

УДК 621.6.052

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

© Д.В. Сотников

**Ключевые слова:** насосные станции; энергоэффективность; частотное регулирование.

Тема работы – повышение энергетической эффективности насосных станций. Основной проблемой в данной области является отсутствие достоверной, согласованной и понятной методики определения энергетической эффективности насосных станций. Цель работы – провести исследование основных видов регулирования и структуры затрат на водоснабжение, выявить свойства насосных станций, определяющие их эффективность и зависимость, которую можно использовать как основу при разработке методики расчета эффективности насосных станций. В статье приведены решения поставленных целей, а также зависимость и свойства насосных станций, определяющие их эффективность.

Насосные станции – неотъемлемая часть технологического оборудования в промышленности и ЖКХ. На них приходится около 20 % от общего объема потребляемой электроэнергии. Вопросы, связанные с экономией электроэнергии при управлении насосами, рассматриваются достаточно давно. Большинство предлагаемых решений сводится к применению *частотно-регулируемых приводов* (ЧРП). При этом заявляется экономия электроэнергии до 60 %, перекачиваемой воды – до 25 %. Однако реальные показатели экономии энергоресурсов после применения ЧРП, как правило, значительно отличаются от заявленных.

Заявляемые показатели предназначены для мотивирования приобретения дорогостоящего оборудования, после чего они, как правило, уже не оспариваются. На сегодняшний момент отсутствует достоверная, согласованная и понятная методика определения энергетической эффективности насосных станций.

Оценивать эффективность насосных станций только с точки зрения экономии электроэнергии и перекачиваемой воды некорректно.

Основные задачи, решаемые с помощью насосных станций, – это, прежде всего, бесперебойное и устойчивое обеспечение потребителей водой с требуемыми гидравлическими параметрами и минимально возможными затратами.

Таким образом, экономия электроэнергии является сопутствующим фактором при выполнении основной задачи – бесперебойного и устойчивого снабжения водой требуемых гидравлических параметров и требуемого качества.

Выделим основные виды затрат при решении задач водоснабжения:

- стоимость оборудования;
- стоимость работ по монтажу и пуско-наладке;
- потребляемая электроэнергия, определяемая удельным расходом электроэнергии на перекачку одной единицы воды:

$$I = \frac{P, \text{ кВт}}{Q, \text{ м}^3/\text{ч}}. \quad (1)$$

- потери воды из-за избыточных напоров;
- техническое обслуживание и ремонт;
- простой при ремонте;
- замена и ремонт трубопроводов из-за последствий гидроударов;
- обучение персонала;
- организация системы диспетчеризации.

Рассмотрим показатели экономии электроэнергии при работе насосных агрегатов и способы повышения энергоэффективности насосных станций. Сосредоточимся, прежде всего, на повысительных насосных станциях с ЧРП, позволяющих получить максимальную экономию электроэнергии.

Для повышения эффективности работы насосной станции необходимо решить следующие *задачи*:

- правильно выбрать насосы. Их характеристики должны согласовываться с характеристиками сети;
- определить необходимое количество насосов, основываясь на режимах водопотребления, а также необходимости наличия резерва;
- определить структуру системы регулирования исходя из требований.

Решение для первых двух задач приведено в проектной и технической документации на объекты водопотребления и насосное оборудование. Отметим, что, не решив первые две задачи, приступать к решению третьей бессмысленно. Завышенная мощность насосов, несоответствие их характеристик характеристикам сети приводит к завышению стоимости насосов и систем управления, хотя при этом «кажущаяся» экономия может быть достаточно высокой.

Выделим два основных вида систем с частотным регулированием:

- 1) с одним ЧРП на группу насосов;
- 2) с несколькими ЧРП на группу насосов.

Оценим экономию электроэнергии для различных схем работы оборудования в системах с одним ЧРП на группу насосов.

### 1. Работа одного регулируемого насоса.

При правильном выборе насоса частота вращения электромагнитного поля питающего напряжения регулируемого насоса  $f_{\text{средн}}$  составляет 40...42 Гц и может

снижаться до 38 Гц. Снижение частоты ниже приведенного уровня вызывает значительное снижение КПД системы  $\eta$ , как следствие – увеличение потерь и снижение производительности насосного агрегата (рис. 1).

При частоте вращения электромагнитного поля питающего напряжения 38 Гц, что составляет 0,76 максимальной производительности для системы, в которой один из работающих насосов – регулируемый, ожидаемая экономия может быть оценена по следующей формуле:

$$\Delta \varpi = \frac{1 - \left( \frac{f_2}{f_1} \right)^3}{n}, \quad (2)$$

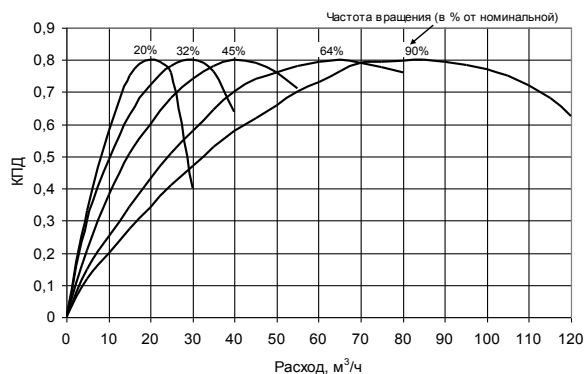
где  $f_2, f_1$  – соответственно, среднее и максимальное значение частоты вращения электромагнитного поля питающего напряжения регулируемого насосного агрегата;  $n$  – количество насосных агрегатов в работе. Подставив значения максимальной и средней частот вращения в формулу (2), получаем ориентировочное значение экономии электроэнергии – 56 % энергопотребления одного насоса.

Снижение частоты вращения электромагнитного поля питающего напряжения до значения 38 Гц вызовет снижение  $\eta$  системы на 0,05...0,08 единиц (рис. 1). Ожидаемая экономия электроэнергии при работе одного насосного агрегата составит не более 53 % его энергопотребления.

## 2. Работа двух насосов: регулируемого и не регулируемого.

На рис. 2 представлены графические зависимости потерь системы из двух и трех параллельно работающих насосов, один из которых – регулируемый, от частоты вращения электромагнитного поля питающего напряжения. Графики построены по результатам измерений, проведенных на реально действующей насосной станции. Для каждого насоса вычислялся удельный расход электроэнергии на объемную единицу перекачиваемой воды для каждого значения расхода. По результатам вычислений определяется коэффициент потерь:

$$K_{\Pi} = \frac{I_i - I_{\min}}{I_{\min}}, \quad (3)$$

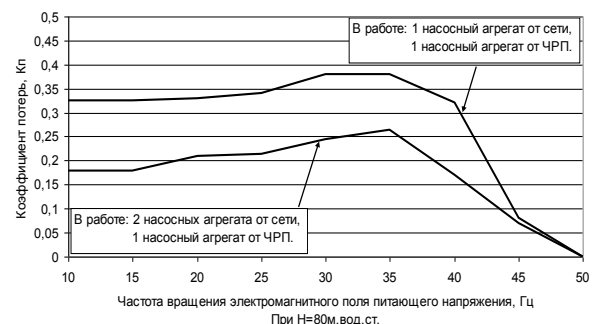
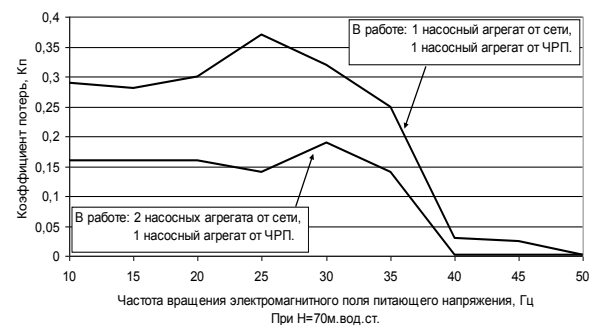


**Рис. 1.** Графики снижения КПД насосов при изменении частоты вращения электромагнитного поля питающего напряжения

где  $I_i, I_{\min}$  – значение показателя удельного расхода электроэнергии для  $i$ -го значения расхода и его минимальное значение. Для снижения погрешностей вычислено среднее квадратическое значение потерь для двух значений напора – 70 и 80 м вод. ст. При снижении частоты вращения электромагнитного поля питающего напряжения одного из двух параллельно включенных насосных агрегатов до 38 Гц снижение коэффициента полезного действия за счет гидравлических потерь может достичь 24 %. Расчетные значения коэффициента потерь системы из двух насосов, один из которых – регулируемый, составили 8...10 % за счет потерь нерегулируемого насосного агрегата, при этом не учитывалось снижение коэффициента полезного действия и дополнительные потери регулируемого насосного агрегата [1]. Ожидаемая экономия электроэнергии с учетом полученного коэффициента потерь, эквивалентного снижению КПД системы, для системы из двух параллельно работающих насосных агрегатов, один из которых – регулируемый, вычисленная по формуле (2), составит чуть более 26 % от электроэнергии, потребляемой двумя насосами без регулирования.

Для системы из трех насосных агрегатов, один из которых – регулируемый, снижение КПД системы на частоте вращения регулируемого насоса 38 Гц составляет 14,6 %, что в два раза ниже по сравнению с системой из двух насосных агрегатов. В этом случае ожидаемая экономия электроэнергии для системы трех агрегатов, по выражению (2), с учетом потерь составит менее 18 % экономии от общего электропотребления.

Приведенные результаты хорошо согласуются с расчетными показателями экономии для насосного повышения давления (5...20 %, в отдельных случаях – 25...30 % от общего электропотребления) [2], которые приведены доктором технических наук Б.С. Лезновым.



**Рис. 2.** Зависимость коэффициента потерь от частоты вращения электромагнитного поля питающего напряжения для систем из двух и трех насосных агрегатов с одним от устройства ЧРП при разных значениях создаваемого напора

Отметим, что режим работы с одним регулируемым и одним нерегулируемым насосными агрегатами является наиболее неблагоприятным с точки зрения снижения КПД системы из-за гидравлических потерь. Таким образом, при параллельной работе двух насосных агрегатов в установках повышения давления целесообразно регулировать от ЧРП каждый агрегат. При наличии третьего насосного агрегата его можно подключать в режиме прямого пуска или от ЧРП после переключения одного из регулируемых насосов к сети питающего напряжения. При этом, согласно расчетам, снижение КПД системы не превысит 9 % (вместо 14,6 %) при снижении частоты регулируемых насосов до «среднего» уровня в 38 Гц и параллельно работающего нерегулируемого насосного агрегата (рис. 2). В системах с параллельно работающими ЧРП дополнительно возникают потери, вызванные небалансом физических частот вращения насосов. При одинаковых значениях заданной частоты, записываемых в ячейки управления каждого ЧРП, физическая частота вращения насосов с асинхронными электродвигателями может быть различной. Такой небаланс вызван различием в параметрах насосов, а также в параметрах и настройках регулирующих устройств. Дополнительные потери в этом случае достигают 5 % общего энергопотребления [1]. При выравнивании нагрузок параллельно работающих насосных агрегатов системой управления снижаются потери, позволяя получить дополнительную экономию.

Приведенные расчеты, безусловно, не могут быть положены в основу методики расчета энергетической эффективности насосных станций с регулируемым приводом. За основу такой методики целесообразнее взять методику Б.С. Лезнова, изложенную в [2], однако, по мнению автора, в нее необходимо внести поправки, учитывающие гидравлические потери при параллельной работе регулируемых и нерегулируемых насосов.

$$W_{\text{эк}} = \frac{(N_6 \cdot T) \cdot (W_{\text{эк}}^x - 0,04)}{\eta_{\text{эд}}} \cdot \varphi \cdot \vartheta, \quad (4)$$

где  $W_{\text{эк}}$  – экономия электроэнергии за время работы, кВтч;  $T$  – время работы, ч;  $N_6$  – наибольшая потребляемая мощность регулируемого насоса;  $\eta_{\text{эд}}$  – КПД электродвигателя;  $W_{\text{эк}}^x$  – относительная экономия электроэнергии, определяемая по графическим зависимостям;  $\varphi$  – коэффициент, учитывающий количество работающих насосов;  $\vartheta$  – коэффициент, учитывающий гидравлические потери при параллельной работе насосов. Определяется режимом работы системы регулирования. Таким образом, энергоэффективность насосных станций повышения давления определяется в основном структурами систем управления насосным оборудованием. При введении классификации структур систем управления электроприводом насосных агрегатов появляется возможность заранее оценить экономию электроэнергии при управлении необходимым количеством насосного оборудования, таким образом, скорректировав требования к проектируемой системе управления и насосной станции в целом. Также появляется возможность сравнения многообразных предложений систем управления на рынке.

Рассмотренные затраты при решении задач водоснабжения позволяют определить свойства насосных станций, определяющие их эффективность:

- надежность работы аппаратной части оборудования;
- технологичность, обеспечивающую необходимые гидравлические параметры при снижении вероятности возникновения гидроударов в напорной магистрали;
- функциональную устойчивость систем управления, позволяющую резервировать отказы отдельных элементов. Дает дополнительное время на устранение неисправностей, сокращает необходимое количество персонала;
- эргономичность систем управления, сокращающую время подготовки обслуживающего персонала и снижающую требования к квалификации;
- информационность системы управления, позволяющую сократить трудозатраты, а также аппаратное обеспечение на своевременное получение необходимой информации. Сокращает время получения информации при повышении ее достоверности для своевременного принятия решения.

Перечисленные свойства насосных станций, определяющие их конструктивное и эксплуатационное совершенство, могут быть реализованы только при решении задач комплексного применения исполнительных элементов и управляющих контроллеров, непрерывного совершенствования алгоритмического и программного обеспечения насосных станций. Реальная экономия электроэнергии при работе насосных станций с частотным регулированием не является определяющим экономическим фактором при оценке эффективности насосной станции на этапе проектирования. Для полной оценки эффективности насосной станции кроме затрат электроэнергии и потерь воды необходимо учитывать стоимость оборудования применительно к решаемым задачам, эксплуатационные затраты, затраты на подключение к системе диспетчеризации, затраты на подготовку персонала и другие возможные затраты в процессе жизненного цикла установок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Каргин С.А. Эффективность работы насосных установок с учетом возникающих в них потерь энергии // Новости теплоснабжения. 2009. № 11. С. 28-32.
2. Лезнов Б.С. Методика расчета экономии энергии при использовании РЭП в насосных установках // Ассоциация теплотехнических и инженеринговых компаний. Каталог статей. 2010. URL: [http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=45](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=45). Загл. с экрана.

Поступила в редакцию 31 июля 2013 г.

## Sotnikov D.V. RISE OF ENERGETIC EFFICIENCY OF PUMP STATIONS

Theme of the work is the increasing the energy efficiency of pumping stations. The main problem in this field is lack of reliable, consistent and understandable methodology for determining the energy efficiency of pumping stations. Purpose of work – conducted research main types of management and structure of expenses to determine the properties of water pumping stations defining their effectiveness and dependence that can be used as a basis for developing a method of calculating the efficiency of pumping stations. The article presents the solutions the objectives, and the dependence of the properties of pumping stations, which determine their effectiveness.

**Key words:** pump stations; energy efficiency; frequency regulation.