

Расчет и подбор оборудования для погружного электроцентробежного насоса

Введение

Промышленностью выпускаются насосы для отбора до $1000 \text{ м}^3/\text{сут}$ жидкости при напоре 900 м. Содержание в добываемой жидкости сероводорода – до 0,01 г/л; для установок коррозионно-стойкого исполнения – 1,25 г/л; максимальное содержание попутной воды – 99%, свободного газа на входе в насос – не более 25% (по объему), а для установок с модулями-газосепараторами – 55%. Максимальное содержание твердых частиц – 0,1 г/л, а для насосов в износостойком исполнении – до 5 г/л.

Шифр: ЭЦН-5А-360-600 - электроцентробежный насос для обсадной колонны 5 дюймов (диаметром 146 мм), подача – $360 \text{ м}^3/\text{сут}$, напор – 600 м вод.ст. ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$).

Диаметры эксплуатационных колонн в обозначении группы ЭЦН соответствуют:

- 4 – обсадная колонна диаметром 127 мм с внутренним диаметром 112 мм;
- 5 - обсадная колонна диаметром 140 мм с внутренним диаметром 121,7 мм;
- 5А - обсадная колонна диаметром 146 мм с внутренним диаметром 130 мм;
- 6 и 6А - обсадная колонна диаметром 168 мм с внутренним диаметром 144,3 и 148,3 мм соответственно.

В соответствии с группами ЭЦН диаметры корпусов насосов составляют 86 мм, 92 мм, 103 мм, 114 мм и 137 мм. Внутренний диаметр корпусов насосов соответственно равен 74 мм, 80 мм, 90 мм, 100 мм и 120 мм.

В последнее время промышленностью освоен выпуск насосов в модульном исполнении, что позволяет более точно подобрать насос для широкого диапазона параметров скважин. В этом случае в обозначение насоса вводится буква «М». Предусмотрено изготовление 55 типоразмеров ЭЦНМ.

1. Определение погружения насоса под динамический уровень

Наиболее затруднительным является определение глубины погружения насоса h под динамический уровень при наличии значительного газового фактора.

Глубина погружения насоса h под динамический уровень входит составной частью в формулу (2.8), а часть потерь напора на трение определяют по формуле (2.7).

Недостаточное погружение насоса под динамический уровень, где уже появляется в значительных количествах свободный газ, приводит к снижению подачи насосом жидкости или к срыву подачи при блокировке ЭЦН газовым пузырем. Наоборот, чрезмерное погружение насоса под динамический уровень

приводит к росту давления и температуры, снижающих эксплуатационные характеристики кабеля и электродвигателя, к интенсивному поступлению песка в насос при небольшом расстоянии от забоя и неоправданному увеличению длины НКТ и кабеля. В технических характеристиках ЭЦН свободное газосодержание β на приеме не превышает 0,25.

2. Выбор насосно-компрессорных труб

Диаметр насосно-компрессорных труб (НКТ) определяется их пропускной способностью и возможностью совместного размещения в скважине труб с муфтами, насоса и круглого кабеля. Выбирается диаметр НКТ по дебиту скважины, исходя из условия, что средняя скорость потока в трубах должна быть в пределах $V_{cp} = 1,0 - 1,6 \text{ м/с}$, причем меньшее значение берется для малых дебитов. Исходя из этого определяют площадь внутреннего канала НКТ, м^2 ,

$$F_{вн} = \frac{Q}{86400 \cdot V_{cp}} \quad (2.1)$$

и внутренний диаметр, см,

$$d_{вн} = \sqrt{\frac{F_{вн} \cdot 10^4}{0,785}}, \quad (2.2)$$

где Q – дебит скважины, $\text{м}^3/\text{сут}$; V_{cp} – выбранная величина средней скорости, м/с .

Исходя из ближайшего внутреннего диаметра выбирается стандартный диаметр НКТ (приложение 1). Если разница получается существенной, то корректируется V_{cp} :

$$V_{cp} = \frac{Q}{86400 \cdot F_{вн}}, \quad (2.2')$$

где $F_{вн}$ – площадь внутреннего канала выбранных стандартных НКТ, м^2 .

Диаметр НКТ также может быть определен по кривой потерь в насосных трубах для заданного дебита и выбранного КПД труб не ниже 0,94.

3. Расчет погружения насоса под динамический уровень

Глубина погружения под динамический уровень, м,

$$h = \frac{(P_{np} - P_z) \cdot 10^6}{\rho_{см} \cdot g}, \quad (2.3)$$

где P_{np} – давление на приеме насоса, МПа; P_z – давление в затрубном пространстве, МПа; g – ускорение свободного падения; $\rho_{см}$ – плотность водогазонефтяной смеси, кг/м^3 ,

$$\rho_{см} = [\rho_H(1 - n) + \rho_B n](1 - \beta) + \rho_z \beta, \quad (2.4)$$

где ρ_H, ρ_B, ρ_g – плотность нефти, воды и газа соответственно; n – обводненность; β – газосодержание на приеме.

Обычно давление на приеме $P_{пр}$ определяют по специальной методике или по графикам, где учитывается истинное газосодержание a и обводненность n продукции скважины. Предполагая, что на глубине спуска насоса отсутствует скопление газовой фазы относительно жидкостной, можно приравнять a к β .

График изменения $P_{пр}$ от газосодержания и обводненности:

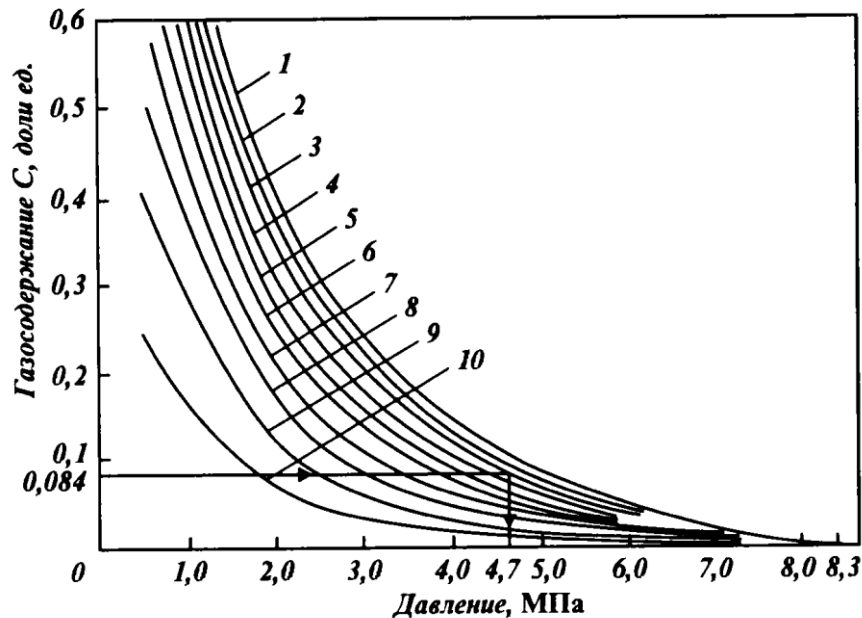


Рис. 3.9. График изменения объемного расхода газосодержания в жидкости в зависимости от давления на приеме насоса и обводненности продукции пласта, %:
1 – 0; 2 – 10; 3 – 20; 4 – 30; 5 – 40; 6 – 50; 7 – 60; 8 – 70; 9 – 80; 10 – 90

Например, при $a=30\%$ и $n=50\%$ давление на приеме насоса $P_{пр}=1,2$ МПа.

4. Определение необходимого напора ЭЦН

Необходимый напор определяется из уравнения условий характеристики скважины

$$H_c = h_{ст} + \Delta h + h_{тр} + h_z + h_c, \quad (2.5)$$

где $h_{ст}$ – статический уровень жидкости в скважине, м; Δh – депрессия, м; $h_{тр}$ – потери напоры на трение в трубах, м; h_z – разность геодезических отметок сепаратора и устья скважины, м; h_c – потери напора в сепараторе, м.

Депрессия определяется при показателе степени уравнения притока, равном единице:

$$\Delta h = \frac{Q \cdot 10^6}{K \cdot p_{жс} \cdot g}, \quad (2.6)$$

где K – коэффициент продуктивности скважины, $\text{м}^3/\text{сут} \cdot \text{МПа}$; $p_{жс}$ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$.

Потери напора на трение в трубах, м, определяются по формуле

$$h_{mp} = \lambda \frac{(L+I)v_{cp}^2}{d_{вн} 2g}, \quad (2.7)$$

где L – глубина спуска насоса, м,

$$L = h_{cm} + \Delta h + h, \quad (2.8)$$

h – глубина погружения насоса под динамический уровень, м; I – расстояние от скважины до сепаратора, м; λ – коэффициент гидравлического сопротивления.

Коэффициент λ определяют в зависимости от числа Re и относительной гладкости труб K_s :

$$Re = \frac{v_{cp} \cdot d_{вн}}{\nu}, \quad (2.9)$$

где ν – кинематическая вязкость жидкости, m^2/c ;

$$K_s = \frac{d_{вн}}{2 \cdot \Delta}, \quad (2.10)$$

где Δ – шероховатость стенок труб, принимаемая для незагрязненных отложениями солей и парафина труб равной 0,1 мм.

По графику находят значение λ :

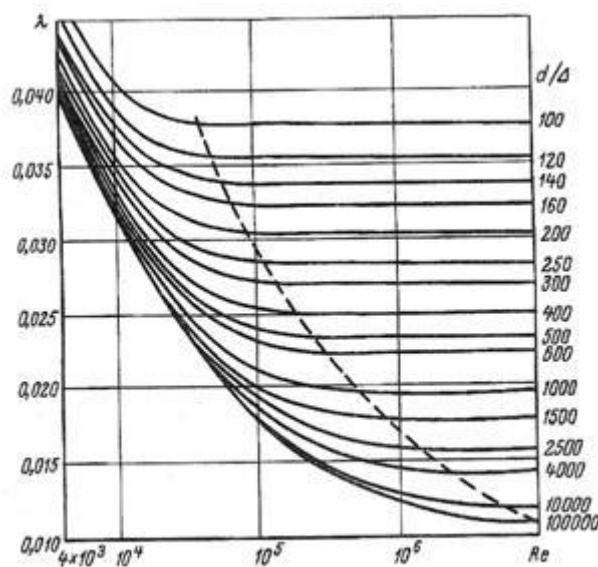


Рис. 4.12

Другим способом определения λ является вычисление ее по числу Рейнольдса, независимо от шероховатости:

$$\lambda = \frac{64}{Re}, \quad (2.11)$$

если $Re < 2300$;

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}, \quad (2.12)$$

если $Re > 2300$.

Потери напора на преодоление давления в сепараторе

$$h_c = \frac{P_c}{\rho_{ж}g}, \quad (2.13)$$

где P_c – избыточное давление в сепараторе. Подставляя вычисленные значения Δh , $h_{тр}$ и h_c и наперед заданные $h_{ст}$ и h_z в формулу (2.5), найдем величину необходимого напора для данной скважины.

5. Выбор центробежного насоса

Подбор насоса для заданной подачи, необходимого напора и диаметра эксплуатационной колонны скважины производят по характеристикам погружных центробежных насосов (приложение 2). Так, например, для скважины с диаметром ЭК=168 мм, дебитом $Q=120 \text{ м}^3/\text{сут}$ и напором $H=694,3 \text{ м}$ выбираем насос ЭЦН6-100-900. При этом необходимо иметь в виду, что в соответствии с характеристикой ЭЦН напор насоса увеличивается при уменьшении подачи, а КПД имеет ярко выраженный максимум.

Для учета вязкости реальной жидкости (более $0,03\text{-}0,04 \text{ см}^2/\text{с}$) и пересчета характеристики ЭЦН следует воспользоваться известными методиками пересчета. Для совмещения характеристик скважины и насоса применяют два способа.

1. На выкиде из скважины устанавливают штуцер, на преодоление дополнительного сопротивления которого расходуют избыточный напор насоса $\Delta H = H - H_c$. Однако этот способ прост, но неэкономичен, так как снижает КПД насоса и установки в целом.
2. Второй способ предусматривает разборку насоса и снятие лишних ступеней или подбор модульных насосов. Этот способ трудоемкий, но наиболее экономичный, так как КПД насоса не изменяется.

Число ступеней, которое нужно снять с насоса для получения необходимого напора, равно

$$\Delta z = \left[1 - \frac{H_c}{H} \right] z, \quad (2.14)$$

где H – напор насоса по его характеристике, соответствующий дебиту скважины, м; H_c – необходимый напор скважины, м; z – число ступеней насоса.

Например, $\Delta z = \left[1 - \frac{694,3}{740} \right] \cdot 125 = 7$. Следовательно, насос ЭЦН6-100-900 должен иметь $125 - 7 = 118$ ступеней. Вместо снятых ступеней внутри корпуса устанавливают проставки.

6. Выбор электродвигателя

Необходимую (полезную) мощность двигателя, кВт, определяют по формуле

$$N_n = \frac{Q \cdot \rho_{ж} \cdot g \cdot H_c}{86400 \cdot 1000 \cdot \eta_n} = \frac{Q \cdot \rho_{ж} \cdot H_c}{86400 \cdot 102 \cdot \eta_n}, \quad (2.15)$$

где η_n – КПД насоса по его рабочей характеристике; $\rho_{ж}$ – наибольшая плотность откачиваемой жидкости (приложение 3).

Учитывая, что КПД передачи от двигателя до насоса (через протектор) составляет 0,92-0,95 (подшипники скольжения), определим необходимую мощность двигателя:

$$N_n = N_n / 0,92. \quad (2.16)$$

Ближайший больший по мощности типоразмер электродвигателя выбираем с учетом диаметра эксплуатационной колонны. Запас мощности, который необходим для преодоления высоких пусковых моментов ЭЦН, выбираем в пределах 10%.

7. Выбор кабеля, трансформатора и определение эксплуатационных параметров ЭЦН

7.1. Выбор кабеля

Сечения жилы кабеля выбирают по номинальному току электродвигателя, исходя из плотности i рабочего тока в этом кабеле:

$$S = \frac{I}{i}, \quad (2.17)$$

где I – номинальный ток электродвигателя, А; i – допустимая плотность тока, А/мм².

При выборе кабеля следует учитывать температуру и давление окружающей среды, допустимое напряжение (приложение 4).

Если в добываемой жидкости имеется растворенный газ, предпочтение следует отдать кабелю с полиэтиленовой и эластопластовой изоляцией, так как она не поглощает растворенной в нефти газ и не повреждается им при подъеме на поверхность. При наличии в скважине коррозионно-активных агентов предпочтение отдадут кабелю с фторпластовой изоляцией.

Потери мощности в кабеле, кВт, определяются по формуле:

$$\Delta P_k = 3I^2 R \cdot L_k \cdot 10^{-3}, \quad (2.18)$$

где I – рабочий ток в электродвигателе, А; L_k – длина кабеля, м; R – сопротивление кабеля, Ом/м.

$$R = \rho [1 + \alpha(t_3 - t_{20})] \frac{1}{S}, \quad (2.19)$$

где $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ – удельное сопротивление меди при $t = 0^\circ \text{C}$; $\alpha = 0,004$ – температурный коэффициент для меди; t_3 – температура на заборе у приема насоса; S – площадь поперечного сечения жилы кабеля.

Общая длина кабеля должна быть равна глубине спуска насоса плюс расстояние от скважины до станции управления и небольшой запас на ремонт кабеля:

$$L_k = L + l + l_p. \quad (2.20)$$

Примем $l_p=20$ м.

7.2. Выбор трансформатора

Выбирать трансформатор (автотрансформатор) следует на соответствие двух параметров – мощности и напряжения (приложение 5). Мощность трансформатора должна быть

$$P_{mp} \geq \frac{P_{эд}}{\eta_{эд}} + \Delta P_{\kappa}, \quad (2.21)$$

где $P_{эд}$, $\eta_{эд}$ – полезная мощность и КПД электродвигателя соответственно; ΔP_{κ} – потери мощности в кабеле. Для определения величины напряжения во вторичной обмотке трансформатора найдем величину падения напряжения в кабеле, В:

$$\Delta U = \sqrt{3}(R_{\kappa} \cos \varphi + X_o \sin \varphi) I L_{\kappa} \quad (2.22)$$

где $R_{\kappa} = R \cdot 10^3$ – активное удельное сопротивление 1 км кабеля, Ом/км; X_o – индуктивное удельное сопротивление кабеля ($X_o = 0,1 \text{ Ом/км}$); $\cos \varphi$ – коэффициент мощности электродвигателя; $\sin \varphi$ – коэффициент реактивной мощности; L_{κ} – длина кабеля, км.

Произведением $X_o \sin \varphi$ можно пренебречь, тогда:

$$\Delta U = \sqrt{3}(R_{\kappa} \cos \varphi) I L_{\kappa} \quad (2.23)$$

Напряжение на вторичной обмотке трансформатора должно быть равно сумме рабочего напряжения электродвигателя и величины потерь напряжения в кабеле:

$$U_{mp} = U_{эд} + \Delta U. \quad (2.24)$$