

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2023.4.275-281>

EDN VF SRVV

УДК 622.276.031:532.5

О поправке на забойное давление при моделировании «интеллектуальных» скважин

¹Никифоров Г.А., ²Баушин В.В., ¹Никифоров А.И.

¹ИММ ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

²ООО «Импел», Казань, Россия

On downhole pressure correction in modeling of "intelligent" wells

¹G.A. Nikiforov, ²V.V. Baushin, ¹A.I. Nikiforov

¹IMM, Kazan Scientific Center of RAS, Kazan, Russia

²Impel LLC, Kazan, Russia

E-mail: ganikiforov@mail.ru

Аннотация. Оценены потери давления в горизонтальной интеллектуальной скважине, обусловленных работой электроклапанов. Получена аналитическая зависимость, связывающая забойное давление на скважине с давлением в насосно-компрессорной трубе (НКТ). Выполнены расчеты, иллюстрирующие потери давления при протекании жидкости через отверстия электроклапана.

Ключевые слова: интеллектуальная скважина, забойное давление, электроклапан

Для цитирования: Никифоров Г.А., Баушин В.В., Никифоров А.И. О поправке на забойное давление при моделировании «интеллектуальных» скважин // Нефтяная провинция.-2023.-№4(36).-С. 275-281. - DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2023.4.275-281>. - EDN VF SRVV

Abstract. Pressure losses in a horizontal intellectual well due to operation of electrovalves are estimated. Analytical dependence linking bottomhole pressure at the well with pressure in tubing is obtained. Calculations illustrating the pressure losses when the fluid flows through the orifices of the electro-valve have been performed.

Keywords: smart well, bottomhole pressure, electro-valve

For citation: G.A. Nikiforov, V.V. Baushin, A.I. Nikiforov O popravke na zaboynoye davleniye pri modelirovaniy «intellektual'nykh» skvazhin [On downhole pressure correction in modeling of "intelligent" wells]. Neftyanaya Provintsiya, No. 4(36), 2023. pp. 275-281. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2023.4.275-281>. EDN VFSRVV (in Russian)

В последнее время все большее распространение получают так называемые «умные» или «интеллектуальные» скважины. Системы заканчивания таких скважин оснащаются дистанционно управляемым многосекционным оборудованием по регулированию притока жидкости (электрическими клапанами) и датчиками, с помощью которых ведется постоянное наблюдение за давлением и температурой. Электроклапаны позволяют регулировать потоки жидкости в скважину и, при необходимости, отключать высокообводненные участки скважины, не прерывая добычу нефти [1].

Важную роль в принятии решений по регулированию работы скважин отводится моделированию разработки месторождения, при этом необходимо, чтобы модель скважины позволила с достаточной степенью точности рассчитывать давление и потоки жидкости во всех точках пласта. Для этого надо правильно задать в модели условия на скважинах, которые учитывали бы работу установленного на них оборудования [2].

На нижеследующем рисунке приведена схема одной секции «умной» горизонтальной скважины. Скважина может состоять из двух и более секций, разделенных пакерами. Жидкость, поступающая через проволочные противопесочные фильтры или через перфорационные отверстия в секцию скважины между двумя пакерами, при открытом электроклапане попадает в насосно-компрессорную трубу (НКТ) и далее - в систему сбора.

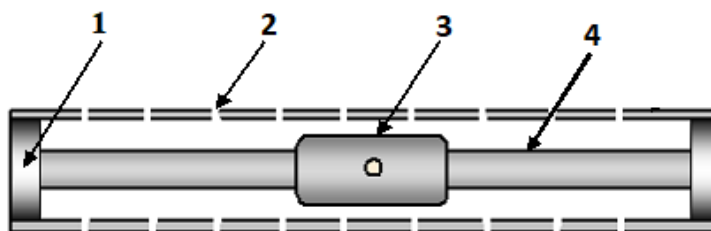


Рис.1. Схема одной секции «умной» скважины: 1 – пакер, 2 – противопесочная сетка, 3 – электроклапан, 4 – НКТ.

Перетекание жидкости через электроклапан в НКТ сопровождается потерями давления. Цель настоящей работы – оценить эти потери.

Будем считать, что жидкость, поступающая в скважину, несжимаема и воспользуемся уравнением Бернулли [3].

В качестве первого сечения возьмем поверхность скважины. Ее площадь будет $A_0 = 2\pi R_c L$, где R_c - радиус скважины, L – длина участка скважины с электроклапаном. За второе сечение возьмем площади отверстий A_k , $k = 1 \div N$, контролируемых клапаном, где N – количество отверстий на электроклапане.

Пренебрегая влиянием гравитационных сил и неравномерностью потока в первом сечении и считая, что в НКТ давление постоянно, уравнение Бернулли для этих сечений будет

$$\frac{P_0}{\rho g} + \frac{V_0^2}{2g} = \frac{P_1}{\rho g} + \sum_{k=1}^N \left(\frac{\alpha V_k^2}{2g} + h_k \right)$$

Здесь V_0 - скорость притока жидкости из пласта в скважину через ее поверхность; P_0 - давление на поверхности скважины; ρ – плотность жидкости; V_k - средняя скорость жидкости в сжатой струйке, поступающей в НКТ через отверстие; P_1 - давление в жидкости, находящейся в НКТ; α – коэффициент неравномерности распределения скоростей во втором сечении (коэффициент Кориолиса); h_k – потери напора, определяемые по формуле Вейсбаха [3]:

$$h_k = \xi \frac{V_k^2}{2g},$$

где ξ - коэффициент местного сопротивления отверстий на электроклапане, зависящий в общем случае от числа Re и конфигурации граничных поверхностей. Для большинства случаев истечения воды из отверстий при диаметре больше 1 см $\xi = 0.04 - 0.06$ [4]. Для ламинарных течений,

имеющих большую неравномерность распределения скоростей по сечению, принимается $\alpha = 2$ [3].

Уравнение Бернулли можно переписать в виде:

$$\frac{P_0}{\rho g} - \frac{P_1}{\rho g} = (\alpha + \xi) \sum_{k=1}^N \frac{V_k^2}{2g} - \frac{V_0^2}{2g}. \quad (1)$$

Расход жидкости, поступающей из пласта через поверхность скважины, определяется по формуле

$$q_0 = A_0 V_0.$$

Расход жидкости, поступающей в НКТ через отверстия, контролируемые электроклапаном, будет

$$q_k = A_k V_k, \quad k = 1 \div N.$$

Выразим скорости через расход и подставим их в уравнение (1), предварительно умножив левую и правую часть на ρg , получим

$$P_0 - P_1 = (\alpha + \xi) \rho \left(\sum_{k=1}^N \frac{q_k^2}{2A_k^2} - \frac{q_0^2}{2A_0^2} \right).$$

В силу несжимаемости жидкости $q_0 = \sum_{k=1}^N q_k$.

Пусть все отверстия одинакового размера, т.е. $A_k = A_1$, соответственно $V_k = V_1$, $k = 2 \div N$. Тогда $q_k = q_0 / N$ и перепад давления между поверхностью скважины и НКТ $\Delta P = P_0 - P_1$, обусловленный перетеканием жидкости в НКТ через отверстия, будет

$$\Delta P = (\alpha + \xi) \rho \frac{q_0^2}{2} \left(\frac{1}{NA_1^2} - \frac{1}{A_0^2} \right).$$

В случае отверстий разного размера также будем считать, что $V_k = V_1$, $k = 2 \div N$. Это предположение оправдано тем, что истечение жидкости из межтрубного пространства в НКТ через все отверстия происходит при одном и том же перепаде давления. Тогда

$$q_k = \frac{A_k}{\sum_{i=1}^N A_i} q_0$$

и

$$\Delta P = (\alpha + \xi) \rho \frac{q_0^2}{2} \left[\frac{N}{\left(\sum_{k=1}^N A_k \right)^2} - \frac{1}{A_0^2} \right].$$

На ниже следующем рисунке показана зависимость перепада давления от количества открытых отверстий N на электроклапане при дебитах скважины 100, 200, 300 и 400 м³/сут. Расчеты выполнены для случая клапана с 8 отверстиями диаметром 1см при $\alpha = 2$, $\xi = 0.05$.

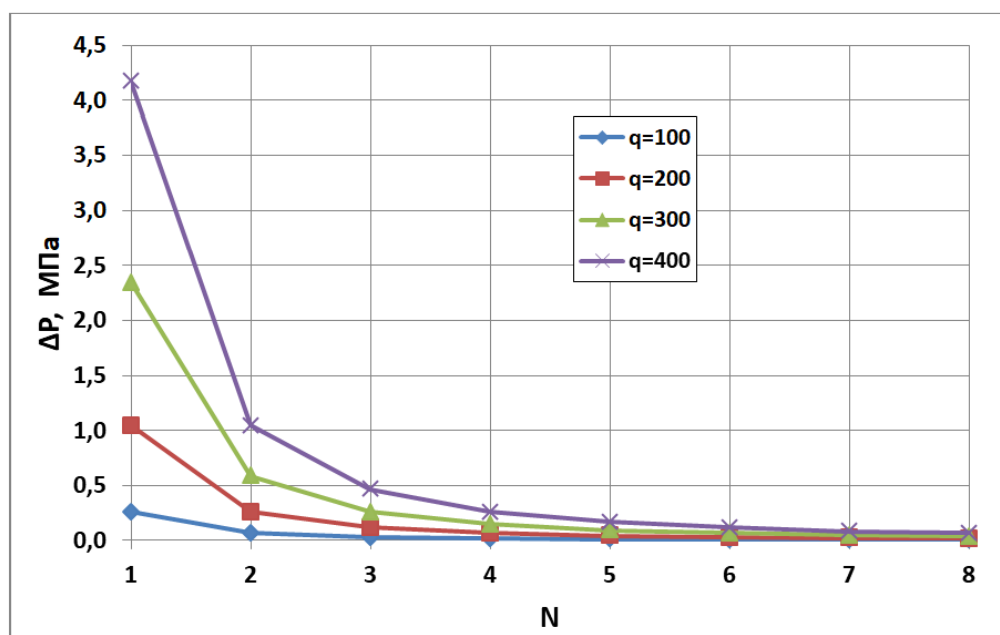


Рис.2. Зависимость перепада давления между поверхностью скважины и НКТ при дебитах 100, 200, 300 и 400 м³/сут

Таким образом, забойное давление, задаваемое при моделировании разработки месторождения «умными» горизонтальными скважинами, в каждой секции скважины должно быть скорректировано на величину ΔP . Следует отметить, что значимые потери давления на электроклапане отмечаются при больших расходах и малом количестве открытых отверстий.

Список литературы

1. Carvajal G., Maucec M., Cullick S. Intelligent Digital Oil and Gas Fields. Concepts, Collaboration, and Right-Time Decisions / December 5, 2017. – 374 p.
2. Holmes, J.,A., Modeling Advanced Wells in Reservoir Simulations, SPE 72493, Distinguished Author Series
3. Моргунов К.П. Гидравлика: Учебник, - СПб.: Изд-во «Лань», 2014. – 288 с.
4. Справочник по гидравлическим расчетам / Под редакцией П.Г. Киселева. – Изд. 4-е, переработ. и доп. М.: Энергия, 1972. – 312 с.

References

1. Carvajal G., Maucec M., Cullick S. Intelligent Digital Oil and Gas Fields. Concepts, Collaboration, and Right-Time Decisions. 2017, 374 p.
2. Holmes, J.,A., Modeling Advanced Wells in Reservoir Simulations, SPE 72493, Distinguished Author Series
3. Morgunov K.P. Hydraulics. St. Petersburg, Lan Publ., 2014. 288 p (in Russian)
4. Kiselev P.G. Hydraulic calculation handbook. Moscow, Energia Publ.,1972, 312 p (in Russian)

Сведения об авторах

Никифоров Григорий Анатольевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, институт механики и машиностроения ФИЦ Казанский научный центр РАН

Россия, 420111, Казань, ул. Лобачевского, 2/31

E-mail: ganikiforov@mail.ru

Баушин Вячеслав Валерьевич, директор ООО «Импел»

Россия, 420111, Казань, ул. Лобачевского, 10/в

E-mail: baushinv@mail.ru

Никифоров Анатолий Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, академик РАН, заведующий лабораторией математического моделирования процессов фильтрации, институт механики и машиностроения ФИЦ Казанский научный центр РАН

Россия, 420111, Казань, ул. Лобачевского, 2/31

E-mail: nikiforov@imm.knc.ru

Authors

G.A. Nikiforov, Ph.D. in Physics and Mathematics, Senior Researcher, FRC Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences

2/31, Lobachevskogo st., Kazan, 420111, Russian Federation

E-mail: ganikiforov@mail.ru

V.V. Baushin, Director LLC «Impel»

10/v, Lobachevskogo st., Kazan, 420111, Russian Federation

E-mail: baushinv@mail.ru

A.I. Nikiforov, Ph.D., Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Head of the Laboratory of computational simulation of hydrogeological processes, Institute of Mechanics and Engineering, FRC Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences
2/31, Lobachevskogo st., Kazan, 420111, Russian Federation
E-mail: nikiforov@imm.knc.ru

Статья поступила в редакцию 26.09.2023

Принята к публикации 20.12.2023

Опубликована 30.12.2023