

Василенко С.Л.

ОЦЕНОЧНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Одной из фундаментальных характеристик для экономики каждой страны является энергоемкость валового внутреннего продукта (ВВП) – объем потребления топливно-энергетических ресурсов для удовлетворения энергетических производственных и непроизводственных потребностей на единицу ВВП. По количеству потребляемой энергии всех видов Украина занимает 5-6-е место в мире, но по объемам производимого за год ВВП на душу населения находится лишь в конце первой сотни стран. В результате энергоемкость украинского ВВП в 3-5 раз превышает аналогичные показатели для развитых стран [12].

Схожая ситуация наблюдается и в сфере централизованного питьевого водоснабжения – самой мощной в стране системе по количеству принудительно перекачиваемого продукта [6]. Уровень энергопотребления в коммунальном водном хозяйстве (КВХ) также является одним из наиболее энергоемких: годовое потребление электроэнергии составляет около 8 млрд кВт.часов, на что уходит энергия, вырабатываемая почти всем каскадом днепровских гидроэлектростанций, а средние нормы водопотребления почти втрое превышают среднеевропейские.

Главной причиной высоких издержек в КВХ, как и в целом в сфере жилищно-коммунального хозяйства, является его низкая энергетическая эффективность (ЭФ). Основные средства производства (трубопроводы, насосы и др.) в большинстве своем прослужили значительный срок и технически изношены. Включение в тарифы необходимой инвестиционной составляющей для модернизации систем водоснабжения сдерживается ростом социальной напряженности.

Выход видится один: снижение общего уровня водопотребления [13] и повышение эффективности использования электроэнергии [2, 4]. Это в свою очередь обеспечит эколого-экономическую безопасность питьевого водоснабжения и предотвратит деградацию финансово-экономического состояния предприятий КВХ [10].

В работе [2] рассмотрены концептуальные положения о рациональном использовании электроэнергии в системах централизованного водоснабжения с учетом специфики их функционирования и управлении этими процессами под углом зрения социально и экономически оправданной эффективности энергосбережения. В настоящей статье исследуются общие подходы для количественной оценки ЭФ в таких системах.

Следует сразу отметить, что несмотря на отсутствие единых показателей эффективности, в региональных программах энергосбережения можно найти вполне определенные косвенные критерии: экономия электрической энергии (% в год), стоимость сэкономленной электроэнергии, общие затраты на энергосбережение, средний срок окупаемости энергосберегающих мероприятий и т.п. Такие оценочные характеристики важны сами по себе, в частности, при анализе и контроле внедрения ресурсосберегающих технологий. Тем не менее, этого недостаточно, – необходимо вводить параметры ЭФ для оценки динамики использования электроэнергии во всей системе водоснабжения в комплексе и на ее различных уровнях (рис. 1). Так, повышение коэффициента полезного действия насосного оборудования может не привести к ожидаемому росту ЭФ из-за больших потерь воды в распределительных сетях, а запланированную экономию электрической энергии легко достичь искусственным снижением подачи воды.

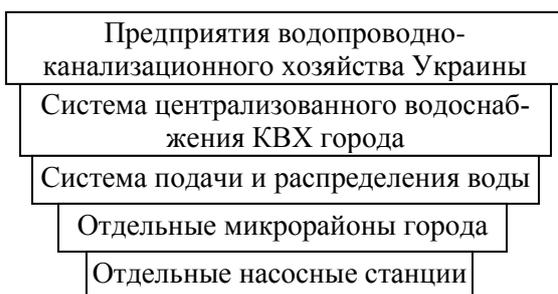


Рисунок 1 – Структурные уровни расчета оценочных показателей энергетической эффективности при централизованном водоснабжении

Основным производимым продуктом в КВХ является питьевая вода, поэтому подобно энергоёмкости ВВП для оценки рационального использования электроэнергии в водоснабжении целесообразно использовать такой технико-экономический показатель, как удельный расход электроэнергии (УРЭ) на один метр кубической воды (произведенной, поданной, перекаченной).

Однако сам по себе такой показатель является также непрямой

показателем, поскольку по нему невозможно сравнивать системы водоснабжения различных городов, да и в одном городе тоже – при наличии нескольких источников водоснабжения. И хотя он измеряется в относительных единицах расхода воды, по нему трудно сопоставлять между собой степень технического совершенствования отдельных элементов системы, в частности, насосных станций. Поэтому вполне естественным является переход от УРЭ к оценке его относительного изменения в безразмерных величинах или процентах, что отвечает общим правилам определения эффективности производственных процессов.

Итак, главный показатель энергетической эффективности – это относительный удельный расход потребляемой электроэнергии.

Объектный подход. Пусть $\omega_0 = W_0 / Q_0$, $\omega_t = W_t / Q_t$ – удельные расходы электроэнергии на некотором объекте водоснабжения или во всей системе в моменты времени 0 и t , кВт.час/м³; соответственно W_0 , W_t – потребление электроэнергии, Q_0 , Q_t – расходы воды. Момент времени t может и предшествовать 0 (ретроспективный расчет).

Тогда показатель ЭФ определим как относительный УРЭ, равный отношению изменения фактического УРЭ за интервал времени t к его некоторому базовому значению. Поскольку при неэффективном использовании электроэнергии посчитанный таким образом показатель может принимать отрицательные значения, минимальную его величину ограничим на уровне нуля.

В качестве базового значения зафиксируем фактическую величину УРЭ в предшествующий период времени, тогда n_f – показатель ЭФ может быть вычислен по формулам:

$$\begin{cases} n_f = \max(0, n_f^*) \cdot 100 \%, \\ n_f^* = (\omega_0 - \omega_t) / \omega_0 = 1 - (1 - W'_\Delta) / (1 - Q'_\Delta), \\ W'_\Delta = (W_0 - W_t) / W_0, \quad Q'_\Delta = (Q_0 - Q_t) / Q_0. \end{cases} \quad (1)$$

Похожий подход применяется при расчете коэффициента рационального использования энергии на насосной станции, зависящей от графика обеспечиваемого ею водопотребления за некоторый временной промежуток [4]: $k = \sum_i Q_i h_{\tau i} t_i / \sum_i Q_i h_{\text{н} i} t_i / \eta_{\text{на} i}$, где

Q – подача воды насосной станции, $h_{\text{н}}$ – напор насосов, h_{τ} – требуемое давление, $\eta_{\text{на}}$ – КПД насосного агрегата (насоса, электродвигателя, передачи), i – индекс дискретизации по времени t . То есть энергия, затрачиваемая на создание избыточных напоров $h_{\text{н}}$ –

h_T , не рассматривается как полезная. Если от коэффициента k перейдем к его относительному изменению во времени, то получим показатель, характеризующий ЭФ на уровне отдельной насосной станции. Это следует из уравнения для мощности на валу насоса $P = Qh\gamma g / \eta_{на}$, где γ – плотность воды, g – ускорение свободного падения; $W = Pt$.

Напор h_T обуславливается требуемым подъемом воды и сопротивлением системы и является почти постоянным, если пренебречь текущими изменениями конструкций и небольшим наклоном напорной характеристики насосов в эксплуатационном диапазоне. Величина КПД также относительно мало изменяется в том же диапазоне. Тогда уменьшение удельной потребляемой энергии по сравнению с ее исходным значением приводит не только к прямой экономии энергии, но и повышению эффективности ее использования.

Отраслевой подход. В качестве базового значения УРЭ ω_0 в формулах (1) может быть выбран некоторый отраслевой показатель: усредненная по различным регионам либо иным образом нормируемая величина УРЭ. Тогда соотношение относительных УРЭ разных систем водоснабжения может служить критерием при сопоставлении их развития и энергоэффективности.

Потребление электроэнергии при перекачке воды по трубопроводам зависит от множества параметров как постоянных, так и изменяющихся во времени. К ним можно отнести объемы перекачиваемой воды, тип и состояние насосно-силового оборудования, протяженность и диаметры трубопроводов. Оказывают влияние также высотные отметки жилых строений, оснащенность систем водоснабжения средствами автоматизации, схемы и режим их работы и т.п.

В самом общем случае потребление электроэнергии затрачивается на совершение полезной работы по перемещению воды:

- по длине трубопроводов /на преодоление сопротивления/;
- по вертикали – на создание требуемых напоров воды.

Поэтому можно считать, что $\omega_{0отр}$ – базовый отраслевой показатель ЭФ функционально связан с метрическими характеристиками:

$$\omega_{0отр} = F(L + \sqrt{S}, d, h_{\Delta}, k), \quad (2)$$

где L – удаленность источников водоснабжения, умноженная на удельный вес подачи воды от этих источников в общей структуре водопотребления, S – площадь территории, охваченной централизованным водоснабжением, d – средний диаметр трубопроводов, h_{Δ} – разность геодезических отметок, $k = \sum h_i n'_i$ – показатель застройки и компактности проживания населения, $n'_i = n_i / n$ – долевое участие людей, проживающих в домах высотой h_i .

Сама зависимость (2) может быть нелинейной относительно любой из переменных, а ее нахождение является отдельной самостоятельной задачей, включая сбор и анализ соответствующих данных по городам Украины.

Выбор расхода воды. Основными расходными характеристиками системы централизованного питьевого водоснабжения являются:

- $Q_{п}$ – подача воды, исчисляемая от насосных станций второго подъема /после забора воды из водных объектов и ее очистки на сооружениях кондиционирования/;
- $Q_{р}$ – реализация или полезный отпуск воды потребителям;

- $Q_{\text{пот}}$ – потери воды, технологические и неучтенные расходы в системе подачи и распределения воды с учетом ее использования на хозяйственно-бытовые нужды и вспомогательных объектах предприятия КВХ, начиная с выходов подающих насосных станций 2-го подъема.

Если оперировать нормативно-расчетными характеристиками, то эти расходы связаны простым соотношением [1]: $Q_{\text{п}} = (Q_{\text{пот}} + Q_{\text{р}})(1 - \lambda)^{-1}$, где λ – доля коммерческих потерь воды от ее подачи (для городов с населением от 1 до 2 млн. чел. $\lambda = 0,025$).

Реализация или полезный отпуск воды – относительно субъективная величина. Она зависит, в частности, от нормативов водопотребления – некоторой расчетной величины, утверждаемой местными администрациями, иногда обычным волевым решением.

Например, в г. Харькове в 2000 году норматив был снижен ровно на $1 \text{ м}^3/\text{мес}$ без какого-либо технико-экономического обоснования. И если раньше нормативы регулировались строительными нормами и правилами (СНиП), то сегодня они оказались различными по городам Украины, и четкого объяснения этому нет. В каком-то смысле это можно обосновать тем, что удельное среднесуточное водопотребление городов зависит от природно-климатических условий и даже загрязнения атмосферы промышленными выбросами. Разработана и методика, позволяющая обоснованно прогнозировать водопотребление городов и принимать рациональные управленческие решения при водоснабжении населенных пунктов [9].

Кроме того, при массовой установке приборов учета воды реализация имеет общую тенденцию к снижению, как за счет уменьшения реального водопотребления, так и всевозможных способов манипуляции с приборами и фактического хищения воды [7]. К сожалению, возможности фальсификации существуют, поскольку счетчик достаточно сложен по устройству, алгоритмам работы, монтажу и эксплуатации. На практике одновременно с внедрением счетчиков воды растет небаланс между результатами учета отпуска и потребления, и подобные манипуляции с приборами вынужденно списываются на потери в распределительных сетях.

Потери воды. Следует различать физические потери воды (утечки, технологические расходы на промывку водопроводных сетей, утечки через смоченную поверхность резервуаров чистой воды и т.п.) и потери, как некий собирательный образ. На физическом уровне потери зависят от законов движения жидкости (гидравлики, гидродинамики), законов систем массового обслуживания, закономерностей износа сложных многокомпонентных систем [6]. С другой стороны, в потери входит хищение воды, недоучет и т.п. Определить общую величину потерь и соотношение ее составных на основе отчетных данных практически невозможно, поскольку в Украине учитывается лишь пятая часть потребленной воды [13].

То есть все, что нереализовывается и недосчитывается, также перекладывается на суммарные потери $Q_{\text{пот}}$, величины которых в Украине и так непомерно высоки. Сама вода при этом может использоваться на полезные нужды потребителей, она не вытекает через повреждения на сетях, но для Водоканалов считается потерянной. Потери воды при транспортировке также возрастают за счет старения трубопроводов, что заложено в отраслевых нормативах использования питьевой воды [3], как и неучтенные потери воды на приборах учета.

Таким образом, главными расходными характеристиками при исчислении ЭФ следует считать подачу воды, контролируемую счетчиками, и реализацию воды, которая хотя и несколько приближенно, но характеризует уровень реального потребления

воды.

Главные направления ЭФ. Большую часть электроэнергии потребляет электропривод насосных установок, относящийся к электроприводу непрерывного транспорта и являющийся наиболее массовым производственным механизмом в водоснабжении [5]. Они в основном имеют нерегулируемый асинхронный электропривод, и при этом работают с не полной нагрузкой, что приводит к значительным потерям электроэнергии.

Действенное уменьшение удельных затрат энергии можно достигать, в частности, снижением избыточных напоров. Так, применение преобразователей частоты на водопроводных насосных станциях для управления электродвигателями насосных агрегатов является одним из самых эффективных способов экономии электроэнергии [5,14].

Далее даже при обеспечении минимально необходимого давления у последнего водоразборного крана за счет регулирования числа оборотов подкачивающих насосов, остается разный уровень давлений у водоразборных кранов, расположенных на разных этажах из-за различия гидростатического давления. Для устранения этого системы водоснабжения разбивают на зоны, и, кроме того, на подводках холодной и горячей воды в каждую квартиру устанавливают самостоятельные квартирные регуляторы давления, снижающие при протекании через них воды давление в нижних этажах до уровня верхнего этажа [8]. В результате давления в сети оптимизируются, а потребители не страдают из-за отсутствия воды.

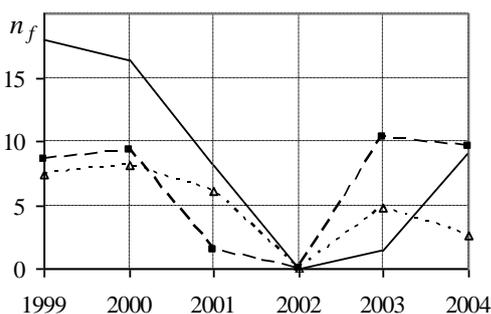


Рисунок 2 – Энергоэффективность (%) по годам: на подачу питьевой воды от удаленных источников (--- из канала Днепр-Донбасс; --- из р. Сев. Донца) и на реализацию воды в системе водоснабжения г. Харькова (—)

В качестве примера посчитаны оценки ЭФ для системы централизованного водоснабжения г. Харькова: отдельно на подачу воды по двум поверхностным удаленным источникам, а также в целом по системе группового водоснабжения – на реализацию или полезный отпуск воды (рис. 2). В основу базового удельного расхода электроэнергии принят 2002 год, как самый "неудачный" с точки зрения рационального использования электроэнергии в относительных расходных единицах воды. Характерно, что после проведения в 2003 году комплекса мероприятий, в том числе по оптимизации работы 3-х подъемов, показатели ЭФ сразу улучшились. А в 2004 году, несмотря на некоторое уменьшение ЭФ по головным подающим соору-

жениям, возросла ЭФ на реализацию воды. В этом прослеживается, прежде всего, заслуга коллектива, а также реализация административных мер.

В этой связи нельзя не отметить существующее мнение, что рыночные механизмы должны автоматически обеспечивать повышение эффективности использования энергии. В реальной жизни это не совсем так, поскольку рынок ориентируется главным образом на текущую ситуацию и не учитывает перспективы и общенациональные интересы, что находится в сфере управления государством. Роль государственных органов состоит в обеспечении заинтересованности в повышении ЭФ всех субъектов городского коммунального рынка, включая водное хозяйство. И речь идет главным образом о коренной модернизации КВХ на общегосударственном системном уровне, так как мероприятия по внедрению современных технологий носят комплексный характер.

Выводы. В основу расчета показателей ЭФ положено относительное изменение удельного расхода электроэнергии на один кубический метр воды – по сравнению с некоторой базовой оценочной величиной. Такой подход к расчету показателей ЭФ позволяет дифференцировать структуру потребления электроэнергии, оценивать эффективность ее потребления по отдельным статьям и в целом по системе. Появляется также возможность отслеживать эффективность использования электроэнергии в динамике для последующего формирования и реализации управленческих задач.

Дальнейшее исследование в этом направлении представляется в нахождении расчетных соотношений и определении базовых отраслевых показателей ЭФ.

Литература

1. Василенко С.Л. Нормативы использования воды в системах группового хозяйственно-питьевого водоснабжения // Науковий вісник будівництва: Зб. наук. праць. – Харків: ХДТУБА, 2003. – Вип. 21. – С. 143-147.
2. Василенко С.Л. Энергоэффективность систем водоснабжения // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2005. – № 1.
3. Галузеві технологічні нормативи використання питної води на підприємствах водопровідно-каналізаційного господарства України. – К.: Держ. академія ЖКГ Держжитлокомунгоспу України, 2005. – 24 с.
4. Залуцкий Э. В. Критерии рационального использования энергии в насосных станциях // Сантехника. – 2003. – № 6. – С. 34-35.
5. Ильинский Н.Ф. Энергосберегающий электропривод // Энергия: экономика, техника, экология. – 1999. – № 2. – С. 24-29.
6. Исаев В.Н. К вопросу об управлении системами водоснабжения // Сантехника. – 2004. – № 3. – С. 2-5.
7. Каргапольцев В.П., Лупей А.Г. О некоторых методах «экономии» при ведении коммерческого учета воды и тепла // Энергосбережение. – 2003. – № 6. – С. 46-51.
8. Ливчак В.И. Энергосбережение при водоснабжении жилых зданий // Сантехника. – 2002. – № 4. – С. 4-6.
9. Петросов В.А. Теоретичне обґрунтування і розробка методів інтенсифікації роботи систем водозабезпечення: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.23.04 / Харківський держ. технічний ун-т будівництва та архітектури. – Харків, 2001. – 40с.
10. Петросов В.А., Василенко С.Л., Колотило В.Д., Паболков В.В. Энергообеспечение в общей структуре эколого-экономической безопасности водоснабжения // Науковий вісник будівництва: Зб. наук. праць. – Харків: ХДТУБА, 2004. – Вип. 28. – С. 47-54.
11. Поршнева В.Н., Новикова Л.В. Мероприяття по енергосбереженню і зниженню втрат води в системах городского водоснабжения // Энергосбережение, 2004. – № 5. – С. 12-16.
12. Суходоля О.М. Енергоємність валового внутрішнього продукту: тенденції та чинники впливу // Вісник Української Академії державного управління при Президенті України. – 2003. – № 2.
13. Хомко В.Є., Царинник О.Ю. Скорочення водоспоживання населенням – пріоритетний шлях до зменшення втрат води // Інформаційний бюлетень Держкомунгоспу України, 2004. – № 1.
14. Шихов А.А., Андрианов В.А. Применение частотно-регулируемого привода в энергосберегающих системах управления насосными установками // Водоснабжение и санитарная техника. – 2004. – № 7. – С. 33-34.