

ТЕХНОЛОГИИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ НАСОСАХ: РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОБРАТНЫХ КЛАПАНОВ

TECHNOLOGIES OF POWER SAVINGS IN OIL-EXTRACTING PUMPS: DEVELOPMENT A TECHNIQUE
OF MEASUREMENT HYDRAULIC RESISTANCE OF RETURN VALVES

УДК 622.276

Е.В. РЫЖОВ

к.т.н. генеральный директор ООО «РАМ»

Юбилейный, МО
mail@ramtech.su

E.V. RYZHOV

Candidate of Engineering Sciences, general director of LLC «RAM»

Yubileinyi, MO

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

гидравлическое сопротивление, число Рейнольдса, вязкая (рабочая) жидкость, потеря давления.

KEYWORDS:

hydraulic resistance, Reynolds's number, a viscous (working) liquid, pressure loss

В данной работе представлены результаты исследования гидравлических характеристик обратных клапанов, предназначенных для перекачки специальных жидкостей в открытом состоянии. Задача отыскания гидравлических характеристик клапанов решается с помощью специальных методов математического моделирования с применением пакетов прикладных программ и путем инженерных расчетов с применением справочной литературы на основе апробированных инженерных методов расчета. В работе представлена методика определения экономического эффекта при использовании клапанов золотникового типа вместо шариковых, позволяющая оценить разницу в затратах ресурсов при сравнении работы клапанов различного типа.

In this work results of research hydraulic characteristics of the return valves intended for transfer special liquids abroad are presented. The task of search hydraulic characteristics of valves are decide with special methods of mathematical modeling with application of packets applied programs and by engineering calculations with application of reference books on the basis of the approved engineering methods of calculation. In work the methodology of determination economic benefit is presented at use slide valves instead ball, allowing to estimate a difference in costs of resources at comparison work valves of various types.

ООО «РАМ» разработана и предлагается к реализации методика измерения гидравлического сопротивления обратных клапанов различной конструкции для обсадных труб нефтедобывающих скважин и золотниковых клапанов (рис.1) для погружных насосов. Определение потерь энергии на преодоление гидравлического сопротивления является определяющим фактором в разработке энергоэффективного оборудования для нефтедобычи.

Методика основана на принятом в настоящее время в науке и технике подходе к определению сил гидравлического сопротивления, возникающих при движении вязкой жидкости по каналам и трубам, с использованием методов теории подобия и физического моделирования.

Определяющим критерием подобия в данном случае будет число Рейнольдса, а условием подобия натурного (при течении нефти) и модельного процессов является равенство чисел Рейнольдса для натуре и модели во всем исследуемом диапазоне изменения расходов и физических свойств пластовой нефти.

При движении реальной (вязкой) жидкости по трубам и каналам часть полного давления, обеспечивающего перемещение этой жидкости, должна затрачиваться на преодоление сил гидравлического сопротивления, возникающего в результате взаимодействия жидкости с внутренней поверхностью труб и установленной внутри труб различной арматурой. Эти потери полного давления обусловлены необратимым переходом механической энергии (работы сил гидравлического сопротивления) в теплоту. Поэтому под гидравлическим сопротивлением (или гидравлическими потерями, что одно и то же) понимают величину, равную безвозвратной потере полного давления на данном участке трубы или на данном элементе установленной в трубе

арматуры, который представляет собой препятствие для перемещения жидкости.

В случае с внутритрубной арматурой, представляющей препятствие для свободного перемещения жидкости, ее гидравлическое сопротивление принято представлять в безразмерном виде с использованием так называемого коэффициента местного гидравлического сопротивления ζ_m , который находят как отношение потерь полного давления Δp_m на данном элементе установленной в трубе арматуры к скоростному (динамическому) давлению на входе в этот элемент, то есть:

$$\zeta_m = \frac{2\Delta p_m}{\rho \cdot u^2}$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³,
 u – скорость потока на входе в элемент внутритрубной арматуры, м/с.

В нашем случае в качестве элементов внутритрубной арматуры, представляющих собой препятствие для перемещения жидкости, выступают три изделия, коэффициенты сопротивления которых требуется определить:

- золотниковый обратный клапан КОЗ-73 «Норма-73»;
- золотниковый всасывающий клапан «Норма-44» для штангового глубинного насоса (ШГН);
- шаровой всасывающий клапан.

При этом коэффициенты сопротивления клапана «Норма-44» и шарового клапана следует определять в сборке с корпусом ШГН.

Методика измерения гидравлического сопротивления клапанов КОЗ-73 «Норма-73», золотникового всасывающего клапана «Норма-44» и шарового всасывающего клапана для ШГН должна выглядеть следующим образом.

На гидравлическом стенде устанавливают испытываемое изделие и с помощью технологического стендового оборудования

задают требуемое значение расхода рабочей жидкости (технической воды по ОСТ 92-0908-80) в определенных диапазонах. В процессе испытаний изделия, измеряют фактический расход воды и потери полного давления Δp_m на проливаемом клапане. Испытания для фиксированного значения расхода повторяют не менее 5 раз, и результаты испытаний заносят в протокол.

В ходе выполнения расчетов по определению гидравлических характеристик обратных клапанов установлено, что обратный клапан золотникового типа КОЗ-73 имеет меньший коэффициент гидравлического сопротивления, чем обратный клапан шарикового типа АКОШ-73 во всем диапазоне изменений чисел Рейнольдса (рис. 2).

В среднем коэффициент гидравлического сопротивления клапана АКОШ-73 в 1,3 – 1,5 раза больше, чем у КОЗ-73, соответственно и потери напора (давления) на клапане типа КОЗ-73 будут меньше.

Методика определения экономического эффекта при использовании клапанов золотникового типа вместо шариковых.

В соответствии с теорией гидравлики потери напора на местном гидравлическом сопротивлении определяются по формуле:

$$h_m = \zeta \frac{V^2}{2g}$$

где h_m представляет собой потерю удельной мощности потока жидкости на местном сопротивлении, под удельной мощностью понимается значение мощности отнесенное к единице веса жидкости. Тогда потеря мощности на конкретном гидравлическом сопротивлении будет определяться следующим выражением: ►

$$\Delta N = h_m \cdot \gamma \cdot Q = h_m \cdot \rho \cdot g \cdot Q = \zeta \frac{\rho V^3}{2} S$$

где S – характерная площадь сечения, по которому определяется средняя скорость.

Если оценивать снижение потерь мощности при прокачивании жидкости через гидравлическое сопротивление, то оно будет определяться по следующей формуле:

$$\Delta N = (\zeta_1 - \zeta_2) \frac{\rho V^3}{2} S$$

где ζ_2 – коэффициент гидравлического сопротивления клапана типа КОЗ-73; ζ_1 – коэффициент гидравлического сопротивления клапана АКОШ-73.

Из формулы видно, что снижение потерь мощности для заданной жидкости определяется разностью значений коэффициентов гидравлических сопротивлений, а также скоростью протекания жидкости через это гидравлическое сопротивление. Выполним оценку снижения затрат мощности и энергии при замене клапана АКОШ-73 на клапан КОЗ-73: используем жидкость со следующими параметрами – плотность жидкости 1000 кг/м³, вязкость 10 мм²/с, расход 250 м³/сут.

В этом случае потери давления на клапанах составят:

- АКОШ-73 – 5230,454 Па,
- КОЗ-73 – 4059,839 Па.

Дополнительные затраты мощности на преодоление гидравлического сопротивления в АКОШ-73, по сравнению с КОЗ-73: $\Delta N = 2,3$ Ватт.

Дополнительные затраты энергии составят соответственно:

- За 1 час работы: 8,280 кВт час.
 - За 1 сутки работы: - 198,72 кВт час.
- (если суточный расход жидкости будет выше, то и дополнительные затраты энергии возрастут).

Известно, что уменьшение коэффициента гидравлического сопротивления элемента гидравлической сети приводит к изменению гидравлической характеристики всей гидравлической системы – она становится более пологой. Это приводит к тому, что рабочая точка системы смещается в область более высоких расходов. Следовательно, установка клапана с меньшим сопротивлением может привести к увеличению расхода жидкости в системе и как следствие к экономии затрат электроэнергии.

$\Delta N = \rho \Delta Q = \rho_{нас} \times (Q_2 - Q_1)$, где $\rho_{нас}$ – напор насоса в области рабочей точки, Па.

Несмотря на то, что давление насоса меняется при смещении рабочей точки, его относительное изменение будет невелико. Определение величины положительного эффекта должно определяться в каждом конкретном случае, так как гидравлическая характеристика будет зависеть от глубины, с которой осуществляется перекачка жидкости, от которой зависит как высота подъема, так и величина непосредственно гидравлического сопротивления трубопровода.

В качестве примера можно привести расчет сэкономленной энергии при использовании насоса, который перекачивает воду из скважины глубиной 500 м. Считаем, что в качестве местных гидравлических сопротивлений в системе присутствует только обратный клапан. Рассчитывалась гидравлическая характеристика трубопроводов при установке клапанов КОЗ-73 и АКОШ-73 по формуле:

$$h_w = \lambda \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g} + \zeta_{кл} \frac{V^2}{2g}$$

Где l – глубина, с которой осуществляется перекачка жидкости.

Пересечение осуществляется в точке, соответствующе суточному расходу жидкости 57,3 м³/сут. Так как изменение потерь напора не велико и составляет в данной точке всего 0,00081 м, расчет изменения суточного расхода определим по градиенту изменения напорной характеристики насоса. Так, при увеличении производительности насоса с 50 до 60 м³/сут, напор насоса уменьшается с 525 м, до 470 м. В этом случае градиент изменения напора при изменении подачи насоса на 1 м³/сут. составит - 5,5 м/(м³/сут.)

Отсюда можно рассчитать увеличение производительности насоса, как отношение изменения напора при установке другого клапана, на градиент изменения напорной характеристики насоса в этой области

$$\Delta Q = -0,0081 / -5,5 = 0,000147 \text{ м}^3/\text{сут}$$

В итоге экономия энергии составит.

$$\Delta N = \rho \Delta Q = \rho_{нас} \times (Q_2 - Q_1) = 502 / 9,8 \cdot 100000 \cdot 0,000147 = 45,637 \text{ кВт} \cdot \text{сут.} \blacksquare$$

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Эйгенсон А.С., Шейх-Али Д.М. Расчёт плотности и вязкости нефти по данным поверхностной дегазации. //Геология нефти и газа. 1989. №11.
2. Гухман А.А. Введение в теорию подобия. – М.: Высшая школа, 1963. – 367 с.
3. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Наука, 1972. – 720 с.
4. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.:

Машиностроение, 1975. – 559 с.

5. Датчик давления МЕТРАН-100. Руководство по эксплуатации СПГК.5070.0-00.00РЭ. Версия 4.4. Челябинск, 2007.
6. ГОСТ 8.586.2-2005. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 2. Диафрагмы. Технические требования.
7. ГОСТ 8.586.5-2005. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 5. Методика выполнения измерений.
8. РД 50-453-84. Методические указания. Характеристики погрешности средств измерений в реальных условиях эксплуатации. Методы расчета. М.: Госкомитет СССР по стандартам, 1985.
9. Линник Ю. В., Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений, 2 изд., М., 1962.
10. А.С. Юрьев, И.Г. Грачев, В.М. Низовцев, В.И. Щербаков, С.Ю. Пирогов, В.В. Типаев, К.В. Никитин, Аэрогидродинамика летательных аппаратов, Ч. 2, Гидравлика: учебник, СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2008. – 376 с.
11. И. Е. Идельчик, Справочник по гидравлическим сопротивлениям, М.: Госэнергоиздат, 1960. – 464 с.
12. А.С. Юрьев, И.Г. Грачев, В.М. Низовцев, С.Ю. Пирогов, Н.П. Савищенко, А.Н. Соколова, Справочник по расчетам гидравлических и вентиляционных систем, СПб.: АНО НПО «Мир и семья», 2002. – 1154 с.

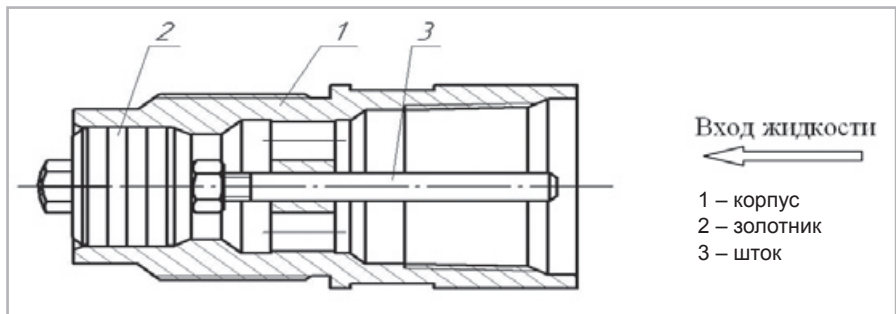


Рис.1 Золотниковый клапан

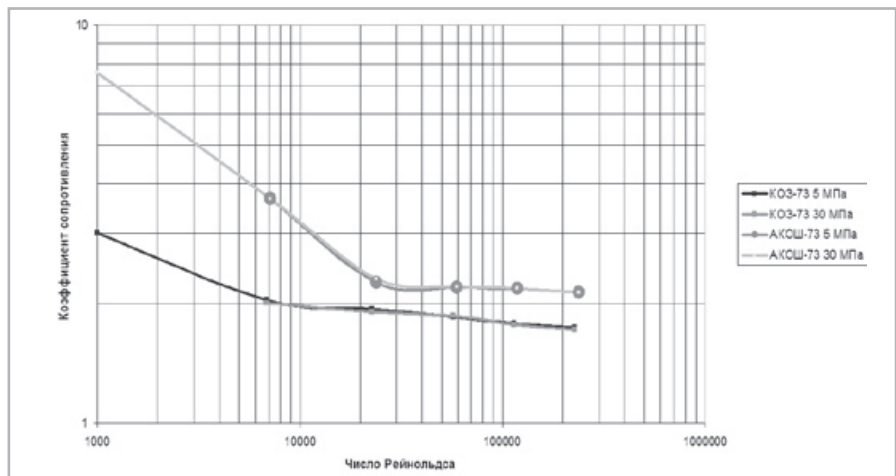


Рис.2 Зависимость коэффициента сопротивления от числа Рейнольдса при вязкости 15 мм²/с