

## **МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМ НАСОСОМ ЗА РАСЧЕТНЫЙ ПЕРИОД**

Необходимость внедрения и использования энергосберегающих технологий в производственных процессах диктуется дефицитом и высокими ценами на энергетические и топливные ресурсы. Одним из основных направлений рационального использования энергии в водопроводно-канализационном хозяйстве (ВКХ) является применение насосов, оборудованных регулируемым электроприводом (РЭП) для транспортировки питьевых и сточных вод.

В современных условиях дефицита и постоянного возрастающей стоимости энергетических ресурсов, использование РЭП насосов стало одним из наиболее эффективных способов экономии электроэнергии в системах ВКХ и, как следствие, снижения себестоимости транспортируемой воды. Внедрению РЭП способствуют и современные достижения в микроэлектронике, значительно повысившие эффективность и расширившие возможности преобразователей частоты тока (ПЧТ).

Широкое распространение РЭП на насосных станциях систем ВКХ получил на протяжении последних 15–20 лет. Накопленный за это время опыт эксплуатации показал, что, к сожалению, не всегда внедрение РЭП дает ожидаемые экономические результаты.

В первую очередь это связано с отсутствием соответствующей теоретической и методической базы. Стандартные методики разработаны для расчета и анализа режимов работы насосного оборудования при постоянной частоте вращения рабочего колеса центробежного насоса, поскольку ничего иного на момент разработки и не предполагалось. В результате, расчет режимов работы насоса с переменной частотой сводится либо к достаточно трудоемкой задаче рассмотрения работы насоса при каждой возможной частоте вращения рабочего колеса, либо к введению поправочных коэффициентов, учитывающих возможность изменения частоты вращения.

Во вторую очередь – при помощи стандартных методов, чаще всего графических, затруднительно учитывать неравномерность водопотребления и режимы работы системы подачи и распределения воды в целом. Как правило, детально рассматривается либо насосная

станция (система подачи воды), либо водоразборная сеть (система распределения воды). При этом режимы работы всей системы подачи и распределения воды (СПРВ) в целом не рассматриваются.

В третью очередь – достаточно сложно используя стандартные методы расчета определить затраты энергии на транспортирование воды насосом с РЭП во всем диапазоне подач и, как следствие, эффективность и экономическую целесообразность внедрения такого оборудования.

В результате всего вышеперечисленного, фактические режимы работы системы могут значительно отличаться от расчетных режимов. По этой причине, вопреки ожиданиям, эффект от внедрения РЭП на насосной станции может не только приблизиться к нулю, но и принять отрицательные значения.

Вопросам расчета и анализа режимов работы СПРВ посвящены работы многих исследователей, таких как: К. Пфлейдерер (K. Pfeleiderer), Е.А. Прегер, Л.Ф. Мошнин, В.Г. Ильин, Н.Н. Абрамов, В.П. Старинский, Б.С. Лезнов, Р. Карлсон (R. Carlson). В работах этих исследователей приводятся различные подходы, методы анализа, формы математического описания режимов работы СПРВ. Однако, в большинстве из них вопросы применения насосов с РЭП не рассматриваются. Кроме того, использование данных методов для ТЭО внедрения РЭП затруднено по нескольким причинам:

- узконаправленность методик – детальному рассмотрению подлежат отдельные компоненты СПРВ, наличие остальных компонентов учитывается по осредненным показателям или поправочным коэффициентам;

- низкая точность методик – погрешность расчетов по ряду методик составляет 15–20%, что не может удовлетворять требованиям современного инженерного расчета;

- трудоемкость расчетов – анализ режимов работы насоса с РЭП по ряду методик сопряжен с большим количеством трудоемких графических построений и вычислений.

Ввиду этого, появилась необходимость, используя созданную теоретическую базу и возможности современной вычислительной техники для автоматизации расчетов, разработать новые методы расчета энергопотребления, учитывающие неравномерность водопотребления и режимы работы всей СПРВ в целом, за любой расчетный период.

### **Методика расчета**

В ходе анализа существующей теоретической базы расчета и анализа СПРВ и новых возможностей систем с РЭП, автором была разработана методика прямого расчета потребляемой электроэнергии

частотно-регулируемым насосом за расчетный период. Особенностью данной методики является не только то, что она позволяет рассчитывать энергопотребление насоса с РЭП во всем диапазоне регулирования, но и то, что насосный агрегат рассматривается не как обособленная единица, а как часть СПРВ. Режимы работы рассматриваемого насоса (системы подачи воды) напрямую зависят от режимов работы водоразборной сети (системы распределения воды).

Суть методики заключается в следующих положениях:

1. Рассмотрению подлежат насосы или насосные станции безбащенных систем водоснабжения, так как только в этом случае потенциал РЭП может быть реализован полностью. При этом допускается, что подача насосом воды в сеть  $Q_n$  равняется величине водопотребления  $Q$  в данный момент времени.

2. Требуемый напор насоса  $H_{тр}$ , необходимый для преодоления всех сопротивлений сети при любом значении водопотребления, выражается эквивалентной характеристикой системы, определяющей усредненную зависимость требуемых напоров в сети от водопотребления [1] (1):

$$H_{тр} = H_r + SQ^2, \quad (1)$$

где  $H_r$  – геометрический или статический напор,  $S$  – коэффициент гидравлического сопротивления распределительной сети,  $Q$  – расчетная подача.

3. Потребляемая мощность насоса  $N$  с РЭП работающего в составе СПРВ напрямую зависит от значения водопотребления (2),

$$N = QH_{тр}/\eta, \quad (2)$$

Более подробно данное положение рассмотрено в других работах авторов [2, 3]

4. Для любой системы СПРВ, используя методы математической статистики и анализа можно определить характер распределения водопотребления во времени и определить функцию обеспеченности водопотребления (3) (рисунок 1, кривая *a*):

$$t = f(Q). \quad (3)$$

При этом, учитывая положения 2 и 3, логично предположить, что потребляемая мощность насосом будет иметь ту же обеспеченность, что и водопотребление (рисунок 1, кривая *b*). Вследствие этого, не сложно определить функцию обеспеченности потребляемой мощности (4) (рисунок 1, кривая *c*):

$$t = f(N). \quad (4)$$

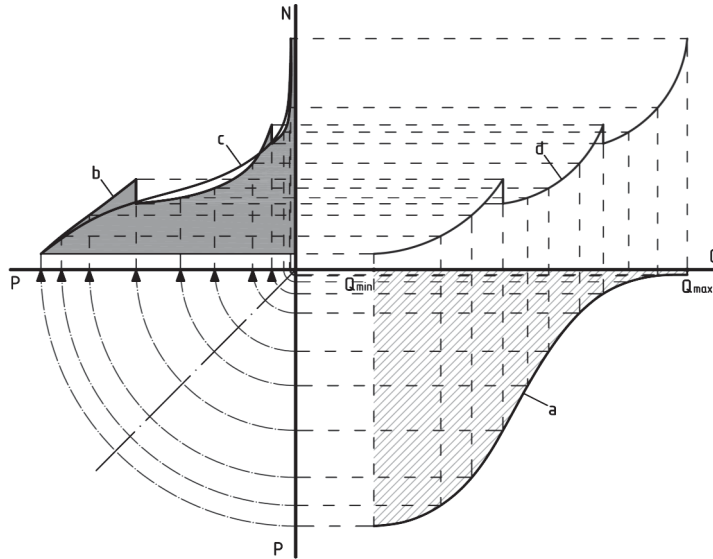


Рисунок 1 – Определение обеспеченности энергопотребления:  
 а – обеспеченность водопотребления;  
 б – фактическая обеспеченность энергопотребления по участкам;  
 с – аппроксимирующая кривая обеспеченности энергопотребления;  
 д – зависимость потребляемой мощности от водопотребления

5. Интегрируя функцию (4) в пределах от  $N_{\min}$  до  $N_{\max}$ , получаем суммарные затраты энергии на транспортирование воды в водоразборную сеть за расчетный период (5):

$$W_T = \int_{N_{\max}}^{N_{\min}} t(N) dN, \quad (5)$$

Приведенные положения и составляют основу методики прямого расчета потребляемой энергии насосом с РЭП. Но в данном случае не до конца остается раскрытым вопрос определения функции обеспеченности водопотребления.

Решить данный вопрос можно двумя путями. Первый основывается на статистической обработке результатов наблюдения за водопотреблением в рассматриваемой СПРВ. В данном случае, чем больше объем исходной информации, тем достовернее результаты. Но к сожалению, не всегда имеется в наличии достаточный объем статистических данных, тем более если речь идет о вновь проектируемой системе. В этом случае можно прибегнуть к методике разработанной В.П. Старинским [4].

Данная методика основывается на законе трехпараметрического гамма-распределения. Для построения графика обеспеченности расходов водопотребления соответствующего данному закону определя-

ются значения коэффициента вариации расходов водопотребления  $C_v$  и коэффициента асимметрии  $C_s$  распределения по формуле (6). При этом коэффициент вариации  $C_v$  предложено считать равным коэффициенту асимметрии  $C_s$  [4]:

$$C_v = C_s = 0,45 + 0,15 \cdot \left( \frac{K_{\max}}{K_{\min}} \right) + 0,55 \cdot \left( \frac{\alpha_{\max}}{\alpha_{\min}} - 1 \right) - 0,075 \sqrt{|\ln N|} \cdot \ln N \quad (6)$$

где  $K_{\min}$  и  $K_{\max}$  – коэффициенты суточной неравномерности [5];  $\alpha_{\min}$  и  $\alpha_{\max}$  – коэффициенты, учитывающие степень благоустройства жилой застройки населенного пункта, режим работы его предприятий и другие местные условия [5];  $N$  – число жителей населенного пункта, тыс. чел. Далее, используя значения коэффициентов  $C_v$  и  $C_s$ , строится зависимость обеспеченности  $p$  водопотребления  $Q$  выраженной в процентах или  $t$  – выраженной в единицах времени (рис. 1), в соответствии с предложенной автором таблицей [4, приложение 1].

Полученные кривые (рис. 2) с достаточной степенью точности можно аппроксимировать полиномом вида (7) и (8) (достоверность аппроксимации  $R^2=0,9999$ ):

$$p = (a + bM + cM^2 + dM^3 + eM^4 + fM^5 + gM^6), \quad (7)$$

$$t = T(a + bM + cM^2 + dM^3 + eM^4 + fM^5 + gM^6)/100 \quad (8)$$

где  $M$  – модульный коэффициент:

$$M_i = Q_i / Q_{\text{ср}}, \quad (9)$$

$T$  – расчетный период водопотребления,  $Q_{\text{ср}}$  – среднее водопотребление за расчетный период;  $a, b, c, d, e, f$  и  $g$  – эмпирические коэффициенты обеспеченности, значения которых для значений  $C_v$  от 0,1 до 0,8 (шаг – 0,1) приведены в приложении А. Для промежуточных значений  $C_v$  коэффициенты  $a, b, c, d, e, f$  и  $g$ , как показывает практика, можно получить путем линейной интерполяции. Выражения (7) и (8) довольно громоздки и неудобны для ручного расчета, но при использовании современной вычислительной техники это не имеет большого значения.

Проинтегрировав выражение (9) при определенном значении  $C_v$  в пределах от  $Q_{\min}$  до  $Q_{\max}$  получаем величину потребленного за расчетный период объема воды  $Q_T$ :

$$Q_T = \int_{Q_{\max}}^{Q_{\min}} t(Q) dQ \quad (10)$$

Таким образом, использование кривых обеспеченности более полно характеризует интенсивность и распределение водопотребления во времени. Возможность определения объема потребленной воды за

расчетный период позволяет определить количество израсходованной энергии за этот же период.

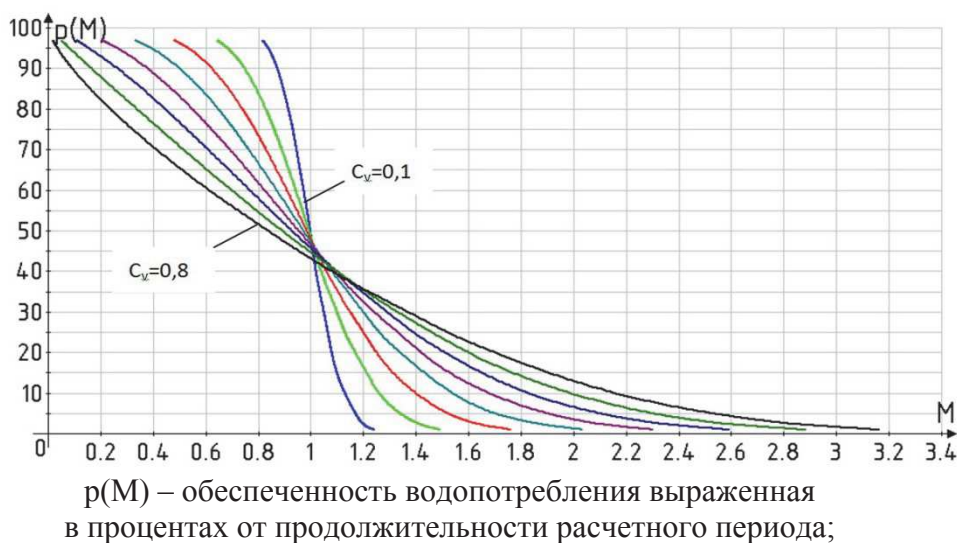


Рисунок 2. Кривые обеспеченности водопотребления для значений  $C_v$  от 0,1 до 0,8

Разработанная методика позволяет прямым расчетом определить количество энергии расходуемой насосным агрегатом с РЭП на подачу воды в систему распределения. При этом учитываются режимы работы не только самого насоса, но и режимы водопотребления и распределение водопотребления во времени, что позволяет учесть особенности рассматриваемой СПРВ. Разработанная методика может быть применена:

- при анализе эффективности работы существующих систем подачи воды с целью совершенствовании технологического режима работы насосного оборудования;
- при разработке рекомендаций для реконструкции или переоборудованию объектов насосного хозяйства СПРВ с применением РЭП;
- при строительстве новых и реконструкции существующих СПРВ на стадиях обоснования инвестиций и подбора оборудования для определения оптимального варианта проектирования.

При использовании данной методики в инженерных расчетах, становится возможным достаточно точно определить эффективность внедрения РЭП в СПРВ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. М.: Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.

2. Еловик В.Л., Седлухо Ю.П. Анализ режимов работы однотипных насосов, оборудованных регулируемым приводом // Вода и экология: Проблемы и решения. – 2006. – №2(27). – С. 68–75.

3. Еловик В.Л., Седлухо Ю.П. Анализ работы разнотипных насосных агрегатов с применением регулируемого привода // Culegere de articole III Internacionala conferinta tehnico-stiintifica “Probleme Actuale ale urbanismulu si amenajarii teritoriului”. Vol 2 / com. org.: N. Grozavu, ... – Chisinau, 2006. – p. 149 – 153.

4. В.П. Старинский. Технологические гидравлические и технико-экономические расчеты в водоснабжении: уч. пособ для вузов по спец. водоснабжение и канализация. Мн.: Выш. шк., 1985 – 200 с.

5. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения: СНиП 2.04.02-84. – М.: ГПИ «Союзводоканалпроект» Госстроя СССР, 1985. – 120 с.