

## Влияние деформационных процессов на проницаемость горных пород и устойчивость нефтяной скважины

В. И. Карев<sup>1,2,\*</sup>, Ю. Ф. Коваленко<sup>1,†</sup>, В. В. Химуля<sup>1,2‡</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем механики имени А. Ю. Ишлинского РАН  
Россия, 119526, Москва, пр-т Вернадского, д. 101

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,  
физический факультет, кафедра физики моря и вод суши  
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

(Статья поступила 17.06.2017; Подписана в печать 19.06.2017)

В настоящей работе проведено изучение влияния реально возникающих в окрестности горизонтальной скважины напряжений на фильтрационные и прочностные свойства горных пород морского месторождения Приразломное. Исследовались породы из двух интервалов продуктивного разреза с различными структурно-литологическими характеристиками. Эксперименты проводились на Испытательной системе трехосного независимого нагружения Института проблем механики РАН. Моделирование показало, что фильтрационные свойства исследуемых пород сильно зависят от напряженно-деформированного состояния. При понижении давления в скважине до определенного критического значения они ухудшаются. Затем происходит растрескивание, дезинтеграция породы в окрестности скважины, сопровождающиеся резким скачкообразным повышением проницаемости. Определены необходимые для поддержания устойчивости ствола скважины величины давления на забое при бурении. Подсчитана плотность бурового раствора, при которой не происходит разрушения ствола скважины. Экспериментально изучено влияние исходного напряженного состояния в пласте на процессы деформирования и разрушения породы в окрестности скважины.

PACS: 91.50.Sn., 91.50.Nc.

УДК: 550.853

Ключевые слова: горизонтальная скважина, напряженно-деформированное состояние, фильтрация, репрессия, устойчивость, проницаемость.

### ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа посвящена исследованию фильтрационных и механических свойств пород шельфового нефтегазового месторождения Приразломное на установке истинно трехосного нагружения. Разработка данного месторождения на сегодняшний день является единственным действующим в России проектом по добыче углеводородного сырья на шельфе Арктики [1]. Поэтому изучение и физическое моделирование процессов в его продуктивном пласте имеет особую актуальность.

Изучение прочностных и фильтрационных характеристик продуктивного пласта требуется для создания геомеханической модели месторождения. На основе модели делается проект его разработки. Знание свойств пород, слагающих продуктивный пласт месторождения, важно как для создания способов повышения продуктивности скважин и нефтеотдачи пластов, так и для обеспечения устойчивости стволов скважин [2, 3]. Обе задачи приобретают особое значение для дорогостоящих скважин, пробуренных на морском шельфе, тем более в условиях Арктики.

Теоретическим и экспериментальным исследованиям процессов фильтрации в нефте- и газосодержащих

пластах, в том числе с учетом влияния напряженно-деформированного состояния, уделялось достаточно большое внимание. Основные стадии развития исследований фильтрационных свойств горных пород можно проследить в [4]. В ряде работ делались попытки расчетов фильтрации с учетом зависимости проницаемости от напряжений. К примеру, в статье [5] проведен анализ фильтрации нефти в скважину с учетом деформаций пласта и напряженно-деформированного состояния вмещающих горных пород при слабом изменении модуля Юнга пласта по его простиранью.

Большой объем лабораторных испытаний кернового материала из коллекторов различных нефтегазовых месторождений в условиях сложного напряженно-деформированного состояния и опытно-промышленные работы на скважинах были проведены специалистами Института проблем механики РАН. Исследования показали, что напряжения в нефтяных пластах, возникающие при бурении, освоении и эксплуатации скважин, могут существенно влиять на дебит скважин [6, 7]. В зависимости от структуры и деформационных свойств породы, а также глубины залегания пластов и пластового давления нефти, конструкции забоя скважины и условий ее эксплуатации, возникающие в пласте напряжения могут значительно и необратимо изменять проницаемость породы [8]. При этом проницаемость может как увеличиваться, так и уменьшаться [9, 10].

Для выработки оптимальных режимов бурения, освоения и эксплуатации скважин важно знать, как возникающие в породе напряжения влияют на прони-

\*E-mail: [wikarev@ipmnet.ru](mailto:wikarev@ipmnet.ru)

†E-mail: [perfolinkgeo@yandex.ru](mailto:perfolinkgeo@yandex.ru)

‡E-mail: [valery.khim@gmail.com](mailto:valery.khim@gmail.com)



Рис. 1: Морская ледостойкая стационарная платформа (МЛСП) «Приразломная»

цаемость пород продуктивного пласта, и какие давления необходимо поддерживать на забое скважины, чтобы не допустить негативных деформационных процессов в пласте. Задачей настоящей работы было моделирование на установке ИСТНН условий, возникающих в породе в окрестности горизонтальной скважины, с целью определения влияния напряженного состояния на проницаемость пород и на устойчивость стволов скважин Приразломного месторождения при понижении давления на их забое.

В работе также экспериментально изучено влияние начальных напряжений в пласте на процессы деформирования и разрушения породы в окрестности скважины. Рассмотрены два случая начального напряженного состояния пласта для условий Приразломного месторождения:

1. В исходном состоянии порода находится в состоянии равномерного всестороннего сжатия горным давлением на данной глубине (боковой распор отсутствует).
2. Величина горизонтального горного давления составляет 40% от величины вертикального горного давления, т.е. коэффициент бокового распора равен 0.4.

### 1. ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования в данной работе являются породы карбонатного продуктивного пласта месторождения Приразломное.

Приразломное нефтяное месторождение расположено в юго-восточной части Печорского моря. Глубина моря в районе месторождения составляет около 20 м.

Проектом запланировано бурение 36 эксплуатационных скважин (из них 19 добывающих) [11]. Добыча ведется с морской стационарной платформы (рис. 1). Начало добычи на месторождении — 2013 г.

Исследования были проведены на Испытательной системе трехосного независимого нагружения (ИСТНН), позволяющей реализовывать любую траекторию нагружения (деформирования) образца, включая процесс разрушения. Это уникальная научная установка, созданная в Институте проблем механики РАН, и предназначенная для изучения деформационных, прочностных и фильтрационных характеристик пород нефтегазовых, рудных и угольных месторождений. Отличительной ее особенностью является возможность нагружать образцы породы, представляющие собой кубики с гранью 40 или 50 мм, независимо по трем осям [12]. Это дает возможность воссоздавать в ходе опытов любые напряженные состояния, возникающие в пласте при бурении скважин, их освоении и эксплуатации, и изучать влияние напряжений на фильтрационные свойства породы [13].

Для проведения трехосных испытаний на испытательном стенде ИСТНН был использован керновый материал из разведочной скважины № 4 Приразломного месторождения (вертикальной). Из него было изготовлены кубические образцы с ребром 40 мм. Образцы изготавливались на созданном в ИПМех РАН специальном обрабатывающем комплексе с высокой точностью, непараллельность граней образцов не превышала 20 мкм.

Анизотропия упругих свойств образцов определялась с помощью измерения скоростей распространения

ния продольных упругих волн [14]. Было установлено, что скорости распространения продольных волн по трем осям в образцах из обоих интервалов практически одинаковы, что свидетельствует о том, что упругие свойства исследуемых пород близки к изотропным.

Измерение проницаемости осуществлялось с помощью Системы автоматизированного измерения проницаемости, входящей в состав ИСТНН. Через образец вдоль одной из осей в ходе нагружения пропускался воздух и измерялся его расход. Конструкция нагружающего узла, обеспечивающая равномерный поток газа через образец, и перепад давления, не превышающий 0.2 ат, позволяли определять проницаемость породы по закону Дарси. На четыре грани образца, параллельные оси фильтрации, наносилась непроницаемая оболочка из полимеризующегося при комнатной температуре раствора на латексной основе.

#### А. Физическое моделирование напряженно-деформированного состояния скважины

Одним из основных факторов, влияющих на фильтрационные свойства пласта, а значит и на дебит нефтяных скважин, являются действующие в окрестности скважин напряжения. Величина этих напряжений зависит как от деформационных свойств породы, так и от горного давления и давления нефти на забое скважины [15].

В исходном состоянии пласты нефтяных и газовых месторождений находятся в состоянии сжатия горным давлением. При этом вертикальное давление равно весу вышележащих горных пород, т. е.  $\gamma H$ , где  $\gamma$  — средний удельный вес горных пород, а  $H$  — глубина залегания пласта. Боковое давление может отличаться от вертикального давления.

При пробуривании скважины меняется напряженное состояние в ее окрестности — оно становится существенно неравномерным, возникают касательные напряжения. В дальнейшем, в ходе освоения и эксплуатации скважин давление на ее забое дополнительно снижается, чтобы обеспечить приток нефти или газа. Это приводит к росту действующих в ее окрестности касательных напряжений и, при определенных условиях, к значительному деформированию и даже разрушению породы [16].

Месторождение Приразломное разрабатывается в основном бурением горизонтальных скважин. Ниже схематично показаны вертикальное сечение горизонтальной необсаженной скважины и действующие в ее окрестности радиальное  $S_R$  и тангенциальное  $S_\theta$  напряжения в двух точках М и N (рис. 2).

Для моделирования на установке ИСТНН деформационных и фильтрационных процессов, происходящих в окрестности горизонтальной скважины необходимо знать, какие напряжения следует прикладывать к граням образца, то есть составить программу нагружения. Прозвучивание образцов пород продуктивного пласта

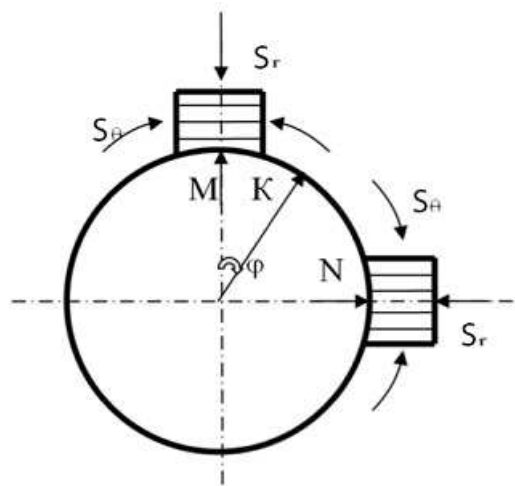


Рис. 2: Вертикальное сечение горизонтальной скважины

месторождения Приразломное указывает на изотропию их упругих свойств, поэтому для моделирования напряжений в окрестности горизонтальной скважины можно использовать решение для изотропной среды, полученное решением задачи Ламе [17, 18].

Ниже приводится программа нагружения образца, отвечающая напряжениям, действующим на контуре необсаженной скважины при понижении давления на ее забое при равномерном исходном поле напряжений в пласте (рис. 3).

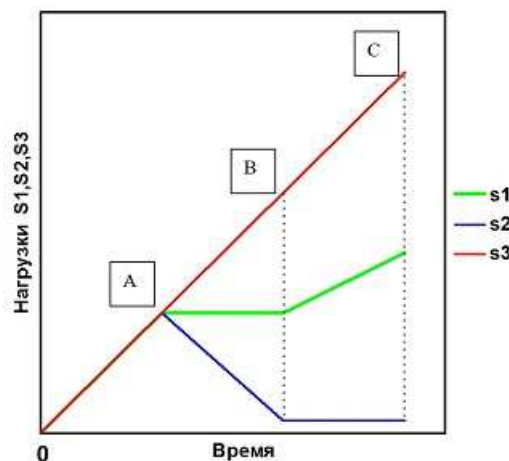


Рис. 3: Программа нагружения образцов при отсутствии бокового распора

Здесь  $S_i$  — напряжения, прикладываемые к граням образца. Соответствие этих напряжений и напряжений, действующих в окрестности скважины, следующее:  $S_3 - S_\theta$ ;  $S_2 - S_R$ ;  $S_1 - S_Z$ .

Программа включает в себя три этапа.

*Этап 1.* Образец обжимается равномерно со всех сторон до напряжения, равного разности между значением горного давления  $q$  и величиной пластового дав-

ления  $P_0$ , соответствующего эффективному начальному напряжению, действующему на грунтовый скелет породы (отрезок ОА на рис. 3). Точка А соответствует состоянию с напряжениями, действовавшими в грунтовом скелете до пробуривания скважины при условии равенства вертикального и бокового горного давления.

*Этап 2.* На этом этапе нагружения (отрезок АВ) компонента напряжения ( $S_3 = S_\theta$ ) продолжает расти, вторая компонента ( $S_1 = S_Z$ ) остается постоянной, а третья ( $S_2 = S_R$ ) убывает, причем нагрузка меняется так, что объемное сжатие в каждой точке пласта сохраняется  $S = (S_1 + S_2 + S_3)/3$ . Конечная точка этапа (точка В) соответствует состоянию, когда скважина пробурена и давление на забое равно пластовому.

*Этап 3.* На третьем этапе моделируется процесс создания депрессии, т.е. понижения давления в забое (отрезок ВС). При этом радиальное напряжение  $S_R$  в грунтовом скелете по мере роста депрессии остается практически равным нулю, а кольцевые и вертикальные напряжения  $S_\theta$  и  $S_Z$  растут. Третий этап продолжался до разрушения образца.

В процессе опытов измерялась деформация образца в трех направлениях и регистрировалась его проницаемость в направлении радиуса скважины.

**В. Физическое моделирование напряженно–деформированного состояния скважины при наличии бокового распора**

Если боковое горное давление не равно вертикальному, то грунтовый скелет до пробуривания скважины нагружен неравномерными сжимающими напряжениями. Отношение величин горизонтальных составляющих горного давления к вертикальной составляющей называется боковым распором [19].

Наличие бокового распора приводит к тому, что после пробуривания скважины напряжения, действующие на ее контуре, будут отличны от тех, что действуют на контуре скважины при равномерном исходном поле напряжений. А значит и изменится программа нагружения образцов, моделирующая понижение давление в скважине.

Рассматриваемую задачу можно представить, как суперпозицию двух задач: задачи Ламе и задачи Кирша [20]. Напряжения на контуре скважины, будут равны сумме напряжений, полученных из решений указанных задач. При  $\alpha < 1$ , то есть когда горизонтальное горное давление меньше вертикального (наиболее распространенный случай), из решения задачи Кирша следует, что максимальное напряжение будет достигаться в точке N (рис. 2) и в симметричной ей точке на контуре скважины относительно оси. Для данных точек и было проведено моделирование.

При проведении опытов коэффициент бокового распора принимался равным  $\alpha = 0.4$ . Тогда программа нагружения образца при наличии бокового распора выглядит следующим образом (рис. 4):

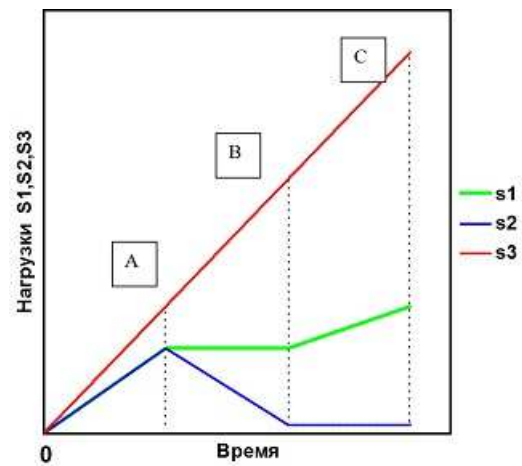


Рис. 4: Программа нагружения образцов при наличии бокового распора

Испытание образца включает в себя три этапа.

*Этап 1.* На первом этапе образец обжимается по оси 3 (вертикальной) напряжением  $q_v = (\gamma H - P_0)$ , а по осям 1 и 2 — напряжениями  $q_g = 0.4(\gamma H - P_0)$  (отрезки ОА на рис. 4). Точка А отвечает напряжениям, действовавшим в грунтовом скелете до пробуривания скважины при наличии бокового распора.

*Этап 2.* На втором этапе нагружения АВ кольцевая компонента напряжения  $S_3$  продолжает расти, вторая  $S_1$  остается постоянной, а третья  $S_2$  убывает. Каждая точка на отрезке АВ, как и ранее, соответствует определенному давлению на забое скважины, большему, чем пластовое, т.е. определенной величине репрессии. Конечная точка этапа (точка В) отвечает состоянию, когда скважина пробурена и давление на забое равно пластовому.

*Этап 3.* На третьем этапе моделируется процесс создания депрессии. При этом радиальное напряжение  $S_R$  в грунтовом скелете по мере роста депрессии остается практически равным нулю, а кольцевые и вертикальные напряжения растут. Третий этап продолжался вплоть до разрушения образца.

**2. РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ ПРОВЕДЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

В ходе экспериментов по физическому моделированию было испытано 10 образцов в условиях отсутствия бокового распора, и 6 образцов — при его наличии. Образцы из обоих интервалов проявили при испытаниях похожие свойства.

Ниже в качестве примера приведены результаты испытаний четырех образцов, вырезанных из двух кусков керна. На одном образце из каждого куска моделировались условия, возникающие в окрестности точки N (рис. 2) на контуре горизонтальной скважины при отсутствии бокового распора, т.е. в условиях все-

стороннего равномерного сжатия на начальном этапе. На втором образце, вырезанном из того же куска керна, моделировались условия неравномерного начального сжатия, т. е. при наличии бокового распора.

Условия отсутствия бокового распора моделировались на образцах П2-4 и П5-4.

На образце П2-4, отобранного с глубины 2548 м, напряжение  $S_3$ , соответствующее кольцевой компоненте главных напряжений, прикладывалось вдоль оси керна и монотонно росло в ходе эксперимента ( $S_3$  — параметр нагружения). Проницаемость измерялась в перпендикулярном направлении вдоль оси 2. На первом этапе образец был всесторонне равномерно обжат до напряжения 33 МПа, что соответствует разности между величинами горного давления и пластового давления на данной глубине (по геологическим данным на месторождении пластовое давление равно гидростатическому). На втором этапе в каждой точке напряжения соответствуют некоторой величине репрессии, а конечная точка — состоянию скважины, заполненной технической водой. Но до этой точки испытание не дошло, разрушение образца произошло на втором этапе нагружения, при  $S_3 = 60$  МПа в нем образовалась система трещин.

Проницаемость образца, в ненагруженном состоянии равная 8.5 мД, плавно падала вплоть до растрескивания образца. В момент разрушения образца происходит нарушение целостности герметической оболочки, из-за чего далее невозможно измерять проницаемость. Благодаря образованию системы трещин в образце его проницаемость выросла на порядки.

Образец П5-4 был вырезан из керна, отобранного с глубины 2515 м. Он обладал другими структурно-литологическими и механическими свойствами, но горное давление на этой глубине почти не отличалось от условий для первого образца. На нем моделировались те же условия нагружения, то есть программа испытаний оставалась прежней. На первом этапе образец нагружался до начального состояния всестороннего сжатия 33 МПа. Второй этап нагружения не был закончен из-за разрушения породы. Нарушение структуры образца также произошло при  $S_3 = 60$  МПа.

Начальная проницаемость образца была  $K_0 = 5.7$  мД. Проницаемость образца монотонно падала в процессе моделирования. В момент разрушения была видна предпосылка к увеличению проницаемости.

Условия наличия бокового распора моделировались на образцах П2-9 и П5-6.

Как указано выше, условия моделирования соответствовали положению образцов в точке N (рис. 2) горизонтальной скважины, где касательные напряжения максимальны. Вертикальная составляющая давления больше горизонтальных и приложена по касательной к скважине. Проницаемость измерялась вдоль радиуса скважины по оси 2.

Образец П2-9 был вырезан из того же куска керна, что и образец П2-4. На первом этапе к образцу П2-9

было приложено напряжение по двум горизонтальным осям, равное 13.1 МПа, что соответствует величине 0.4 от горного давления в отсутствие бокового распора. Второй этап должен был закончиться на напряжении  $S_3 = 85.8$  МПа, но разрушение образца произошло уже при  $S_3 = 64.5$  МПа. Образец перешел к неупругому деформированию по всем трем осям при  $S_3 = 62$  МПа. При  $S_3 = 63.8$  МПа кривая деформирования вышла на полку, то есть образец деформировался как идеально пластический материал.

Начальная проницаемость образца  $K_0 = 8.2$  мД. Проницаемость в ходе опыта имеет экстремум, что связано с прочищением фильтрационных каналов. В целом же фильтрационные свойства породы ухудшались при нагружении.

Программа нагружения образца П5-6, вырезанного из того же куска керна, что и образец П5-4, была аналогична предыдущей. По двум горизонтальным осям образец обжимается напряжением 13.1 МПа, что соответствует 0.4 от величины горного давления без распора. Образец разрушился при  $S_3 = 58.9$  МПа, что не позволило достичь конца второго этапа.

Начальная проницаемость образца 5.2 мД. Проницаемость породы резко снижалась вплоть до нулевого значения.

Значение репрессий, приводящих к разрушению породы на стенках скважины, дается величиной напряжения  $S_2^*$  в табл. 1. В ней  $K_0$  — начальная проницаемость образцов,  $K/K_0$  — отношение конечной (на момент разрушения образца) проницаемости к начальной. В последней колонке таблицы приведены соответствующие этим репрессиям значения плотностей бурового раствора, т. е. плотности бурового раствора, при которых не будет происходить разрушение стенок скважины [21]. Величины плотности бурового раствора для заданных величин забойного давления и глубины отбора керна определялись по весу столба бурового раствора в скважине.

Все образцы разрушились на втором этапе нагружения (отрезок АВ). Поскольку отрезки АВ программы нагружения образца отвечают давлениям на забое скважины выше пластовых (т. е. репрессии), полученные экспериментальные данные означают, что разрушение стенок скважины может происходить при давлениях на забое скважины, превосходящих пластовое.

Измерение проницаемости показало существенную зависимость проницаемости этих пород от напряженно-деформированного состояния, а именно падение проницаемости образцов в ходе моделирования снижения давления в скважине.

Из таблицы видно, что при наличии бокового распора разрушение образцов происходило в основном при более высоких значениях напряжения  $S_2^*$ , что соответствует большим величинам плотности бурового раствора, обеспечивающего устойчивость стенок скважины при бурении.

Таблица I: Результаты физического моделирования процесса бурения скважины и измерения проницаемости образцов

№ Образца	Наличие распора	Интервал по керну, м	$K_0$ , мД	$K/K_0$	Напряжение $S_2^*$ репрессия, МПа	Плотность, г/см <sup>3</sup>
П2-4	Без распора	2548.5	8.5	0.15	6.25	1.25
П5-4	Без распора	2514.75	5.7	0.3	6.6	1.26
П2-9	Распор	2548.5	8.2	0.12	6.5	1.26
П5-6	Распор	2514.75	5.2	0	7.5	1.3

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования влияния реально возникающих в окрестности горизонтальной скважины напряжений на фильтрационные свойства горных пород продуктивного пласта морского месторождения Приразломное показали, что проницаемость исследуемых пород существенно зависит от напряженно–деформированного состояния — проницаемость пород при снижении давления в скважине сильно падает.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что разрушение стенок скважины может происходить при давлениях на забое скважины, превосходящих пластовое, т.е. при репрессии на забое. Определены значения репрессии, необходимые для поддержания устойчивости ствола скважины. По результатам моделирования вычислена минимальная

плотность бурового раствора, при которой не происходит разрушения стенок скважины.

Показано, что неравномерность поля начальных напряжений в пласте достаточно сильно влияет на процессы деформирования и разрушения горных пород. При наличии бокового распора разрушение образцов происходило при моделировании более высоких величинах репрессии и, следовательно, для обеспечения устойчивости ствола требуется буровой раствор большей плотности.

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда проект № 16-11-10325.

- [1] Проекты ПАО «Газпром»: Приразломное месторождение. <http://www.gazprom.ru>.
- [2] Карев В.И., Коваленко Ю.Ф. Нефть и газ Евразии. 2012. № 11. С. 40.
- [3] Климов Д.М., Карев В.И., Коваленко Ю.Ф., Устинов К.Б. Известия РАН. Механика твердого тела. 2013. № 4. С. 4.
- [4] Роом Е.С. Фильтрационные свойства горных пород. М: Недра, 1966.
- [5] Костерин А.В., Скворцов Э.В., Торопова М.М. Вычислительные технологии. 1999. 4, № 2. С. 42.
- [6] Журавлев А.Б., Карев В.И., Коваленко Ю.Ф., Устинов К.Б. Прикладная математика и механика. 2014. 78, № 1. С. 86.
- [7] Карев В.И., Коваленко Ю.Ф. Технологии ТЭК. 2006. № 6. С. 59.
- [8] Карев В.И. Влияние напряженно–деформированного состояния горных пород на фильтрационный процесс и дебит скважин. Автореф. дисс. на соискание учен. степени д-ра тех. наук 01.02.04 — механика деформируемого твердого тела. В.И. Карев. Санкт-Петербург, 2010.
- [9] Карев В.И., Коваленко Ю.Ф. Вестник Нижегородского университета имени Н.И.Лобачевского. 2011. № 4 (2). С. 448.
- [10] Христианович С.А., Коваленко Ю.Ф., Кулинич Ю.В., Карев В.И. Нефть и газ Евразия. 2000. № 2. С. 90.
- [11] Морозов О., Овчинников А. Offshore [Russia]. 2015. № 3. С. 52.
- [12] Karev V., Kovalenko Yu. Triaxial loading system as a tool for solving problems of oil and gas production. The 12th International Congress on Rock Mechanics. 2011.
- [13] Климов Д.М., Карев В.И., Коваленко Ю.Ф. Актуальные проблемы механики. Механика деформируемого твердого тела. 2009. С. 470.
- [14] Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. Том 1. М: Наука, 1974.
- [15] Карев В.И., Климов Д.М., Коваленко Ю.Ф. Известия РАН. Механика твердого тела. 2015. № 6. С. 39.
- [16] Карев В.И., Коваленко Ю.Ф., Сидорин Ю.В., Устинов К.Б. Мониторинг. Наука и технологии. 2016. № 3. С. 85.
- [17] Тимошенко С.П. Теория упругости. Издание 2, исправленное. Пер. с англ. проф. Н.А.Шонина. Л: Ленгорлит, 1937.
- [18] Ляв А. Математическая теория упругости. М.–Л.: ОНТИ НКГП СССР, 1935.
- [19] Андриасова Р.С., Мищенко И.Т., Петров А.И. Справочное руководство по проектированию разработки и эксплуатации нефтяных месторождений. Добыча нефти. М.: Недра. 1983.
- [20] Лурье А.И. Теория упругости. М.: Наука. 1970.
- [21] Булатов А., Проселков Е., Проселков Ю. Бурение горизонтальных скважин. Советская Кубань. 2008.

## The influence of deformation processes on the permeability of rocks and the stability of an oil well

V. I. Karev<sup>1,2,a</sup>, Yu. F. Kovalenko<sup>1,b</sup>, V. V. Khimulia<sup>1,2,c</sup>

<sup>1</sup>*Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 119526, Russia.*

<sup>2</sup>*Department of Marine and Inland Water Physics, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University Moscow 119991, Russia.*

*E-mail: <sup>a</sup>wikarev@ipmnet.ru, <sup>b</sup>perfolinkgeo@yandex.ru, <sup>c</sup>valery.khim@gmail.com*

The paper studies the effect of real stresses occurring in the vicinity of a horizontal well on the filtration and strength properties of rocks for the Prirazlomnoye offshore field. The rocks from two intervals of the reservoir section with different structural and lithological characteristics were studied. The experiments were carried out on the Triaxial Independent Load Test System of the Institute of Problems in Mechanics of the Russian Academy of Sciences. Modeling showed that the filtration properties of the rocks under study strongly depend on the stress-strain state. When the pressure in the well drops to a certain critical value, they deteriorate. Then there is a cracking, disintegration of the rock in the vicinity of the well, accompanied by a sharp jump-like increase in permeability. The values of the pressure at the bottom during drilling which are necessary to maintain the stability of the wellbore were defined. The density of the drilling mud was calculated, for which there is no destruction of the wellbore. The influence of the initial stress state in the formation on the deformation and fracture processes in the vicinity of the well was studied experimentally.

PACS: 91.50.Sn, 91.50.Hc

*Keywords:* horizontal well, the stress–strain state, filtration, pressure underbalance, borehole stability, permeability.

*Received 17 June 2017.*

### Сведения об авторах

1. Карев Владимир Иосифович — доктор тех. наук, зам. директора ИПМех РАН, вед. науч. сотрудник; тел.: (495) 434-35-56, e-mail: wikarev@ipmnet.ru.
2. Коваленко Юрий Федорович — доктор физ.-мат. наук, зав. лабораторией; тел.: (495) 434-34-47, e-mail: perfolinkgeo@yandex.ru
3. Химуля Валерий Владимирович — студент, сотрудник лаборатории; e-mail: valery.khim@gmail.com