

УДК 622.232

Подоплелов Евгений Викторович,*к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Машины и аппараты химических производств»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: uch_sovet@angtu.ru***Дементьев Анатолий Иванович,***к.т.н., доцент, профессор кафедры «Машины и аппараты химических производств»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: anatdementev@mail.ru***Новацких Илья Евгеньевич,***студент ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»***Сухорукова Кристина Игоревна,***студентка ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»***СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ***Podoplelov E.V., Dementev A.I., Novackih I.E., Suhorukova K.I.***METHODS OF CENTRIFUGAL PUMPS OPERATION REGULATION**

Аннотация. Рассмотрены способы регулирования работы центробежных насосов. В качестве примера приведен способ повышения энергоэффективности центробежного секционного насоса, предназначенного для перекачки нефтепромысловых вод и эксплуатируемого на Марковском месторождении.

Ключевые слова: центробежный секционный насос, напор, частотный регулятор, гидромуфта.

Abstract. The ways of regulating the operation of centrifugal pumps are considered. As an example, a method of increasing the energy efficiency of a centrifugal sectional pump intended for pumping oilfield waters and operated at the Markovskoye field is given.

Keywords: centrifugal sectional pump, pressure, frequency controller, and hydraulic coupling.

Экономия энергоносителей – одна из приоритетных задач в управлении любым промышленным предприятием. Инженеры, отвечающие за надежность оборудования, обычно сосредоточены на увеличении времени между ремонтами. Однако при этом часто забывают о возможности снижения затрат на электроэнергию, которую можно получить, если при анализе проблем учитывать и техническое состояние оборудования. Это особенно актуально для насосов, широко используемых на предприятиях. Гидроинженеры используют компьютерное моделирование для оптимизации гидравлических параметров, увеличения интервалов между ремонтами и снижения энергопотребления насосов. Такие меры позволяют существенно уменьшить общую стоимость эксплуатации насоса.

На практике для регулирования скорости вращения насосов применяют различные устройства: вариаторы, гидромуфты, электромагнитные муфты скольжения и регулируемые электроприводы [1]. Хотя данные методы усложняют конструкцию и обслужи-

вание, но они позволяют поддерживать оптимальные характеристики насосов. Преимуществом данного подхода является возможность использования одного регулируемого насоса для группы рабочих насосов, что снижает эксплуатационные расходы насосных станций. В качестве регулируемого насоса выбирают самый мощный агрегат с наиболее плавной характеристикой. Это помогает избежать неэффективной работы насосов. Регулируемый привод устанавливается на все насосы только в тех случаях, когда изменение скорости вращения регулируемого насоса приводит к неоптимальной работе остальных, например, к снижению КПД или кавитации.

В качестве регулируемого электропривода используются:

- приводы с многоскоростными электродвигателями (двух- и многоскоростными асинхронными короткозамкнутыми электродвигателями переменного тока);
- приводы с индукторными муфтами скольжения (асинхронные короткозамкнутые

электродвигатели переменного тока);

- приводы по схеме асинхронно-вентильного каскада (асинхронные электродвигатели переменного тока с фазным ротором);

- частотные приводы (асинхронные короткозамкнутые электродвигатели переменного тока);

- приводы на базе вентильных электродвигателей (синхронные электродвигатели переменного тока).

Использование регулируемого привода, с одной стороны, стабилизирует давление в системе водоснабжения, что приводит к экономии электроэнергии, уменьшению утечек и потерь воды, а также позволяет уменьшить размеры насосных станций за счет использования более мощных насосов. С другой стороны, регулируемый привод усложняет эксплуатацию, требует более квалифицированного персонала и увеличивает капитальные затраты. При принятии решений необходимо учитывать все эти факторы и проводить сравнительный анализ затрат.

В целом, использование систем автоматического регулирования с регулируемым приводом приносит ощутимую выгоду: экономия электроэнергии достигает 5-15%, а расход воды снижается на 3-4% благодаря сокращению утечек и непроизводительных потерь. Оптимальным решением является применение таких систем в мощных насосных установках (от 75-100 кВт), где наблюдается значительная вариативность в подаче и существенные динамические изменения напора, что обусловлено крутыми характеристиками сети. Крутые характеристики сети, в свою очередь, часто связаны с длинными водоводами и расположением насосной станции на уровне земли или выше уровня потребителя. В большинстве насосных станций используются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, которые не позволяют изменять скорость вращения. Для регулирования скорости рабочего колеса насоса в таких случаях применяется регулируемая гидромуфта, связывающая насос и электродвигатель.

Главными компонентами гидромуфты являются ведущее лопастное колесо центробежного типа и ведомое лопастное колесо, которое работает как реактивная турбина. Оба этих колеса оснащены плоскими радиальными лопатками. К насосу присоединен

вращающийся при работе корпус. Диски насоса и турбины имеют форму чаш с криволинейной геометрией. Вместе с межлопастными каналами, часть пространства в гидромуфте между чашами насоса и турбины образует рабочую полость. Между краями колес существует небольшой осевой зазор, что позволяет одному колесу вращаться относительно другого. Закрытое пространство гидромуфты заполняется рабочей жидкостью, обычно минеральными маслами с низкой вязкостью. В условиях повышенной пожарной опасности используются вода, водные эмульсии и трудновоспламеняемые синтетические масла. Главное достоинство регулируемой гидромуфты заключается в её способности плавно, автоматически и оперативно регулировать скорость вращения ведомого вала.

Современные насосы часто оснащаются частотно-регулируемыми приводами [2-4] для эффективного контроля скорости вращения. Основными компонентами такого привода являются преобразователь частоты и асинхронный электродвигатель, являющийся неотъемлемой частью насоса. Преобразователи частоты представляют собой силовые электронные модули, способные трансформировать входное напряжение (одно- или трехфазное, 50 Гц) в выходное трехфазное напряжение с частотой, изменяемой в пределах от 0 до 400 Гц. Эта функция обеспечивает бесступенчатую регулировку скорости вращения для всех типов асинхронных электродвигателей, включая те, что применяются в насосном и компрессорном оборудовании. Применение частотного преобразователя позволяет плавно регулировать скорость асинхронного двигателя, изменяя частоту и напряжение его питания. Этот процесс отличается высокой энергоэффективностью (КПД около 98%), при этом из сети потребляется преимущественно активная мощность, необходимая для нагрузки. Интеллектуальная микропроцессорная система управления обеспечивает точное регулирование работы двигателя и его защиту от аварийных режимов. Использование преобразователя частоты для управления электродвигателем насоса обеспечивает его плавный запуск, исключая резкие пусковые токи и механические удары. Это, в свою очередь, снижает износ двигателя и связанных механизмов, продлевая их срок службы. Регулируемый электропривод

на базе преобразователей частоты дает следующие преимущества [5-6]:

- Энергоэффективность: снижение энергопотребления при уменьшении требуемого напора;
- Простота схемы: отсутствие необходимости в компенсирующих конденсаторах для силового электрооборудования;
- Долговечность и экономия: увеличение срока службы оборудования и трубопроводов, сокращение расходов на обслуживание;
- Автоматизация: полная автоматизация технологических процессов, исключая-

щая человеческий фактор в управлении;

- Снижение пиковых нагрузок: возможность уменьшения заявленной электрической мощности благодаря отсутствию высоких пусковых токов;
- Повышение надежности: уменьшение числа аварий сети и насосных агрегатов благодаря плавному пуску, а также повышение надежности электрооборудования за счет устранения ударных пусковых токов;
- Автоматическое восстановление: возможность автоматического повторного включения насоса.

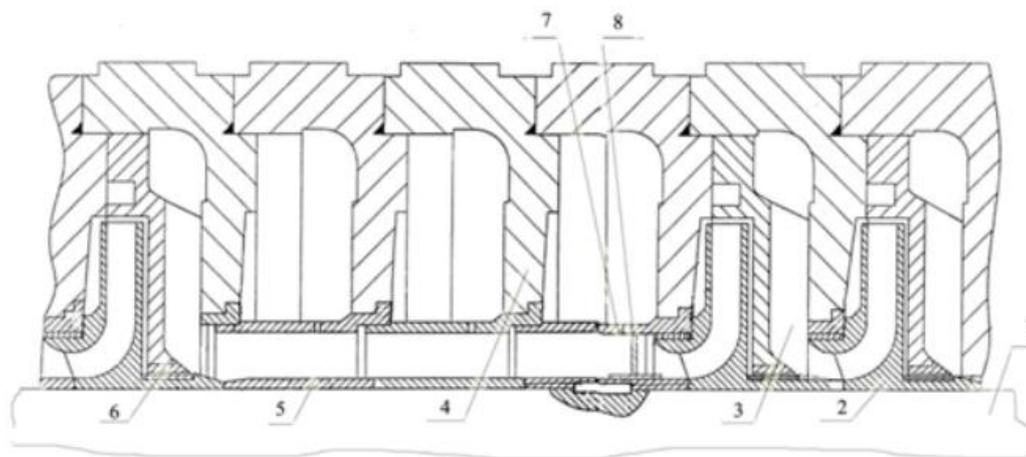


Рисунок 1 – Вариант замены рабочих колес и направляющих аппаратов специальными втулками

Энергосбережение достигается оптимизацией работы насосов: устранением избыточного давления и увеличением их КПД. Встроенный контроллер управляет работой частотно-регулируемого оборудования. Он автоматически поддерживает заданное давление, несмотря на колебания расхода, контролирует последовательность запуска и остановки насоса, обеспечивает технологическую защиту, выявляет аварийные ситуации, а также выполняет автоматическое повторное включение или переключение на резервный насос. Кроме того, контроллер собирает данные о работе насоса и передает их на диспетчерский пункт. Несмотря на значительную стоимость оборудования, его применение позволяет снизить потребление электроэнергии на 20-30%. Это приводит к быстрой окупаемости затрат, обычно в течение 2-3 лет.

Имеются конструктивные решения,

позволяющие регулировать напор насоса путем демонтажа части рабочих колес и направляющих аппаратов в секционном центробежном насосе. Такой подход позволяет избежать менее эффективного регулирования характеристик насоса посредством дросселирования потока в нагнетательном трубопроводе. В частности, на рисунке 1 рассмотрен вариант, в котором после первой ступени с увеличенным входом сняты с вала (1) рабочие колеса (2) и направляющие аппараты (6) трех последующих ступеней. На освободившееся место на валу устанавливаются втулки (5), а вместо направляющих аппаратов – специальный направляющий патрубок (7), формирующий структуру потока на входе.

Данный способ позволяет выполнять модернизацию без серьезных ущербов для конструкции насосного оборудования. Снятые рабочие колеса и направляющие аппараты могут быть снова установлены, либо ис-

пользованы в качестве запасных частей. А втулки, используемые при реконструкции, просты в изготовлении и установке.

На Марковском месторождении эксплуатируется центробежный секционный насос марки НЦС 180-2100, предназначенный для перекачивания нефтепромысловых вод, имеющий четыре ступени и создающий давление жидкости на нагнетании 210 кгс/см^2 , которое значительно превышает давление 180 кгс/см^2 , необходимое для технологических нужд. Предлагается модернизация насоса с целью повышения его энергоэффективности, заключающаяся в замене рабочего

колеса и направляющего аппарата второй ступени насоса втулкой. При этом, по результатам расчетов, создаваемое насосом давление будет приблизительно $196,1 \text{ кгс/см}^2$, что является достаточным для технологических нужд. Нагрузка на электродвигатель снизится приблизительно на $6,6 \%$, что составит $105,6 \text{ кВт/ч}$.

Таким образом, рассмотренные методы регулирования работы центробежных насосов позволяют повысить их энергоэффективность, а выбор метода регулирования зависит от специфики и условий работы центробежного насоса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мрочек, В.И.** Исследование центробежных насосов и способов регулирования их подачи / В.И. Мрочек, Т.В. Мрочек, А.С. Бураков // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2012. – № 2 (35). – С. 50-56.
2. **Бабаев, А.Ю.** Методы регулирования эксплуатационных характеристик центробежных агрегатов / А.Ю. Бабаев // Международный научный журнал «Вестник науки». – 2019. – № 5 (14). – Т. 3. – ст. № 57.
3. **Гумеров, О.А.** Опыт применения частотно-регулируемого привода для повышения эффективности эксплуатации установки электроцентробежного насоса на Арланском месторождении / О.А. Гумеров, К.О. Гумеров // Нефтегазовое дело. – 2014. – Т. 3. – № 4. – С. 24–34.
4. **Лысенко, О.А.** Режимы энергосбережения установок центробежных насосов с асинхронными двигателями // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2014. – Т. 325. – № 4. – С. 133–141.
5. **Сотников, Д.В.** Повышение энергетической эффективности насосных станций / Д.В. Сотников // Вестник Тамбовского университета. Сер. Естественные и технические науки. – 2013. – Т. 18. – № 5–3. – С. 2954–2956.
6. **Ветлицын, Ю.А.** О минимуме затрат энергии для работы центробежных насосов / Ю.А. Ветлицын, А.М. Ветлицын // Вестник ПсковГУ. Сер. Естественные и физико-математические науки. – 2008. – № 6. – С. 135–145.