

УДК 621.311

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСХОДОВ ВОДЫ В СИСТЕМАХ ГОРОДСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Н. В. ГРУНТОВИЧ

*ООО «Центр научно-прикладных проблем энергетики»,
г. Гомель, Республика Беларусь*

А. А. КАПАНСКИЙ

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение

Выполнение комплекса организационных и технических мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности (ЭЭФ) производства и снижение энергоемкости услуг водоснабжения, всегда остается актуальной задачей в современных условиях функционирования жилищно-коммунального сектора Республики Беларусь. С этой целью сотрудники ЖКХ ежегодно проводят внедрение современных энергосберегающих технологий, снижают технологические расходы воды водозаборных сооружений и утечки в трубопроводных сетях.

На государственном уровне регулирование ЭЭФ услуг водоснабжения осуществляется с использованием механизма нормирования расходов топливно-энергетических ресурсов [1], в соответствии с которым коммунальным организациям устанавливаются прогрессивные нормы расхода электроэнергии (ЭЭ), направленные строго на снижение удельного расхода ЭЭ. Значимость государственного контроля в повышении ЭЭФ производства объясняется необходимостью совершенствования системы тарифного регулирования коммунальных услуг, в состав которой входит удельная энергетическая составляющая затрат.

В практических условиях работы городских водоснабжающих организаций было замечено, что снижение технологических расходов воды при подъеме, транспортировке и водоподготовке приводит к росту удельного расхода ЭЭ, несмотря на общее снижение электропотребления. В связи с этим целью работы является разработка метода, позволяющего производить оценку удельного расхода ЭЭ при изменении технологических расходов воды в системе городского водоснабжения.

Удельный расход электроэнергии в структуре затрат на производство услуг водоснабжения

Планирование себестоимости услуг является одним из основных этапов составления финансового плана организации ЖКХ [2]. При планировании себестоимости, в частности, при расчете затрат по каждой статье должны учитываться две группы факторов:

- факторы, повышающие себестоимость, к одним из которых относят индексы изменения цен на энергоресурсы;
- факторы, понижающие себестоимость. Данная группа факторов характеризует реализацию мероприятий по энерго-, ресурсосбережению и др.

Оценка второй группы факторов производится по удельному расходу ЭЭ, который является частью себестоимости продукции и доходит до 25 % в составе затрат на производство услуг водоснабжения (рис. 1).

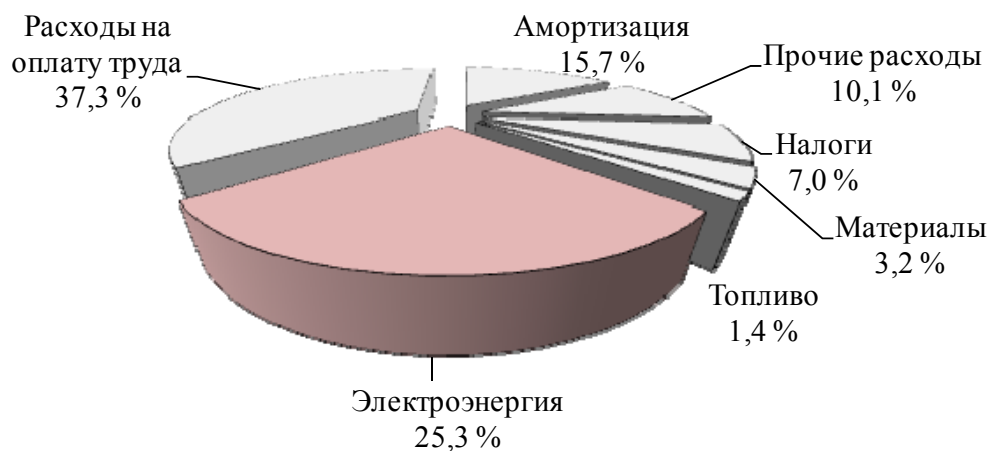


Рис. 1. Удельный вес затрат на электроэнергию в составе затрат на производство услуг водоснабжения

При планировании себестоимости и формировании тарифов на оказываемые услуги водоснабжающих предприятий может возникнуть ряд проблем. Поскольку текущая система нормирования удельного расхода ЭЭ не позволяет учитывать повышение себестоимости за счет увеличения удельного веса условно-постоянных расходов ЭЭ в общем электропотреблении, то при сокращении реализации основных видов услуг (водоснабжения) это может сказаться на итоговой доходности предприятия и недополучении прибыли [2].

Еще одна из проблем возникает при отнесении энергозатрат к единице оказываемой услуги, как того требует Положение по нормированию [3]. К таким услугам в системе водоснабжения относятся объемы воды, которые подаются непосредственно потребителю. Однако на практике эту величину своевременно и точно определить невозможно, в связи с чем удельный расход ЭЭ рассчитывается на 1000 м³ воды, поднятой из природных источников (скважин).

Так, для системы городского водоснабжения при объеме поданной воды потребителю $Q_2 = 41996$ тыс. м³/год и удельном расходе ЭЭ $w_{удQ_2} = 756$ кВт · ч/тыс. м³ обобщенные затраты ЭЭ в системе водоснабжения можно представить в виде площади, ограниченной прямоугольником S_{efhd} , приведенным на рис. 2. Площадка S_{abcd} представляет собой затраты ЭЭ, отнесенные к объемам поднятой из скважин воды, которые составляют $Q_1 = 45050$ тыс. м³/год с удельным расходом ЭЭ $w_{удQ_1} = 705$ кВт · ч/ тыс. м³, причем $S_{efhd} = S_{abcd}$.

Поскольку объемы поднятой из скважин воды Q_1 больше объемов поданной потребителю Q_2 на величину технологических расходов $Q_{тех}$, то и значение удельного расхода ЭЭ при отнесении общего электропотребления к величине поднятой воды $w_{удQ_1}$ оказывается значительно ниже удельного расхода ЭЭ при отнесении этих же затрат ЭЭ к объемам поданной воды $w_{удQ_2}$. Разница расходов Q_1 и Q_2 определяет технологические затраты воды $Q_{тех} = 3054$ тыс. м³, а площадку S_{agfe} , равная S_{gbch} , расход ЭЭ на технологию.

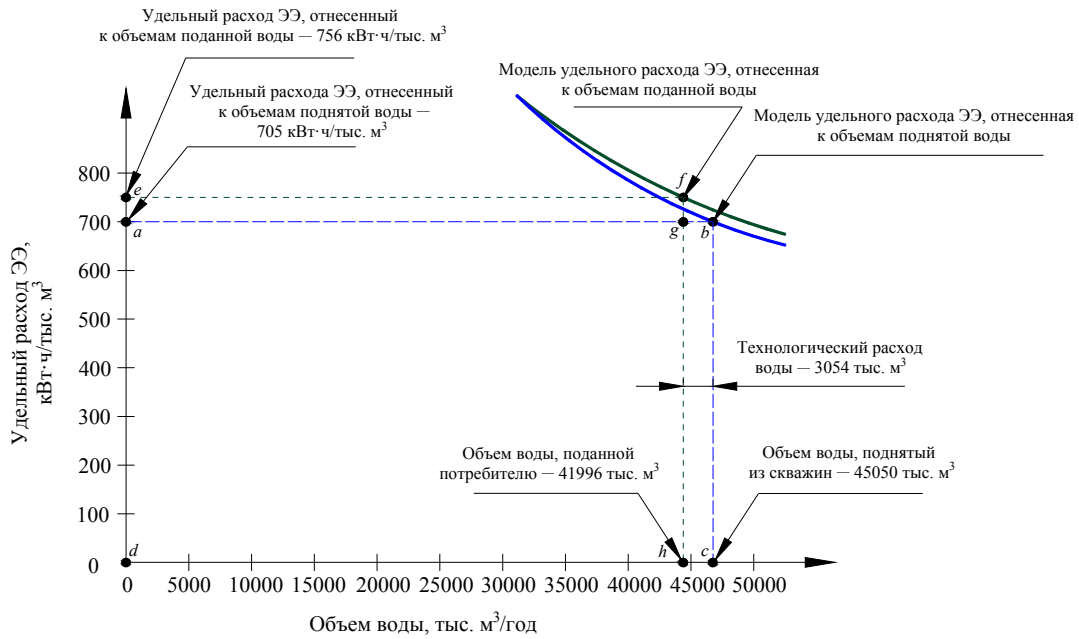


Рис. 2. Сравнение удельных затрат ЭЭ при отнесении общего электропотребления к объемам поднятой и поданной воды в системе городского водоснабжения

Разница удельных расходов $w_{удQ_2}$ и $w_{удQ_1}$, которая в рассматриваемом примере составляет 6,7 %, должна учитываться при формировании себестоимости услуги водоснабжения. В противном случае все затраты ЭЭ, связанные с потреблением воды на промывку фильтров станции обезжелезивания, дезинфекцию и промывку скважин, профилактическую очистку резервуаров и т. д., не будут отражены в цене за 1 м³ воды и спишутся на статьи затрат предприятия. Стоит отметить, что большинство водоснабжающих предприятий при планировании себестоимости учитывают не величину удельного расхода ЭЭ, а фактическое значение денежных средств на закупку ЭЭ.

Анализ влияния технологических расходов воды на формирование удельного расхода электроэнергии

В общем виде затраты ЭЭ в системе водоснабжения аналитически представляются суммой расходов ЭЭ на работу станций 1-го и 2-го подъемов, а также прочих общепроизводственных нужд, принимаемых в расчетах условно-постоянными [4], [5]:

$$W = W_1 + W_2 + W_{усл.п} = w_{уд.тех}^{(1)} Q_1 + w_{уд.тех}^{(2)} Q_2 + W_{усл.п}, \tag{1}$$

где W_1 – расход ЭЭ, затрачиваемый на подъем воды, тыс. кВт·ч; W_2 – расход ЭЭ, затрачиваемый на подачу воды, тыс. кВт·ч; $W_{усл.п}$ – условно-постоянный расход ЭЭ, тыс. кВт·ч; $w_{уд.тех}^{(1)}$ – удельный технологический расход ЭЭ станции 1-го подъема воды, кВт·ч/тыс. м³; $w_{уд.тех}^{(2)}$ – удельный технологический расход ЭЭ станции 2-го подъема воды, кВт·ч/тыс. м³.

Схема движения энергетических потоков в системе водоснабжения приведена на рис. 3.

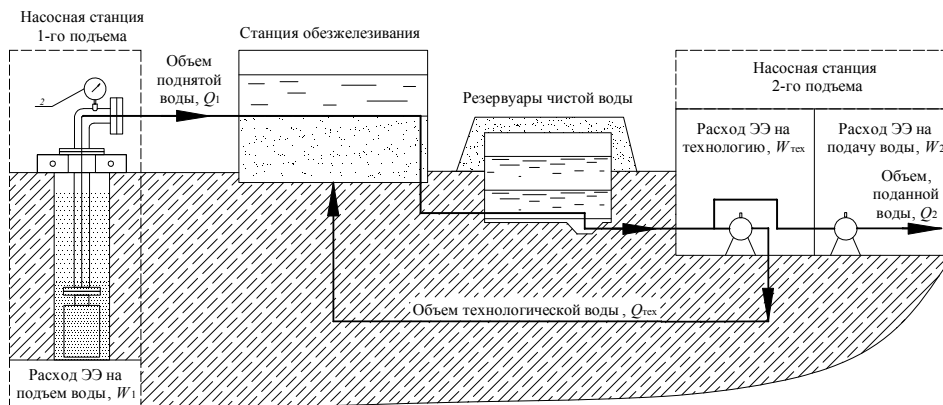


Рис. 3. Схема движения энергетических потоков водозабора

При определении степени влияния технологических расходов воды на удельные расходы ЭЭ предполагается, что объемы воды, поданные потребителю Q_2 , неизменны (жестко заданы потребителем), после чего:

1. Определяются средневзвешенные удельные расходы ЭЭ насосных станций 1-го и 2-го подъемов:

$$w_{\text{уд.тех}}^{(z)} = \frac{\sum_{i=1}^n w_{\text{уд}i} Q_{\text{ср.ч}i}}{\sum_{i=1}^n Q_{\text{ср.ч}i}} \quad (2)$$

где z – индекс, характеризующий уровень подъема воды; $w_{\text{уд}i}$ – удельный расход ЭЭ i -го насосного агрегата (НА), кВт · ч/тыс. м³; $Q_{\text{ср.ч}i}$ – средний часовой расход воды НА, м³/ч; n – количество насосных агрегатов в группе исследуемого уровня подъема воды.

2. Устанавливается связь между объемами поднятой и поданной воды:

$$Q_1 = f(Q_2) = Q_2 + Q_{\text{тех}} \quad (3)$$

Проведенные исследования позволили установить практически линейную взаимосвязь между объемами поднятой и поданной воды, которая представлена на корреляционном поле (рис. 4).

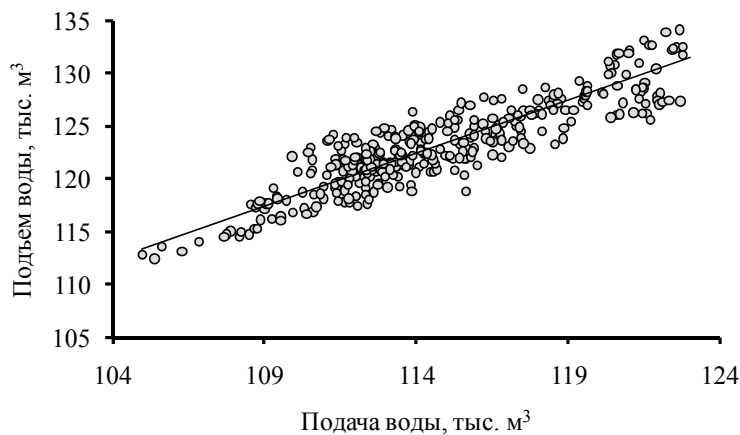


Рис. 4. Графическое определение взаимосвязи между объемами поднятой и поданной воды

3. Определяется аналитическая зависимость удельного расхода ЭЭ при отнесении затрат ЭЭ к объемам поднятой воды:

$$w_{удQ_1} = \frac{W}{Q_1} = \frac{w_{уд.тех}^{(1)} Q_1 + w_{уд.тех}^{(2)} Q_2 + W_{усл.п.}}{Q_1}. \quad (4)$$

Упрощая формулу (4) с учетом (3), получим:

$$w_{удQ_1} = w_{уд.тех}^{(1)} + w_{уд.тех}^{(2)} - \frac{w_{уд.тех}^{(2)} Q_{тех}}{Q_2 + Q_{тех}} + \frac{W_{усл.п.}}{Q_2 + Q_{тех}}. \quad (5)$$

4. Определяется аналитическая зависимость удельного расхода ЭЭ при отнесении затрат ЭЭ к объемам поданной воды:

$$w_{удQ_2} = \frac{W}{Q_2} = \frac{w_{уд.тех}^{(1)} Q_1 + w_{уд.тех}^{(2)} Q_2 + W_{усл.п.}}{Q_2}. \quad (6)$$

Упрощая выражение (6) с учетом (3), получим:

$$w_{удQ_2} = w_{уд.тех}^{(1)} + w_{уд.тех}^{(2)} + \frac{w_{уд.тех}^{(1)} Q_{тех}}{Q_2} + \frac{W_{усл.п.}}{Q_2}. \quad (7)$$

Анализируя полученные выражения, можно сделать вывод:

1. При отнесении затрат ЭЭ к объемам воды, поднятой из скважин, *уменьшение технологических расходов воды* приводит к *увеличению удельного расхода ЭЭ* вследствие снижения отрицательной составляющей $w_{уд.тех}^{(2)} Q_{тех} / (Q_2 + Q_{тех})$ выражения (5) и роста положительной составляющей $W_{усл.п.} / (Q_2 + Q_{тех})$.

2. При отнесении затрат ЭЭ к объемам воды, поданной потребителю, *уменьшение технологических расходов* воды приводит к *снижению удельного расхода ЭЭ* вследствие уменьшения положительной составляющей $w_{уд.тех}^{(1)} Q_{тех} / Q_2$.

Таким образом, анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод, что при отнесении затрат ЭЭ к объемам поднятой воды, так как это делается на текущий момент в системе водоснабжения, наблюдается низкая мотивационная заинтересованность снижения технологических расходов воды работниками энергослужб, поскольку это приводит к росту удельного расхода ЭЭ, несмотря на общее снижение электропотребления.

Доля технологического расхода воды в общем объеме поднятой воды, %, определяется по следующему выражению:

$$Q_{тех\%} = \frac{Q_{тех}}{Q_1} 100 = \frac{Q_{тех}}{Q_2 + Q_{тех}} 100 \%. \quad (8)$$

Степень изменения удельного расхода ЭЭ, %, определяется по выражению

$$w_{уд\%} = \frac{w_{уд.i}}{w_{уд0}} 100\%, \quad (9)$$

где $w_{удi}$ – удельный расход ЭЭ при i -м значении технологического расхода воды, кВт · ч/ тыс. м³; $w_{уд0}$ – удельный расход ЭЭ при отсутствии технологического расхода воды, кВт · ч/тыс. м³.

Степень изменения удельного расхода электроэнергии от доли объемов технологического расхода в общем объеме поднятой воды представлена на рис. 5 и сведена в таблицу.

Оценка степени влияния технологических затрат воды на удельный расход ЭЭ

Доля технологического расхода в общем объеме поднятой воды, %	Степень изменения удельного расхода ЭЭ при отнесении затрат ЭЭ к объемам поднятой воды, %	Степень изменения удельного расхода ЭЭ при отнесении затрат ЭЭ к объемам поданной воды, %
6,8	103,5	96,5
5,7	102,9	97,0
4,7	102,4	97,6
3,6	101,8	98,2
2,4	101,2	98,7
1,3	100,6	99,3
0	100	100

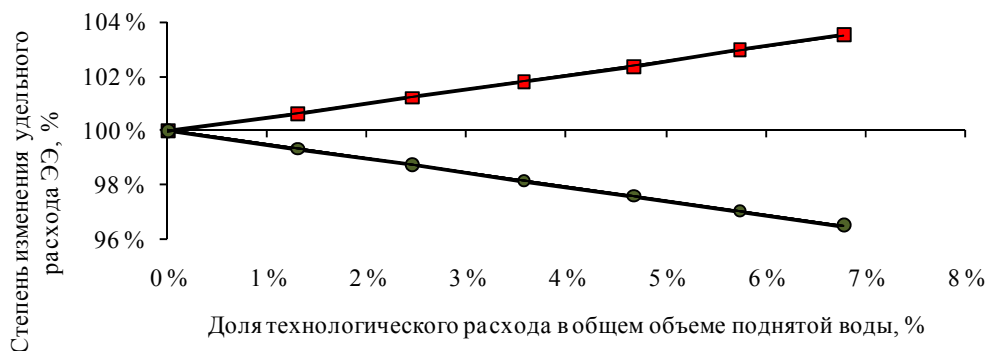


Рис. 5. Динамика удельного расхода ЭЭ при изменении доли технологических расходов в общем объеме поднятой воды:
 —■— при отнесении затрат ЭЭ к объемам поданной воды;
 —●— при отнесении затрат ЭЭ к объемам поднятой воды

Зависимость степени изменения удельного расхода ЭЭ от доли технологических расходов воды определяется путем линейной аппроксимации и принимает следующий вид:

– при отнесении затрат ЭЭ к объемам поднятой воды Q_1 :

$$w_{удQ_1*} = 1 - 0,52 \cdot Q_{тех*}; \quad (10)$$

– при отнесении затрат ЭЭ к объемам поданной воды Q_2 :

$$w_{удQ_2*} = 1 + 0,52 \cdot Q_{тех*}. \quad (11)$$

Приведем пример использования разработанного метода. За 2013 г. предприятием было поднято 45050 тыс. м³ воды, при этом подано потребителю – 41996 тыс. м³. Технологический расход воды составил:

$$Q_{тех} = Q_1 - Q_2 = 45050 - 41996 = 3054 \text{ тыс. м}^3.$$

Доля технологических расходов в общем объеме поднятой воды составила:

$$Q_{\text{тех}^*} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{45050 - 41996}{45050} = \frac{3054}{45050} = 0,068, \text{ или } 6,8 \%$$

Фактический удельный расход электроэнергии при этом составил $w_{(1)\text{уд}Q_1} = 705,0 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/1000 \text{ м}^3$. Степень изменения удельного расхода ЭЭ составила:

$$w_{(1)\text{уд}Q_1}^* = 1 - 0,52 \cdot Q_{\text{тех}^*} = 1 - 0,52 \cdot 0,068 = 0,965, \text{ или } 96,5 \%$$

Удельный расход ЭЭ при отсутствии технологического расхода воды на основании формулы (9) составит:

$$w_{\text{уд}0} = \frac{w_{\text{уд}i}}{w_{\text{уд}\%}} \cdot 100 = \frac{705,0}{96,5} \cdot 100 = 730,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{тыс. м}^3$$

Рассмотрим, как изменится норма расхода ЭЭ при уменьшении доли технологических затрат на 4,5 % (с 6,7 до 2,3 %) до величины 1000 тыс. м³. Степень изменения удельного расхода составит:

$$w_{(2)\text{уд}Q_1}^* = 1 - 0,52 \cdot Q_{\text{тех}^*} = 1 - 0,52 \cdot 0,023 = 0,988$$

Определим долю снижения удельного расхода ЭЭ от базового (нулевого значения):

$$\Delta w_{\text{уд}} = w_{\text{уд}0} - w_{(2)\text{уд}Q_1}^* = 1 - 0,988 = 0,012, \text{ или } 1,2 \%$$

Тогда прогнозное значение удельного расхода ЭЭ составит:

$$w_{(2)\text{уд}Q_1} = w_{\text{уд}0} - w_{\text{уд}0} \cdot \Delta w_{\text{уд}} = 730,6 - 0,012 \cdot 730,6 = 721,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{тыс. м}^3$$

На рис. 6 приведена номограмма изменения удельного расхода ЭЭ при снижении технологического расхода воды с 3054 до 1000 м³.

Заключение

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы и рекомендации:

1. Удельный вес затрат на электроэнергию в составе затрат на производство услуг городского водоснабжения доходит до 25 %.

2. Существующая система нормирования расходов электроэнергии в системах водоснабжения, предусматривающая отнесение энергозатрат к объемам поднятой из скважин воды, не отражает затраты электроэнергии на технологические нужды водозаборов при формировании цены на 1 м³ воды.

3. При отнесении затрат электроэнергии к объемам поднятой воды наблюдается низкая мотивационная заинтересованность снижения технологических расходов воды работниками энергослужб, поскольку это приводит к росту удельного расхода ЭЭ, несмотря на общее снижение электропотребления. В среднем снижение технологических расходов воды на 1 % приводит к росту удельного расхода ЭЭ на 0,52 %.

4. Предложен метод, позволяющий прогнозировать удельный расход электрической энергии в системе водоснабжения при изменении объемов технологических расходов воды.

5. Результаты исследований могут использоваться водоснабжающими организациями как обоснование роста удельных расходов электроэнергии при снижении технологических расходов воды.

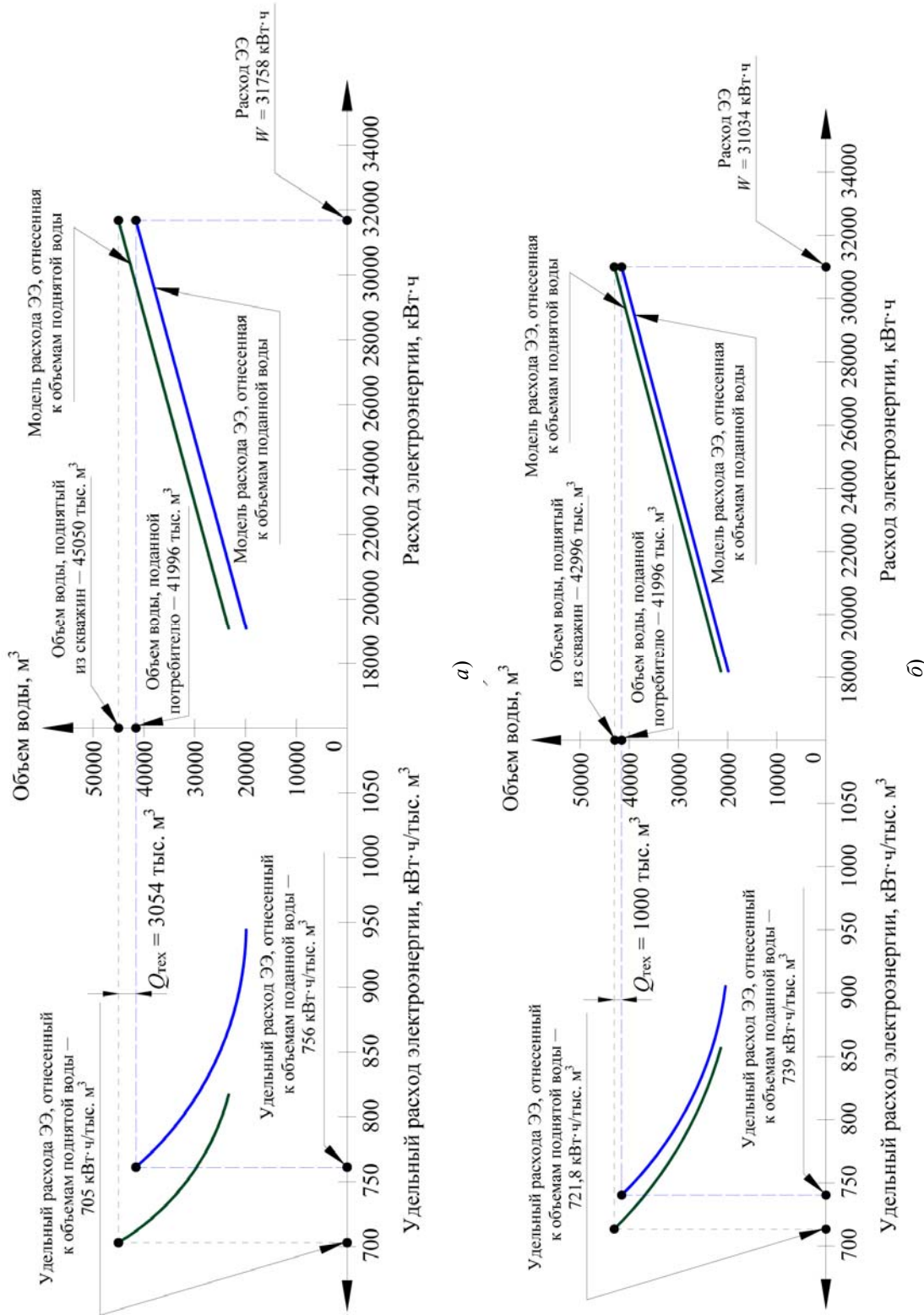


Рис. 6. Номограмма удельного расхода ЭЭ при изменении объемов технологических расходов воды: а — при технологическом расходе 3054 тыс. м³; б — при технологическом расходе 100 тыс. м³

Литература

1. Грунтович, Н. В. Расчетно-аналитический метод нормирования расходов электрической энергии в технологических системах водоснабжения и водоотведения / Н. В. Грунтович, А. А. Капанский // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2015. – № 2. – С. 70–79.
2. Об утверждении методических рекомендаций по планированию, учету производственных затрат и калькулированию себестоимости услуг (продукции, работ) в жилищно-коммунальном хозяйстве : приказ М-ва жилищ.-коммун. хоз-ва Респ. Беларусь от 27 авг. 2010 г. № 126 а. – Минск, 2010.
3. Положение по нормированию расхода топлива, тепловой и электрической энергии в народном хозяйстве республики. – Минск, 2002.
4. Грунтович, Н. В. Развитие методического обеспечения диагностирования и прогнозирования энергоэффективности технологических систем водоснабжения и водоотведения / Н. В. Грунтович, Д. Р. Мороз, А. А. Капанский // Энергоэффективность. – 2015. – № 1. – С. 20–23.
5. Грунтович, Н. В. Экспериментальные методические рекомендации по расчету норм расхода ТЭР в системах водоснабжения и водоотведения Республики Беларусь / Н. В. Грунтович, Н. В. Грунтович, А. А. Капанский ; под ред. зам. Министра жилищ.-ком. хоз-ва Респ. Беларусь А. В. Шагуна. – Минск, 2015. – 97 с.

Получено 28.06.2016 г.