

УДК 621.311

**МЕТОД АНАЛИЗА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

**METHOD OF ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY  
OF WATER SUPPLY SYSTEMS**

*Н.Н. ЕЛИН, В.Б. БУБНОВ, Т.В. КОРЮКИНА*  
*N.N. YELIN, V.B. BUBNOV, T.V. KORYUKINA*

(Ивановский государственный политехнический университет,  
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России)  
(Ivanovo State Polytechnical University,  
Ivanovo Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia)  
E-mail: yelinnn@mail.ru;

*Предложен метод оценки систем водоснабжения, основанный на сравнении фактических энергозатрат с энергозатратами в идеальном процессе, позволяющий ранжировать эти системы по величине энергетической эффективности и определять их максимальный и реальный потенциалы энергосбережения.*

*A method for evaluating water supply systems based on comparing actual energy inputs with energy costs in an ideal process is proposed, which allows to rank these systems in terms of energy efficiency and determine their maximum and real potential for energy saving.*

**Ключевые слова:** энергетическая эффективность, идеальный процесс, удельный расход энергии, потенциал энергосбережения.

**Keywords: energy efficiency, ideal process, specific energy consumption, energy saving potential.**

Потребление энергии системами снабжения энергоносителями текстильных предприятий часто составляет заметную часть общего энергопотребления, и поэтому мероприятия по энергосбережению в этих системах являются актуальными. Созданию и совершенствованию систем теплообеспечения текстильных предприятий посвящено много исследований [1], а проблемы экономии энергии в системах водоснабжения проработаны в меньшей степени.

Разработку программы экономии энергетических ресурсов необходимо начинать с выявления потенциала энергосбережения [2], [3]. Для этого обычно проводится анализ критерия оптимальности – удельных расходов энергии (УРЭ) на множестве отобранных для этого предприятий. Все предприятия делятся на однородные группы по признаку сходства технологических процессов, и сравнение величин УРЭ производится внутри этих групп. При этом выделяется лидер – предприятие с наименьшей величиной УРЭ, а также рассчитываются средние показатели по всей однородной группе. Энергетическая эффективность каждого предприятия оценивается как по отношению к лидеру, так и по отношению к среднему показателю [4].

Однако такой подход не позволяет учесть влияние различий ряда факторов на величины УРЭ. Например, на предприятиях одной однородной группы могут использоваться источники водоснабжения с существенно различающимися характеристиками, протяженность коммуникаций также может сильно различаться. Поэтому мы предлагаем использовать в качестве эталона сравнения не величину УРЭ лидера, а величину, рассчитанную для идеального процесса подачи воды при конструктивных параметрах реальной системы водоснабжения анализируемого предприятия.

Основной показатель энергетической эффективности – удельный расход электроэнергии (УРЭ) на 1 тонну воды, кВт·ч/т [5]:

$$\text{УРЭ} = \frac{N}{\rho Q} = \frac{gH_p}{3600\eta}, \quad (1)$$

где  $Q$ ,  $H_p$  и  $N$  – подача, напор и мощность насоса;  $\eta$  – его к.п.д., о.е.;  $\rho$  – плотность воды.

Напор при использовании подземного источника можно определить из уравнения энергии:

$$H_{\text{ст}} + H_p = H_{\text{св}} + H_{\text{скв}} i_{\text{скв}} + Li_T + (H_{\text{ст}} - H_{\text{дин}}), \quad (2)$$

где  $H_{\text{скв}}$  – глубина залегания водоносного пласта;  $L$  – расстояние от скважины до объекта водоснабжения;  $H_{\text{св}}$  – свободный напор на входе в объект водоснабжения;  $i_{\text{скв}}$ ,  $i_T$  – гидравлические уклоны при движении воды в скважине и в наземных трубопроводах, депрессия на пласт ( $H_{\text{ст}} - H_{\text{дин}}$ ) определяется из уравнения притока:

$$H_{\text{ст}} - H_{\text{дин}} = Q/K_{\text{п}}. \quad (3)$$

Коэффициент продуктивности  $K_{\text{п}}$  можно выразить через параметры скважины и пласта:

$$K_{\text{п}} = \frac{7200\pi kA}{\rho g \ln\left(\frac{R}{r}\right)}, \quad (4)$$

где  $k$  – коэффициент фильтрации, м/с;  $A$  – мощность (толщина) пласта, м;  $r$  – радиус скважины, м;  $R$  – радиус влияния скважины, м.

Минимально возможная величина УРЭ может быть достигнута в идеальном процессе при к.п.д. всех насосов, равных номинальному паспортному значению, и при гидравлических уклонах, соответствующих оптимальному режиму течения, то есть  $\eta = \eta_{\text{ном}}$ ,  $i_{\text{скв}} \approx i_T \approx 0,01$ . Все остальные величины, входящие в (1)..(4), должны быть в списке исходных данных.

Уровень энергоэффективности технологического процесса подачи воды определяется как отношение его фактического удельного энергопотребления к удельному энергопотреблению идеального процесса, рассчитанному для условий фактического процесса, умноженное на 100:

$$K_3 = \frac{УРЭ_{\phi}}{УРЭ_{ид}} \cdot 100, \quad (5)$$

а теоретический потенциал энергосбережения  $П_{эт} = (K_3 - 100)$  показывает, на сколько процентов теоретически (при самых идеальных параметрах организации процесса) может быть сокращено его энергопотребление.

Предлагаемый подход может быть использован для анализа энергоэффективности подпроцессов (отдельных стадий технологических процессов) с целью выявления "узких мест" анализируемого процесса. Для систем водоснабжения завышенные потери энергии могут быть вследствие плохого технического состояния насосов, их эксплуатации с параметрами, выходящими за пределы рабочей зоны, а также вследствие неудовлетворительных гидравлических режимов водопроводной сети, повышенного сопротивления призабойной зоны водозаборных скважин и других причин. Однако для обеспечения выявления проблемных мест необходима разработка сравнительно сложных математических моделей технологических процессов, учитывающих большое количество факторов.

Если известны (рассчитаны) величины  $K_3$  всех анализируемых технологических процессов, то среди них можно выделить лидера, имеющего минимальное значение  $K_3 = K_{3\min}$ . Потенциал энергосбережения по отношению к лидеру можно назвать "желательный потенциал энергосбережения"  $П_{эж} = (K_3 - K_{3\min})$ . Планирование энергосберегающих мероприятий для каждой системы водоснабжения предлагается проводить исходя из величины его  $П_{эж}$ .

## ВЫВОДЫ

Предлагаемый метод позволяет определить теоретический и желательный потенциалы энергосбережения систем водоснабжения текстильных предприятий путем сравнения фактических величин энергопотребления с минимально возможными, соответствующими идеальным процессам, а также с величинами, достигнутыми лучшими предприятиями. Метод рекомендуется к использованию для оценки энергетической эффективности систем водоснабже-

ния и при разработке программ энергосбережения текстильных предприятий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Виноградова Н.В., Воронов В.А. Автоматизация функционально-структурной схемы теплообеспечения текстильного малоэтажного строения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 2. С.335...337.
2. ISO 50001:2011 "Energy management systems – Requirements with guidance for use" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail) (дата обращения: 23.04.2014).
3. Руднева Л.Н., Старовойтова О.М. Оценка деятельности предприятия в области энергосбережения // Изв. вузов. Социология. Экономика. Политика. – 2012, № 2. С.46...50.
4. Thiagarajan T., Zairi M. An empirical analysis of critical factors of TQM. A proposed tool for self-assessment and benchmarking purposes// Benchmarking for quality management & technology . – V.5, №3, 2008. P.291...303.
5. Загинайко Д.В., Елин Н.Н., Попов А.П., Королев М.Г., Васин Я.А. Снижение энергозатрат в системах поддержания пластового давления и повышения нефтеотдачи путем оптимизации режимов работы насосных станций // Нефтяное хозяйство. – 2014, №9. С. 42...45.

## REFERENCES

1. Aloyan R.M., Fedoseev V.N., Vinogradova N.V., Voronov V.A. Avtomatizaciya funkcionalno-strukturnoj shemy teploobespecheniya tekstilnogo maloetazhnogo stroeniya // Izv. vuzov. Tehnologiya tekstilnoj promyshlennosti. – 2017, № 2. S.335...337.
2. ISO 50001:2011 "Energy management systems – Requirements with guidance for use" [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail) (data obrasheniya: 23.04.2014).
3. Rudneva L.N., Starovojtova O.M. Ocenka deyatelnosti predpriyatiya v oblasti energosberezheniya // Izv. vuzov. Sociologiya. Ekonomika. Politika. – 2012, № 2. S.46...50.
4. Thiagarajan T., Zairi M. An empirical analysis of critical factors of TQM. A proposed tool for self-assessment and benchmarking purposes// Benchmarking for quality management & technology . – V.5, №3, 2008. P.291...303.
5. Zaginajko D.V., Elin N.N., Popov A.P., Korolev M.G., Vasin Ya.A. Snizhenie energozatrat v sistemah podderzhaniya plastovogo davleniya i povysheniya nefteotdachi putem optimizacii rezhimov raboty nasosnyh stancij // Neftyanoe hozyajstvo. – 2014, № 9. S.42...45.

Рекомендована кафедрой гидравлики, теплотехники и инженерных сетей ИВГПУ. Поступила 27.11.17.