

ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОГРАММ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

Введение и постановка задачи

Городские системы водоснабжения и водоотведения представляют собой крупные технологические комплексы, где основная составляющая энергетических затрат приходится на электрическую энергию (ЭЭ). Для возможности контроля рационального использования энергоресурсов, а также формирования себестоимости оказываемых услуг населению при транспортировке питьевой и технической воды, перекачке и очистке сточных вод коммунальными предприятиями Республики Беларусь используется механизм нормирования расходов топливно-энергетических ресурсов (ТЭР).

Оценка удельных энергетических характеристик для предприятий трубопроводного транспорта является весьма важной задачей в условиях изменения производственных программ. Заниженные прогнозы электропотребления могут повлечь за собой штрафные санкции от энергоснабжающих организаций, а завышенные – приведут к искажению реальной стоимости оказываемых услуг предприятиями. В связи с чем, актуальной задачей является формирование технических способов предсказания удельных расходов электроэнергии (ЭЭ) в системах водоснабжения и водоотведения, а также оценка чувствительности их изменения при отклонении производственных программ.

Модели электропотребления

Моделирование режимов электропотребления основывается на принципах расчетно-статистического метода, основой которого является формирование информационной базы

данных (ИБД) исследуемого объекта, сглаживание временных рядов методом скользящего среднего и определение коэффициентов линейной регрессии полученной модели методом наименьших квадратов [1, 2].

К примеру, для системы водоснабжения выявлено, что затраты электроэнергии определяются, в первую очередь, объемами поднятой из скважин воды, во вторую – температурой окружающей среды, которая оказывает влияние на изменение гидравлических сопротивлений в трубопроводах при транспортировке воды, а также общезаводских условий эксплуатации водозаборов:

$$W = w_{\text{уд.тех}} \cdot Q_1 + a \cdot t_{\text{окр}} + W_{\text{усл.п}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}, \quad (1)$$

где $w_{\text{уд.тех}}$ – удельный технологический расход (коэффициент регрессии), окружающей среды; $\text{кВт} \cdot \text{ч} / 1000 \text{ м}^3$; Q_1 – соответственно количество поднятой воды, тыс. м^3 ; a – коэффициент регрессии при температуре; $t_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$; $W_{\text{усл.п}}$ – условно-постоянный расход ЭЭ, $\text{кВт} \cdot \text{ч}$.

Для трубопроводных систем водоотведения кроме объемов перекаченных сточных вод на уровень электропотребления существенно влияют объемы выпавших атмосферных осадков, которые, несмотря на развитую систему ливневого водоотведения, попадают в каналы водосточной сети и разбавляют концентрацию стоков:

$$W = w_{\text{уд.тех}} \cdot Q_{\text{сток}} + a \cdot t_{\text{окр}} + b \cdot N_{\text{осад}} + W_{\text{усл.п}}, \text{кВт} \cdot \text{ч} \quad (2)$$

где $Q_{\text{сток}}$, – суточный объем стоков, тыс. м^3 ; $N_{\text{осад}}$ – количество выпавших осадков, мм; b – коэффициент регрессии перед фактором количества выпавших осадков, $\text{кВт} \cdot \text{ч} / ^{\circ}\text{мм}$.

При наличии автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) по химическому составу стоков модель электропотребления в системе водоотведения трансформируется к виду:

$$W = w_{\text{уд.тех}} \cdot Q_{\text{сток}} + a \cdot t_{\text{окр}} + b \cdot N_{\text{осад}} + c \cdot \text{ХПК} + d \cdot \text{БПК}_5 + e \cdot \text{NH}_4 + W_{\text{усл.п}}, \quad (3)$$

где ХПК, БПК₅ и NH₄ – химические показатели сточных вод, мг/л.

Условно-постоянный расход ЭЭ учитывает общезаводские нужды предприятия, не зависящие от объемов производства, а также долю технологических затрат, отражающих непрерывность работы воздухоудовного оборудования (для систем водоотведения), и учитывающих затраты ЭЭ, необходимые для поддержания давления в сети на заданном уровне.

На рисунке 1 представлены результаты сравнения фактического и рассчитанного по модели общепроизводственного расхода ЭЭ в системе водоотведения.

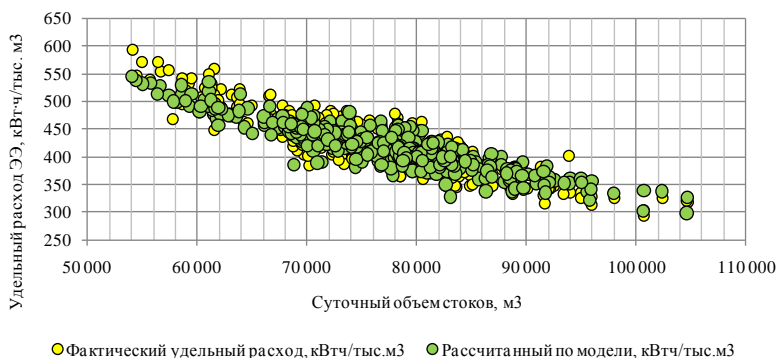


Рисунок 1. Результаты моделирования удельных расходов ЭЭ

Оценка чувствительности удельного расхода ЭЭ

Введем понятие коэффициента чувствительности модели, который будет отражать степень изменения удельного расхода ЭЭ при отклонении объемов производственных программ.

К примеру, для системы водоснабжения на основании формулы (1), удельный расход ЭЭ при фиксированном значении аргумента $t_{\text{окр}}$ может быть описан математической зависимостью вида:

$$W_{\text{уд}} = f(Q_1) = w_{\text{уд.тех}} + \frac{a \cdot t_{\text{окр}} + W_{\text{усл.п}}}{Q_1}. \quad (4)$$

Одним из основных свойств, характеризующих функцию $W_{\text{уд}} = f(Q_1)$, является скорость ее изменения:

$$f'(Q_1) = -\frac{a \cdot t_{\text{окр}} + W_{\text{усл.п}}}{Q_1^2}. \quad (5)$$

Для определения коэффициента чувствительности модели осуществим переход к относительным единицам:

$$K_{\text{ч}} = \frac{dW_{\text{уд}}(Q_1)}{dQ_1} \cdot \frac{Q_1}{W_{\text{уд}}(Q_1)} = -\frac{a \cdot t_{\text{окр}} + W_{\text{усл.п}}}{Q_1^2} \cdot \frac{Q_1}{W_{\text{уд}}(Q_1)}. \quad (6)$$

Подставляя в выражение (6) зависимость (4) получим итоговую формулу, позволяющую оценивать влияние производственных программ на изменение удельного расхода ЭЭ:

$$K_{\text{ч}} = \frac{Q_1 \cdot w_{\text{уд.тех}}}{Q_1 \cdot w_{\text{уд.тех}} + a \cdot t_{\text{окр}} + W_{\text{усл.п}}} - 1, \text{ о.е.} \quad (7)$$

Полученный коэффициент может варьироваться от 0 % (удельный расход не зависит от объемов производства вследствие отсутствия условно-постоянных затрат электроэнергии) до -100 % (абсолютная чувствительность удельного расхода к изменению объемов производства вследствие отсутствия технологических затрат электроэнергии).

Интерпретация коэффициента чувствительности приведена в таблице 1.

Таблица 1

Интерпретация коэффициента чувствительности модели

Значение коэффициента чувствительности	Влияние производственной программы на изменение удельного расхода
от 0 до 0,2	очень слабое
от 0,2 до 0,5	слабое
от 0,5 до 0,7	среднее
от 0,7 до 0,9	высокое
от 0,9 до 1	очень высокое

В результате исследования показателя $K_{\text{ч}}$ для различных трубопроводных систем было установлено, что, несмотря на схожесть технологических процессов, чувствительность удельных энергетических характеристик модели может существенно отличаться (рисунок 2).

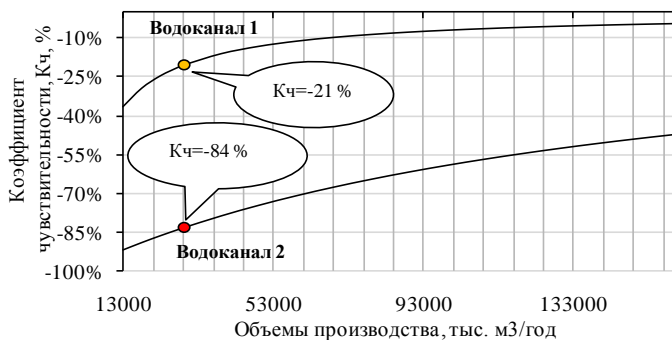


Рисунок 2. Сравнение показателя $K_{\text{ч}}$ для двух независимых технологических систем водоснабжения

Наблюдается связь коэффициента чувствительности с общей протяженностью трубопроводных сетей. К примеру, общая длина водопроводов первого водоканала составила 623 км со среднесуточной подачей воды потребителю 74 тыс. м³. При этом наблюдается слабое влияние производственных программ на отклонение удельного расхода ЭЭ.

Для второго водоканала доставка воды потребителю осуществляется по сетям водопровода общей протяженностью 947 км со среднесуточной подачей 108 тыс. м³ и сильным влиянием объемов производства на чувствительность модели.

Увеличение протяженности трубопроводных сетей оказывает существенно влияние на рост условно-постоянной составляющей модели электропотребления, что большей частью обусловлено необходимостью поддержания заданного сетевого давления на требуемом уровне.

Выводы

Таким образом, введенное понятие коэффициента чувствительности модели, отражающего степень изменения удельного расхода ЭЭ при отклонении производственных программ, позволяет оценить энергоэффективность работы технологических систем водоснабжения и водоотведения при увеличении объемов оказываемых услуг населению по транспортировке питьевой и технической воды, перекачке и очистке сточных вод.

Литература

1. Токочакова Н.В. Управление энергоэффективностью промышленных потребителей на основе моделирования режимов электропотребления// Энергетика, №2 (Изв. Вышш. Учеб. Заведений и энергет. Объед. СНГ), 2006. – С 39.
2. Фиков А. С. Моделирование электропотребления систем транспорта нефти с учетом температуры наружного воздуха //Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2010. – № 1 (40).