

Методика прямого расчета **ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ** частотно-регулируемым НАСОСОМ ЗА РАСЧЕТНЫЙ ПЕРИОД

Рассмотрены исторические предпосылки для создания отвечающей современным требованиям методики расчета энергии, затрачиваемой на транспортирование питьевых и сточных вод. Приведены основы методики прямого расчета энергии, потребляемой насосными агрегатами во всем диапазоне водопотребления. Использование самой методики в процессе технико-экономического обоснования (ТЭО) внедрения регулируемого привода на насосной станции позволит с достаточной точностью определить эффективность и целесообразность такого внедрения.

Введение

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.

Идея использования частотно-регулируемого насоса для оптимизации энергозатрат появилась еще в первой половине прошлого века. Но сложность конструкции такого привода и низкая стоимость электроэнергии не способствовали широкому применению данной технологии на практике. Развитие полупроводниковой техники в 70-х годах прошлого столетия и появление принципиально новых устройств – преобразователей частоты тока (ПЧТ), значительно упростивших создание РЭП, не смогли изменить ситуацию. Сохранившиеся невысокие цены на электроэнергию и высокая стоимость ПЧТ вновь ограничили внедрение таких систем. В современных условиях дефицита и постоянно возрастающей стоимости энергетичес-

В.Л. Еловик*,
ведущий
инженер-технолог УП
Полимерконструкция

Ю.П. Седлухо,
д.т.н.,
профессор кафедры
«Водоснабжение
и водоотведение»
Белорусского
национального
технического
университета



ких 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 ПЧТ.

Широкое распространение РЭП на насосных станциях систем ВКХ получил на протяжении последних 10 – 15 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 рабо-

* Адрес для корреспонденции: valery.yalovik@gmail.com

ты 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.

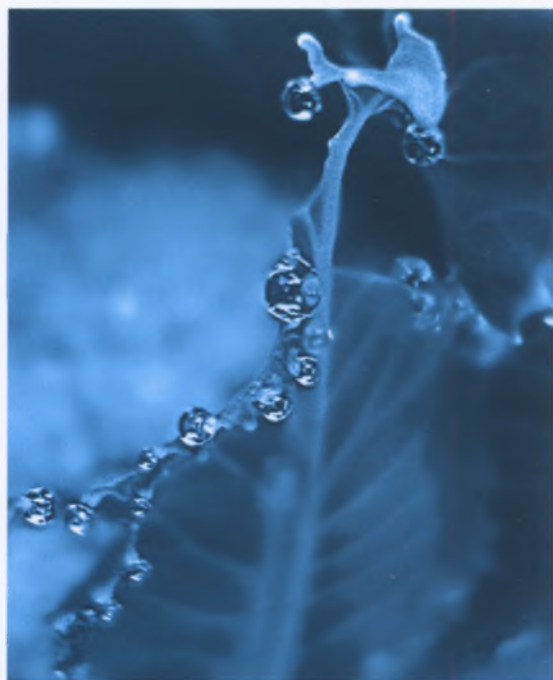
Вопросам расчета и анализа режимов работы СПРВ посвящены работы многих исследователей, таких как К. Пфлейдерер (K. Pfeleiderer), Е.А. Прегер, Л.Ф. Мошнин, В.Г. Ильин, Н.Н. Абрамов, В.П. Старинский, Б.С. Лезнов, Р. Карлсон (R. Carlson). В работах этих исследователей приводятся различные подходы, методы 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 – детально рассмотрению подлежат отдельные компоненты СПРВ, наличие остальных компонентов учитывается по усредненным 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.

Исправить ситуацию может использование компьютерных технологий в процессах расчета и анализа СПРВ, так как появляется возможность оперировать любым объемом



данных и рассматривать любое количество вариантов при низких затратах труда и времени. Но стандартные графические методики не позволяют в полной мере использовать потенциал ЭВМ, оставляя ему роль графопостроителя.

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.

Материалы и методы исследования

В ходе анализа существующей теоретической базы расчета и анализа СПРВ и новых возможностей систем с РЭП, авторами 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 безбашенных систем

водоснабжения, так как только в этом случае потенциал РЭП может быть реализован полностью. При этом допускается, что подача насосом воды в сеть Q_H 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) (рис. 1, кривая а):

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

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

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

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.

Ключевые слова:
энергоэффективность,
частотно-регулируемый привод,
водопроводно-канализационное хозяйство,
насосный агрегат

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, определяются 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]:

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

где: K_{min} и K_{max} – коэффициенты суточной неравномерности [5]; α_{min} и α_{max} – коэффициенты, учитывающие степень благоустройства жилой застройки населенного пункта, режим работы его предприятий и другие местные условия [5]; N – число жителей насе-

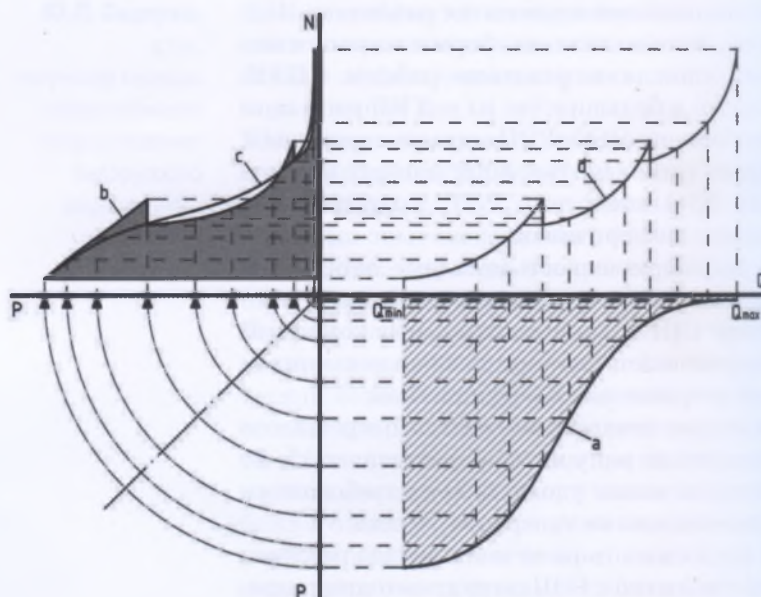


Рис. 1. Определение обеспеченности энергопотребления. а – обеспеченность водопотребления; б – фактическая обеспеченность энергопотребления по участкам; с – аппроксимирующая кривая обеспеченности энергопотребления; d – зависимость потребляемой мощности от водопотребления.

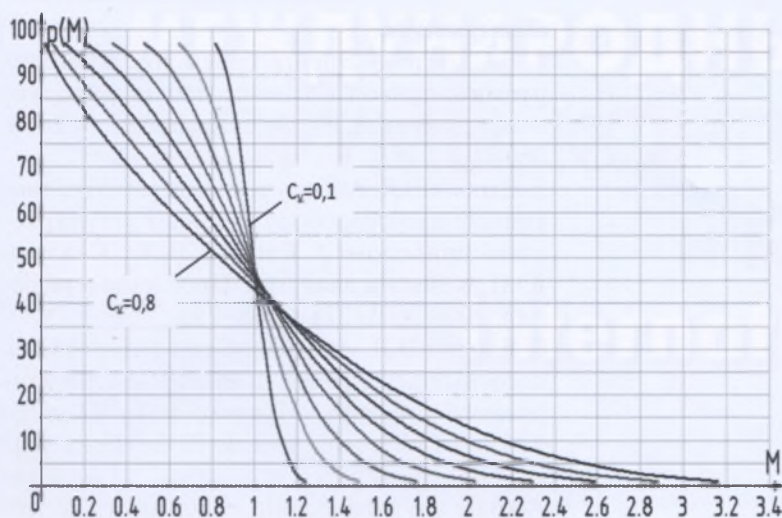


Рис. 2. Кривые обеспеченности водопотребления для значений C_v от 0,1 до 0,8; $p(M)$ – обеспеченность водопотребления, выраженная в процентах от продолжительности расчетного периода

ленного 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:

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

T – расчетный период водопотребления, Q_{cp} – 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 :

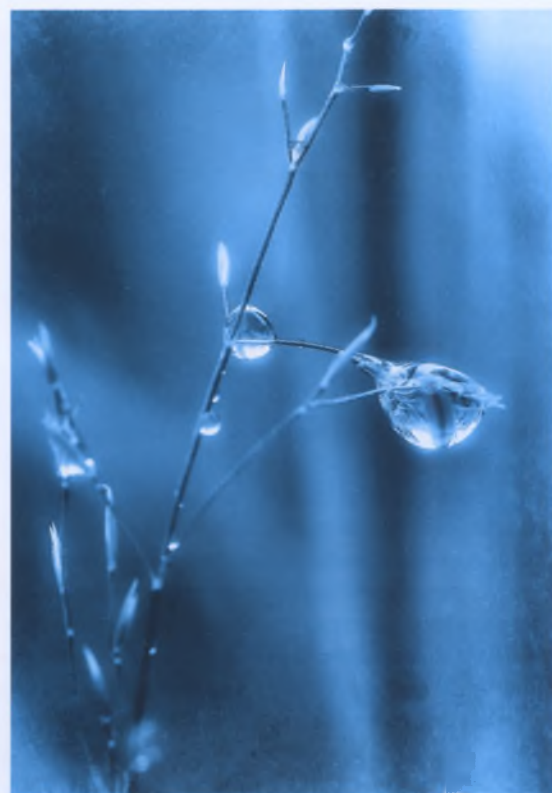
$$Q_T = \int_{Q_{min}}^{Q_{max}} t(Q)dQ \quad (10)$$

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.

Заключение

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 режим 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. Б.С. Лезнов. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздухоудных установках. М.: Энергоатомиздат, 2006. 360 с.
2. Еловик В.Л. Анализ режимов работы однотипных насосов, оборудованных регулируемым приводом / Еловик В.Л., Седлухо Ю.П. // Вода и экология: Проблемы и решения. 2006. № 2 (27). С. 68–75.
3. Еловик В.Л. Анализ работы разнотипных насосных агрегатов с применением регулируемого привода / Еловик В.Л., Седлухо Ю.П. // 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.

V.L. Elovik, Yu.P. Sedlukho

DIRECT CALCULATION OF ENERGY CONSUMPTION BY VARIABLE-FREQUENCY DRIVE DURING WORKING PERIOD

Historical background to develop modern energy calculation method for both drinking and waste water transmission was observed. Direct basis of design for energy

consumption were represented. The effectiveness of drive application on pump station was exactly determined if feasibility report includes the direct calculation method.

Key words: Energy efficiency, variable-frequency drive, sanitation systems, pumper