

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ЭКСПЛУАТАЦИИ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

Фатхутдинова Р.М., Минулина А.Р., Мамаков В.Ю.

Лениногорский филиал ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», Лениногорск

Ключевые слова: насосный агрегат, эксплуатация насоса, режим работы, затраты на электроэнергию, износ.

Аннотация. Одной из основных статей расходов при добыче нефти и газа являются затраты на электроэнергию. Большая доля этих затрат приходится на электропитание приводов насосных агрегатов. Как правило, от 30 до 80% от общих затрат приходится на расходы на электропотребление насосных агрегатов.

ON THE ISSUE OF CHOOSING THE OPTIMAL OPERATING MODE FOR PUMPING UNITS

Fatkhutdinova R.M., Minulina A.R., Mamakov V.Yu.

Leninogorsk branch of the Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Leninogorsk

Keywords: pumping unit, pump operation, operating mode, energy costs, wear.

Abstract. One of the main items of expenditure in oil and gas production is the cost of electricity. A large share of these costs is accounted for by the power supply of the drives of pumping units. As a rule, from 30 to 80% of the total costs are accounted for by the costs of electric consumption of pumping units.

Эксплуатация насосов в оптимальном режиме играет большую роль в вопросе эффективного использования насосного оборудования. На режим работы насоса влияет техническое состояние его гидравлической части, а также соответствие гидравлических характеристик насоса и коллектора. Объем закачиваемой в пласт воды определяется геологическими службами по технологическим условиям разработки месторождения. Гидравлические характеристики коллектора, в свою очередь, зависят от приемистости призабойной зоны скважин, количества одновременно работающих нагнетательных скважин, технического состояния трубопроводной системы и др. факторов.

Некоторые предприятия, стремясь вести закачку с максимальной эффективностью, при помощи выкидной задвижки ограничивают закачку таким образом, чтобы развиваемый напор агрегата соответствовал максимальному КПД насоса. Однако при этом большое количество энергии теряется при дросселировании потока через прикрытую задвижку. Поэтому при определении оптимального режима закачки, необходимо исходить из удельных затрат 1 м^3 жидкости $E_{\text{уд}}$, а не из КПД насоса.

Полезная гидравлическая мощность насоса определяется как:

$$W_{\text{пол}} = Q \cdot \Delta P,$$

где Q – расход; ΔP – напор.

Потребляемая электрическая мощность:

$$W_{затр} = \frac{W_{пол}}{\eta_{эл} \cdot \eta_{мех.нас} \cdot \eta_{гидр}},$$

где $\eta_{эл}$ – КПД электродвигателя; $\eta_{мех.нас}$ – механический КПД центробежного насоса; $\eta_{гидр}$ – КПД гидравлической части насоса.

Удельные затраты, в таком случае, можно определить, как:

$$E_{уд}(Q) = \frac{C_{эл} \cdot W_{затр}}{Q} = \frac{C_{эл} \cdot P(Q)}{\eta_{агр} \cdot (Q)},$$

где $C_{эл}$ – цена электроэнергии; $\eta_{агр}$ – КПД агрегата.

Как показывает практика, для высоконапорных центробежных насосов с увеличением перепада давления в насосе или с уменьшением темпа закачки растут удельные затраты.

Износ гидравлической части насоса складывается из износа статора и ротора. В процессе капитального ремонта износ направляющего аппарата статора не устраняется. Вследствие этого, насос после капитального ремонта имеет меньший гидравлический КПД, по сравнению с новым, даже после установки новых заводских рабочих колес. Большая наработка насосов ведет к существенному износу статора, что ставит вопрос о целесообразности капитального ремонта. Ответить на данный вопрос можно, лишь сопоставив экономические факторы.

Состояние статора и ротора определяют техническое состояние гидравлической части насоса:

$$k_{мех.сост}^{нас} = k_{мех.сост}^{стат} \cdot k_{мех.сост}^{рот},$$

где $k_{мех.сост}^{стат}$ – техническое состояние статора; $k_{мех.сост}^{рот}$ – техническое состояние ротора.

Далее определяется износ насоса:

$$k_{изн}^{нас} = 1 - k_{мех.сост}^{нас} = k_{изн}^{стат} + k_{изн}^{рот} - k_{изн}^{стат} \cdot k_{изн}^{рот},$$

где $k_{изн}^{стат}$ – износ статора; $k_{изн}^{рот}$ – износ ротора.

Темп износа ротора существенно превышает темп износа направляющего аппарата. Если предположить, что темп износа не зависит от времени, то можно определить техническое состояние гидравлической части насоса в любой произвольный момент времени. Несколько примерно одинаковых циклов от капитального ремонта до капитального ремонта длительностью Π составляют полный цикл эксплуатации насоса. Начальное состояние насоса от цикла к циклу ухудшается и к началу i -го цикла составляет:

$$k_{мех.сост}^{нас} = 1 - temp_{изн}^{стат} \cdot \Pi \cdot (i - 1),$$

где $temp_{изн}^{стат}$ – темп износа статора; Π – длительность одинаковых циклов от капитального ремонта до капитального ремонта.

Спустя некоторое время t составит:

$$k_{мех.сост}^{нас} = 1 - temp_{изн}^{стат} \cdot \Pi \cdot (i - 1) - temp_{изн}^{стат} \cdot t - temp_{изн}^{рот} \cdot t,$$

где $temp_{изн}^{рот}$ – темп износа ротора.

Расход жидкости и давление, развиваемое насосом определяют полезную мощность насоса по закачке жидкости:

$$W_{пол} = \Delta P(t) \cdot Q(t).$$

Мощность, рассеиваемая в гидравлической части насоса, определяется текущим гидравлическим КПД насоса и полезной мощностью:

$$W_{затр}^{нас}(t, i) = \frac{W_{пол}}{\eta_{нас}^i(t)} = \frac{\Delta P(t) \cdot Q(t)}{\eta_{нас}^i(t)},$$

где $\eta_{нас}^i(t)$ – текущий гидравлический КПД насоса.

Текущее значение гидравлического КПД насоса, в соответствии со сформулированной гипотезой, определяется износом насоса, режимом его работы, а также паспортным значением. В том случае, если насос работает в оптимальном режиме, получаем следующее выражение:

$$\eta_{нас}^i(t) = \eta_{нас}^{пасп} \cdot (1 - temp_{изн}^{стат} \cdot \Pi \cdot (i-1) - temp_{изн}^{стат} \cdot temp_{изн}^{пот} \cdot t),$$

где $\eta_{нас}^{пасп}$ – паспортное значение КПД насоса.

Перерасход затрат на электроэнергию, который обусловлен износом за цикл, определяется перерасходом электроэнергии и ценой на нее:

$$CT_{эл.эн}^{перерасх}(i) = C_{эл} \cdot \int_0^N (W_{затр}^{нас}(t, i) - W_{пол}) dt.$$

Затраты на приобретение насоса $CT_{нов.нас}$, на капитальный ремонт $CT_{рем}$, а также перерасход электроэнергии по всем циклам N – все это относится к издержкам за счет износа:

$$ИЗ_{изн} = CT_{нов.нас} + CT_{рем} \cdot (N-1) + \sum_{i=1}^N CT_{эл.эн}^{перерасх}(i),$$

где $ИЗ_{изн}$ – издержки за счет износа; $CT_{нов.нас}$ – стоимость нового насоса; $CT_{рем}$ – стоимость капитального ремонта; N – перерасход энергии по всем циклам; $CT_{эл.эн}^{перерасх}$ – стоимость перерасхода энергии.

Время эксплуатации и потери обуславливают средние издержки за счет износа за полный цикл эксплуатации:

$$ИЗ_{изн}^{час} = \frac{ИЗ_{изн}}{(N \cdot \Pi)}.$$

Длительность цикла и количество капитальных ремонтов выбираются исходя из минимизации средних затрат за счет износа:

$$ИЗ_{изн}^{мин} = \min_{N, \Pi} \{ИЗ_{изн}^{час}\}.$$

Наличие минимума и соответственно оптимальной стратегии обеспечивается тем, что затраты положительны, т.е. ограничиваются снизу, а также тем, что при большом числе капитальных ремонтов и больших длительностях циклов затраты на износ начинают расти, т.к. износ насоса становится большим.

Список литературы

1. Галеев А.С., Султанов Б.З., Сулейманов Р.Н., Каминский С.К. К вопросу выбора оптимального времени проведения предупредительного капитального ремонта насосов // Технологии ТЭК. – 2003. – № 5. – С. 14-17.

2. Колосов Б.В., Сулейманов Р.Н., Котович А.А. К вопросу определения гидравлического КПД центробежных насосов системы поддержания пластового давления // Нефтепромысловое дело. – 2001. – № 10. – С. 15-18.
3. Минулина А.Р., Фатхутдинова Р.М. Факторы, влияющие на повышение эффективности технического обслуживания и ремонта оборудования // Материалы IV Международной научно-практической конференции «Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли». – Альметьевск: Изд-во АГНИ, 2019. – С. 246-250.
4. Фатхутдинова Р.М., Минулина А.Р., Мусифуллина Г.Р. Защита диафрагмы гидрозакриты УЭЦН от разрыва при больших нагрузках // Материалы IV Международной научно-практической конференции «Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли». – Альметьевск: Изд-во АГНИ, 2019. – С. 284-286.
5. Фатхутдинова Р.М., Думлер Е.Б., Вахитова Р.И., Сарачева Д.А. Факторы, влияющие на эффективность технического обслуживания и ремонта оборудования // Материалы Международной научно-технической конференции «Современные проблемы нефтегазового оборудования – 2021». – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2021. – С. 268-271.

Сведения об авторах:

Фатхутдинова Римма Мидехатовна – к.т.н., доцент кафедры «Машиностроение и информационные технологии»;

Минулина Алсу Рафаэлевна – к.т.н., доцент кафедры «Машиностроение и информационные технологии»;

Мамаков Виталий Юрьевич – ассистент кафедры «Машиностроение и информационные технологии».