

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2025.1.227-245>

EDN UIQPMS

УДК 622.245.42

О возможности проведения процесса цементирования эксплуатационной колонны с вращением

Прохоров В.В., Чернышов С.Е.

ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия

About the possibility of carrying out the process of cementing a production string with rotation

V.V. Prohorov, S.E. Chernyshov

Federal Autonomous Educational Institution of Higher Education "Perm National Research Polytechnic University", Perm, Russia

E-mail: zneel1400@gmail.com

Аннотация. В работе выполнена оценка возможности проведения цементирования с вращением эксплуатационных колонн на шельфе Каспийского моря ввиду того, что данный способ повышения качества цементирования позволяет увеличить эффективность процесса замещения бурового раствора тампонажным.

Рассмотрена типовая конструкция скважин на месторождении Ю. Корчагина. Для расчета были использованы характеристики эксплуатационной колонны и верхнего силового привода. Выполнены прочностные расчеты при помощи аналитического способа по третьей энергетической теории прочности с оценкой результирующих напряжений для обсадной колонны в устьевом сечении скважины, а также программного комплекса «Проектирование бурения» компании ООО «Бурсофтпроект» и программного комплекса «РН-Буровые расчеты» компании ПАО Роснефть. Выполнен сравнительный анализ полученных результатов прочностного расчета.

Полученные значения коэффициентов запаса прочности удовлетворяют нормативным коэффициентам запаса прочности, что позволяет провести цементирование с вращением обсадной колонны. Определено, что на текущий момент используются несколько методик расчета на прочность обсадных колонн. Данные методики, представленные в различных регламентирующих документах сервисных компаний, отличаются и требуют приведения к единому стандарту.

Ключевые слова: *цементирование, качество крепления, расхаживание, расчет на прочность, обсадная колонна, шельф, Каспийское море*

Для цитирования: Прохоров В.В., Чернышов С.Е. О возможности проведения процесса цементирования эксплуатационной колонны с вращением // Нефтяная провинция.-2025.-№1(41).-С. 227-245. - DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2025.1.227-245>. - EDN UIQPMS

Abstract. The article evaluates the possibility of performing cementing with rotation of production strings on the Caspian Sea shelf due to the fact that this method of improving the quality of cementing allows increasing the efficiency of the process of replacing drilling mud with cement slurry.

A typical well design at the Yu. Korchagin field was considered. The characteristics of the production string and top drive system were used for the calculation. Strength calculations were performed using the analytical method according to the third energy theory of strength with an assessment of the resulting stresses for the casing string in the wellhead section of the well, as well as the Drilling Design software package of Bursoftproekt LLC and the RN-Drilling Calculations software package of Rosneft PJSC. A comparative analysis of the obtained strength calculation results is performed. A typical well design at the Yu. Korchagin field was considered. The characteristics of the production string and top drive system were used for the calculation.

The obtained values of the safety factors for torque and resulting stresses satisfy the standard safety factors, which allows cementing with rotation of the casing string. It has been determined that several options for determining torque and calculating the strength of casing columns are currently used. These methods, presented in various regulatory documents of service companies, differ and require harmonization with a single standard.

Key words: *cementing operation, cementing quality control, casing string reciprocation, structural analysis, casing string, shelf, The Caspian Sea*

For citation: V.V. Prohorov, S.E. Chernyshov O vozmozhnosti provedeniya processa cementirovaniya ekspluatacionnoj kolonny s vrashcheniem [About the possibility of carrying out the process of cementing a production string with rotation]. Neftyanaya Provintsiya, No. 1(41), 2025. pp. 227-245. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2025.1.227-245>. EDN UIQPMS (in Russian)

При строительстве скважин компании сталкиваются с определенными проблемами, которые влияют на состоятельность нефтегазового проекта. Одной из возможных проблем является наличие заколонных и межколонных давлений (МКД) [1]. Заколонные перетоки выступают индикатором низкого качества строительства, в частности крепления скважин. Последствия возникновения МКД существенны – возникновение опасности для

окружающей среды, снижение добычи углеводородов на период проведения ремонтных работ в скважине, направленных на ликвидацию МКД. [2]

Уменьшение вероятности возникновения МКД достигается за счет применения различных способов повышения качества крепления скважин [3, 4, 5]. Отсутствие межколонных перетоков и аварийности в общем при креплении скважины позволяет существенно снизить затраты компании и повысить эффективность нефтегазового проекта [6].

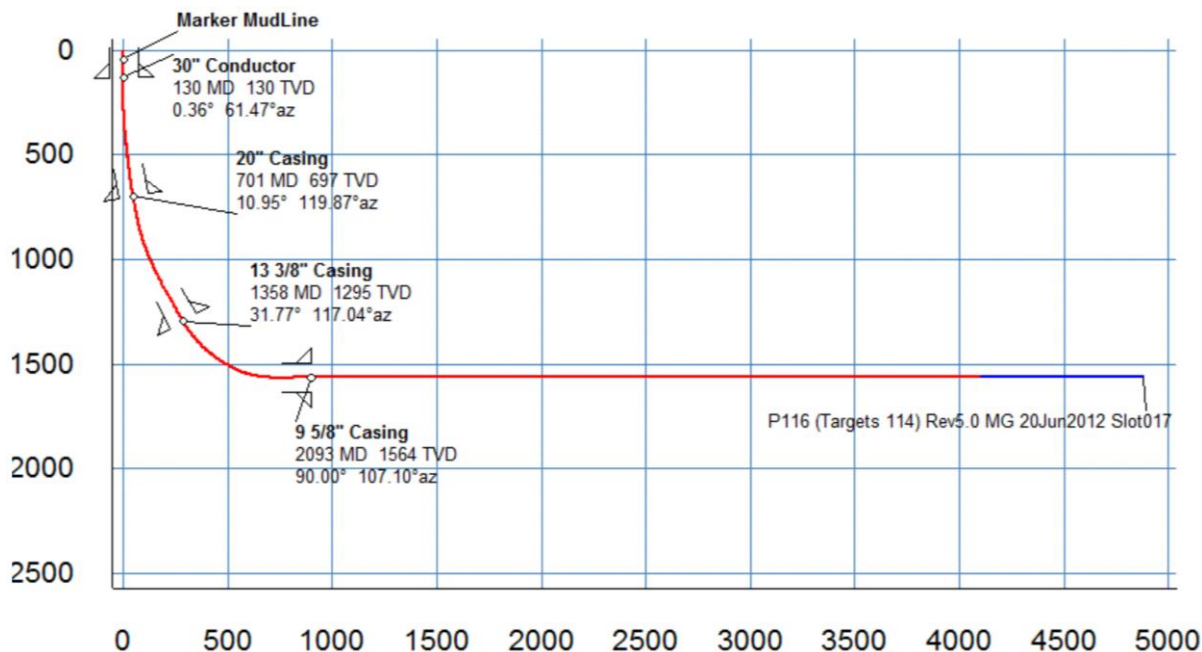
В данной работе рассматривается возможность проведения процесса цементирования с вращением эксплуатационной колонны для планируемых к строительству скважин на шельфе Каспийского моря. Объектом исследования является скважина на месторождении им. Ю. Корчагина.

Каспийский регион имеет высокий потенциал развития – строительство скважин запланировано на 7 месторождениях [7]. При этом за прошедший период времени отмечаются случаи наличия МКД [8, 9, 10, 11], в частности в кольцевом пространстве между обсадными колоннами диаметром 244,5×339,7 и 339,7×508 мм на месторождении им. Ю. Корчагина [12].

Строительство морских скважин ведется с морской стационарной платформы. Для того, чтобы охватить всю залежь, строят скважины с большим отходом от вертикали (Рис. 1). В процессе бурения по мере приближения к точке входа в продуктивный пласт увеличивается и зенитный угол ствола скважины. Спуск обсадной колонны в наклонную скважину сопровождается прижатием внешней стенки обсадной колонны к внутренней стенке скважины.

Несмотря на то, что в состав технологической оснастки обсадной колонны входят центрирующие устройства, добиться идеальной центрации обсадной колонны в скважине удается крайне редко. Снижение величины коэффициента центрации напрямую влияет на скорость восходящего потока в кольцевом пространстве скважины. За счет разной скорости потока в процессе продавки тампонажного раствора в кольцевое пространство

образуются зоны смешения, которые в последствии являются основными причинами возникновения МКД [13].



*Рис. 1. Типовой профиль ствола скважины на месторождении
им. Ю. Корчагина [18]*

Одним из возможных способов решения проблемы наличия МКД является проведение процесса цементирования с вращением обсадной колонны. Положительный эффект от использования данного подхода отмечается в следующих работах [5, 14, 15, 16]. К примеру, на шельфе Мексиканского залива в районе города Гранд-Айл, Штат Луизиана, США отмечен опыт цементирования с вращением обсадных колонн внешним диаметром 127 и 178 мм [16]. В работе [5] отмечена возможность цементирования обсадной колонны внешним диаметров 245 мм. В качестве ограничивающих факторов, препятствующих проведению процесса цементирования с вращением, выступают максимальный допустимый крутящий момент на резьбовые соединения обсадной колонны и на верхний силовой привод (ВСП). Для реализации данного способа цементирования используют вращающуюся цементную головку, которая позволяет не останавливать процесс вращения обсадной колонны для установки продажных пробок [17].

Особенность цементирования с вращением обсадной колонны заключается в том, что в конечном итоге зона смешения тампонажного раствора с другими технологическими жидкостями в кольцевом пространстве становится минимальна, процесс замещения – более эффективным [13].

На месторождении им. Ю. Корчагина типовая конструкция скважины имеет следующий вид [18, 19] (Табл. 1). Согласно [19], спуск технической колонны осуществляется до кровли альбского яруса, который обладает пластовым давлением, равным 13,8 МПа [20]. Спуск эксплуатационной колонны осуществляется для разобцения напорных продуктивных горизонтов. В случае некачественного цементирования возникает риск прорыва газа в кольцевое пространство между эксплуатационной и технической колоннами, источником которого является альбский продуктивный горизонт. Кроме того, на данный момент ведутся работы по реконструкции существующего фонда скважин методом бурения боковых стволов на месторождении им. Ю. Корчагина [19]. При отсутствии контакта между цементным камнем с горной породой и обсадной колонной нарушаются требования [21], которые выдвигаются к месту зарезки бокового ствола. Вышесказанное подтверждает значимость проведения цементировочных работ, в результате которых образуется полный контакт цементного камня с сопредельными средами и отсутствуют межколонные перетоки.

Таблица 1

Конструкция скважины на месторождении им. Ю. Корчагина

№	Название	Внешний диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Глубина спуска по стволу, м	Глубина спуска по вертикали, м
1	Водоизоляционная обсадная колонна (ВОК)	762	25,4	130	130
2	Кондуктор	508	12,7	701	697
3	Техническая колонна	339,7	12	1358	1295
4	Эксплуатационная колонна	244,5	11,99	2093	1564
5	Хвостовик	139,7	-	-	-

В качестве эксплуатационный колонны выступают обсадные трубы с премиальным соединением ТМК UP GF производства ПАО ТМК [22]. Данные обсадные трубы имеют следующие характеристики (Табл. 2) [22, 23].

Таблица 2

Характеристика обсадной колонны ТМК UP GF

№	Параметр	Значение
1	Внешний диаметр, мм	244,5
2	Толщина стенки, мм	11,99
3	Группа прочности	P110
4	Вес погонного метра, н/м	699,4
5	Предел текучести, МПа	758
6	Максимальный крутящий момент свинчивания, Н*м	38300
7	Оптимальный крутящий момент свинчивания, Н*м	34800
8	Минимальный крутящий момент свинчивания, Н*м	31400

Вращение обсадной колонны планируется осуществлять при помощи ВСП TDS-8SA производства компании National Oilwell Varco (Табл. 3) [18].

Таблица 3

Характеристика ВСП TDS-8SA

№	Параметр	Значение
1	Грузоподъемность, тонн	680
2	Максимальная частота вращения, об/мин	270
3	Максимальный крутящий момент свинчивания, Н*м	62250
4	Максимальная частота вращения при действии максимального крутящего момента, об/мин	95

Определение возможности проведения процесса цементирования с вращением обсадной колонны для скважин на шельфе Каспийского моря будет выполнено согласно методикам [24, 25] и при условии, что обсадная колонна не разгружена на забой скважины. Скорость вращения обсадной колонны примем 16 оборотов в минуту на основании исследований [10], диаметр открытого ствола – 295 мм, плотность цементного раствора – 1800 кг/м³ [18].

Далее будут определены величины крутящего момента, результирующее напряжение для наиболее опасного сечения – у устья скважины.

Результирующее напряжение в рассматриваемом сечении обсадной колонны определяется по третьей теории прочности:

$$\sigma_{\text{рез}} = \sqrt{\sigma_p^2 + 4\tau^2}, \quad (1)$$

$\sigma_{\text{рез}}$ - результирующее напряжение, МПа; σ_p - напряжение растяжения, МПа; τ - касательное напряжение, МПа.

Последовательно определим переменные, входящие в состав уравнения выше.

1. Растягивающее напряжение:

$$\sigma_p = \frac{Q_{\text{ок}} + Q_{\text{г}}}{S}, \quad (2)$$

$Q_{\text{ок}}$ – вес обсадной колонны, Н; $Q_{\text{г}}$ – гидравлическая растягивающая нагрузка, Н; S - площадь поперечного сечения тела обсадной трубы, мм².

$$Q_{\text{г}} = \Delta p \cdot F, \quad (3)$$

Δp – перепад давления на башмаке обсадной колонны, Па; $F_{\text{к}}$ – площадь промывочных отверстий башмака, м²;

В расчетах примем перепад давления, равный 30 МПа. Данный перепад давления является максимально допустимым для башмаков обсадных труб внешним диаметром 244,5 мм, площадь промывочных отверстий – 0,0033167 м² [26]. Таким образом, гидравлическая растягивающая нагрузка составляет:

$$Q_{\text{г}} = \Delta p \cdot F = 99501 \text{ Н}$$

Далее определим растягивающую нагрузку от собственного веса обсадной колонны:

$$Q_{\text{ок}} = q \cdot L \cdot \cos(\theta_{\text{ср}}) \cdot (1 + \mu \cdot \text{tg}(\theta_{\text{ср}})) \cdot \left(1 - \frac{\rho_{\text{цр}}}{\rho_{\text{ж}}}\right), \quad (4)$$

q – вес погонного метра трубы, н/м; L – длина обсадной колонны, м; $\theta_{\text{ср}}$ – средний зенитный угол, град; μ - коэффициент трения, в расчетах

принимается 0,15; $\rho_{\text{цр}}$ и $\rho_{\text{м}}$ – плотность цементного раствора и металла обсадных труб соответственно, кг/м³.

$$\theta_{\text{ср}} = \frac{2\theta_0 + J_0 \cdot L}{2}, \quad (5)$$

θ_0 – начальный зенитный угол; J_0 – средняя интенсивность искривления (град/м) определялась согласно методике [27, стр. 14].

Таким образом, средний зенитный угол для скважины составляет:

$$\theta_{\text{ср}} = \frac{2\theta_0 + J_0 \cdot L}{2} = \frac{2 \cdot 0 + 0,0429 \cdot 2093}{2} = 45 \text{ град}$$

$$Q_{\text{ок}} = 699,4 \cdot 2093 \cdot \cos(45) \cdot (1 + 0,15 \cdot \operatorname{tg}(45)) \cdot \left(1 - \frac{1800}{7830}\right) = 916575 \text{ Н}$$

Следовательно, растягивающее напряжение определяется:

$$\sigma_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{ок}} + Q_{\text{г}}}{S} = \frac{916575 + 99501}{0,00875811} = 116,015 \text{ МПа.}$$

2. Касательные напряжения:

$$\tau = \frac{M_{\text{к}}}{W_{\text{к}}}, \quad (6)$$

$M_{\text{к}}$ – крутящий момент, Н*м; $W_{\text{к}}$ – полярный момент сопротивления площади поперечного сечения трубы при кручении, м³.

$$M_{\text{к}} = M_{\text{х.в.}} = 128,9 \cdot 10^{-4} \cdot n^{0,5} \cdot \rho \cdot D_{\text{н}} \cdot \sum D_{\text{сi}}^{0,5} \cdot L_i, \quad (7)$$

$M_{\text{х.в.}}$ – крутящий момент, необходимый на холостое вращение обсадной колонны, Н*м; L_i – длина i -ого участка скважины, м; $D_{\text{н}}$ – наружный диаметр обсадных труб на i -ом участке, м; n – частота вращения обсадной колонны, об/мин; $D_{\text{сi}}$ – диаметр ствола скважины на i -ом участке, м; ρ – плотность цементного раствора, кг/м³.

$$M_{\text{к}} = 128,9 \cdot 10^{-4} \cdot 16^{0,5} \cdot 1800 \cdot 0,2445 \cdot \\ \cdot (1358 \cdot 0,3157^{0,5} + 735 \cdot 0,295^{0,5}) = 26,4 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Полученное значение крутящего момента меньше, чем максимальный допустимый крутящий момент свинчивания обсадных труб и

максимальный крутящий момент на ВСП. Соответствующие коэффициенты запаса равны:

$$n_{M(OK)} = \frac{M_{OK(макс)}}{M_K} = \frac{38300}{26400} = 1,45$$

$$n_{M(OK)} = \frac{M_{ВСП(макс)}}{M_K} = \frac{62250}{26400} = 2,36$$

$n_{M(OK)}$ – коэффициент запаса прочности по крутящему моменту для обсадной трубы; $M_{OK(макс)}$ – допустимый крутящий момент для обсадной трубы, N^*M ; $M_{ВСП(макс)}$ – допустимый крутящий момент для ВСП, N^*M .

$$W_K = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{16 \cdot D} = \frac{\pi \cdot (0,3776^4 - 0,2445^4)}{16 \cdot 0,3776} = 0,008713 \text{ м}^3, \quad (8)$$

D , d – наружный и внутренний диаметры обсадной трубы соответственно, м.

$$\tau = \frac{M_K}{W_K} = \frac{26400}{0,008713} = 3,029 \text{ МПа},$$

Подставляя полученные значения в формулу (1), получаем:

$$\sigma_{рез} = \sqrt{\sigma_p^2 + 4\tau^2} = \sqrt{116,015^2 + 4 \cdot 3,029^2} = 116,17 \text{ МПа}$$

Вычислим коэффициент запаса на прочность:

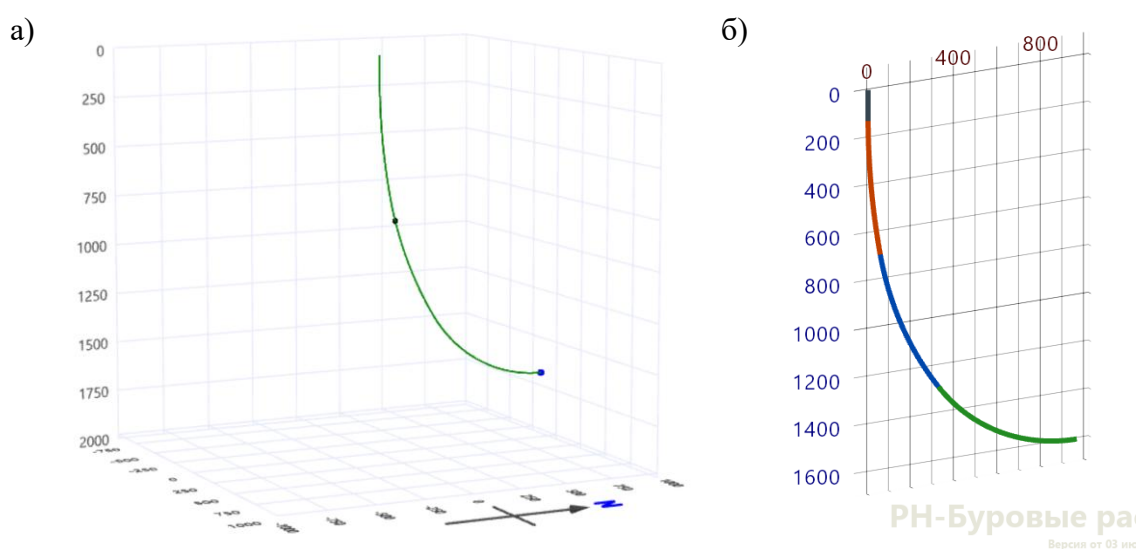
$$n_{OK} = \frac{\sigma_{тек}}{\sigma_{рез}} = \frac{758}{116,17} = 6,52$$

n_{OK} – коэффициент запаса прочности для обсадной трубы; $\sigma_{тек}$ – предел текучести обсадной колонны, МПа.

Полученные результаты аналитического прочностного расчета эксплуатационной колонны свидетельствуют о возможности проведения цементирования с вращением обсадных колонн на шельфе Каспийского моря. Расчетное значение крутящего момента меньше, чем максимально допустимый крутящий момент при свинчивании обсадной колонны и крутящий момент на ВСП. Величина запаса прочности в несколько раз превышает нормативные значения при строительстве скважин на море [24, 25].

Кроме аналитического метода определения возможности вращения обсадной колонны в процессе цементирования были выполнены прочностные расчеты в программных комплексах (ПК) «Проектирование бурения» компании ООО «Бурсофтпроект» и программного комплекса «РН-Буровые расчеты» компании ПАО Роснефть.

В каждом из расчетов был построен профиль ствола скважины, который включал участок предыдущей обсадной колонны и участок открытого ствола скважины, крепление которого планируется при помощи обсадной колонной диаметром 244,5 мм (Рис. 2).



**Рис. 2. а) Профиль ствола скважины в ПК «Проектирование бурения»,
б) Профиль ствола скважины в ПК «РН-Буровые расчеты»**

Для данных профилей были выполнены прочностные расчеты, результаты которых представлены ниже (Рис. 3-6).

Одной из особенностей выполнения прочностных расчетов в программах комплексах является возможность ввода дополнительной исходной информации, которая непосредственно влияет на результаты расчета, а именно значения расхода цементного раствора, коэффициента трения в интервале открытого ствола и в интервале предыдущей обсадной колонны, динамического напряжения сдвига и пластической вязкости цементного раствора и другие.

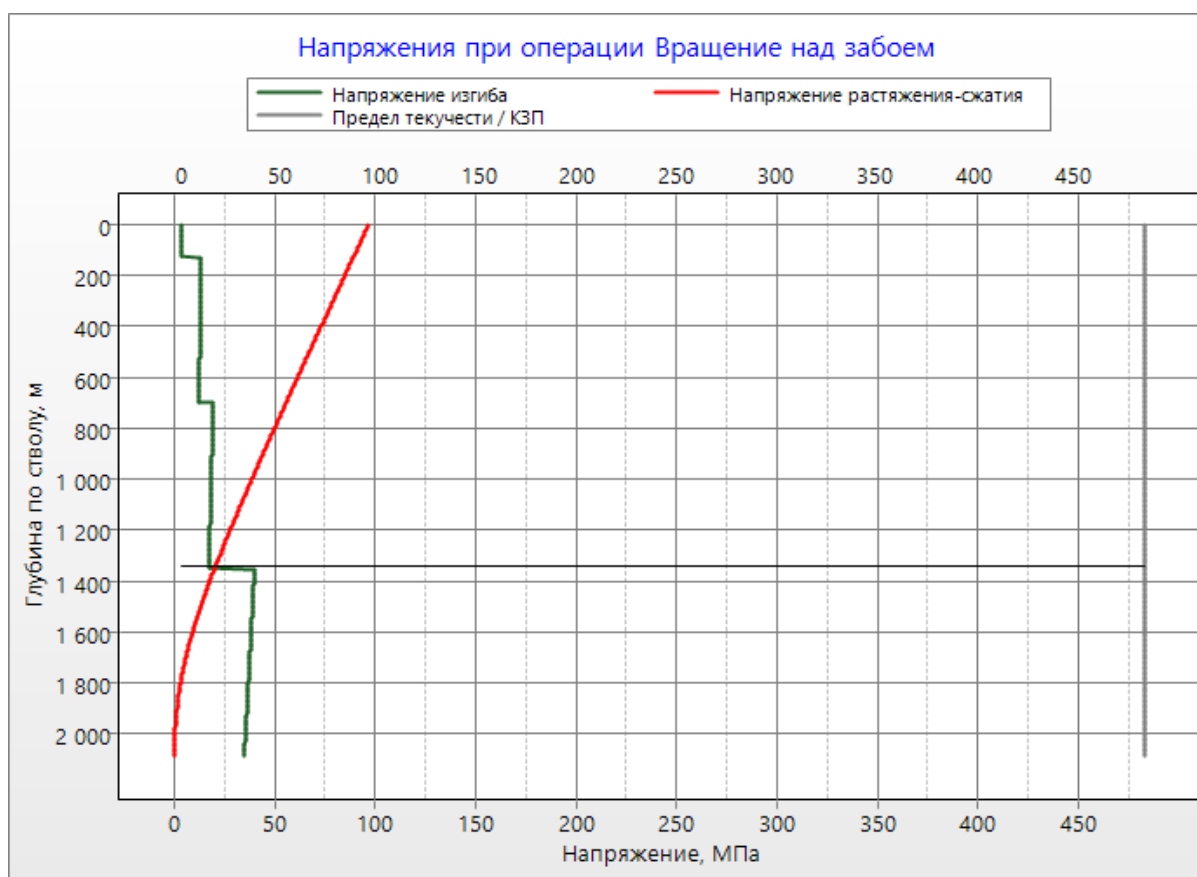


Рис. 3. Эпюры напряжений при вращении обсадной колонны при цементировании в ПК «Проектирование бурения»

Как видно из рис. 3, эпюра «напряжение растяжение-сжатие» имеет характерные точки: в устьевом сечении скважины отмечается максимальное значение напряжений, имеющее положительное значение, что говорит о растягивающем характере нагрузок, действующих в данном сечении, и в сечении на забое скважины значение напряжений равно нулю. Сам график зависимости имеет криволинейный характер, который приобретает в интервале открытого ствола – ниже 1358 метров (по стволу). На рисунке также приведена эпюра изгибающих напряжений, ступенчатый вид которой определяется различными радиусами искривления скважины в интервалах спуска предыдущих обсадных колонн. В рассматриваемом устьевом сечении значение изгибающих напряжений стремится к нулю, но не достигает его, что также будет влиять на значение результирующих напряжений.



Рис. 4. Эюра веса на крюке при вращении обсадной колонны при цементировании в ПК «РН-Буровые расчеты»

Результаты расчетов показали, что наибольший вес на крюке будет достигаться при спуске обсадной колонны до забоя – 85,1 тс или 757 кН. Для рассматриваемого сечения растягивающие напряжения от собственного веса обсадной колонны будут составлять 86 МПа.

Также по результатам прочностного расчета были получены характеристики крутящего момента (Рис. 5 и 6).

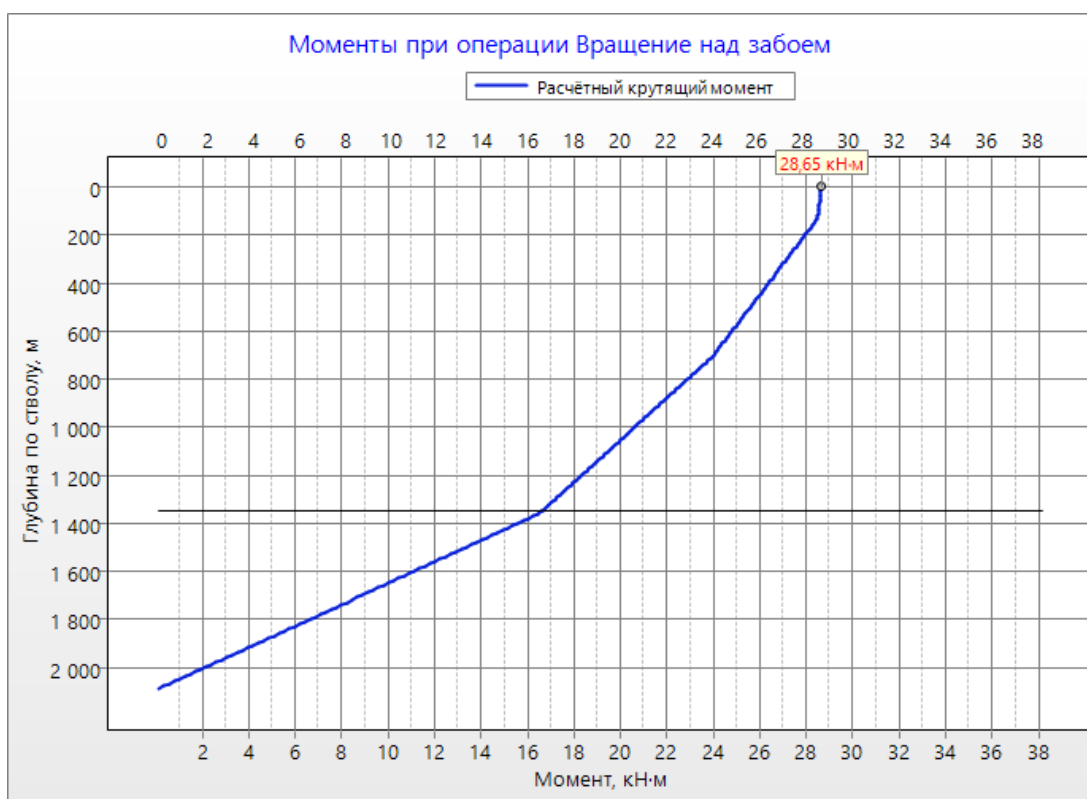


Рис. 5. Эюра крутящего момента при вращении обсадной колонны при цементировании в ПК «Проектирование бурения»

На рис. 5 представлена эюра крутящего момента с максимальным значением в устьевом сечении. Криволинейность графика определяется различными диаметрами скважины - в интервалах открытого ствола и предыдущей обсадной колонны. В общем виде характер распределения значений крутящего момента от глубины скважины согласуется с формулой №7, рассмотренной выше. Сравнивая результаты расчетов крутящего момента, полученные в ПК «Проектирование бурения» и при помощи аналитического способа, относительное отклонение составляет 8,5% в пользу первого способа.

Аналогичная ситуация наблюдается на рис. 6 при выполнении расчета крутящего момента в ПК «РН-Буровые расчеты», однако вид график имеет более выраженный криволинейный характер. Причем резкие изменения значений крутящего момента наблюдаются в сечениях башмаков предыдущих обсадных колонн.

По результатам расчетов относительное отклонение значения крутящего момента составляет 8,6% в пользу аналитического способа.

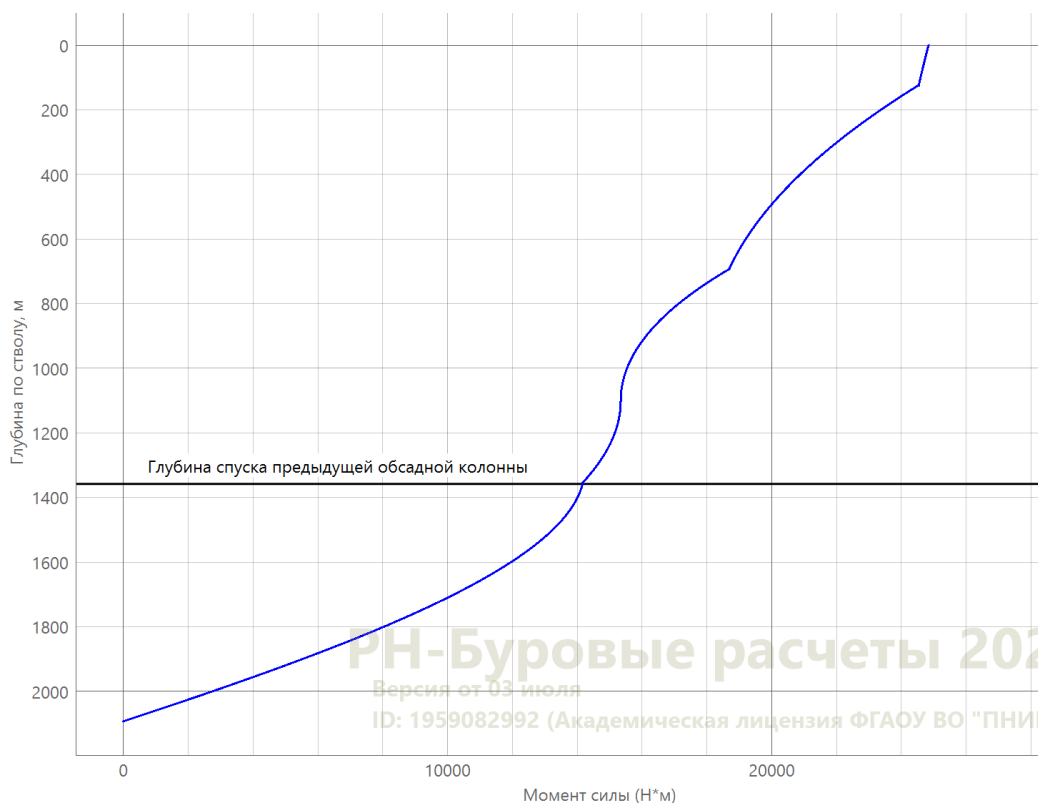


Рис. 6. Эюра крутящего момента при вращении обсадной колонны при цементировании в ПК «РН-Буровые расчеты»

Полученные результаты расчетов аналитическим способом и при помощи программных комплексов представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты прочностного расчета

Параметр	Аналитический способ	ПК «Проектирование бурения»	ПК «РН-Буровые расчеты»
Мк, кН*м	26,4	28,65	24,3
σр, МПа	116,015	96,69	86

Несмотря на то, что полученные результаты удовлетворяют условиям прочности и подтверждают возможность цементирования с вращением обсадной колонны для заданных технологических условий, методики расчета на прочность, представленные в различных регламентирующих документах сервисных компаний, отличаются и требуют приведения к единому

стандарту. Объединение практического опыта строительства скважин различных компаний и их научных достижений в данной области позволит повысить качество и безопасность выполняемых работ, снизить аварийность работ при цементировании обсадных колонн. В связи с этим для повышения точности расчетов на следующем этапе исследований будет выполнен прочностной расчет на основе метода численного моделирования.

Исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSNM-2024-0005).

Список литературы

1. Литвиненко В.С., Николаев Н.И. Математическая модель цементирования обсадных колонн при строительстве и капитальном ремонте нефтяных и газовых скважин // Записки Горного института. 2012. Т. 197. С. 9.
2. Балаба, В.И. Оценка соответствия при строительстве скважин / В.И. Балаба // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. – 2010. – № 1. – С. 41-46. – EDN MNWYUT.
3. Кармаенков, М.С. Разработка методики определения способности тампонажных материалов к самовосстановлению / М.С. Кармаенков, В.В. Дерендяев // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. – 2020. – Т. 2. – С. 189-198. – EDN FEPTIS.
4. Гарипова Л.И., Усманов Р.А. Повышение качества крепления скважины за счет применения технологии виброобработки эксплуатационной колонны по всей длине в начальный период ожидания затвердевания цемента // Записки Горного института. 2003. Т. № 2 155. С. 18-20.
5. Повышение качества крепи скважины путем цементирования обсадной колонны с вращением / Р.И. Шафигуллин [и др.]. - (Бурение скважин). - Текст: непосредственный // Нефтяное хозяйство. - 2019. - № 7. - С. 24-26. - Библиогр.: с. 26 (7 назв.). – ISSN 0028-2448.
6. Танинский П.Ю., Мукучан Г.В. Модель работы компании при поиске и разведке месторождений нефти и газа в сложных условиях бурения // Записки Горного института. 2002. Т. 151. С. 43-44.
7. Мурзагалиев, Д.М. Каспийское море: разведка и разработка морских месторождений / Д. М. Мурзагалиев // Геология, география и глобальная энергия. – 2017. – № 4(67). – С. 20-32. – EDN YTFMKZ.
8. Кузьмин, Д.Н. Снижение риска возникновения межколонного давления в условиях морской разработки / Д. Н. Кузьмин, В. С. Мерчева // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2014. – № 5. – С. 29-36. – EDN QGXVCW.
9. Нагимов, В.М. Исследование восстановления давления в межколонном пространстве при оценке технического состояния скважин / В. М. Нагимов, М. А. Лоншаков // Нефтяная провинция. – 2021. – № 1(25). – С. 89-100. – DOI 10.25689/NP.2021.1.89-100. – EDN AUSXAZ.
10. Мерчева, В.С. экологическая ответственность при разработкенефтегазовых месторождений Прикаспия / В.С. Мерчева // Астраханский вестник экологического образования. – 2012. – № 3(21). – С. 94-101. – EDN PUQLFH.

11. Новиков, С.С. Проблемы межколонных давлений, пути их решения и способы предупреждения / С.С. Новиков, В.В. Ушаков, С.В. Кашкапеев // Бурение и нефть. – 2014. – № 10. – С. 28-32. – EDN SXDCHV.
12. Разработка и внедрение методики диагностики источников флюидопроявлений в межколонном пространстве (на примере месторождения им. Ю. Корчагина) / Д.А. Семикин, А.В. Жаковщikov // [Электронный ресурс]. – URL: https://www.oil-industry.net/SD_PDF/2011/09/Tezisy_Gelendzhik%202011_Part60.pdf (дата обращения: 22.03.2024).
13. В.М. Мильштейн, Цементирование буровых скважин. Краснодар, 2003. 375 с.
14. Susliakov, Ivan , Shevchuk, Taras , Alekseev, Alexey , Dryaba, Alexey , Alyakin, Andrey, and Oleg Sekachev. "Well Cementing with Elastic Properties Cement Stone and Liner Rotation is the Key to the Successful Development of Hard-to-Recover or Tight Oil Reserves from Bazhenov Formation." Paper presented at the SPE Annual Caspian Technical Conference, Baku, Azerbaijan, October 2019. doi: <https://doi.org/10.2118/198366-MS>.
15. Цементирование с одновременным вращением обсадного хвостовика / Р.И. Шафигуллин, Ф.Ф. Ахмадишин, А.В. Киршин [и др.] // Сборник научных трудов ТатНИПИнефть / ТатНИПИнефть. Том Выпуск 85. – Набережные Челны: Экспозиция НефтьГаз, 2017. – С. 289-294. – EDN URQNWS.
16. Landrum, W.R., Porter, J.E., and R.D. Turner. "Rotating Liners During Cementing in the Grand Isle and West Delta Areas, Louisiana." J Pet Technol 37 (1985): 1263–1266. doi: <https://doi.org/10.2118/11420-PA>.
17. Разработка устройства для вращения эксплуатационной колонны при ее цементировании / Ф. Ф. Ахмадишин, А. В. Киршин, А. Р. Исаков [и др.] // Сборник научных трудов ТатНИПИнефть / ПАО «Татнефть». Том Выпуск 84. – Москва: ЗАО "Издательство "Нефтяное хозяйство", 2016. – С. 120-122. – EDN XSIUPZ.
18. Богданов С., Делия С., Лацин Д., Ахметов М., Гагаев Ю., & Удодов А. (2012). Бурение скважин ERD мирового класса в Северном Каспии. Техническая конференция и выставка SPE по разведке и добыче нефти и газа в России. doi: 10.2118/162099-ms.
19. Проектная документация на капитальный ремонт эксплуатационной скважины №12 (БС) на месторождении им. Ю.Корчагина (ЛСП-1) / Раздел 1. Пояснительная записка. Том 1, Волгоград - 2024 г.
20. Геохимический состав и свойства нефтегазоконденсатного месторождения имени Ю. Корчагина / Т.С. Смирнова, И.В. Быстрова, Е.А. Прозорова [и др.] // Геология, география и глобальная энергия. – 2023. – № 1(88). – С. 9-18. – DOI 10.54398/20776322_2023_1_9. – EDN IOQSMR.
21. Варушкин, С.В. Проектирование геолого-разведочных работ методом строительства боковых стволов / С.В. Варушкин, Ж.А. Хакимова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2018. – Т. 18, № 1. – С. 16-27. – DOI 10.15593/2224-9923/2018.3.2. – EDN YRJDLV.
22. Эволюция практики взаимодействия ТМК с партнерами / КОРПОРАТИВНЫЙ ЖУРНАЛ ПАО ТМК «YourTube» №2-3 (24-25), 2016 г., с. 32.
23. Zvyagin, V., Dubovik, A., Rizvanov, R., Huseynov, M., Sissenov, O., & Baskakov, S. (2016). Korchagina P-108: Breaking ERD Records Offshore North Caspian Sea: A Case Study. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference. doi:10.2118/183422-ms.
24. Инструкция по расчёту бурильных колонн, взамен РД 39-0147014-502-85 М.ВНИИБТнефть, 1997.
25. Р.А. Ганджумян, А.Г. Калинин, Н.И. Сердюк. Расчеты в бурении/Справочное пособие/ Под редакцией А. Г.Калинина, - М: РГГРУ, 2007. - 668 стр. ISBN 5- 88595-14-01.

26. Башмак эксцентричный вращающийся с клапаном // [Электронный ресурс] - <https://gkburan.com/products/1/6/> (дата обращения: 22.03.2024).
27. Нескоромных В.В. Направленное бурение и основы кернотетрии: Учебное пособие – 2-е изд., пераб. и доп. / В.В. Нескоромных. – Красноярск: СФУ, 2012. – 328 с.

References

1. Litvinenko V.S., Nikolaev N.I. Matematicheskaya model' cementirovaniya obsadnyh kolonn pri stroitel'stve i kapital'nom remonte neftyanyh i gazovyh skvazhin [Mathematical model of casing cementing during construction and overhaul of oil and gas wells] // Journal of Mining Institute. 2012. Vol. 197. P. 9. (in Russian)
2. Balaba, V.I. Ocenka sootvetstviya pri stroitel'stve skvazhin [Conformity assessment during well construction] / Quality management in the oil and gas complex. - 2010. – No. 1. – pp. 41-46. – EDN MHWYUT. (in Russian)
3. Karmaenkov, M.S. Razrabotka metodiki opredeleniya sposobnosti tamponazhnyh ma-terialov k samovosstanovleniyu [Development of a methodology for determining the ability of grouting materials to self-repair] / M.S. Karmaenkov, V.V. Derendyaev // Problems of development of hydrocarbon and ore mineral deposits. - 2020. – Vol. 2. – pp. 189-198. – EDN FEPTIS. (in Russian)
4. Garipova L.I., Usmanov R.A. Povyshenie kachestva krepleniya skvazhiny za schet primeneniya tekhnologii vibroobrabotki ekspluatatsionnoj kolonny po vsej dline v nachal'nyy period ozhidaniya zatverdevaniya cementa [Improving the quality of well fastening through the use of vibration treatment technology of the production column along the entire length during the initial waiting period for cement solidification] // Journal of Mining Institute. 2003. Vol. No. 2 155. pp. 18-20. (in Russian)
5. Povyshenie kachestva krepki skvazhiny putem cementirovaniya obsadnoj kolonny s vrashcheniem [Improving the quality of the well support by cementing the casing with rotation] / R.I. Shafigullin [et al.]. - (Drilling wells). - Text: direct // Oil industry. - 2019. - No. 7. - pp. 24-26. - Bibliography: pp. 26 (7 titles). - ISSN 0028-2448. (in Russian)
6. Taninskij P.Yu., Mukuchan G.V. The model of the company's work in the search and exploration of oil and gas fields in difficult drilling conditions [] // Journal of Mining Institute. 2002. Vol. 151. pp. 43-44. (in Russian)
7. Murzagaliev, D.M. Kaspiskoe more: razvedka i razrabotka morskikh mestorozhdenij [The Caspian Sea: exploration and development of offshore fields] / D. M. Murzagaliev // Geology, geography and global energy. – 2017. – № 4(67). – Pp. 20-32. – EDN YTFMKZ. (in Russian)
8. Kuz'min, D.N. Snizhenie riska vozniknoveniya mezhkolonnogo davleniya v usloviyah morskoy razrabotki [Reducing the risk of intercolumn pressure in conditions of offshore development] / D. N. Kuzmin, V. S. Mercheva // Environmental protection in the oil and gas complex. - 2014. – No. 5. – pp. 29-36. – EDN QGXVCW. (in Russian)
9. Nagimov, V.M. Issledovanie vosstanovleniya davleniya v mezhkolonnom prostranstve pri ocenke tekhnicheskogo sostoyaniya skvazhin [Investigation of pressure recovery in the inter-column space when assessing the technical condition of wells] / V.M. Nagimov, M.A. Lonshakov // Oil province. – 2021. – № 1(25). – Pp. 89-100. – DOI 10.25689/NP.2021.1.89-100. – EDN AUSXAZ. (in Russian)
10. Mercheva, V.S. ekologicheskaya otvetstvennost' pri razrabotkeneftegazovyh mesto-rozhdenij Prikaspiya [environmental responsibility in the development of oil and gas fields of the Caspian Sea] / V.S. Mercheva // Astrakhan Bulletin of Environmental Education. – 2012. – № 3(21). – Pp. 94-101. – EDN PUQLFH. (in Russian)
11. Novikov, S. S. Problemy mezhkolonnyh davlenij, puti ih resheniya i sposoby preduzvetstviya [Problems of inter-column pressures, ways to solve them and methods of

- prevention] / S. S. Novikov, V.V. Ushakov, S.V. Kashkapeev // *Drilling and oil*. - 2014. – No. 10. – pp. 28-32. – EDN SXDCHV. (in Russian)
12. Razrabotka i vnedrenie metodiki diagnostiki istochnikov flyuidoproyavlenij v mezhkolonnom prostranstve (na primere mestorozhdeniya im. Yu. Korchagina) [Development and implementation of methods for diagnosing sources of fluid phenomena in the intercolonial space (on the example of the Y. Korchagin deposit)] / D.A. Semikin, A.V. Zhakovshchikov // [Electronic resource]. – URL: https://www.oil-industry.net/SD_PDF/2011/09/Tezisy-Gelendzhik%202011Part60.pdf (date of application: 03/22/2024). (in Russian)
 13. B.M. Mil'shtejn, Cementirovanie burovyyh skvazhin [Cementing of drilling wells] Krasnodar, 2003. 375 p. (in Russian)
 14. Susliakov, Ivan, Shevchuk, Taras, Alekseev, Alexey, Dryaba, Alexey, Alyakin, Andrey, and Oleg Sekachev. "Well Cementing with Elastic Properties Cement Stone and Liner Rotation is the Key to the Successful Development of Hard-to-Recover or Tight Oil Reserves from Bazhenov Formation." Paper presented at the SPE Annual Caspian Technical Conference, Baku, Azerbaijan, October 2019. doi: <https://doi.org/10.2118/198366-MS>.
 15. Cementirovanie s odnovremennym vrashcheniem obsadnogo hvostovika [Cementing with simultaneous rotation of the casing shank] / R. I. Shafigullin, F. F. Ahmadishin, A. V. Kirshin [et al.] // Collection of scientific papers TatNIPIneft / TatNIPIneft. Volume Issue 85. – Naberezhnye Chelny: Expositionyaneftegaz, 2017. – pp. 289-294. – EDN URQNWS. (in Russian)
 16. Landrum, W.R., Porter, J.E., and R.D. Turner. "Rotating Liners During Cementing in the Grand Isle and West Delta Areas, Louisiana." *J Pet Technol* 37 (1985): 1263–1266. doi: <https://doi.org/10.2118/11420-PA>.
 17. Razrabotka ustrojstva dlya vrashcheniya ekspluatsionnoj kolonny pri ee cementirovanii [Development of a device for rotating an operational column during its cementing] / F. F. Akhmadishin, A.V. Kirshin, A. R. Iskhakov [et al.] // Collection of scientific works of TatNIPIneft / PJSC Tatneft. Volume Issue 84. – Moscow: CJSC Publishing House "Oil Industry", 2016. – pp. 120-122. – EDN XSIUPZ. 18. (in Russian)
 18. Bogdanov S., Deliya S., Lacin D., Ahmetov M., Gagaev Yu., & Udodov A. (2012). Burenie skvazhin ERD mirovogo klassa v Severnom Kaspii [Drilling of world-class ERD wells in the Northern Caspian Sea.] SPE Technical Conference and Exhibition on Oil and Gas Exploration and Production in Russia. doi: 10.2118/162099-ms (in Russian)
 19. Proektnaya dokumentaciya na kapital'nyj remont ekspluatsionnoj skvazhiny №12 (BS) na mestorozhdenii im. Yu.Korchagina (LSP-1) [Design documentation for the overhaul of production well No. 12 (BS) at the Y.Korchagin field (LSP-1)] / Section 1. Explanatory note. Volume 1, Volgograd - 2024 (in Russian)
 20. Geohimicheskie sostav i svoystva neftegazokondensatnogo mestorozhdeniya imeni Yu. Korchagina [Geochemical composition and properties of the Korchagin oil and gas condensate field] / T.S. Smirnova, I. V. Bystrova, E. A. Prozorova [et al.] // *Geology, geography and global energy*. – 2023. – № 1(88). – Pp. 9-18. – DOI 10.54398/20776322_2023_1_9. – EDN IOQSMR (in Russian)
 21. Varushkin, S.V. Proektirovanie geologo-razvedochnyh rabot metodom stroitel'stva bokovyh stvolov [Design of geological exploration works by the method of construction of lateral shafts] / S.V. Varushkin, Zh.A. Hakimova // *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Geology. Oil and gas and mining*. – 2018. – vol. 18, No. 1. – pp. 16-27. – DOI 10.15593/2224-9923/2018.3.2. – EDN YRJDLV. (in Russian)
 22. Evolyuciya praktiki vzaimodejstviya TMK s partnerami [Evolution of TMK's interaction practice with partners] / TMK's CORPORATE MAGAZINE "YourTube" No.2-3 (24-25), 2016, p. 32. (in Russian)

23. Zvyagin, V., Dubovik, A., Rizvanov, R., Huseynov, M., Sissenov, O., & Baskakov, S. (2016). Korchagina P–108: Breaking ERD Records Offshore North Caspian Sea: A Case Study. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference. doi:10.2118/183422-ms.
24. Instrukciya po raschëtu buril'nyh kolonn, vzamen RD 39-0147014-502-85 M.VNIIBTNeft', 1997. [Instructions for the calculation of drill strings, instead of RD 39-0147014-502-85 M.VNIIBTNEFT] (in Russian)
25. R.A.Gandzhumyan, A.G.Kalinin, N.I.Serdyuk. Raschety v bureнии [Calculations in drilling] / Reference manual/ Edited by A. G.Kalinin, Moscow: RGGRU, 2007. - 668 pages ISBN 5-88595-14-01. (in Russian)
26. Bashmak ekscentrichnyj vrashchayushchijsya s klapanom [Eccentric rotating shoe with a valve] // [Electronic resource] - <https://gkburan.com/products/1/6/> (date of reference: 03/22/2024). (in Russian)
27. Neskorumnyh V.V. Napravlennoe bureние i osnovy kernometrii [Directional drilling and fundamentals of core measurement] : Textbook – 2nd ed., perab. and additional / V.V. Neskorumnykh. – Krasnoyarsk: SFU, 2012. – 328 p. (in Russian)

Сведения об авторах

Прохоров Виталий Вячеславович, аспирант кафедры Нефтегазовые технологии, ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
Россия, 614990, Пермь, пр. Комсомольский, 29
E-mail: zneel1400@gmail.com

Чернышов Сергей Евгеньевич, доктор техн. наук, зав. кафедры Нефтегазовые технологии, ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
Россия, 614990, Пермь, пр. Комсомольский, 29
E-mail: nirgnf@bk.ru

Authors

V.V. Prohorov, PhD student, Perm National Research Polytechnic University
29, Komsomolsky prospekt, Perm, 614990, Russian Federation
E-mail: zneel1400@gmail.com

S.E. Chernyshov, Doctor of Engineering Sciences, Head of Department, Perm National Research Polytechnic University
29, Komsomolsky prospekt, Perm, 614990, Russian Federation
E-mail: nirgnf@bk.ru

Статья поступила в редакцию 13.11.2024
Принята к публикации 21.03.2025
Опубликована 30.03.2025