

Н.В. ГРУНТОВИЧ, А.А. КАПАНСКИЙ

**РАСЧЕТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ  
ВОДООТВЕДЕНИЯ**

ООО «ЦНППЭ» (Беларусь) – Брянский государственный аграрный университет,  
УО «Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого»

Разработан метод для прогнозирования энергоэффективности в технологических системах водоотведения при учете ввода в эксплуатацию трубопроводных сетей, внедрении мероприятий по энергосбережению, изменения объемов производства. Полученные результаты могут быть использованы при формировании себестоимости продукции и прогнозировании электропотребления.

*Ключевые слова:* энергоэффективность, система водоотведения, прогнозирование, электропотребление.

The method for forecasting energy efficiency in technological systems of water disposal is developed. The method takes into account the commissioning of the pipeline network, energy saving measures, the change in output. The results can be used in the formation of production costs and energy consumption forecasting.

*Key words :* energy efficiency , drainage system , forecasting, electric power consumption.

Государственным аппаратом управления энергоэффективностью (ЭЭФ) жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь является система

нормирования расхода топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Трудоемкость расчета общих и удельных расходов электрической энергии (ЭЭ) в сложных, развивающихся инженерно-технических системах, а также низкая достоверность определения рабочих параметров насосных агрегатов затрудняют корректную оценку удельного расхода ЭЭ в системах водоотведения расчетно-аналитическим методом [1].

Отклонение любого параметра технологического оборудования от рабочего режима, на этапе нормирования, оказывает существенное влияние на качество полученного результата. Разработанные и апробированные методы диагностирования и прогнозирования показателей ЭЭФ (удельных и общих расходов ЭЭ) в технологических системах трубопроводного транспорта нефти [2], основанные на аддитивной трехфакторной регрессионной модели электропотребления на выбранном интервале грузооборота, показали высокую точность и жизнеспособность и позволили сформировать систему управления ЭЭФ предприятий транспорта нефти.

Аналогичные подходы построения моделей электропотребления могут быть применены к трубопроводным системам водоотведения. Исследования, проведенные на ряде объектов систем водоотведения республики, показали, что базисный вид модели может быть представлен трехфакторным аддитивным уравнением регрессии, где в качестве факторов приняты объемы стоков  $Q_{\text{сток}}$ , температура окружающей среды  $t_{\text{окр}}$ , количество выпавших осадков  $N_{\text{осад}}$ .

Для исследуемой городской системы водоотведения получена многофакторная модель суточного электропотребления:

$$W = f(Q_{\text{сток}}, t_{\text{окр}}, N_{\text{осад}}) = w_{\text{уд.тех}} \cdot Q_{\text{сток}} + a \cdot t_{\text{окр}} + b \cdot N_{\text{осад}} + W_{\text{усл.п}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (1)$$

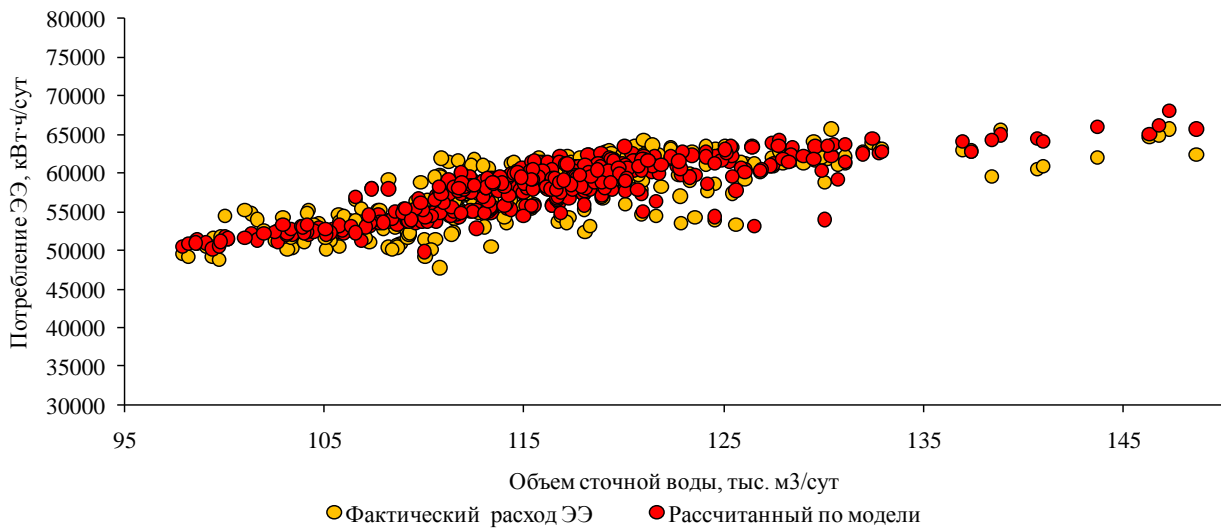
где  $w_{\text{уд.тех}}$  – удельный технологический расход (коэффициент регрессии), кВт·ч/1000 м<sup>3</sup>;  $Q_{\text{сток}}$  – прогнозируемые объемы сточных вод в расчетном периоде, тыс. м<sup>3</sup>;  $a$  – коэффициент регрессии при температуре, кВт·ч/°С;  $t_{\text{окр}}$  – прогнозируемое значение температуры окружающей среды, °С;  $b$  – коэффициент регрессии при количестве выпавших атмосферных осадках, кВт·ч/мм;  $N_{\text{осад}}$  – прогнозируемое количество выпавших осадков, мм;  $W_{\text{усл.п}}$  – условно-постоянный расход, кВт·ч.

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

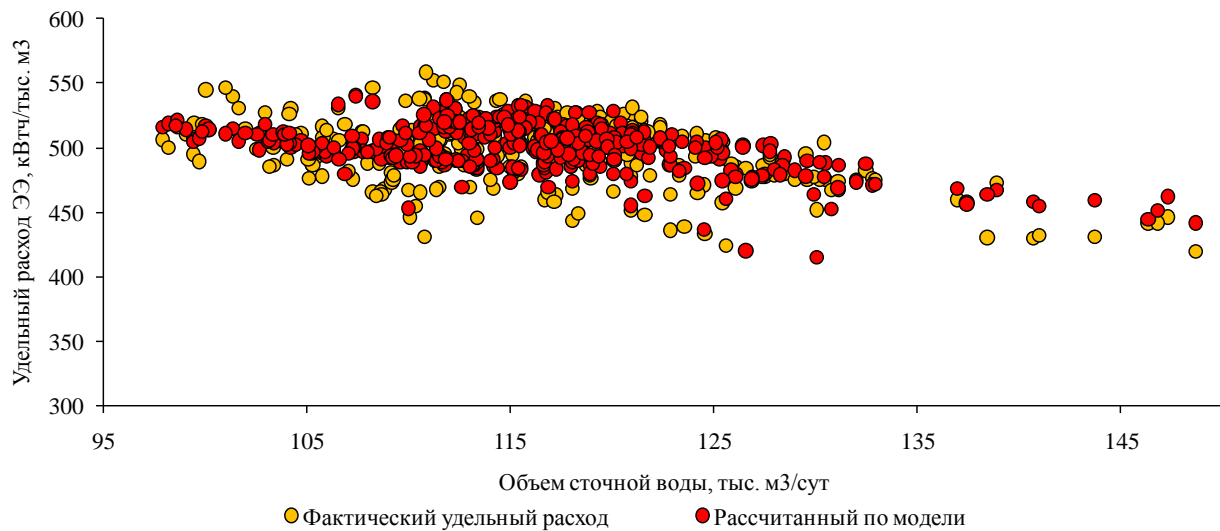
На рис. 1 представлены результаты сравнения фактического и рассчитанного по модели общепроизводственного расхода ЭЭ в системе водоотведения.

От текущей модели общего расхода ЭЭ осуществляется переход к модели удельного расхода ЭЭ (рис. 2).

$$W_{уд} = f(Q, t_{окр}, N_{осад}) = w_{уд.тех} + \frac{a \cdot t_{окр} + b \cdot N_{осад} + W_{усл.п}}{Q_{сток}}, \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{тыс. м}^3}. \quad (2)$$



**Рис. 1. Сравнение фактического суточного электропотребления с результатами моделирования**



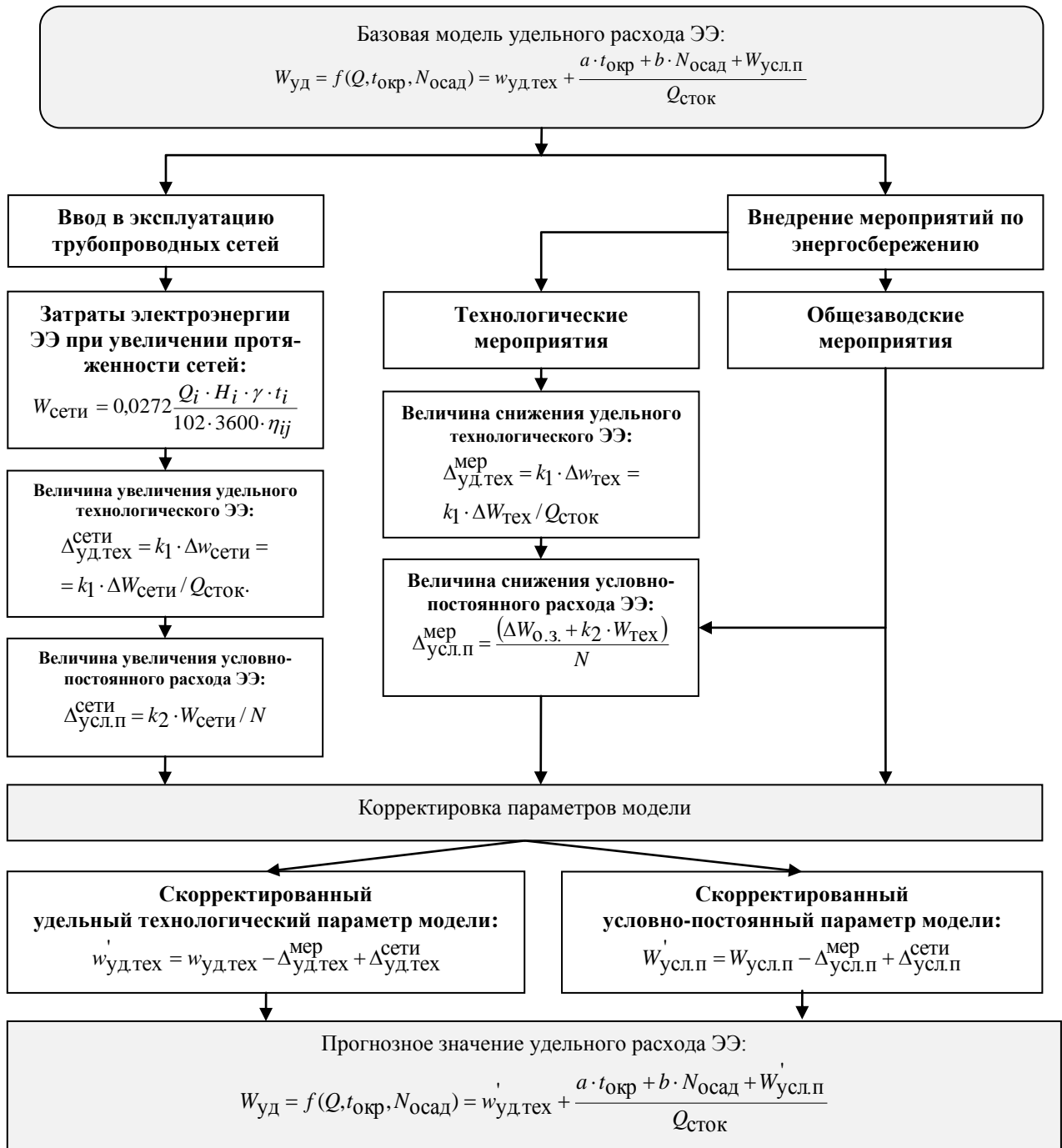
**Рис. 2. Моделирование удельного расхода ЭЭ**

Технологические системы водоотведения, в связи с ростом и развитием инфраструктуры городов, ежегодно трансформируется в сложные технические комплексы. В связи с чем, актуальной задачей является возможность прогнозирования удельного расхода электроэнергии в условиях прироста трубопроводных сетей, а также внедрении технологических и общезаводских мероприятий в области энергосбережения. Блок-схема расчета удельного расхода при изменении технологических режимов приведена на рис. 3.

*Примечание.*

В блок-схеме приведены следующие обозначения:  $Q_i$  – часовой расход воды по  $i$ -му участку сети;  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $H_i$  – потери напора по длине трубопровода, м;  $\eta_i$  – коэффициент полез-

ного действия насосного агрегата (НА) на  $i$ -м участке сети;  $t_i$  – время работы НА  $i$ -го участка сети, ч;  $n$  – количество участков сети, шт.;  $i$  – индекс, обозначающий порядковый номер участка сети;  $N$  – количество дней в прогнозном периоде, сут;  $\Delta W_{0.3}$  – общезаводской экономический эффект от внедрения мероприятий по энергосбережению; кВт·ч;  $\Delta W_{\text{тех}}$  – технологический экономический эффект от внедрения мероприятий по энергосбережению; кВт·ч.



**Рис. 3. Блок-схема расчета удельного расхода ЭЭ в системе водоотведения при изменении характеристик технологических режимов**

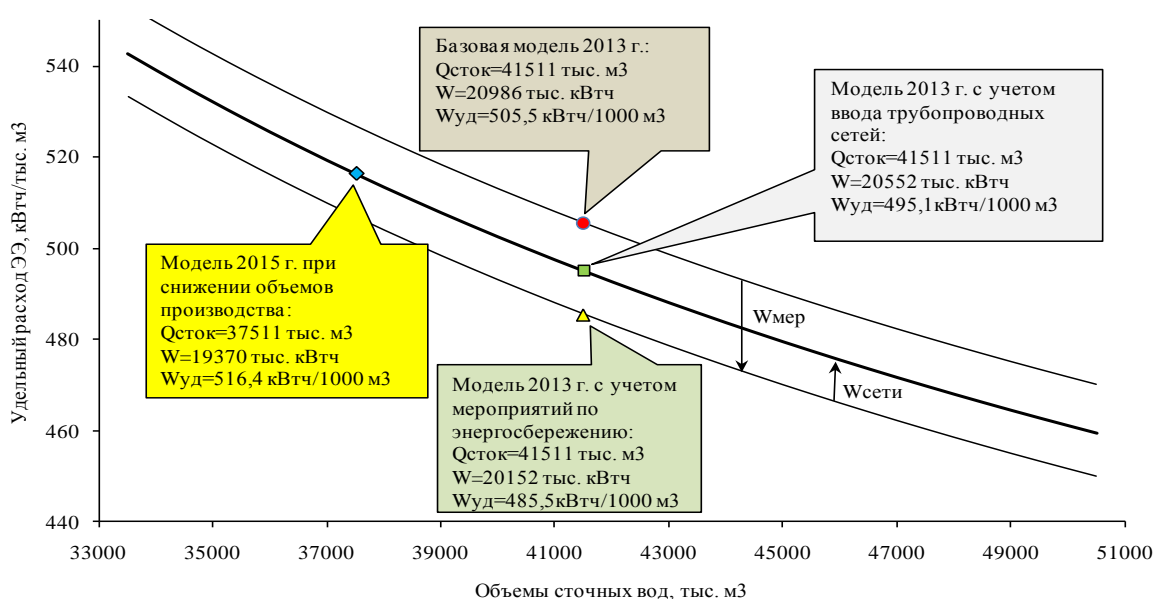
При расчете корректирующих параметров модели введены следующие коэффициенты:  $k_1$  – коэффициент, отражающий долю изменения удельного тех-

нологического расхода в общем расходе ЭЭ;  $k_2$  – коэффициент, отражающий долю изменения условно-постоянного расхода в общем расходе ЭЭ.

Коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$  находятся между собой в следующей зависимости:

$$k_1 + k_2 = 1. \quad (3)$$

Для систем водоотведения предпочтительно принимать значение коэффициента  $k_1$  после оценки коэффициентов регрессии. Если условно-постоянный расход составляет более 50 % от общего электропотребления и  $w_{уд,тех} < 100$  кВт·ч/тыс. м<sup>3</sup> принимается  $k_1 = 0,3- 0,5$ . Если условно-постоянный расход составляет менее 50 % от общего электропотребления и  $w_{уд,тех} \geq 100$  кВт·ч/тыс. м<sup>3</sup>, принимается  $k_1 = 0,7-1$ .



**Рис. 4. Изменение удельного расхода модели 2015 г. при внедрении энергосберегающих мероприятий и вводе в эксплуатацию трубопроводных сетей**

Динамика изменения удельного расхода при внедрении мероприятий по энергосбережению и вводе в эксплуатацию трубопроводных сетей приведена на рис. 2. Как видно из рисунка, внедренные мероприятия по энергосбережению обеспечивают при существующем объеме сточных вод снижение удельного расхода ЭЭ с 505,5 кВтч/тыс. м<sup>3</sup> до 485,5 кВтч/ тыс. м<sup>3</sup>. Однако ввод в эксплуатацию новых трубопроводных сетей снижает эффект от мероприятий по энергосбережению: удельный расход ЭЭ в итоге составит 495,1 кВтч/тыс. м<sup>3</sup>. Но наиболее значимым фактором, формирующим удельный расход ЭЭ на 2015 г. является производственная программа. Из-за снижения объема перекачиваемых сточных вод с 41511 до 37511 тыс. м<sup>3</sup>/год, удельный расход ЭЭ возрастет до 516,4 кВтч/тыс. м<sup>3</sup>, что полностью съедает эффект от внедренных мероприятий по энергосбережению.

Таким образом, знание закономерностей функционирования сложной

---

технологической системы при учете воздействующих факторов представляется возможным не только выполнить прогноз показателей ЭЭФ (общих и удельных расходов ЭЭ), но и объективно оценить эффект от мероприятий по энергосбережению.

### Библиографический список

1. **Грунтович, Н.В.** Развитие методического обеспечения диагностирования и прогнозирования энергоэффективности технологических систем водоснабжения и водоотведения / Н.В. Грунтович, Д.Р. Мороз, А. А. Капанский // Минск: Энергоэффективность, 2015. №1. С. 20–23.
2. **Анищенко, В. А.** Оценка и нормирование показателей энергоэффективности предприятий трубопроводного транспорта нефти / В. А. Анищенко, Н. В. Токочакова. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2007. – 233 с.