

Мкртычев Роберт Андреевич, студент 4 курса
Уфимский университет науки и технологий

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Аннотация. В статье рассмотрены технические и организационные возможности повышения энергоэффективности насосных станций на основе частотно-регулируемых электроприводов. Предложена последовательность внедрения частотно-регулируемого привода, включающая обследование объекта, анализ режимов, выбор оборудования, настройку защит и оценку достигнутого эффекта.

Ключевые слова: Насосная станция, энергоэффективность, частотно-регулируемый электропривод, преобразователь частоты, центробежный насос.

Введение

Насосные станции являются значимыми потребителями электрической энергии в системах водоснабжения, водоотведения, теплоснабжения, нефтеперекачки и на промышленных предприятиях. Основная доля потребления приходится на электродвигатели насосных агрегатов. При этом фактическая потребность системы в расходе и напоре жидкости изменяется во времени, тогда как традиционный асинхронный двигатель при прямом включении обеспечивает практически постоянную частоту вращения рабочего колеса. Несоответствие между производительностью насоса и текущей нагрузкой приводит к созданию избыточного напора, потерям энергии в регулирующей арматуре, увеличению утечек и росту механической нагрузки на оборудование.

Актуальность темы: наиболее распространенным способом регулирования подачи в нерегулируемых системах остается дросселирование на напорной линии либо ступенчатое включение нескольких насосов. При дросселировании часть напора искусственно гасится на арматуре, поэтому электроэнергия расходуется без создания полезного гидравлического эффекта. Частотно-регулируемый электропривод позволяет изменять скорость вращения двигателя и согласовывать рабочую точку насоса с характеристикой трубопроводной сети. Цель статьи – определить технические основы применения частотно-регулируемых электроприводов на насосных станциях и предложить практическую модель их внедрения для снижения энергопотребления при сохранении требуемых параметров подачи.

Энергоэффективность насосной станции

Насосная станция представляет собой комплекс насосных агрегатов, трубопроводов, запорно-регулирующей арматуры, контрольно-измерительных приборов, устройств защиты и систем управления. Ее режим характеризуется прежде всего подачей Q и напором H . Полезная гидравлическая мощность определяется выражением $P_g = \rho g Q H$, где ρ – плотность перекачиваемой жидкости, g – ускорение свободного падения. Потребляемая электрическая мощность всегда выше полезной гидравлической мощности вследствие потерь в насосе, электродвигателе, преобразователе частоты и трубопроводной сети.

Энергетическая эффективность зависит не только от паспортного коэффициента полезного действия отдельных элементов, но и от положения рабочей точки на характеристике насоса. Работа вдали от зоны наилучшего КПД сопровождается повышением потерь, вибрации и вероятности кавитационных явлений.

При неизменной скорости вращения уменьшение расхода обычно достигается прикрытием задвижки или регулирующего клапана. В этом случае гидравлическое сопротивление возрастает, а избыток напора превращается в потери. Частотное регулирование исключает необходимость постоянного гашения избыточного напора и обеспечивает более плавное поддержание заданного давления или расхода.



Принцип частотного регулирования

Частотно-регулируемый электропривод включает асинхронный электродвигатель, преобразователь частоты, средства измерения и контроллер. Преобразователь частоты выпрямляет входное переменное напряжение, формирует промежуточное звено постоянного тока и с помощью инвертора создает на выходе напряжение требуемой частоты и амплитуды. Изменение частоты питающего напряжения приводит к изменению скорости вращения ротора и рабочего колеса насоса.

Для центробежных насосов в рабочем диапазоне применяются законы подобия: подача пропорциональна частоте вращения, напор пропорционален квадрату частоты, а потребляемая мощность – кубу частоты. В относительной форме это выражается зависимостями $Q_2/Q_1 = n_2/n_1$, $H_2/H_1 = (n_2/n_1)^2$ и $P_2/P_1 = (n_2/n_1)^3$. Следовательно, даже умеренное снижение скорости при переменной нагрузке способно заметно уменьшить требуемую мощность. Однако эти соотношения применимы лишь в допустимой области работы насоса; минимальную частоту, пределы подачи и условия предотвращения кавитации следует определять по данным изготовителя и результатам обследования объекта.

Автоматическая система управления может поддерживать постоянное давление в контрольной точке, заданный расход, уровень жидкости в резервуаре или их комбинацию. Например, сигнал датчика давления сравнивается с уставкой, после чего ПИД-регулятор формирует команду преобразователю частоты. При падении давления частота повышается, а при снижении водоразбора – уменьшается. В многонасосных станциях частотное управление одного ведущего агрегата сочетают с каскадным вводом и выводом дополнительных насосов, что позволяет распределять нагрузку и ограничивать число пусков.

Технические эффекты и ограничения

Основным эффектом частотного регулирования является уменьшение непроизводительного расхода электроэнергии по сравнению с дроссельным способом. Дополнительно снижаются гидравлические удары при плавном разгоне и останове, уменьшаются колебания давления, сокращается износ арматуры и механических узлов. Стабилизация напора способствует снижению вероятности избыточных утечек в сетях и повышает качество технологического процесса, если насосная станция обеспечивает производственные операции.

При этом установка преобразователя частоты требует инженерного обоснования. Необходимо учитывать статическую составляющую напора: при ее большой доле потенциальный эффект снижения скорости ограничивается, поскольку насос должен преодолеть геодезическую высоту подъема жидкости. Важны также фактическая характеристика трубопровода, профиль нагрузки по времени, состояние рабочих колес и труб, КПД двигателя при неполной нагрузке, качество электропитания и электромагнитная совместимость оборудования.

Безопасная эксплуатация насосных агрегатов предполагает применение средств автоматизации, сигнализации и защиты. ГОСТ 31839-2012 устанавливает требования к насосам и насосным агрегатам, включая монтаж, эксплуатацию, техническое обслуживание, средства контроля и аварийный останов при нарушении заданных параметров. При проектировании следует предусмотреть защиты от сухого хода, перегрева двигателя и подшипников, недопустимого давления, работы вне допустимой области характеристики, а также блокировки, связанные с состоянием запорной арматуры и уровнем жидкости [4].

Предлагаемая модель внедрения

На первом этапе необходимо провести энергетическое и технологическое обследование насосной станции. Фиксируются состав оборудования, паспортные характеристики насосов и двигателей, суточные и сезонные графики расхода, давление в контрольных точках, потребляемая мощность, число пусков, простои и состояние регулирующей арматуры. Для достоверной оценки требуется отделить потери, связанные с режимом управления, от потерь, вызванных износом насосов, загрязнением фильтров, утечками и нерациональной конфигурацией трубопроводов.



На втором этапе строятся или уточняются характеристики насосов и сети, определяется допустимый диапазон частот и выбирается схема регулирования. Для одного агрегата рациональна стабилизация давления или расхода по сигналу датчика. Для группы насосов необходимо определить очередность включения, минимальное время работы, алгоритм чередования агрегатов и условия перехода от регулирования скорости к каскадному управлению. Преобразователь частоты выбирается по мощности двигателя, напряжению сети, требуемой перегрузочной способности, условиям охлаждения и степени защиты оболочки.

Третий этап включает монтаж, настройку параметров двигателя, уставок защит и регулятора, а также пробную эксплуатацию. До ввода в постоянную работу проверяют направление вращения, отсутствие недопустимых вибраций, устойчивость поддержания давления, отсутствие кавитации и соответствие фактической мощности расчетным ожиданиям. Не допускается использовать частотное регулирование как способ маскировки неисправностей насоса или работы на закрытой арматуре.

На заключительном этапе выполняется оценка результата. Годовую экономию электроэнергии целесообразно определять как разность между базовым и фактическим потреблением за сопоставимые периоды с учетом объема перекачки, напора и режима работы. Одновременно контролируются удельное энергопотребление на единицу перекачанной жидкости, количество аварийных остановов, число пусков, отклонение давления от уставки и затраты на обслуживание.

Заключение

Применение частотно-регулируемых электроприводов является эффективным направлением повышения энергоэффективности насосных станций с переменным графиком нагрузки. Изменение скорости вращения рабочего колеса позволяет согласовать подачу и напор с фактической потребностью системы и избежать потерь, характерных для дроссельного регулирования. Наибольший эффект достигается при комплексном подходе, объединяющем анализ характеристик насоса и сети, выбор рационального диапазона частот, автоматическое регулирование по измеряемым параметрам и контроль технического состояния оборудования.

Список литературы:

1. Лезнов Б. С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. М.: Машиностроение, 2013. 176 с.
2. Агентство по энергосбережению. Установка частотно-регулируемых приводов (ЧРП) на насосы: описание технологии. URL: agentstvotek.ru (дата обращения: 18.08.2026).
3. Козлов А. Эффективность применения частотно-регулируемого электропривода в насосных системах // Современные технологии автоматизации. 2005. URL: cta.ru (дата обращения: 18.08.2026).
4. ГОСТ 31839-2012. Насосы и агрегаты насосные для перекачки жидкостей. Общие требования безопасности. Введ. 01.01.2014. М.: Стандартиформ, 2013.
5. ГОСТ 6134-2007 (ИСО 9906:1999). Насосы динамические. Методы испытаний. М.: Стандартиформ, 2008.

