

Грунтович Н.В.¹, Капанский А.А.², Федоров О.В.³

¹ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет»

²УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»

³ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ УДЕЛЬНЫХ И ОБЩИХ РАСХОДОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В работе представлены результаты исследования факторов, формирующих общее и удельное электропотребление в технологических системах водоснабжения. Исследования проводились для трех независимых водоканалов Республики Беларусь. В результате установлена связь между электропотреблением, объемами поднятой из скважин воды и температурой окружающей среды. Установлено, что условно-постоянная величина электропотребления доходит до 80 % от общих затрат электроэнергии водоснабжающих предприятий. Наиболее весомый вклад, определяющий постоянство электропотребления, связан с необходимостью непрерывного поддержания давления в диктующих точках системы даже при отсутствии разбора воды. Установлено, что территориальное расширение трубопроводных сетей приводит к росту условно-постоянной составляющей электропотребления и увеличению чувствительности удельного расхода электроэнергии, к изменениям объемов производства. Результаты научных исследований могут быть использованы организациями жилищно-коммунального хозяйства, оказывающими услуги водоснабжения, при анализе эффективности внедрения энергосберегающих мероприятий и выборе приоритетных направлений экономии ТЭР.

Ключевые слова: энергоэффективность, система водоснабжения, топливно-энергетические ресурсы, электроэнергия, водоснабжение, формирующие факторы, общие и удельные расходы электроэнергии.

ВВЕДЕНИЕ

Выполнение комплекса организационных и технических мероприятий, направленных на снижение энергопотребления, всегда остается актуальной задачей в современных условиях функционирования промышленных и жилищно-коммунальных потребителей. Активное внедрение современных энергосберегающих технологий, развитие системы управления энергоэффективностью (ЭЭФ) и разработка действенных способов и методов выявления скрытых резервов экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) приводит к снижению энергоемкости производства и, в конечном счете, повышает энергетическую безопасность любого развитого государства.

В последние годы экономический эффект от проводимых энергосберегающих мероприятий заметно сократился. К примеру, активная политика энергосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве за 2006-2010 гг. позволила обеспечить экономию в размере 1 313 тыс. т у. т. при среднегодовом значении 262,6 тыс. т у. т. [1]. Однако экономический эффект от энергосберегающих мероприятий уже за 2014 г. снизился до 169,7 тыс. т у. т. [2].

Технологические системы водоснабжения, входящие в структуру ЖКХ, также столкнулись с проблемой снижения результативности внедряемых энергосберегающих мероприятий и зачастую не получают даже часть того эффекта, который был технически обоснован. В ряде случаев это связано с тем, что существующие способы оценки показателей ЭЭФ водоснабжающих организаций основываются на анализе режимов работы единичных электроприемников и не позволяют учесть всю сложность взаимодействия структурных подсистем, формирующих ЭЭФ (рис. 1).

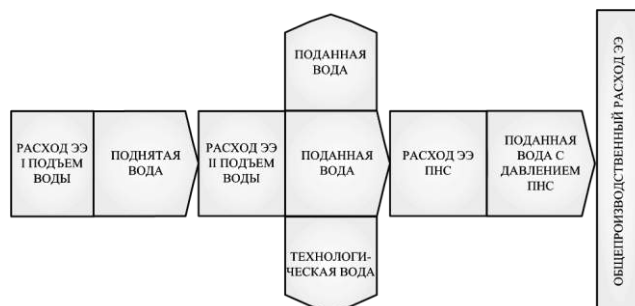


Рис. 1. Взаимодействие энергетических потоков в системе водоснабжения

К наиболее значимой подсистеме, участвующей в формировании ЭЭФ, следует отнести подсистему насосных станций, суммарные установленные мощности которых для крупного промышленного центра достигают уровня в 50 МВт и ежегодно растут. Кроме того, увеличение общих и удельных расходов электроэнергии (ЭЭ) в технологических системах водоснабжения напрямую связано с развитием и строительством городов и населенных пунктов, которые предусматривают плановый рост трубопроводных сетей и ввод в эксплуатацию дополнительных насосных станций. На текущий момент в Республике Беларусь уже насчитывается 1460 организаций, оказывающих услуги водоснабжения, из них 144 организации относятся к системе Министерства жилищно-коммунального хозяйства, на долю которых приходится более 85 % объема оказываемых услуг [1].

МЕТОДИКИ

В условиях снижения эффективности энергосберегающей политики актуальной задачей является исследование физических основ протекания технологических процессов в системе водоснабжения, поиск и ана-

лиз факторов, формирующих общие и удельные расходы ЭЭ.

Как объект управления система водоснабжения обладает свойством целостности и неделимости, именно поэтому исследование влияющих факторов базируется на построении многофакторных аддитивных моделей электропотребления, основанных на обработке статистических наблюдений методами регрессионного анализа [3-5]. В состав информационной базы данных (ИБД) входит суточная статистика ретроспективных производственных показателей, т.е. фактически обработанных показателей прошедшего периода исследования [6]. Эти показатели позволяют учесть действительное изменение объемов производства, климатические особенности региона, а также фактические затраты электроэнергии при транспортировке питьевой воды [7, 8].

По характеру исходной информации можно выделить интегральную, т.е. накопительную, и усредненную статистику, которая формируется по средним показателям влияющих величин.

Для системы водоснабжения интегральной статистикой являются объемы поднятой из скважин воды, изменение которых отражает прирост либо снижение технологических расходов ЭЭ в соответствии с формулой

$$W_{\text{тех}} = w_{\text{уд.тех}} \cdot Q = w_{\text{уд.тех}} \cdot \sum q_i, \quad (1)$$

где $w_{\text{уд.тех}}$ – удельный технологический расход ЭЭ, кВт·ч/тыс. м³; Q – объем поднятой воды в заданном периоде исследования, тыс. м³; q_i – суточный объем поднятой воды, тыс. м³.

По усредненной статистике определяются затраты, связанные с влиянием температуры наружного воздуха на изменение общих и удельных расходов ЭЭ:

$$W_{\text{п.ф}} = a \cdot t_{\text{окр}} \cdot N = \sum a \cdot t_{\text{окр},i}, \quad (2)$$

где N – количество дней в исследуемом периоде, сут; $t_{\text{окр}}$ – усредненное значение температуры окружающей среды в исследуемом периоде, °С; a – коэффициент регрессии температурного фактора, кВт·ч/°С; $t_{\text{окр},i}$ – среднесуточная температура окружающей среды, °С.

Проведенные ранее исследования позволили выявить общую структуру модели электропотребления в системе водоснабжения, которая может быть представлена в виде суммы технологических, условно-постоянных и прочих факторов, формирующих затраты ЭЭ [9]:

$$W = w_{\text{уд.тех}} \cdot Q + \sum x_k \cdot b_k + W_{\text{усл.п}} = W_{\text{тех}} + W_{\text{п.ф}} + W_{\text{усл.п}}, \quad (3)$$

где x_k – факторный признак модели; b_k – коэффициент регрессии модели перед фактором x_k ; $W_{\text{усл.п}}$ – условно-постоянный расход ЭЭ, кВт·ч; $W_{\text{тех}}$ – технологический расход ЭЭ, кВт·ч; $W_{\text{п.ф}}$ – расход ЭЭ, обусловленный включением в модель прочих факторов, не связанных с технологическими, кВт·ч.

В общем виде удельное электропотребление, отнесенное к объемам поднятой воды, может быть представлено:

$$w_{\text{уд}} = w_{\text{уд.тех}} + \frac{\sum x_k \cdot b_k + W_{\text{усл.п}}}{Q} = w_{\text{уд.тех}} + \frac{W_{\text{п.ф}} + W_{\text{усл.п}}}{Q} \quad (4)$$

Исследования факторов, формирующих общие и удельные расходы ЭЭ, проводились для трех независимых водоканалов Республики Беларусь: КПУП «Гомельводоканал» (г. Гомель); КЖУП «Уником» (г. Жлобин); УП «Витебскводоканал» (г. Витебск). Статистика, используемая при построении моделей, охватывала суточный объем выборки в течение года. За период исследования принят: для Гомеля – 2013 год, для Витебска и Жлобина – 2014 год.

В результате статистической обработки данных системы водоснабжения установлена связь между электропотреблением, объемами поднятой из скважин воды и температурой окружающей среды. При этом приведенное выражение (4) отражает гиперболическое снижение удельного расхода ЭЭ при возрастании объемов производства. Это означает, что увеличение объема воды, поднимаемой из скважин и доставляемой потребителю, сопровождается снижением удельного расхода ЭЭ.

Стоит отметить, что характеристики удельного расхода ЭЭ для различных водоснабжающих систем могут существенно отличаться, что связано в первую очередь с особенностями их функционирования.

К примеру, несмотря на самую большую загрузку предприятия КПУП «Гомельводоканал» с фактическим годовым объемом производства 42500 тыс. м³/год, удельный расход ЭЭ из группы исследуемых объектов получился наибольшим и составил 740 кВт·ч/тыс. м³. При этом для УП «Витебскводоканал» и КЖУП «Уником» при объемах производства 28055 и 6543 тыс. м³/год эти показатели составили 584 и 511 кВт·ч/тыс. м³ соответственно. Это означает, что общий вид гиперболической характеристики удельного расхода ЭЭ не является универсальным, а отражает структуру взаимосвязи технологических подсистем в рамках исследуемой системы и общее состояние ЭЭФ конкретного предприятия.

На рис. 2 приведены сравнительные характеристики удельного расхода ЭЭ для исследуемых систем водоснабжения, где отражен факт того, что даже при одинаковых объемах производства показатели ЭЭФ будут существенно отличаться. Эти отличия связаны в первую очередь с соотношением технологических и условно-постоянных затрат ЭЭ в общем электропотреблении предприятия. К примеру, для водоканалов Жлобина и Витебска состав удельного расхода ЭЭ формируют по большей части технологические расходы ЭЭ, т.е. те расходы, которые напрямую связаны с транспортом воды, в результате чего характеристика принимает более пологий вид и, соответственно, меньшую чувствительность к изменениям объемов производства [10]. В то же время для водоканала Гомеля доля технологической составляющей ЭЭ существенно ниже условно-постоянной, в результате чего характеристика удельного расхода ЭЭ приобретает более крутой вид.

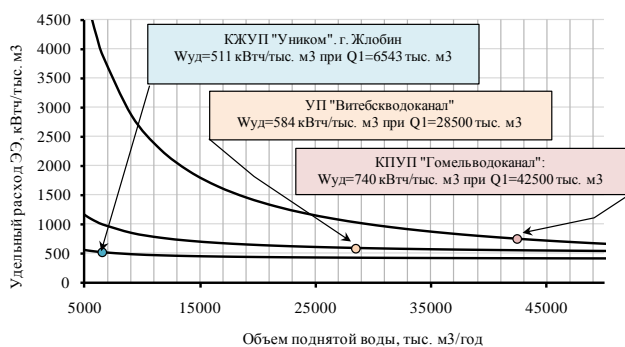


Рис. 2. Сравнение удельных расходов ЭЭ для различных водоканалов

Приведенные на рис. 2 зависимости, полученные в результате статистической обработки производственных показателей, позволяют предприятиям осуществлять прогнозы удельного расхода ЭЭ при изменении объемов поднятой из скважин воды.

Полученные математические закономерности изменения удельного расхода ЭЭ и некоторые статистические показатели моделей для исследуемых технологических систем водоснабжения приведены в таблице ниже.

Чтобы оценить фактический вклад каждой из составляющих в общем электропотреблении, в практике регрессионного анализа используются частные коэффициенты эластичности [11], показывающие, на сколько процентов в среднем изменится значение электропотребления при изменении значения соответствующего фактора:

$$\mathcal{E}_x = b_k \cdot \bar{x}_i / \bar{W}, \quad (5)$$

где \bar{x}_i – среднее значение влияющего фактора; \bar{W} – среднее значение электропотребления.

В результате анализа коэффициентов регрессии модели КПУП «Гомельводоканал» выявлено, что значение условно-постоянной составляющей расхода ЭЭ доходит до 80 %, т.е. фактически лишь 20 % затрат ЭЭ связаны с непосредственным транспортом воды. Степень влияния условно-постоянной модели удельного расхода ЭЭ в системе водоснабжения водоканала Витебска и Жлобина составила 21,7 и 22,4% соответственно.

Традиционно постоянство ЭЭ определяет работа электроустановок, не связанная с подъемом и подачей воды потребителю, т.е. работа осветительных установок, хозяйственно-бытовые и санитарно-гигиенические нужды предприятия, работа вспомогательных и обслуживающих цехов (ремонтно-механический цех, участок по ремонту приборов учета и расхода воды и т.д.).

Кроме того, технологические операции, связанные с повышением качества питьевой воды (промывка фильтровальных сооружений, испытание откачками, дезинфекция и промывка водозаборных скважин и т.д.), определяются строгим временным регламентом и не зависят от производственной программы предприятия, что повышает долю постоянных затрат ЭЭ.

Однако фактически общехозяйственные и технологические нужды водоснабжающих предприятий не являются значимой причиной роста постоянных затрат

ЭЭ. Наиболее весомый вклад вносит тот факт, что водозаборы предприятий обеспечивают непрерывное поддержание сетевого давления на заданном уровне независимо от объемов производства, опираясь при этом на регламентируемый график давления насосных станций второго подъема. Кроме того, развитие трубопроводной системы также приводит к росту условно-постоянной составляющей из-за отдаленности потребителей от источников водоснабжения. Проведенные исследования позволили установить практической линейную зависимость условно-постоянного расхода ЭЭ от общей протяженности трубопроводных сетей, находящихся на балансе предприятия (рис. 3).

Таким образом, с одной стороны, ежегодное территориальное расширение трубопроводных сетей приводит к росту условно-постоянной составляющей ЭЭ, а с другой стороны, общие объемы оказываемых услуг водоснабжающих предприятий заметно сокращаются, что в общем случае является основной причиной повышения чувствительности удельного расхода ЭЭ к изменениям объемов производства [10].

Затраты ЭЭ, обусловленные непосредственной транспортировкой питьевой воды в натуральном выражении на 1 тыс. м³ для Гомеля оказались самыми низкими и составили 167,9 кВт·ч, при этом для Витебска и Жлобина эти показатели составили 461,9 и 393,1 кВт·ч соответственно. В процентном отношении технологические затраты ЭЭ Витебска и Жлобина являются преобладающими и составляют 79,1 и 77,1 % соответственно.

Кроме того, наблюдается влияние температуры наружного воздуха на формирование общих и удельных расходов ЭЭ. Значимость температурного фактора связана, во-первых, с изменением режимов работы общезаводских установок, во-вторых, с ростом температуры уменьшаются потери напора в трубопроводах, которые зависят от кинематической вязкости жидкости [12]. Таким образом, уменьшение температуры приводит к росту гидравлического сопротивления при движении воды и соответственно увеличению затрат электроэнергии. Для системы водоснабжения Гомеля увеличение температуры окружающей среды приводит к уменьшению электропотребления на 350,1 кВт·ч, в то время как для системы водоснабжения Витебска это влияние составило 28,97 кВт·ч.

Однако увеличение температуры не всегда приводит к снижению электропотребления. В результате исследования системы водоснабжения Жлобина выявлен обратный эффект. Прирост температуры наружного воздуха на 1 °С приводит к росту электропотребления на 8,8 кВт·ч.

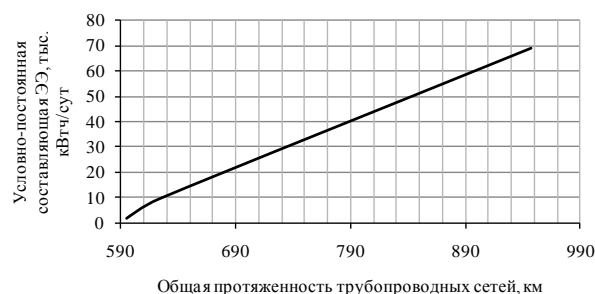


Рис. 3. Влияние протяженности трубопроводных сетей на условно-постоянную составляющую затрат ЭЭ

Прирост затрат ЭЭ в наиболее теплые дни обуславливается включением дополнительных насосных агрегатов и устройств очистки питьевой воды в связи с увеличением водоразбора, что покрывает эффект от снижения общезаводских и технологических расходов ЭЭ.

Номограмма **рис. 4** наглядно отражает влияние температурного фактора и объемов производства на изменение удельного расхода электроэнергии.

Стоит отметить, что суточное влияние температуры в течение года вносит существенный вклад в формирование общих и удельных расходов электроэнергии, несмотря на то, что среднегодовое значение не превы-

шают 3,0%. Так, на примере Гомеля при самой высокой среднесуточной температуре за 2013 г. (25,8°C) удельный расход ЭЭ при суточном объеме поднятой воды 120 тыс. м³ составил 669 кВт·ч/тыс. м³, тогда как при самой низкой температуре наружного воздуха – 14,6°C и сохранении объемов производства удельный расход ЭЭ вырос до 787 кВт·ч/тыс. м³. В общем случае значимость температуры наружного воздуха для исследуемого предприятия в формировании общих и удельных расходов ЭЭ варьируется от -10,94% до 5,4%

Результаты анализа степени влияния факторов, формирующих удельные и общие расходы ЭЭ, приведены на **рис. 5**.

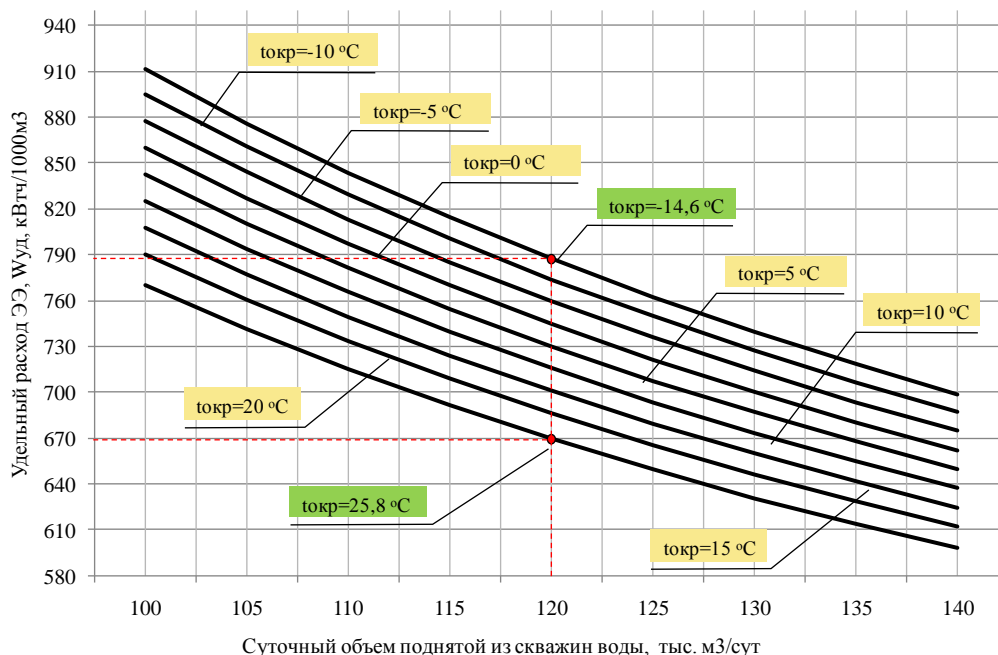
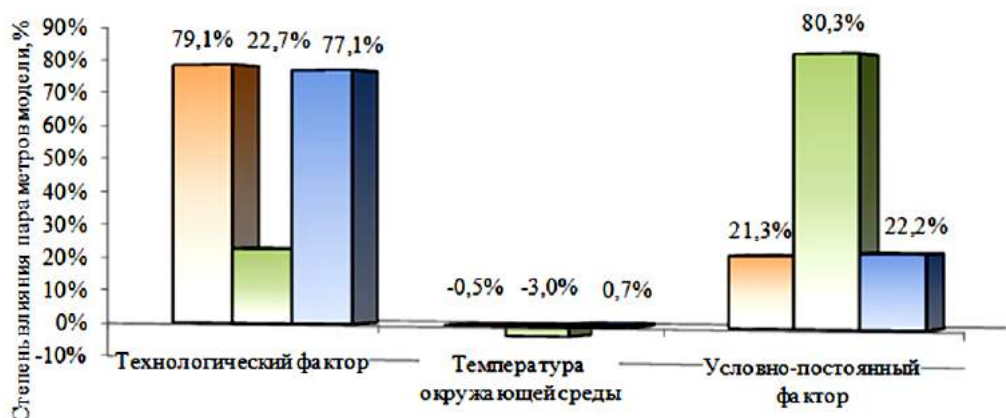


Рис. 4. Номограмма удельного расхода ЭЭ при изменении суточных объемов подъема воды и температуры окружающей среды



	Технологический фактор	Температура окружающей среды	Условно-постоянный фактор
УП "Витебскводоканал"	79,1%	-0,5%	21,3%
КПУП "Гомельводоканал"	22,7%	-3,0%	80,3%
КЖУП "Уником"	77,1%	0,7%	22,2%

□ УП "Витебскводоканал" □ КПУП "Гомельводоканал" □ КЖУП "Уником"

Рис. 5. Степень влияния факторов на формирование общего и удельного расхода ЭЭ в системе водоснабжения

Исследование модели удельного расхода ЭЭ в системе водоснабжения

Объект исследования	Показатель	Значение
Система водоснабжения КПУП «Гомельводоканал»	Математическая модель суточного удельного расхода ЭЭ	$W_{уд} = 167,9 + \frac{-350,1 \cdot t_{окр} + 69228,3}{Q}$
	Коэффициент детерминации	0,8
	Среднее квадратическое отклонение погрешности модели, %	2,95
	Среднесуточный объем поднятой воды, тыс. м ³	123,3
Система водоснабжения УП «Витебскводоканал»	Математическая модель суточного удельного расхода	$W_{уд} = 461,9 + \frac{-28,97 \cdot t_{окр} + 9717,12}{Q}$
	Коэффициент детерминации	0,75
	Среднее квадратическое отклонение погрешности модели, %	3,0
	Среднесуточный объем поднятой воды, тыс. м ³	76,7
Система водоснабжения КЖУП «Уником»	Математическая модель суточного удельного расхода	$W_{уд} = 393,1 + \frac{8,84 \cdot t_{окр} + 2028,9}{Q}$
	Коэффициент детерминации	0,92
	Среднее квадратическое отклонение погрешности модели, %	2,9
	Среднесуточный объем поднятой воды, тыс. м ³	17,8

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлена связь между электропотреблением, объемами поднятой из скважин воды и температурой окружающей среды.

2. Характеристика удельного расхода электрической энергии не является универсальной, а отражает структуру взаимосвязи технологических подсистем в рамках исследуемой системы и в общее состояние ЭЭФ конкретного водоснабжающего предприятия.

3. Отличия удельных характеристик связаны с соотношением технологических и условно-постоянных затрат электроэнергии в общем электропотреблении предприятия.

4. Наиболее весомый вклад, определяющий постоянство электропотребления, связан с необходимостью непрерывного поддержания давления в диктующих точках системы даже при отсутствии разбора воды.

5. Территориальное расширение трубопроводных сетей приводит к росту условно-постоянной составляющей электропотребления и увеличению чувствительности удельного расхода ЭЭ к изменениям объемов производства.

6. Значимость температуры наружного воздуха в формировании общих и удельных расходов электроэнергии варьируется от -10,94% до 5,4%.

Работа выполнена в рамках государственной программы научных исследований РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ – задание 2.2.36 «Энергобезопасность, энергоэффективность и энергосбережение, атомная энергетика», подпрограмма «Разработка методологических принципов управления энергоэффективностью основных технологических процессов для снижения энергоемкости продукции» – №Г.Р.20141922 от 20.08.2014.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление коллегии Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь № 1 от 28 января «Об итогах работы в 2014 году и задачах по повышению эффективности работы и модернизации жилищно-коммунального хозяйства на 2015 год». Минск, 2015.
2. Углубленный обзор политики и программ в сфере энергоэффективности Республики Беларусь / Секретариат энергетической хартии. Минск, 2013.
3. Токочакова Н.В., Мороз Д.Р. Расчетно-статистические модели режимов потребления электроэнергии как основа нормирования и оценки энергетической эффективности // Энергоэффективность. 2006. №1. С.14-15.; 2006. №2. С. 14-15.
4. Токочакова Н.В. Управление энергоэффективностью промышленных потребителей на основе моделирования режимов электропотребления // Изв. вузов и энергетических объединений СНГ. Энергетика. 2006. №3. С.67-75.
5. Олейников В.К., Никифоров Г.В. Анализ и управление электропотреблением на металлургических предприятиях: учеб. пособие. Магнитогорск: МГТУ им. Г. И. Носова, 1999. 219 с.
6. Грунтович Н.В., Мороз Д.Р., Капанский А.А. Развитие методического обеспечения диагностирования и прогнозирования энергоэффективности технологических систем водоснабжения и водоотведения. // Энергоэффективность. 2015. №3. С.20-23.
7. Грунтович Н.В., Капанский А.А. Диагностирование и прогнозирование показателей энергоэффективности технологических систем водоснабжения и водоотведения // Инновации в энергосбережение – инвестиции в будущее / ККУП «Витебский областной центр маркетинга». Витебск, 2015. С.47-51.
8. Олейников В.К., Никифоров Г.В. Нормирование энергозатрат при многономенклатурном производстве // Промышленная энергетика. 2000. №6. С.30–32.
9. Грунтович Н.В., Грунтович Н.В., Капанский А.А. Прогнозирование энергоэффективности технологических систем

водоснабжения и водоотведения при внедрении мероприятий по энергосбережению // Энергоэффективность». 2016. №1. С.44-48.

10. Капанский А.А. Оценка чувствительности показателей энергоэффективности при изменении производственных программ в системах водоснабжения и водоотведения/ А.А. Капанский // Материалы IX международной научно-

технической конференции / под общ. ред. Маркарян Л.М. Брянск, 2015.

11. Комплексный экономический анализ хозяйственной деятельности: учебник / Л.Г. Гиляровская [и др.]. М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2008. 360 с.
12. Теория и практика систем водоотведения. Учебное пособие фирмы Grundfos.

Поступила в редакцию 22 апреля 2016 г.

INFORMATION IN ENGLISH

STUDY OF INFLUENCE OF FACTORS ON FORMATION OF SPECIFIC AND GENERAL CONSUMPTION OF ELECTRICAL ENERGY IN TECHNOLOGY WATER SYSTEM

Nadezhda V. Gruntovich

D.Sc.(Eng.), Professor, Bryansk State Agricultural University, Bryansk Region, Russia. E-mail: gruntovich@tut.by.

Aleksey A. Kapanskiy

Master of Eng., Belarus, Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Belarus. E-mail: kapanski@mail.ru.

Oleg V. Fedorov

D.Sc.(Eng.), Professor, Nizhny Novgorod State Technical University n.a.R.E.Alekseev, Nizhniy Novgorod, Russia.

The paper presents the results of a study of factors that shape the general and the specific electricity consumption in industrial water systems. The studies were conducted for three independent water utilities of the Republic of Belarus. As a result, a link between electricity consumption, amounts raised from the water wells and ambient temperature was established. It was found that the conditional constant electricity consumption up to 80% of the total electricity consumption of water-supply companies. The most significant contribution to defining the constancy electricity consumption is the need to continuously maintain the pressure in the system dictating the points even in the absence of water consumption. It was found that the territorial expansion of pipeline networks leads to an increase of conditionally constant component of electricity consumption and increase of the sensitivity of specific energy consumption as well as to changes in production volumes. The results of the scientific research can be used by organizations utilities providing water services, the analysis of effectiveness of the implementation of energy saving measures and the choice of priorities of the economy of energy resources.

Keywords: Energy, water supply, fuel and energy resources, electricity, water, forming factors, general and specific consumption of electricity.

REFERENCES

- Decree of Ministry of the Republic of Belarus public utility number 1 of January 28, "On the results of work in 2014 and tasks for increasing efficiency in operation and modernization of housing and communal owners for 2015". Minsk, 2015.
- Uglublennyi obzor politiki i program v sfere energoeffektivnosti Respubliki Belarus* [In-depth Review of Policies and Programs in the Field of Energy Efficiency of the Republic of Belarus]. Energy Charter Secretariat. Minsk, 2013.
- Tokochakova N.V., Moroz D.R Calculation and Statistical Models Mode in Electricity Consumption as the Basis of Rationing and Evaluation of Energy Efficiency. *Energoeffektivnost'* [Energy efficiency], 2006, no.1, pp.14-15; 2006, no.2, pp.14-15. (In Russian).
- Tokochakova N.V. Managing Industrial Energy Consumers on the Basis of Electric Power Consumption Mode Simulation. *Izv. vuzov i energeticheskikh ob"edineniy SNG. Energetika* [Proceedings of higher educational institutions and associations of the CIS energy. Energy], 2006, no.3, pp.67-75. (In Russian).
- Oleynikov V.K., Nikiforov G.V. *Analiz i upravlenie elektropotrebleniem na metallurgicheskikh predpriyatiyakh* [Analysis and Management of Electricity Consumption at Metallurgical Enterprises]. Magnitogorsk: Nosov MSTU Publ., 1999. 219 p.
- Gruntovich N.V., Moroz D.R, Kapanskiy A.A. Development of Methodical Support of Diagnostics and Forecasting of Energy Technological Water and Wastewater Systems. *Energoeffektivnost'* [Energy efficiency], 2015, no.3, pp.20-23. (In Russian).
- Gruntovich N.V., Kapanskiy A.A. Diagnosing and Forecasting of Energy Efficiency of Technological Water and Wastewater Systems. *Innovatsii v energosberezhenie – investitsii v budushchee. KKUP «Vitebskiy oblastnoy tsentr marketinga»* [KKUP «Vitebsk Regional Marketing Center»]. Vitebsk, 2015, pp.47-51. (In Russian).
- Oleynikov V.K., Nikiforov G.V. Rationing of Energy Consumption in Multiproduct Manufacturing. *Promyshlennaya energetika* [Industrial power], 2000, no.6, pp.30-32. (In Russian).
- Gruntovich N.V., Gruntovich N.V., Kapanskiy A.A. Energy Forecasting of Technological Water and Wastewater Systems in Implementation of Energy Saving Measures. *Energoeffektivnost'* [Energy efficiency], 2016, no.1, pp.44-48. (In Russian).
- Kapanskiy A.A. Evaluation of Energy Efficiency Sensitivity When Changing Production Programs in Water and Wastewater Systems. *Materialy IX mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii* [Proceedings of the IX International scientific and technical conference]. Bryansk, 2015. (In Russian).
- Gilyarovskaya L.G. [et al.] *Kompleksnyi ekonomicheskiy analiz khozyaistvennoy deyatel'nosti* [Comprehensive economic analysis of economic activity. Textbook]. Moscow, T.K. Welby, Publishing House of the Prospectus, 2008. 360 p.
- Teoriya i praktika sistem vodootvedeniya* [Theory and Practice of Wastewater Systems]. Grundfos textbook.