



УДК 622.276

МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА И ТИПОРАЗМЕРА ШТАНГОВОНАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

METHOD OF DESIGNING OPTIMAL OPERATION PRACTICES AND ROD PUMPING EQUIPMENT

Казетов Сагидулла Ибатуллович

аспирант,
Российский государственный университет
нефти и газа имени И.М. Губкина
s.kazetov@gmail.com

Kazetov Sagidulla Ibatulloevich
Post-Graduate Student,
Gubkin Russian State University
of Oil and Gas
s.kazetov@gmail.com

Аннотация. Эффективность эксплуатации добывающего фонда скважин определяется выбором обоснованного технологического режима. В работе представлен метод проектирования оптимального технологического режима и оборудования скважин, эксплуатируемых штанговыми насосными установками. Задача подбора насосного оборудования и режима откачки решается на основе критериев максимизации дебита скважины и минимизации удельных затрат энергии на добычу нефти. Решение поставленной задачи базируется на использовании математической модели, описывающей внутрискважинные процессы при совместной работе системы пласт-насос-лифт.

Annotation. The efficiency of operation of the production well is determined by the choice of a reasonable technological regime. The paper presents a method for designing the optimal operation practices and equipment of wells operated by sucker rod pumps. The task of selecting pumping equipment and pumping mode is decided on the basis of the criteria for maximizing well production and minimizing the specific energy consumption for oil production. The solution of this problem is based on the use of a mathematical model describing the downhole processes in the joint operation of the system of the pump-lift-lift.

Ключевые слова: добывающая скважина, технологический режим эксплуатации, штанговая насосная установка, коэффициент подачи.

Keywords: production well, technological operation mode, sucker rod pump unit, volume efficiency.

Успешная разработка нефтяных месторождений в значительной степени зависит от правильного решения ряда промысловых задач, одной из которых является расчет оптимального технологического режима добывающего фонда скважин, значительную часть которого эксплуатируется механизированным способом, с применением установок скважинного штангового насоса (УСШН). Задача выбора оптимального технологического режима и насосного оборудования является достаточно сложной, так как включает в себя учет ряда геолого-технологических, энергетических и экономических факторов. Для решения поставленной задачи разработана математическая модель, описывающая внутрискважинные процессы при совместной работе системы пласт-насос-лифт. Модель позволяет среди множества различных режимов работы насосного оборудования найти оптимальную область, индивидуальную для каждой скважины. В качестве критериев оптимизации может рассматриваться максимизация дебита скважины и минимизация удельных затрат энергии на добычу скважинной продукции.

Расчет максимально возможных отборов жидкости из скважины при сохранении достаточной надежности оборудования определяется условием совместной работы системы [1]:

$$\begin{cases} Q_{пл} = f(K_{пр}, P_{пл}, P_{заб}, P_{нас}) \\ Q_n = g(H, \Delta l, q, \eta) \end{cases}, \quad (1)$$

где $Q_{пл}$ – приток жидкости из пласта; $K_{пр}$ – коэффициент продуктивности скважин; $P_{пл}$ – пластовое давление; $P_{заб}$ – забойное давление; $P_{нас}$ – давление насыщения нефти газом; Q_n – фактическая подача насоса; H – глубина спуска насоса по вертикали; Δl – удлинение ствола скважины в месте подвески насоса (для наклонных скважин); q – теоретическая подача насоса; η – коэффициент подачи насоса.

Для прогнозирования дебита скважины решается систему уравнений (1), первое из которых описывает приток жидкости из пласта, а второе – подачу насосной установки. Значительную сложность при решении системы (1) представляет второе уравнение, поскольку расчет коэффициента по-



дачи штанговой насосной установки по известным теоретическим зависимостям в промысловых условиях часто бывает невозможным из-за отсутствия или недостаточной точности необходимых исходных данных [2].

Поэтому для надежного прогнозирования подачи насоса с достаточной для практики точностью рекомендуется учесть не поддающиеся расчету объемные потери на основании статистических данных по скважинам залежи. На основе анализа существующих зависимостей предложено использовать эмпирическую модель для расчета коэффициента подачи насоса:

$$\eta = \frac{p_{пр}}{0.1\alpha + \beta p_{пр}}, \tag{2}$$

где $p_{пр}$ – давление на приеме насоса, α и β – эмпирические коэффициенты, индивидуальные для каждого месторождения.

Пример графического решения системы уравнений (1) для трех гипотетических скважин с одинаковыми пластовыми давлениями и различными коэффициентами продуктивности представлен на рисунке 1.

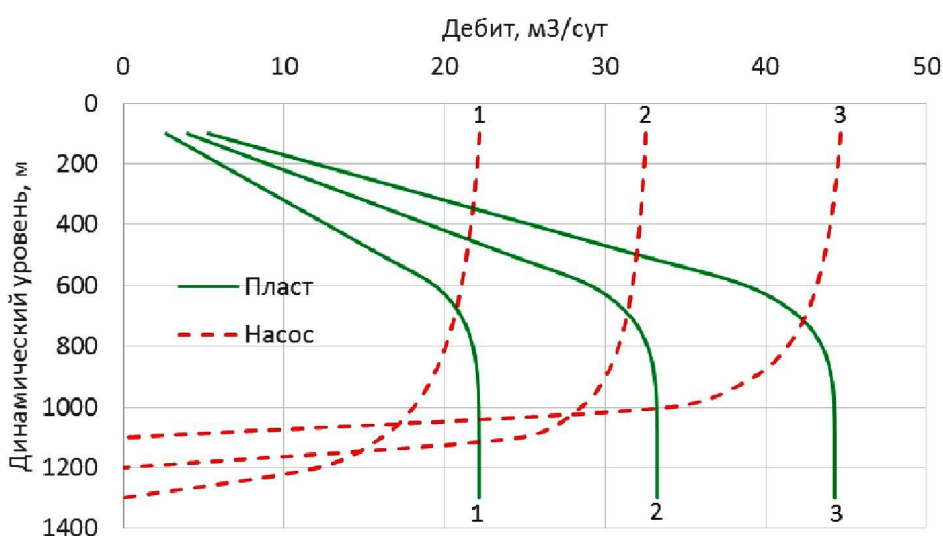


Рисунок 1 – Диаграмма Q-N совместной работы пласта и насосной установки

Выбор режима откачки и диаметра насоса базируется на условии равенства подачи насоса и притока жидкости из пласта:

$$Q_{пл} = Q_n = \eta(p_{пр})Q_{теор} = 1440F_{пл}Sm(p_{пр}), \tag{3}$$

где $F_{пл}$ – площадь поперечного сечения плунжера, S – длина хода полированного штока, n – число качаний; а также с учетом критерия: заданная подача насоса обеспечивается наименьшим диаметром насоса, наибольшей длиной хода станка-качалки и наименьшим числом качаний.

После определения параметров откачки производится расчет штанговой колонны. Основная задача конструирования штанговой колонны сводится к определению количества ступеней, их длин и диаметров. Выбор конструкции ступенчатой штанговой колонны производится на основе расчета и анализа напряжений. При проектировании многоступенчатой колонны определяются максимальные напряжения в верхней точке каждой ступени, которые приравниваются друг другу (равнопрочная штанговая колонна) [3]:

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_i < [\sigma]. \tag{4}$$

Для выбора наиболее рационального технологического режима с точки зрения энергетических затрат необходимо произвести расчет величины потребляемой энергии. Задача расчета удельного потребления электроэнергии УСШН представляется достаточно сложной, поскольку на величину потребляемой электроэнергии оказывает влияние большое число факторов, действующих как в подземной части насосной установки, так и в наземной её части. Мощность, потребляемая двигателем СК, расходуется на выполнение полезной работы по подъему жидкости на поверхность и на покрытие



потерь мощности в подземном и наземном оборудовании. В общем случае выражение для расчета полной мощности, потребляемой установкой, определяется как [4]:

$$P = P_{\text{ПМ}} + \Delta P_{\text{ТР.Г}} + \Delta P_{\text{ТР.ПЛ}} + \Delta P_{\text{КЛ}} + \Delta P_{\text{СК}} + \Delta P_{\text{ЭД}}, \quad (5)$$

где $P_{\text{ПМ}}$ – полезная мощность, расходуемая на подъем скважинной жидкости; $\Delta P_{\text{КЛ}}$ – потери мощности в клапанах насоса; $\Delta P_{\text{ТР.Г}}$ – мощность, расходуемая на преодоление гидродинамического трения штанг; $\Delta P_{\text{ТР.ПЛ}}$ – потери мощности на трение плунжера в цилиндре насоса; $\Delta P_{\text{СК}}$ – потери мощности в элементах СК; $\Delta P_{\text{ЭД}}$ – потери мощности в электродвигателе.

Путем итеративного перебора различных вариантов диаметра насоса, длины хода и числа качаний производится расчет режима с минимальным значением удельной потребляемой энергии:

$$W_{\text{уд}} = \frac{P}{Q_{\text{T}} H_{\text{дин}}}, \quad (6)$$

где $Q_{\text{T}} = \rho Q$ – массовая подача насосной установки, $H_{\text{дин}}$ – глубина динамического уровня.

Таким образом, предложен метод расчета оптимального технологического режима и подбора штангового насосного оборудования скважин, базирующийся на критериях максимизации дебита скважины и минимизации удельных затрат энергии на добычу скважинной продукции.

Литература:

1. Уразаков К.Р., Здолник С.Е., Нагуманов М.М. и др. Справочник по добыче нефти. –СПб. : Недра, 2012. – 672 с.
2. Смольников С.В., Топольников А.С., Уразаков К.Р., Бахтизин Р.Н. Методы защиты насосного оборудования для добычи нефти от механических примесей. – Уфа : Изд-во «Нефтегазовое дело», 2010. – 42 с.
3. Уразаков К.Р. Механизированная добыча нефти : Сборник изобретений. – Уфа : Изд-во «Нефтегазовое дело», 2010. – 329 с.
4. Гилаев Г.Г., Бахтизин Р.Н., Уразаков К.Р. Современные методы насосной добычи нефти. – Уфа : Восточная печать, 2016. – 410 с.

References:

1. Urazakov K.R., Zdolnik S.E., Nagumanov M.M. et al. Reference book on oil production. – SPb : Nedra, 2012. – 672 p.
2. Smolnikov S.V., Topolnikov A.S., Urazakov K.R., Bakhtizin R.N. Methods of protection of the pump equipment against mechanical impurity. – Ufa : Publishing house «Neftegazovoe delo», 2010. – 42 p.
3. Urazakov K.R. Mechanized oil production (Collection of Inventions). – Ufa : Publishing house «Neftegazovoe delo», 2010. – 329 p.
4. Gilayev G.G., Bakhtizin R.N., Urazakov K.R. Modern methods of pumping oil production. – Ufa : Publishing house «Vostochnaya pechat», 2016. – 410 p.