

3. С помощью метода граничных элементов экспериментальным путем была оценена площадь приразломных изменений, и таким образом определена ширина зоны динамического влияния.

4. Полученная с помощью расчетов мощность зоны упругих преобразований, обусловленных разрывной тектонической структурой, больше непосредственно измеренной в натуральных условиях мощности зоны измененных пород в 2,17 раз.

5. На основании сравнения мощности зоны динамического влияния, полученной при расчетах, с мощностью, рассчитанной на основе фактического материала, можно утверждать, что зона динамического влияния разрывной тектонической структуры включает в себя не только проявляющиеся изменения пород (подзоны дробления и повышенной трещиноватости), но и область измененного напряженно-деформированного состояния.

6. В пределах этой области во время проведения строительных работ возможно проявление неблагоприятных явлений (горные удары, стреляние пород, вывалы и др.).

#### **Список литературы**

1. Крауч С. Методы граничных элементов в механике твердого тела / С. Крауч, А. Старфилд. – М. : Мир, 1987. – 328 с.
2. Старков В. И. Тектонические деформации земной поверхности на створе Рогунского гидроузла по результатам инструментальных измерений / В. И. Старков // Сейсмостойкие исследования в районах строительства крупных водохранилищ Таджикистана. – Душанбе : Дониш, 1987. – С. 49–63.
3. Шерман С. И. Области динамического влияния разломов (результаты моделирования) / С. И. Шерман, С. А. Борняков, В. Ю. Буддо. – Новосибирск : Наука, 1983. – 112 с.

#### **References**

1. Krauch S. Metody granichnyh jelementov v mehanike tverdogo tela / S. Krauch, A. Starfild. – M. : Mir, 1987. – 328 s.
2. Starkov V. I. Tektonicheskie deformacii zemnoj poverhnosti na stvore Rogunskogo gidrouzla po rezul'tatam instrumental'nyh izmerenij / V. I. Starkov // Sejsmostojkie issledovanija v rajonah stroitel'stva krupnyh vodohraniliw Tadzhiqistana. – Dushanbe : Doniw, 1987. – S. 49–63.
3. Sherman S. I. Oblasti dinamicheskogo vlijanija razlomov (rezul'taty modelirovanija) / S. I. Sherman, S. A. Bornjakov, V. Ju. Buddo. – Novosibirsk : Nauka, 1983. – 112 s.

### **ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ЭЦН5-80 В ОБВОДНЕННОЙ СКВАЖИНЕ С ВЫСОКИМ ГАЗОВЫМ ФАКТОРОМ**

*Лекомцев Александр Викторович, аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр-кт, 29, e-mail: alex.lekomtsev@mail.ru*

*Филиппова Мария Сергеевна, аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр-кт, 29, e-mail: alex.lekomtsev@mail.ru*

*По результатам исследований скв. 333 Сибирского месторождения выполнен расчет фактических характеристик насосов ЭЦН5-80. В работе отмечены особенности влияния свободного газа на эффективность работы насоса за пределами рабочей области. Проведена оценка коэффициентов полезного действия насосов в условиях высоких газовых факторов.*

**Ключевые слова:** добывающая скважина, электроцентробежный насос, газо-содержание у приема насоса.

## OPERATION OF THE ELECTRICAL SUBMERSIBLE PUMPS ESP-80 IN WATER CUT WELL WITH HIGH GAS-OIL RATIO

*Lekomtsev Aleksandr V., Post-graduate student, National Research Perm Polytechnical University, 29 Komsomolsk Ave, Perm, 614000, Russia, e-mail: alex.lekومتsev@mail.ru*

*Filippova Maria S., Post-graduate student, National Research Perm Polytechnical University, 29 Komsomolsk Ave, Perm, 614000, Russia, e-mail: alex.lekومتsev@mail.ru*

*Pump actual characteristics estimation based on the analysis results of producing well number 333 Siberian oilfield is accomplished. Features of the free gas influence on operation efficiency outside work zone are mentioned in article. Efficiency assessment in the high gas-ratio conditions is appraised.*

**Key words:** producing well, electrical submersible pump, inlet pump gas content.

Техническая характеристика электроцентробежного насоса (ЭЦН) при работе в скважине существенно отличается от паспортной характеристики из-за влияния в основном свободной газовой фазы и вязкости откачиваемой жидкости. Приблизительно влияние этих факторов на работу ЭЦН может быть учтено на основе данных, полученных при экспериментальных стендовых исследованиях отдельных ступеней или секций насосов в лабораторных условиях, по результатам которых строятся графические зависимости [2, 3]. При стендовых испытаниях сложно или практически невозможно моделировать в полном объеме такие скважинные условия, как свойства и структуру газожидкостного потока у приема насоса, их значения по длине ЭЦН при различном количестве рабочих ступеней, давление на выкиде насоса, величина которого зависит от многих факторов, в том числе от структурных особенностей потока в подъемных трубах. Фактическую техническую характеристику ЭЦН в координатах «напор – подача» можно получить по данным измерений, выполненных в работающей скважине – с определением производительности (подачи), давлений у приема и на выкиде насоса.

Для анализа была выбрана скв. № 333 Сибирского нефтяного месторождения (Пермский край), по которой приведены данные о давлениях на забое, у приема и на выкиде при работе ЭЦН. Скважина эксплуатирует продуктивные пласты в терригенных отложениях бобриковского горизонта. Пластовая нефть имеет вязкость 1,3 МПа·с, газонасыщенность – 165 м<sup>3</sup>/т, давление насыщения газом – 16 МПа, средняя глубина залегания пластов – 2340 м.

Скважина в мае 2007 г. переведена с фонтанного на механизированный способ эксплуатации с помощью ЭЦН5-80-1550, в мае 2008 г. произведена смена насоса на ЭЦН5-80-1700, в марте 2009 г. – на ЭЦН5-125-1550. Основные показатели работы скважины с насосами ЭЦН5-80 приведены в таблице. Давление у приема насоса определялось с помощью прибора СКАТ-28К. Забойное давление (по измеренному у приема ЭЦН) и давление на выкиде насосов определены по методике Поэтмана-Карпентера с учетом сепарации газа перед насосом.

Давление и напор, развиваемые насосом при работе в скважине:

$$P_{ЭЦН} = P_{вык} - P_{пр} ; \tag{1}$$

$$H_{ЭЦН} = \frac{P_{ЭЦН}}{\rho_v \cdot g}, \text{ м. вод. ст.}, \tag{2}$$

где  $P_{вык}$  и  $P_{пр}$  – давления на выкиде и у приема насоса;  $\rho_v$  – плотность воды.

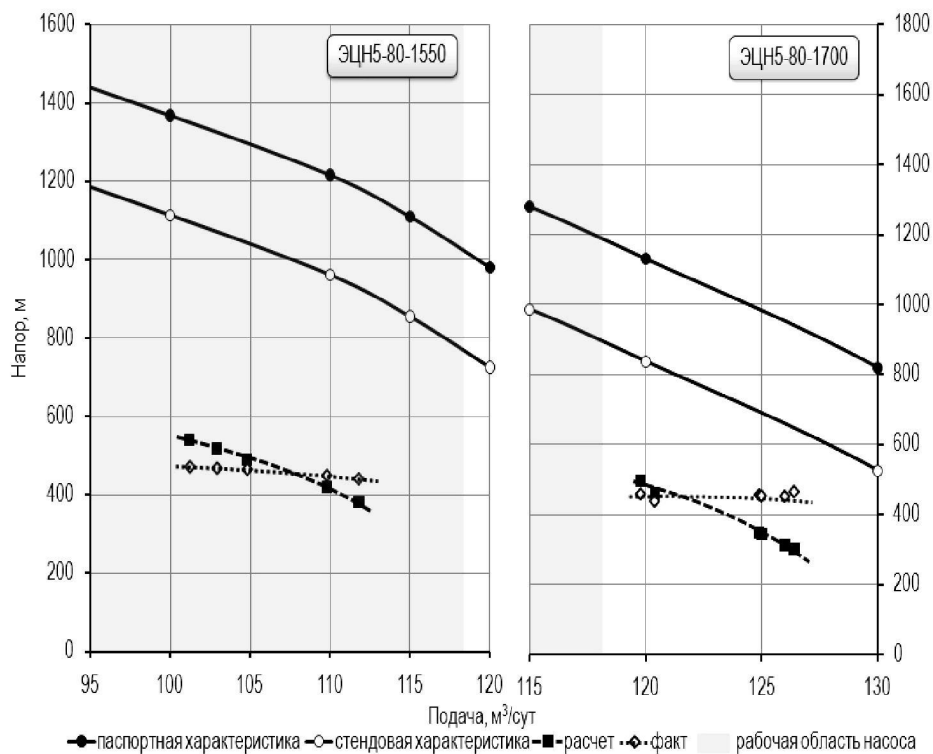


Рис. Характеристики насосов ЭЦН5-80-1550 и ЭЦН5-80-1700

На рисунке по данным измерения дебита скважины с помощью АГЗУ и определения Нэцн по (2) построены характеристики насосов в координатах «напор – подача». Здесь же приведены паспортные и стендовые характеристики [4].

В работе [4] получены зависимости для определения пересчетных коэффициентов, с помощью которых по стендовой характеристике ЭЦН можно построить рабочую характеристику насоса при работе в скважине, когда удельное газосодержание откачиваемой жидкости и обводненность не превышают 10 %.

С помощью зависимостей построен график для определения пересчетного коэффициента  $K_H$  по напору для насосов с номинальным напором 1700 м. Среднее газосодержание откачиваемой жидкости при работе ЭЦН5-80 в скв. № 333 составило 0,055 (табл.), при этом газосодержании пересчетный коэффициент  $K_H = 0,863$ , т.е. в 1,01 раза больше, чем для ЭЦН5-60. С учетом полученного соотношения выполнены расчеты и построена расчетная характеристика для ЭЦН5-80-1700, которая на рисунке показана в виде штриховой линии.

Известно, что с увеличением количества рабочих ступеней ЭЦН влияние свободного газа на работу насоса снижается [1]. С учетом этого пересчетные коэффициенты для насоса ЭЦН5-80-1550 определены путем корректировки соответствующих коэффициентов для ЭЦН5-80-1700:

$$K_{H(1550)} = K_{H(1700)} \frac{1550}{1700}. \quad (3)$$

Расчетная характеристика ЭЦН5-80-1550 также приведена на рисунке. В левой части фактические характеристики насосов оказались ниже расчетных, что связано, очевидно, с дополнительными потерями напора при откачке жидкости с повышенной вязкостью. Вязкость жидкости, определяемая по приведенной в [2] формуле, при обводненности до 10 % не превышает 5 МПа·с, при содержании воды 64 % (скв. № 333) увеличивается до 24 МПа·с. Фактическая вязкость высокодисперсной эмульсии, образующейся в насосе с большим количеством (более 300) рабочих ступеней, может оказаться существенно выше указанной величины. В правой части фактические точки на рабочих характеристиках насосов находятся выше расчетных значений. Вероятно, что при увеличении расхода откачиваемой жидкости, особенно за пределами рабочей зоны характеристики ЭЦН, наблюдается снижение негативного влияния свободного газа на развиваемый напор, что можно объяснить более высокой дисперсностью газожидкостной смеси при увеличении расхода жидкости.

Таблица

## Исходные данные и результаты расчета характеристик насосов и скв. 333 Сибирского месторождения

Типоразмер насоса, глубина подвески ЭЦН	Глубина подвески насоса по вертikalи, м	Давление, МПа				Динамический уровень, м	Обводненность, %	Удельное газосодержание на приеме насоса, д.ед.		Коррект. коэффициенты, д.ед.	Расчетный напор, м	Фактический КПД, %		
		бурфное	затрубное	забойное	на приеме			на выходе	Напор, м				по подаче	по напору
ЭЦН5-80-1550, Н = 1807 м	Ноябрь 2007	2,5	1,6	15,21	11,69	16,32	45	101,2	472	0,056	0,9	0,60	541	18,3
	Январь 2008	2,5	1,6	15,16	11,64	16,23	46,3	102,9	468	0,057	0,9	0,60	517	18,4
	Февраль 2008	2,5	1,6	14,96	11,45	16,01	41,5	104,8	465	0,064	0,9	0,60	489	18,5
	Апрель 2008	2,5	1,6	14,91	11,39	15,8	46	109,8	449	0,062	0,9	0,62	419	18,2
	Май 2008	1,8	1,2	14,70	11,06	15,38	51,1	111,8	441	0,055	0,9	0,62	382	18,0
ЭЦН5-80-1700, Н = 1807 м	Август 2008	2,5	1,6	14,43	10,91	15,21	59,2	120,4	439	0,052	0,95	0,84	459	14,8
	Сентябрь 2008	2,5	1,6	14,23	10,71	15,22	60,5	119,8	459	0,052	0,95	0,88	495	16,2
	Октябрь 2008	2,5	1,6	14,21	10,69	15,27	61,4	126,4	466	0,048	0,95	0,87	300	14,8
	Ноябрь 2008	2,5	1,6	14,21	10,70	15,14	63,9	126	453	0,053	0,95	0,87	313	14,6
	Декабрь 2008	2,5	0,9	14,12	10,60	15,08	64,4	124,9	457	0,053	0,95	0,87	347	14,8
Январь 2009	2,5	0,9	14,13	10,57	15,02	64	125	454	0,050	0,95	0,87	344	14,7	

Работа ЭЦН5-80-1550 в скв. № 333 велась в крайней правой части рабочей зоны характеристики насоса, ЭЦН5-80-1700 – за пределами рабочей зоны. При подачах, превышающих 100 м<sup>3</sup>/сут., полезная мощность при работе насосов составила менее 20 % затрачиваемой мощности, т.е. работа установок ЭЦН в данных условиях характеризуется низкими значениями КПД (табл.).

#### Список литературы

1. Агеев Ш. Р. Российские установки лопастных насосов для добычи нефти и их применение : энциклопед. справ. / Ш. Р. Агеев, Е. Е. Григорян, Г. П. Макиенко. – Пермь : ООО «Пресс-Мастер», 2007. – 648 с.
2. Дроздов А. Н. Технология и техника добычи нефти погружными насосами в осложненных условиях : учеб. пос. / А. Н. Дроздов. – М. : МАКС Пресс, 2008. – 312 с.
3. Мищенко И. Т. Скважинная добыча нефти : учеб. пос. для вузов / И. Т. Мищенко. – М. : Нефть и газ, 2007. – 826 с.
4. Мордвинов В. А. Характеристики погружных электроцентробежных насосов при откачке газожидкостных смесей из скважин / В. А. Мордвинов, М. С. Турбаков, А. В. Лекомцев // Нефтяное хозяйство. – 2010. – № 8. – С. 124–126.

#### Referenses

1. Ageev Sh. R. Rossijskie ustanovki lopastnyh nasosov dlja dobychi nefiti i ih primeneniye : jencikloped. sprav. / Sh. R. Ageev, E. E. Grigorjan, G. P. Makienko. – Perm' : ООО "Press-Master", 2007. – 648 s.
2. Drozdov A. N. Tehnologija i tehnika dobychi nefiti pogruzhnyimi nasosami v oslozhnennyh uslovijah : ucheb. pos. / A. N. Drozdov. – M. : MAKS Press, 2008. – 312 s.
3. Miwenko I. T. Skvazhinnaja dobycha nefiti : ucheb. pos. dlja vuzov / I. T. Miwenko. – M. : Neft' i gaz, 2007. – 826 s.
4. Mordvinov V. A. Harakteristiki pogruzhnyh jelektrocentrobezhnyh nasosov pri otkachke gazozhidkostnyh smesej iz skvazhin / V. A. Mordvinov, M. S. Turbakov, A. V. Lekomcev // Neftjanoe hozjajstvo. – 2010. – № 8. – S. 124–126.

### ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДЕВОНСКИХ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРНОГО ОБРАМЛЕНИЯ КАСПИЯ

*Серебряков Олег Иванович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой, Астраханский государственный университет, 414000, Россия, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: geologi2007@yandex.ru*

*Ушивцева Любовь Франкова, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Астраханский государственный университет, 414000, Россия, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: geologi2007@yandex.ru*

*Серебрякова Оксана Андреевна, аспирант, Астраханский государственный университет, 414000, Россия, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: geologi2007@yandex.ru*

*Алмамедов Ялчин-оглы, аспирант, Астраханский государственный университет, 414000, Россия, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1.*

*На основании геохимических, гидрогеохимических, термобарических исследований показано, что подсолевые глубоко залегающие отложения Прикаспийской впадины обладают достаточно высоким УВ-потенциалом. В различных частях впади-*