.G. Gumennikov, M.R. Gallyamov // Oil and gas business. - 2016. – Vol. 14, No. 4. – pp. 9-13. (in Russian)
10. Pat. 2801729 RF, IPC E21B 47/12. Geonavigation complex combined with an overhead module for measuring power parameters / O.B. Trushkin, A.R. Yakhin, Yu.A.Yu. Abusal, I.D. Mukhametgaliev (RF). – 2022133758; 12/21/2022, Publ. 08/15/2023. Byul. No. 23. (in Russian)
11. Pat. 143548 RF, IPC E21B 7/08, E21B 29/06. Wedge deflector for drilling side shafts from a well / I.D. Mukhametgaliev, R.A. Ismakov, A.G. Gabsalikhov (RF). - 2014107115/03; Publ. 07/27/2014. Byul. No. 21. (in Russian)
12. Certificate of state registration of the computer program No. 2020613186. Simulation modeling of the design process of the bottom of the drill string / Mukhametgaliev I.D., Agliullin A.H., Ismakov R.A., Mukhametgaliev R.D.; applicant and copyright holder of the Federal State Budgetary Educational Institution "UGNTU". – 2020612369; application 04.03.2020; publ. 11.03.2020. Byul. No. 3. (in Russian)
13. Certificate of state registration of the computer program No. 2020613187. Simulation modeling of the well construction process / Mukhametgaliev I.D., Agliullin A.Kh., Isma-

- kov R.A., Mukhametgaliev R.D.; founder and copyright holder of the Federal State Budgetary Educational Institution "UGNTU". – 2020612371; application 04.03.2020; publ. 11.03.2020. Byul. No. 3. (in Russian)
14. Certificate of state registration of the computer program No. 2017663673. The program for working with the elimination of gas and oil production (GNVP) / Mukhametgaliev I.D., Yangirov F.N., Yakhin A.R.; the applicant and the copyright holder of the Federal State Budgetary Educational Institution "USPTU". – 2017660657; application 23.10.2017; publ. 08.12.2017. (in Russian)
 15. Certificate of state registration of the computer program No. 2017663672. The program for working with downhole drilling equipment of the KNBC / Mukhametgaliev I.D., Yangirov F.N., Yakhin A.R.; the applicant and the copyright holder of the Federal State Budgetary Educational Institution "UGNTU". – 2017660656; announced on 23.10.2017; published on 08.12.2017. (in Russian)
 16. Certificate of state registration of the computer program No. 2015618263. Slide Master 1.18 / Mukhametgaliev I.D., Ismakov R.A., Chiglin-tsev S.S.; applicant and copyright holder Mukhametgaliev Ilmir Damirovich. – 2015614740; application 04.06.2015; publ 04.08.2015. (in Russian)
 17. Certificate of state registration of a computer program No. 2015612134. Computer simulator "Drilling Engineering v 2.15" / Mukhametgaliev I.D., Ismakov R.A., Konev R.M., Chiglintsev S.S.; applicant and owner Mukhametgaliev Ilmir Damirovich. – 2014663103; application. 12/16/2014; publ. 02/13/2015. (in Russian)

Сведения об авторах

Мухаметгалиев Ильмир Дамирович, ассистент кафедры «Бурение нефтяных и газовых-скважин, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» Россия, 450064, Республика Башкортостан, Уфа, ул. Космонавтов, 1
E-mail: ilmir8787@mail.ru

Аглиуллин Ахтям Халимович, доктор технических наук, профессор кафедры «Бурение нефтяных и газовых-скважин, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» Россия, 450064, Республика Башкортостан, Уфа, ул. Космонавтов, 1
E-mail: dir@et.center

Authors

I.D. Mukhametgaliev, Assistant of the Department of Drilling of Oil and Gas Wells, Ufa State Petroleum Technical University
1, Kosmonavtov Str., Ufa, Republic of Bashkortostan, 450064, Russian Federation
E-mail: ilmir8787@mail.ru

A.H. Agliullin, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Oil and Gas Wells Drilling, Ufa State Petroleum Technical University
1, Kosmonavtov Str., Ufa, Republic of Bashkortostan, 450064, Russian Federation
E-mail: dir@et.center

*Статья поступила в редакцию 04.08.2024
Принята к публикации 14.09.2024
Опубликована 30.09.2024*