УДК 622.276.1/4

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПОДБОРА НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЗАВОДНЕНИЯ ПЛАСТОВ

SOME QUESTIONS OF SELECTING PUMPING EQUIPMENT FOR IMPROVING PLANT PLANTS

Захарова Елена Федоровна
кандидат технических наук,
доцент, заместитель заведующего кафедрой
«Разработка и эксплуатация нефтяных
и газовых месторождений»,
Альметьевский государственный нефтяной институт
zakharovaef@yandex.ru

Шайхразиева Ляйсан Равилевна
магистрант,
Альметьевский государственный нефтяной институт
layissan@mail.ru

Zaharova Elena Fedorovna
Ph.D., Associate Professor,
Deputy Head of the Department
«Development and exploitation
of oil and gas fields»,
Almetyevsk State Oil nstitute. Almetyevsk,
zakharovaef@yandex.ru

Shaihrazieva Laysan Ravilevna
Master-student,
Almetyevsk State Oil Institute
layissan@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрен подбор насосного агрегата для совершенствования существующей системы заводнения анализируемого объекта. Для этих целей проведен расчет гидравлических потерь распределительной сети.

Ключевые слова: заводнение, насосное оборудование, гидравлический расчет, скорость потока, потери напора, статический напор.

Annotation. The article deals with the selection of a pump unit for improving the existing waterflooding system of the analyzed object. For this purpose, the hydraulic losses of the distribution network were calculated.

Keywords: water-flooding operation, pumping equipment, hydraulic calculation, flow rate, head loss, static head.

Со временем для многих месторождений характерна тенденция падения базовой добычи, низкая степень выработанности запасов, рост обводненности и, следовательно, увеличение объемов попутно добываемой воды, что в свою очередь приводит к росту издержек на поддержание процесса выработки запасов на существующем уровне. Поэтому для повышения эффективности разработки месторождения и увеличения экономической рентабельности самого процесса следует в максимальной степени использовать потенциал каждой добывающей скважины, что требует повышения качества управления системой заводнения.

Одним из основных элементов системы заводнения является насосное оборудование, характеризующееся такими параметрами как надежность и эффективность. Повысить данные показатели можно, благодаря проведению оптимизации в направлении совершенствования конструкции и отдельных узлов, применению прочных материалов и улучшению системы обслуживания и ремонта оборудования. Авторами [1] отмечено, что для эффективной работы насоса необходимо, чтобы он полностью соответствовал сети по рабочим параметрам и материальному исполнению.

При сложившейся на сегодняшний день системе заводнения основной объем закачки по скважинам производится насосами, расположенными на КНС, и регулирование осуществляется штуцированием потока на скважине, поскольку к насосу может быть подключено значительное число скважин с различными параметрами эксплуатации (устьевое давление, приемистость, коллекторские свойства пласта и т.д.).

Для оптимизации существующей системы заводнения одного из промысловых объектов посредством подбора насосного оборудования проведен гидравлический расчет по методике, изложенной в [2].

Гидравлический расчёт распределительной сети проводим в направлении, противоположном течению жидкости – от нагнетательных скважин к насосу [2]. Разветвлённая сеть разводящих водоводов разбивается на участки, которые в свою очередь разбиваются на линии и ветви.

Участок 1-2-9-10-11-3-7-8-4-5-6 (рис. 1) разбивается на линии и ветви:

- линия 1-2-3-4-5 с ветвями 1-2, 2-3, 3-4, 4-5;
- линия 1-2-3-4-6 с ветвями 1-2, 2-3, 3-4, 4-6;
- линия 1-2-3-7-8 с ветвями 1-2, 2-3, 3-7, 7-8;
- линия 1-2-3-7 с ветвями 1-2, 2-3, 3-7;

- линия 1-2-9-10 с ветвями 1-2, 2-9, 9-10;
- линия 1-2-9-11с ветвями 1-2, 2-9, 9-11.

Расход на ветви 3-4 трубопроводной линии 1-2-3-4-5 будет равен $Q_{i\ c=3-4} = Q_{i\ c=4-5} + Q_{i\ c=4-6} =$ $= 1{,}29$ м^3/ч, расход на ветви 2-3 будет равен $Q_{i\ c=2-3} = Q_{i\ c=3-4} + Q_{i\ c=3-7} = 3{,}79$ м^3/ч, а расход на ветви 1-2 равен $Q_{i\ c=1-2} = Q_{i\ c=2-9} + Q_{i\ c=2-3} = 10{,}25$ м^3/ч. На участке А-1 расход будет равен сумме расходов по водоводам всем водоводам КНС $Q_{i\ c=A-1} = 44{,}83$ м^3/ч.

Зная расходы в каждой ветви трубопроводной линии 1-2-3-4-5, а также тип трубопровода (МПТ), определяем скорость потока воды.

Для ветви 4-5 скорость потока воды определится по формуле (1):

$$V_{в\ i=4-5} = \frac{Q_{i\ c=4-5} \cdot 1{,}1574 \cdot 10^{-5}}{0{,}785 \cdot D^2_{i=4-5}} = \frac{0{,}458 \cdot 1{,}1574 \cdot 10^{-5}}{0{,}785 \cdot 0{,}096^2} = 0{,}018 \text{ м/с}. \quad (1)$$

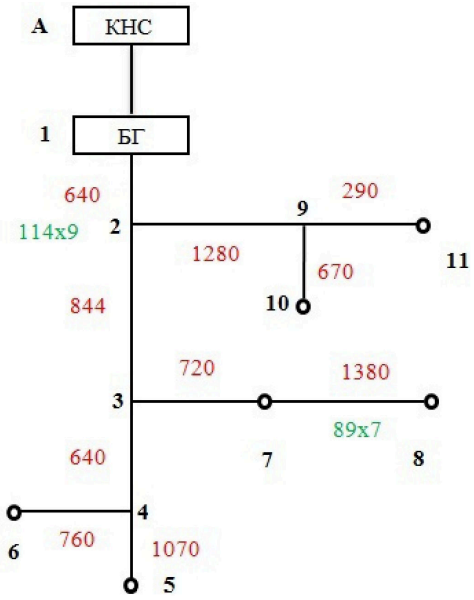

Рисунок 1 – Схема обвязки КНС с распределительной сетью

По формуле (1) определяют скорость потока воды по всем остальным ветвям трубопроводной сети (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты расчета по формуле (1)

Ветвь	Скорость потока, м/с	Ветвь	Скорость потока, м/с
4-5	0,018	3-4	0,050
4-6	0,032	2-3	0,146
7-8	0,026	2-9	0,248
3-7	0,096	1-2	0,394
9-10	0,176	А-1	1,721
9-11	0,072		

Зная конструктивное исполнение и внутренний диаметр трубопроводных ветвей сети, длину и скорость потока воды в них, определяем сопротивление трубопровода (k_i, ч^2/м^5).

Для труб с защитными внутренними покрытиями сопротивление трубопровода ($k_{З.П.i}$ ч^2/м^5) рассчитывается по формуле (2):

В расчете для МПТ коэффициент, учитывающий местные потери в трубопроводе, принимаем равным 1,1.

$$k_{З.П.\ i=5-6} = 1{,}1 \frac{0{,}00111}{D^{5{,}226}_{i=5-6} \cdot V^{0{,}226}_{в\ i=5-6}} \cdot L_{i=5-6} = 1{,}1 \frac{0{,}00111}{0{,}096^{5{,}226} \cdot 0{,}018^{0{,}226}} \cdot 100 = 0{,}052 \text{ ч}^2/\text{м}^5. \quad (2)$$

Потери напора при нагнетании воды в нефтеносный пласт через нагнетательную скважину (H_{yi}, м) по каждой трубопроводной линии распределительной сети определится по формуле(3):

$$H_{y\ i=5-6} = \frac{P_{i=5-6} \cdot 980665}{\rho \cdot g} = \frac{16{,}9 \cdot 980665}{1140 \cdot 9{,}81} = 1481{,}9 \text{ м}. \quad (3)$$

Таблица 2 – Результаты расчета по формуле (2)

Ветвь	Сопротивление трубопровода, ч^2/м^5	Ветвь	Сопротивление трубопровода, ч^2/м^5
4-5	0,052	3-4	0,025
4-6	0,032	2-3	0,026
7-8	0,224	2-9	0,034
3-7	0,024	1-2	0,016
9-10	0,019	А-1	0,00026
9-11	0,010		

Таблица 3 – Результаты расчета по формуле (3)

Ветвь	Потери при нагнетании воды в пласт, м
4-5	1481,9
4-6	1429,3
7-8	1438,1
3-7	1403
9-10	1403
9-11	1473,2

Потери напора от гидростатического противодавления (ΔZ_i м) по каждой трубопроводной линии распределительной сети по формуле(4):

$$\Delta Z = Z_{ki=5-6} - Z_{Hi=5-6} = 290{,}5 - 290 = 0{,}5\,\text{м}\,. \qquad (4)$$

Таблица 4 – Результаты расчета по формуле (4)

Ветвь	Потери от гидростатического противодавления, м
4-5	0,5
4-6	10,9
7-8	–5,5
3-7	–0,9
9-10	16,4
9-11	6,5

Потери напора от нагнетательной скважины 5 до БГ по трубопроводной линии распределительной сети 1-2-3-4-5 (с учетом формул 2, 3, 4) определятся по уравнению (5):

$$H_{Б.Г.\ i=5-6} = 1481{,}9 + 0{,}5 + (0{,}052 \cdot 0{,}458^2 + 0{,}025 \cdot 1{,}29^2 + 0{,}026 \cdot 3{,}79^2 + 0{,}394 \cdot 10{,}25^2 = 1484\ \text{м}\,. \qquad (5)$$

Таблица 5 – Результаты расчета по формуле (5)

Ветвь	Потери напора от НС до БГ, м
4-5	1484
4-6	1442
7-8	1435
3-7	1404
9-10	1423
9-11	1483

Для дальнейшего расчета принимается наибольшее значение из рассчитанных напоров по всем трубопроводным линиям КНС. Наибольшее значение получено для ветви 1 КНС $H_{БГmax}$ = 1484 м.

Напор рассчитываемой трубопроводной сети определится по формуле (6):

$$H_c = H_{БГ\,max} - \frac{Pl_i \cdot 980665}{\rho \cdot g} + (Z_{БГ} - Z_{КНС}) + k_{i=A-1} Q_{i=A-1}^2 = 1484 - \frac{1{,}2 \cdot 980665}{1140 \cdot 9{,}81} + (290 - 290) +$$

$$+ 0{,}00026 \cdot 44{,}83^2 = 1380\ \text{м}\,. \qquad (6)$$

Сопротивление трубопроводной сети *k* в соответствии с рисунком 1 определяется в следующей последовательности.

Ветви сети 4-5 и 4-6 соединены параллельно, а примыкающая к ним ветвь 3-4 последовательно. Соединение этих ветвей последовательно-параллельное.

$$k_1 = k_{i=3-4} + \left(\frac{1}{\sqrt{k_{i=4-5}}} + \frac{1}{\sqrt{k_{i=4-6}}} \right)^{-2} = 0{,}025 + \left(\frac{1}{\sqrt{0{,}052}} + \frac{1}{\sqrt{0{,}032}} \right)^{-2} = 0{,}035\ \text{ч}^2/\text{м}^5\,.$$

Соединение участка из ветвей 3-4, 4-5, 5-6 с ветвями 3-8 и 2-3 параллельно-последовательное.

$$k_2 = k_{i=2-3} + \left(\frac{1}{\sqrt{k_1}} + \frac{1}{\sqrt{k_{i=3-8}}} \right)^{-2} = 0{,}026 + \left(\frac{1}{0{,}035} + \frac{1}{\sqrt{0{,}032 + 0{,}224}} \right)^{-2} = 0{,}04 \text{ ч}^2/\text{м}^5 .$$

Соединение участка из ветвей 9-10 и 9-11с ветвью 2-9 параллельно-последовательное.

$$k_3 = k_{i=2-9} + \left(\frac{1}{\sqrt{k_{i=9-10}}} + \frac{1}{\sqrt{k_{i=9-11}}} \right)^{-2} = 0{,}034 + \left(\frac{1}{0{,}019} + \frac{1}{\sqrt{0{,}01}} \right)^{-2} = 0{,}038 \text{ ч}^2/\text{м}^5 .$$

Соединение участка из ветвей 2-3, 3-4, 4-5, 4-6, 3-7, 7-8 с ветвями 2-9, 9-10, 9-11 и 1-2 параллельно-последовательное.

$$k_4 = k_{i=1-2} + \left(\frac{1}{\sqrt{k_3}} + \frac{1}{\sqrt{k_2}} \right)^{-2} = 0{,}016 + \left(\frac{1}{\sqrt{0{,}038}} + \frac{1}{\sqrt{0{,}04}} \right)^{-2} = 0{,}025 \text{ ч}^2/\text{м}^5 .$$

Соединение водоводов 1, 2 и 3 параллельное.

$$k_5 = \left(\frac{1}{\sqrt{k_{13}}} + \frac{1}{\sqrt{k_{14}}} + \frac{1}{\sqrt{k_{15}}} \right)^{-2} = \left(\frac{1}{\sqrt{0{,}025}} + \frac{1}{\sqrt{0{,}033}} + \frac{1}{\sqrt{0{,}024}} \right)^{-2} = 0{,}003 \text{ ч}^2/\text{м}^5 .$$

Сопротивление трубопроводной сети к определится по формуле (7):

$$k = k_{i=A-1} + k_5 = 0{,}00026 + 0{,}003 = 0{,}0032 \text{ ч}^2/\text{м}^5 . \quad (7)$$

Из уравнения (8) определяем статический напор (H_{cm}, м):

$$H_{cm} = H_c - kQ_{i=A-1}^{2} = 1380 - 0{,}0032 \cdot 44{,}83^2 = 1373 \text{ м} . \quad (8)$$

На основании полученных данных построена напорная характеристика трубопроводной сети по КНС (рис. 2).

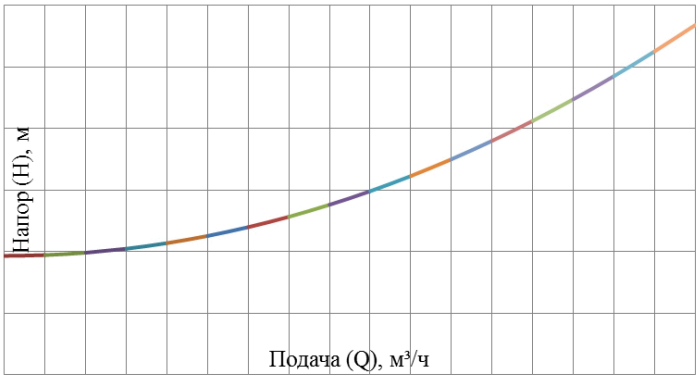

Рисунок 2 – Напорная характеристика трубопроводной сети

В результате проведенного гидравлического расчета определен статический напор, равный 1373 м, и построена напорная характеристика трубопроводной сети КНС для дальнейшего подбора насосного оборудования с целью совершенствования существующей системы заводнения.

Установлено, что оптимальным для анализируемых условий является применение насоса СИН-50. Результаты подбора подтверждены результатами ТЭО, согласно которому срок окупаемости составит менее 4 лет, а ИДД3 – больше 1,4. Для рекомендуемого типоразмера удельный расход электроэнергии составит 4,5 кВт/м^3.

Литература:

1. Чикин В.В., Нилов И.И., Исламов А.Н. и др. Критерии выбора оптимального насосного оборудования для повышения энергоэффективности системы поддержания пластового давления. – М. : Изд-во «Нефтяное хозяйство», 2015. – С. 71–73.

2. Коллектив авторов. Учебное пособие «Современные технологии поддержания пластового давления на примере ОАО «Татнефть» / под редакцией М.А. Абрамова. – Бугульма : «ТатНИПИнефть», 2011. – 877 с.

References:

1. Chikin V.V., Nilov I.I., Islamov A.N., etc. Criteria of the choice of the optimum pump equipment for increase in energy efficiency of system of maintenance of reservoir pressure. – M. : Oil Economy publishing house, 2015. – P. 71-73.

2. Group of authors. The manual «Modern technologies of maintenance of reservoir pressure on the example of JSC «Tatneft» / under M.A. Abramov's edition. – Bugulma : Tatnipineft, 2011. – 877 p.