



ежеквартальный научно-технический журнал

ВЕСТНИК

Ассоциации буровых подрядчиков

**Стратегическая значимость освоения газовых месторождений
Ямала и Западно-Арктического шельфа в текущем столетии**

Алмазные резцы PDC
повышение работоспособности

**Исследование влияния фильтрата раствора
на синтетической основе на механические
свойства горной породы**

**Аналитические формулы расчета
минимального диаметра долота
под обсадные колонны заданного типоразмера**



Входит в перечень ВАК

№2 2022



АНАЛИТИЧЕСКИЕ ФОРМУЛЫ РАСЧЕТА МИНИМАЛЬНОГО ДИАМЕТРА ДОЛОТА ДЛЯ БУРЕНИЯ ПОД ОБСАДНЫЕ КОЛОННЫ ЗАДАННОГО ТИПОРАЗМЕРА

Мнацаканов Вадим Александрович – д.т.н., начальник центра ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,

V_Mnatsakanov@vniigaz.gazprom.ru

Мясищев Владимир Евгеньевич – к.т.н., заместитель начальника лаборатории ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,

V_Myasishev@vniigaz.gazprom.ru

Ахмадуллин Андрей Эдуардович – специалист ООО «ПНТП», Andrew.emailbox@ya.ru

Ключевые слова: диаметр долота, обсадная труба, диаметр скважины, диаметр обсадной трубы, диаметр муфты, расчет диаметра долота, заколонные зазоры, конструкция скважины.

Аннотация: В работе предложены аналитические формулы расчета минимального диаметра долота для бурения под обсадные колонны диаметрами от 114,3 мм до 426,0 мм в соответствии с РД 39-00147001-767-2000, а также способы дальнейшего совершенствования подобного рода вычислений для обсадных колонн диаметром свыше 426,0 мм.

ANALYTICAL FORMULAS FOR CALCULATING MINIMUM BIT DIAMETER FOR DRILLING FOR CASING OF A GIVEN SIZE

Mnatsakanov V.A. – DSc, Head of Center, Gazprom VNIIGAZ LLC,

V_Mnatsakanov@vniigaz.gazprom.ru

Myasishchev V.E. – PhD, Deputy Head of Laboratory, Gazprom VNIIGAZ LLC,

V_Myasishev@vniigaz.gazprom.ru

Akhmadullin A.E. – Specialist of «PNTP» LLC, Andrew.emailbox@ya.ru

Keywords: bit diameter, casing, well diameter, casing diameter, collar diameter, bit diameter calculation, well design.

Abstract: The paper proposes analytical formulas for calculating the minimum diameter of bits for drilling under casing from 114.3 mm to 426.0 mm in accordance with RD 39-00147001-767-2000 and ways for further improvement of similar calculations for casing over 426.0 mm in diameter.

Общеизвестна формула, описывающая оптимальное соотношение между диаметром обсадной колонны и долота [1, 2]:

$$y = (1,0447 + 0,00022x)m, \quad (1)$$

где:

x — диаметр обсадной трубы, мм,

m — диаметр муфты обсадной трубы, мм,

y — диаметр долота, мм.

Данная формула выведена графоаналитическим методом: для этого на координатной плоскости по оси абсцисс откладывают числовые значения диаметров обсадных труб (x), а по оси ординат — числовые значения отношения диаметра долота к диаметру муфты обсадной трубы (y/m). Для каждого типоразмера обсадной трубы (для каждого значения x) на графике определяют точку, соответствующую отношению оптимального диаметра долота к диаметру муфты выбранной

обсадной трубы, а затем полученное множество точек аппроксимируют линейным уравнением:

$$\frac{y}{m} = 0,00022x + 1,0447, \quad (2)$$

Умножив обе части уравнения (2) на диаметр муфты обсадной трубы (m), получают расчетную формулу (1), главное и неоспоримое достоинство которой — это ее простота.

Однако, в ряде случаев формула (1) дает не вполне удовлетворительный результат. Например, для обсадной колонны 323,9 мм с муфтой 351 мм вычисления по формуле (1) показывают, что минимальный диаметр долота должен составлять не менее 391,7 мм, что соответствует долоту 393,7 мм (наибольшему ближайшему типоразмеру к полученной расчетной величине). В то же время из практики известно, что такая пара долото/обсадная труба не всегда обеспечи-

вает достаточные заколонные зазоры для формирования качественного цементного кольца, а иногда и для проходимости колонны до заданной проектом глубины [3, 4].

В этой связи возникает потребность в разработке альтернативных аналитических формул определения минимального диаметра долота для бурения под обсадные колонны того или иного диаметра, что и является предметом исследования настоящей работы.

Представляется логичным, что формула расчета минимального диаметра долота должна удовлетворять условию:

$$y = m + \Delta, \quad (3)$$

где:

Δ — минимально допустимая разность диаметров муфт и скважины, мм.

Значения Δ для альтернативной

формулы целесообразно взять в соответствии с РД 39-00147001-767-2000 [5], в пункте 2.5.1 которого приведены данные о минимально допустимой разности номинальных диаметров муфт обсадных труб и скважины (см. таблицу 1).

Если рассматривать разность диаметров муфты и скважины (Δ) как функцию от диаметра обсадной трубы (x), то данные, приведенные в таблице 1, можно изобразить в графическом виде (рисунок 1).

График функции, изображенный на рисунке 1, имеет ступенчатый характер, при этом в пределах каждой «ступеньки» функция принимает значения, равные константе. Такого рода функции невозможно аппроксимировать с удовлетворительной степенью сходимости стандартными линиями тренда: линейными, степенными, полиномиальными, экспоненциальными, логарифмическими или тригонометрическими. Тем не менее, данную функцию (см. рисунок 1) можно задать аналитически при помощи суммы ряда модульных функций, с учетом которой формула (3) записывается в виде:

$$y = m - \frac{15}{4} \left(\frac{|x - 113|}{x - 113} + 1 \right) \left(\frac{|x - 128|}{x - 128} - 1 \right) - \frac{5}{4} \left(\frac{|x - 138|}{x - 138} + 1 \right) \left(\frac{|x - 147|}{x - 147} - 1 \right) - \frac{25}{4} \left(\frac{|x - 167|}{x - 167} + 1 \right) \left(\frac{|x - 246|}{x - 246} - 1 \right) - \frac{35}{4} \left(\frac{|x - 272|}{x - 272} + 1 \right) \left(\frac{|x - 300|}{x - 300} - 1 \right) - \frac{45}{4} \left(\frac{|x - 322|}{x - 322} + 1 \right) \left(\frac{|x - 427|}{x - 427} - 1 \right) \quad (4)$$

где:

x — диаметр обсадной трубы, мм,

m — диаметр муфты обсадной трубы диаметром x , мм,

y — минимальный диаметр долота для бурения под обсадную колонну диаметром x , мм.

Анализ функции, заданной формулой (4), показывает, что она не определена при значениях x равных следующим константам: 113, 128, 138, 147, 167, 246, 272, 300, 322 и 427 мм, ввиду математического запрета деления на ноль. Но данное ограничение

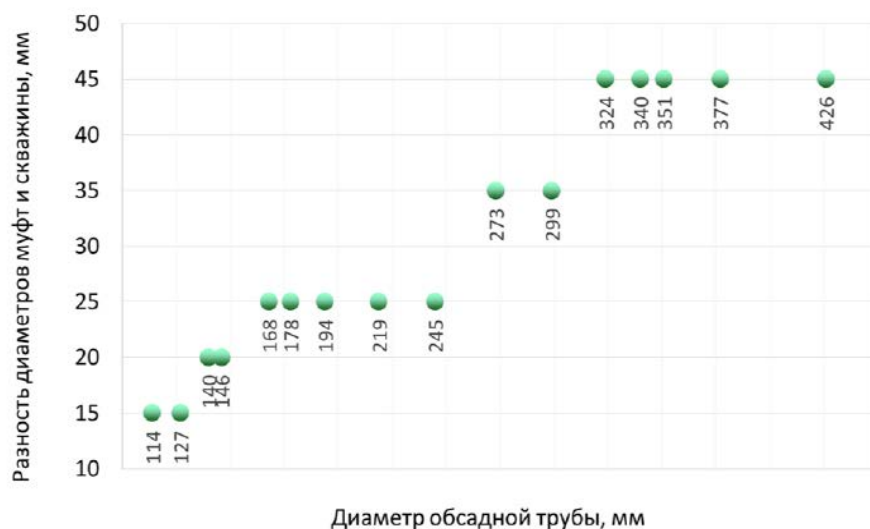


Рис. 1 — График разности диаметров муфт и скважины, как функция от диаметра обсадной трубы в соответствии с [5]

(неопределенность при делении на ноль) никак не влияет на практическое использование формулы (4), так как типоразмеров обсадных труб, равных перечисленным выше константам, не существует. Гипотетически, если в будущем такие трубы появятся, формулу (4) следует изменить так, чтобы содержащиеся в ней константы не равнялись размеру стандартного ряда обсадных труб.

Учитывая то, что диаметр муфты обсадной трубы можно выразить с определенной погрешностью через диаметр самой обсадной трубы, формулу (4) можно упростить, исключив из нее диаметр муфты обсадной трубы m . Для этого воспользуемся графоаналитическим методом, как и в случае с формулой (1): на координатной плоскости по оси абсцисс отложим числовые значения диаметров обсадных труб (x), а по оси ординат — числовые значения диаметров муфт обсадных труб (m). Для каждого типоразмера обсадной трубы (для каждого значения x) на графике определим точку, соответствующую диаметру муфты выбранной обсадной трубы (см. рисунок

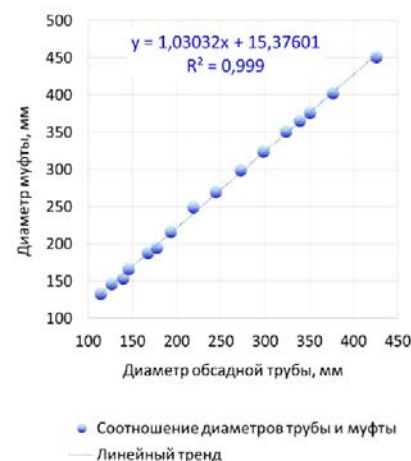


Рис. 2 — Графоаналитический способ определения функциональной зависимости диаметра муфты от диаметра обсадной трубы

2), а затем полученное множество точек аппроксимируем линейным уравнением:

$$m = 1,03032x + 15,37601, \quad (5)$$

Достоверность аппроксимации уравнения (5) достаточно высока — квадрат коэффициента корреляции Пирсона $R^2 = 0,999$.

С учетом этого, подставив в формулу (4) уравнение аппроксимации (5), получим приближенную формулу вычисления, не требующую учета диаметра муфты обсадной трубы:

Таблица 1

Номинальный диаметр обсадных труб (x), мм	114-127	140-146	168-245	273-299	324-426
Разность диаметров муфт и скважины (Δ), мм	15	20	25	35	45

$$y = 1,03032x - \frac{15}{4} \left(\frac{|x-113|}{x-113} + 1 \right) \left(\frac{|x-128|}{x-128} - 1 \right) - 5 \left(\frac{|x-138|}{x-138} + 1 \right) \left(\frac{|x-147|}{x-147} - 1 \right) - \frac{25}{4} \left(\frac{|x-167|}{x-167} + 1 \right) \left(\frac{|x-246|}{x-246} - 1 \right) - \frac{35}{4} \left(\frac{|x-272|}{x-272} + 1 \right) \left(\frac{|x-300|}{x-300} - 1 \right) - \frac{45}{4} \left(\frac{|x-322|}{x-322} + 1 \right) \left(\frac{|x-427|}{x-427} - 1 \right) + 15,37601 \quad (6)$$

Данная формула названа приближенной, поскольку из-за аппроксимации она содержит определенную погрешность. Минимальная величина относительной погрешности составляет 0,1%, а максимальная — 3,7%. В абсолютном выражении минимальная погрешность равна 0,1 мм, а максимальная — 7,9 мм.

При строительстве скважин на континентальном шельфе диаметры используемых обсадных колонн могут превышать 426 мм, т.е. максимальный типоразмер, указанный в РД 39-00147001-767-2000 [5], в связи с этим целесообразно предусмотреть пути дальнейшего совершенствования подобного рода вычислений. В этом случае формулу (4) следует дополнить еще одним слагаемым (см. последнее слагаемое в формуле):

$$y = m - \frac{15}{4} \left(\frac{|x-113|}{x-113} + 1 \right) \left(\frac{|x-128|}{x-128} - 1 \right) - 5 \left(\frac{|x-138|}{x-138} + 1 \right) \left(\frac{|x-147|}{x-147} - 1 \right) - \frac{25}{4} \left(\frac{|x-167|}{x-167} + 1 \right) \left(\frac{|x-246|}{x-246} - 1 \right) - \frac{35}{4} \left(\frac{|x-272|}{x-272} + 1 \right) \left(\frac{|x-300|}{x-300} - 1 \right) - \frac{45}{4} \left(\frac{|x-322|}{x-322} + 1 \right) \left(\frac{|x-427|}{x-427} - 1 \right) - \frac{1}{4} a \left(\frac{|x-b|}{x-b} + 1 \right) \left(\frac{|x-c|}{x-c} - 1 \right) \quad (7)$$

где:

a — минимальная разность диаметров скважины и муфт обсадных труб диаметром от x_1 до x_2 , (при этом $x_2 > x_1 > 426,0$), мм,

b — числовое значение на 1 мм меньше x_1 , округленное до целого числа в меньшую сторону, мм,

c — числовое значение на 1 мм больше x_2 , округленное до целого числа в большую сторону, мм.

Отметим, что константы b и c не должны совпадать с существующими типоразмерами (диаметрами) обсадных труб во избежание возникновения неопределенности, о чем уже было упомянуто выше при анализе формулы (4).

Приближенная формула вычислений (6), с учетом дополнительного слагаемого, примет вид:

$$y = 1,03032x - \frac{15}{4} \left(\frac{|x-113|}{x-113} + 1 \right) \left(\frac{|x-128|}{x-128} - 1 \right) - 5 \left(\frac{|x-138|}{x-138} + 1 \right) \left(\frac{|x-147|}{x-147} - 1 \right) - \frac{25}{4} \left(\frac{|x-167|}{x-167} + 1 \right) \left(\frac{|x-246|}{x-246} - 1 \right) - \frac{35}{4} \left(\frac{|x-272|}{x-272} + 1 \right) \left(\frac{|x-300|}{x-300} - 1 \right) - \frac{45}{4} \left(\frac{|x-322|}{x-322} + 1 \right) \left(\frac{|x-427|}{x-427} - 1 \right) - \frac{1}{4} a \left(\frac{|x-b|}{x-b} + 1 \right) \left(\frac{|x-c|}{x-c} - 1 \right) + 15,37601 \quad (8)$$

Выводы:

В работе предложены аналитические формулы для определения минимального диаметра долота для бурения под обсадные колонны заданного типоразмера, при этом:

1. Формулы (4) и (7) являются точными, а формулы (6) и (8) — при-

ближенными ввиду введения в них аппроксимации диаметра муфты, как функции диаметра обсадной трубы.

2. Формулы (4) и (6) удовлетворяют требованиям РД 39-00147001-767-2000 [5].

3. Формулы (7) и (8) применимы для обсадных колонн с диаметром свыше 426,0 мм.

4. Все предложенные формулы (4) и (6 – 8) могут использоваться:

- во-первых, при разработке индивидуальных и групповых рабочих проектов на строительство нефтяных и газовых скважин,

- во-вторых, при экспертизе (согласовании) проектной документации на строительство нефтяных и газовых скважин,

- в-третьих, при создании прикладных компьютерных программ для целей автоматизации процесса разработки проектной документации и/или его контроля.

Список литературы

1. Иогансен К.В. Спутник буровика: Справочник. — 3-е изд., перераб. и доп. // М.: Недра, 1990. — 303 С.: ил. — ISBN 5-247-01787-0.
2. СТО Газпром 16-2005 «Регламент по проектированию крепи добывающих скважин и их конструкций с учетом свойств мерзлых пород» // Утв. распоряжением ПАО «Газпром» от 21.11.2005 N 353: введено в действие с 01.01.2006.
3. Мнацаканов В. А. Ключевые технологические проблемы строительства скважин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. — М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2010. — № 5. — С. 4-7
4. Середа Н.Г., Соловьев Е.М. Бурение нефтяных и газовых скважин: учебник для вузов. — Изд. 2-е, перераб. и доп. // М.: Недра, 1988. — 360 С.: ил.
5. РД 39-00147001-767-2000 «Инструкция по креплению нефтяных и газовых скважин» // ОАО НПО «Бурение». — 2000. — 99 С.

References

1. Johansen K.V. Driller's Companion: Handbook. — 3rd edition, revised and supplemented // M.: Nedra, 1990. — 303 P.: Ill. — ISBN 5-247-01787-0.
2. STO Gazprom 16-2005 "Regulations for Designing Cementing of Production Wells and their Structures with Consideration of Permafrost Properties" // approved by Directive #353 of PJSC Gazprom of 21.11.2005: put into Operation from 01.01.2006.
3. Mnatsakanov V.A. Key technological problems of drilling // Construction of oil and gas wells onshore and offshore. — M.: VNIIOENG, 2010. — № 5. — С. 4-7
4. Sereda N.G., Soloviev E.M. Drilling Oil and Gas Wells: a textbook for universities. — Ed. 2nd revised edition. and supplementary // M.: Nedra, 1988. — 360 S.: ill.
5. RD 39-00147001-767-2000 "Instruction for Cementing of Oil and Gas Wells" // JSC NPO Burenie. — 2000. — 99 C.



Учредитель журнала:

Ассоциация буровых подрядчиков

Редакционная коллегия:

Оганов А.С., д.т.н., профессор
(главный редактор)
Самсоненко Н.В., к.т.н.
(ответственный секретарь)
Богомолов Р.М., д.т.н., профессор
Богоявленский В.И., д.т.н.,
член-корреспондент РАН
Гусман А.М., д.т.н., профессор
Дзюбло А.Д., д.г.-м.н., профессор
Ермолаев А.И., д.т.н., профессор
Мурадов А.В., д.т.н., профессор
Овчинников В.П., д.т.н., профессор
Потапов А.Г., д.т.н., профессор
Симонянц С.Л., д.т.н., профессор
Макс Гринфельд
(Королевство Швеция)
Тонхаузер Г., д-р, профессор
(Австрийская Республика)
Ян Цзинь, д.т.н., профессор
(Китайская Народная Республика)

Адрес редакции:

119296, г. Москва,
Ленинский проспект, 63/2, оф. 21029.
Тел./факс: (495) 380 72 30
e-mail: abprus@mail.ru

Почтовый адрес:

119296, г. Москва а/я 424;
e-mail: adcr@adcr.ru

Журнал зарегистрирован в Федеральной
службе по надзору за соблюдением зако-
нодательства в сфере массовых комму-
никаций и охране культурного наследия.
Свидетельство о регистрации средства
массовой информации от 12.05.2005 г.
ПИ №ФС77-21056

Подписной индекс:

по каталогу Роспечати 18188

Тираж 1000 экз. Заказ № 298311

Типография:

ООО «Фабрика офсетной печати»
117279, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая,
д.36, корп. 1, кв. 174

Дата выхода:

Свободная цена

СОДЕРЖАНИЕ / CONTENT

<i>Диндарьянов А.Р., Хафизов А.Р., Овчинников В.П., Рожкова О.В. / Dindaryanov A.R., Khafizov A.R., Ovchinnikov V.P., Rozhkova O.V.</i> МЕТОДЫ ЛИКВИДАЦИИ ГИДРАПАРАФИНОВЫХ ПРОБОК И АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ / METHODS OF LIQUIDATION OF HYDRATOPARAFFIN PLUGS AND ASPHALTOSIN AND PARAFFIN DEPOSITS	2
<i>Богомолов Р.М., Мозговой Г.С. / Bogomolov R.M., Mozgovoy G.S.</i> ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АЛМАЗНЫХ РЕЗЦОВ PDC / IMPROVING THE SERVICEABILITY OF PDC DIAMOND CUTTERS	8
<i>Корабельников М.И., Овчинников В.П., Аксенова Н.А., Липатов Е.Ю., Куманьяев Д.К., Рожкова О.В. / Korabelnikov M.I., Ovchinnikov V.P., Akseanova N.A., Lipatov E.Yu., Kumanyayev D.K., Rozhkova O.V.</i> УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ КОНСТРУКЦИЯ КЛАПАНА ОБРАТНОГО ПРОТИВОФОНТАННОГО ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЫСОКОАБРАЗИВНЫХ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ / ADVANCED DESIGN CHECKVALVE WELL-KILL FOR WELL DRILLING WITH THE USE HIGHLY ABRASIVE DRILLING MUD	14
<i>Егорова Е.В., Минченко Ю.С., Шемелина О.Н. / Egorova E.V., Minchenko Yu.S., Shemelina O.N.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ ФИЛЬТРАТА РАСТВОРА НА СИНТЕТИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНОЙ ПОРОДЫ / INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SYNTHETIC-BASED SOLUTION FILTRATE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF ROCK	19
<i>Бессель В.В., Оганов А.С., Холодильов В.А., Дзюбло А.Д., Симонов В.В., Бояуро К.А. / Bessel V.V., Oganov A.S., Kholodilov V.A., Dzyublo A.D., Simonov V.V., Boyuro K.A.</i> СТРАТЕГИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ОСВОЕНИЯ ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЯМАЛА И ЗАПАДНО-АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА В ТЕКУЩЕМ СТОЛЕТИИ / STRATEGIC IMPORTANCE OF THE DEVELOPMENT OF YAMAL GAS FIELDS AND THE WESTERN ARCTIC SHELF IN THE CURRENT CENTURE	26
<i>Овчинников В.П., Рожкова О.В., Овчинников П.В. Листак М.В. / Ovchinnikov V.P., Rozhkova O.V., Ovchinnikov P.V. Listak M.V.</i> ТАМПОНАЖНЫЙ МАТЕРИАЛ С ДОБАВЛЕНИЕМ ДОМЕНННОГО ШЛАКА / PLUGGING MATERIAL WITH BLAST-FURNACE SLAG	34
<i>Бравичева Т.Б., Хаджати М. / Bravicheva T.B., Hajati M.</i> ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИМЕРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ С УЧЕТОМ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАСТВОРА ПОЛИМЕРА ДЛЯ УСЛОВИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИРАНА / IMPROVING THE RELIABILITY OF HYDRODYNAMIC CALCULATIONS OF POLYMER FLOODING TECHNOLOGY, TAKING INTO ACCOUNT THE PHYSICAL PROPERTIES OF THE POLYMER SOLUTION FOR THE CONDITIONS OF IRANIAN FIELDS	38
<i>Мнацаканов В.А., Мясичев В.Е., Ахмадуллин А.Э. / Mnatsakanov V.A., Myasishchev V.E., Akhmadullin A.E.</i> АНАЛИТИЧЕСКИЕ ФОРМУЛЫ РАСЧЕТА МИНИМАЛЬНОГО ДИАМЕТРА ДОЛОТА ДЛЯ БУРЕНИЯ ПОД ОБСАДНЫЕ КОЛОННЫ ЗАДАННОГО ТИПОРАЗМЕРА / ANALYTICAL FORMULAS FOR CALCULATING MINIMUM BIT DIAMETER FOR DRILLING FOR CASING OF A GIVEN SIZE	42
<i>Бравичева Т.Б., Бравичев К.А., Раянов А.Р. / Bravicheva T.B., Bravichev K.A., Rayanov A.R.</i> ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМА ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОБЫВАЮЩЕГО И НАГНЕТАТЕЛЬНОГО ФОНДА СКВАЖИН С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ГЕОЛОГО- ФИЗИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ПРОДУКТИВНОЙ ЗАЛЕЖИ / JUSTIFICATION OF THE OPERATING MODE OF PRODUCING AND INJECTION WELLS TAKING INTO ACCOUNT THE FEATURES OF THE GEOLOGICAL AND PHYSICAL STRUCTURE OF THE DEPOSIT	46

Научно-технический журнал «Вестник Ассоциации буровых подрядчиков» включен в перечень ВАК Министерства образования и науки РФ ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.