

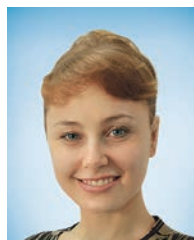
УДК 621.6.052

О СПОСОБАХ ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ НАСОСОВ ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ НЕФТЕПРОВОДА

Ключевые слова: магистральный насос, сменный ротор, частотный преобразователь, гидромурфта.



А.И. Бирюков
к.т.н.,
главный специалист
ООО «УК «Группа ГМС»,
г. Москва
BAI@hms.ru



Е.Г. Князева
инженер
ООО «УК «Группа ГМС»,
г. Москва
Knyazeva@hms.ru



А.А. Руденко
главный специалист
ООО «УК «Группа ГМС»,
г. Москва
Rudenko@hms.ru



И.Б. Твердохлеб
к.т.н., доцент,
директор дирекции НИОКР
ООО «УК «Группа ГМС»,
г. Москва
TIB@hms.ru



Л.М. Беккер
главный технолог
ОАО «Гипротрубопровод»,
г. Москва
BekkerLM@gtp.transneft.ru

В статье рассматриваются некоторые аспекты, связанные с применением регулирования частоты вращения привода современных магистральных нефтяных насосов. Показано, что при длительной эксплуатации нефтепровода с расходами, значительно меньшими проектных, для достижения минимальных затрат на перекачку недостаточно использовать только изменение частоты вращения. Необходимо применение сменных роторов, а в ряде случаев и сменных проточных частей, включающих не только сменный ротор, но и специальную вставку в корпус насоса.

Правильный подбор насоса по параметрам гидравлической сети является основным потенциалом для экономии энергии. Если оптимизировать существующую насосную систему исходя из требования максимальной энергоэффективности и при этом правильно подобрать насос, то это может принести в среднем до 40 % экономии потребляемой энергии [1]. Однако иногда гидравлическая сеть может иметь переменное сопротивление, зависящее от длины участка трубопровода в заданный момент времени, и переменный расход, зависящий от потребителей, и др. Все это значительно усложняет насосную систему и требует дополнительного анализа и специальных мероприятий для ее эффективной эксплуатации.

При работе нефтепроводов зачастую возникает потребность в режимах перекачивания меньших, чем максимальные проектные. Как правило, в начале эксплуатации объем прокачки по трубопроводу составляет лишь часть от проектного и увеличивается по мере освоения нефтяных месторождений. При этом линейная часть трубопровода строится сразу на полный проектный объем перекачиваемой нефти, размещение нефтеперекачивающих станций (НПС) и насосы также выбираются исходя из этих условий, но строятся сначала не все запроектированные НПС, а только необходимые для данной стадии развития нефтепровода. В случае когда периоды времени такой работы достаточно продолжительны, компании, эксплуатирующие нефтепроводы, могут по-

нести значительные убытки из-за низкого коэффициента полезного действия (КПД) насосов и их менее надежной работы на малых подачах.

Легко показать, что если на участке между двумя соседними станциями проектная производительность равна Q_H и потери напора на этом участке при малой статической составляющей пропорциональны $k \cdot Q_H^2$ (где k – коэффициент потерь), то при перекачивании через станцию (при условии примерного равенства гидравлических сопротивлений участков) потери напора примерно равны $2k \cdot Q_1^2$, а через три станции – $4k \cdot Q_2^2$. Приняв допущения, что максимальный суммарный напор насосов, работающих на станции H , примерно равен сопротивлению указанных выше участков, получим, что при работе через одну станцию при максимальном напоре, развиваемом насосами, можно получить подачу $Q_1 = (H/2k)^{1/2}$, через три станции – $Q_2 = (H/4k)^{1/2}$.

Приняв равенство участков трубопровода между соседними станциями, имеем $k = H/Q_H^2$, тогда $Q_1 = (1/2)^{1/2} \cdot Q_H = 0,7 Q_H$; $Q_2 = (1/4)^{1/2} \cdot Q_H = 0,5 Q_H$.

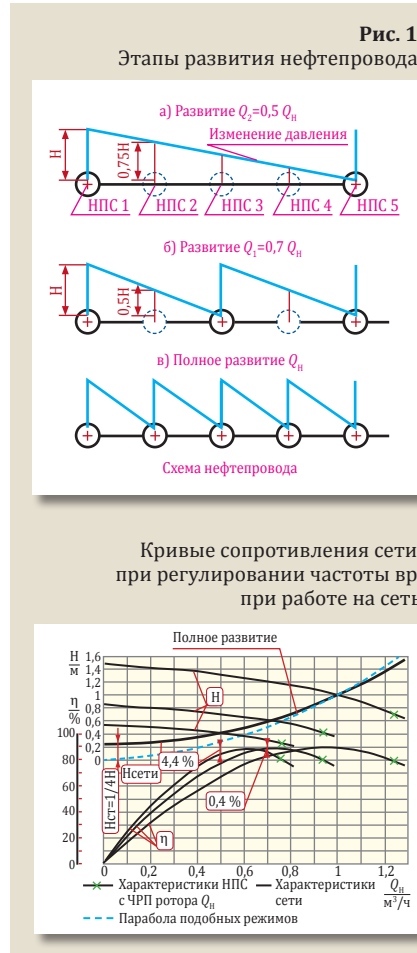
Графически это изображено на рис. 1.

В последнее время НПС комплектуются устройствами регулирования частоты вращения магистральных насосов для более эффективной эксплуатации насосов при изменении их подачи. В случае применения насоса с номинальным ротором Q_H , рассчитаным на максимальную проектную подачу, при работе через станцию или через три станции с учетом регулирования частоты вращения для подач 70 % от Q_H и 50 % от Q_H потеря КПД будет соответственно 6 % и 19 %, кроме того, на 50 % подачи обычно не допускается длительная эксплуатация насоса (рис. 2).

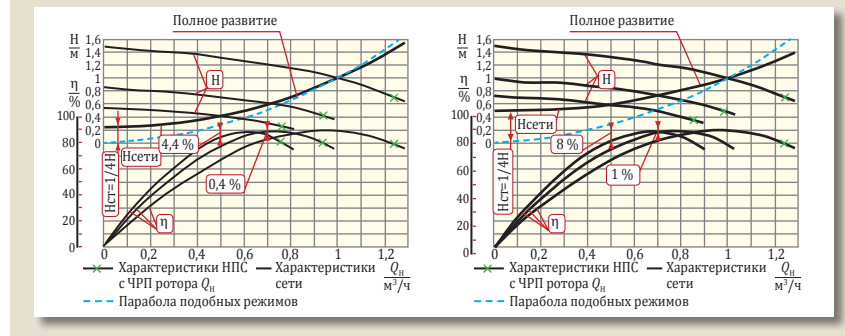
В случае низкой статической составляющей сопротивления сети заданного участка нефтепровода при условии, что все НПС строятся и пущены изначально, регулирование числа оборотов насоса с помощью частотно-регулируемого привода (ЧРП) или гидромолоты является эффективным решением изменения производительности. Однако в случае перекачивания частичных объемов нефти $Q \leq 0,7 Q_H$ при статической составляющей сопротивления сети, отличной от нуля, и необходимости при этом обеспечения требуемого напора насоса для повышения КПД и надежности магистрального насоса наряду с изменением частоты вращения необходимы другие технические решения. Это вызвано несовпадением парабол подобных режимов работы насоса и кривой сопротивления сети нефтепровода (рис. 3).

На рис. 3 приведены режимы работы насосов, установленных на НПС на сеть со статической составляющей $1/4 H$ и $1/2 H$, где H – полный напор НПС, в первом приближении принят равным полному сопротивлению участков трубопровода. В первом случае для 70 % подачи наблюдается снижение КПД на 0,4 %, а для 50 % подачи – 4,4 %; во втором для 70 % подачи – 1 %, а для 50 % подачи – 8 %.

Таким образом, для более эффективной работы через одну и более станций, а также при работе с высокими статическими составляющими сопротивления сети целесообразно применение сменных



Кривые сопротивления сети и характеристики магистральных насосов при регулировании частоты вращения насоса с номинальным ротором Q_H при работе на сеть с разными статическими составляющими



роторов наряду с применением устройств регулирования частоты вращения насосов.

Эффективность применения роторов на подачу менее 70 % от номинальной по сравнению с регулированием частоты вращения насоса с ротором Q_H рассмотрим на примере (рис. 4).

С помощью регулирования частоты вращения насоса с номинальным ротором Q_H при 50 % подачи можно получить КПД на 6 % выше по сравнению с дросселированием, в то же время применение сменного ротора $0,5 Q_H$ повысит КПД на 14 % по сравнению с ротором Q_H и с одновременным применением ЧРП. Для подачи 70 % от номинальной с помощью изменения частоты вращения насоса с ротором Q_H можно сэкономить только 2,5 %, в то время как со сменным $0,7 Q_H$ – более 5 %. Таким образом, совместное применение ЧРП и сменных роторов на подачах менее 70 % при длительной эксплуатации вполне обоснованно.

В некоторых случаях при низкой статической составляющей

для подач более 70 %...80 % от номинальной рационально использовать номинальный ротор Q_H , а требуемые параметры обеспечивать путем регулирования частоты вращения. При этом можно показать, что устанавливать устройства регулирования частоты вращения можно не на каждую НПС, а через одну. Такой подход может быть эффективен при условии, что в основном предполагаются режимы эксплуатации, близкие к номинальным.

Вопрос разумных границ применения тех или иных сменных роторов, спроектированных на заданный расход и напор, является отдельной задачей, требующей дополнительного исследования. При этом регулирование частоты вращения в любом случае необходимо как минимум для небольшого диапазона изменения производительности и совместно со сменными роторами является эффективным техническим решением.

Применение сменных проточных частей позволяет обеспечить более высокий КПД при требуе-

Рис. 4
Кривые сопротивления сети и характеристики магистральных насосов при регулировании частоты вращения насоса со сменными роторами

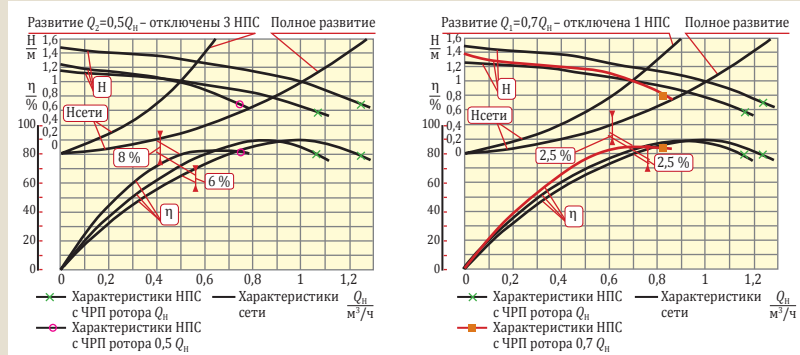
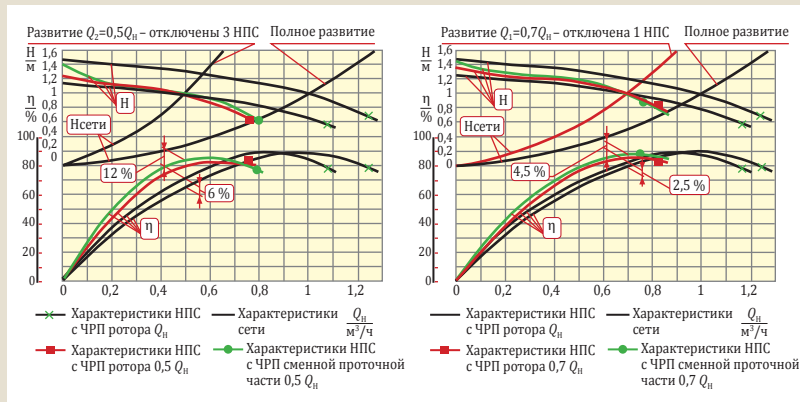


Рис. 5
Характеристики магистральных насосов со сменными роторами и сменными проточными частями



мой частичной подаче. Обычно сменная проточная часть состоит из сменного ротора и направляющего аппарата или специальной вставки [2–4]. Использование в насосе только сменного ротора на меньшую подачу характеризуется возникновением дополнительных гидравлических потерь при входе в спиральную часть отвода. Для устранения данного явления целесообразно использование специальной вставки, обеспечивающей согласование потока между рабочим колесом и спиральным отводом.

Исследования вариантов исполнения сменных проточных частей, проведенные численным методом с использованием программного продукта ANSYS CFX-12.0, позволили выбрать конструкцию, которая обеспечивает наиболее высокий КПД насоса [5]. Насос при этом конструктивно выполнен одноступенчатым с рабочим колесом двойного входа и полуспиральным подводом, а спиральный отвод имеет обычный габарит соглас-

но классическим рекомендациям. Результаты численного эксперимента проверены в процессе стендовых испытаний магистральных насосов типа НМ [6]. В результате указанных выше работ было показано, что использование таких проточных частей позволяет получить высокий КПД на режимах малых подач при сохранении массогабаритных характеристик насоса (рис. 5).

Для 50 % подачи при одинаковом напоре применение сменной проточной части 0,5 Q_n оказалось на 4 % эффективней применения сменного ротора и на 18 % выше, чем применение номинального ротора Q_n . Для 70 % подачи установка сменной проточной части 0,7 Q_n на 2 % эффективней применения сменного ротора и на 7 % выше по сравнению с номинальным ротором.

В данном случае рассматривалась работа насоса на сеть с нулевой статической составляющей сопротивления сети. Вполне очевидно, что при повышении

статической составляющей сопротивления сети величина экономии энергии будет выше по сравнению с рассмотренным вариантом.

Выводы

1. Использование устройств регулирования частоты вращения – это эффективное техническое решение, позволяющее оптимизировать работу насосной системы. При этом для частичных подач, в случае работы через одну и более станций или высоким статическом уровне сопротивления сети, дополнительно необходимо применение сменных роторов.
2. При статической составляющей сопротивления сети, равной менее половины полного напора станции, и последовательной работе всех без исключения НПС нецелесообразно применять сменный ротор даже при 70 % подачи, так как КПД с учетом регулирования частоты вращения будет снижаться менее чем на 1 %, но уже при 50 % подачи необходимо устанавливать сменный ротор, так как КПД насоса с номинальным ротором снижается до 8 %.
3. Применение сменных проточных частей при 50 % подачи и работе через одну и более станций позволяет повысить КПД на 4 % по сравнению с обычным сменным ротором и на 18 % по сравнению с использованием только регулирования частоты вращения номинального ротора насоса, а при 70 % подачи – на 2 % и 7 % соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эффективность системы. Руководство по энергетической эффективности систем с роторными насосами / В. К. Караханьян [и др.]. М.: Изд-во ООО «СофтКом», 2012. 86 с. Русскоязычная версия выпущена Российской ассоциацией производителей насосов (РАПН).
2. Oil pipeline from Siberia to the sea / I. Tverdohleb [et. al.] // World pumps. May, 2012.
3. Пат. 103149 Российская Федерация. Центробежный насос с двухзавитковым спиральным отводом / Ивановшин А.А. (UA), Колесник Е.С. (UA); заявл. 27.03.2011.
4. Пат. 104261 Российская Федерация. Центробежный насос / Бирюков А.И. (RU), Визенков Г.В. (RU), Князева Е.Г. (RU), Тverdohleb И.Б. (RU); заявл. 10.05.2011.
5. Knyazeva E., Rudenko A., Tverdohleb I. Research outcomes on replaceable flow parts in double suction pumps // Hydroturbo 2012 in Brno, Czech Republic.
6. Technical paper. Increasing pump performance / A. Birukov [et. al.] // Pump Engineer. November, 2012. www.pumpengineer.net.