УДК 621.311

СПОСОБ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ УЧАСТКА НЕФТЕПРОВОДА

Докт. техн. наук, проф. АНИЩЕНКО В. А.

Белорусский национальный технический университет

Канд. техн. наук, доц. ТОКОЧАКОВА Н. В., инж. ФИКОВ А. С.

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого»

Расход электрической энергии W на транспортировку нефти по участку нефтепровода и факторы, формирующие режим электропотребления, регистрируются на фиксированных интервалах времени, образуя дискретные временные ряды. При их анализе традиционно различают следующие виды динамики, которые могут комбинироваться, задавая разложение временного ряда на компоненты, несущие разную содержательную нагрузку [1]:

- тенденцию (тренд), которая соответствует медленному изменению, проходящему в некотором определенном направлении в течение значительного промежутка времени;
- циклические колебания – более быстрая, чем тенденция, квазипериодическая динамика, в которой есть фаза возрастания и фаза убывания;
- сезонные колебания, соответствующие регулярным изменениям, в течение года, недели или суток;
- календарные эффекты – отклонения, связанные с определенными предсказуемыми календарными событиями, такими как праздничные дни, количество рабочих дней за месяц, високосность года и т. п.;
- случайные флуктуации – беспорядочные движения относительно большой частоты; они порождаются влиянием разнородных событий на изучаемую величину;
- выбросы – аномальные движения временного ряда, связанные с редко происходящими событиями; они резко, но очень кратковременно отклоняют ряд от общего закона, по которому он движется;
- структурные сдвиги – аномальные движения временного ряда, связанные с редко происходящими событиями, имеющие скачкообразный характер и меняющие тенденцию.

Существует несколько подходов к разложению временных рядов на компоненты [1]. Наиболее распространенными являются методы с использованием множественной регрессии и применением скользящего среднего. Из временного ряда $\{W\}$ выделяются трендовая, циклическая и сезонная составляющие. Трендовая составляющая характеризуется грузооборотом нефти $\{P\}$, сезонная составляющая – вязкостью $\{\nu\}$, циклическая составляющая – эквивалентным диаметром нефтепровода $\{d_э\}$, последняя обусловлена запарафиниванием нефтепровода и его периодической очисткой в процессе эксплуатации.

Способ построения модели режимов электропотребления может быть представлен в виде следующего алгоритма:

1) формируются суточные временные ряды расхода электрической энергии (ЭЭ) и влияющих на него факторов на временном интервале $t = 1,\ 2,\ \ldots,\ n''$:

$$\{W_t\}_{t=1,\ 2,\ \ldots,\ n''};\ \{P_t\}_{t=1,\ 2,\ \ldots,\ n''};\ \{\nu_t\}_{t=1,\ 2,\ \ldots,\ n''};\ \{d_{эt}\}_{t=1,\ 2,\ \ldots,\ n''};$$

2) сформированные временные ряды очищаются от календарных эффектов (исключаются сутки, соответствующие первому и последнему числам месяца, в случае временного сдвига снятия показаний счетчиков ЭЭ и ультразвуковых расходомеров):

$$\{P_t\}_{t=1,\ 2,\ \ldots,\ n'};\ \{\nu_t\}_{t=1,\ 2,\ \ldots,\ n'};\ \{d_{эt}\}_{t=1,\ 2,\ \ldots,\ n'};\ \{W_t\}_{t=1,\ 2,\ \ldots,\ n'};$$

$$n' = n'' - NK,$$

где NK – количество суток, исключенных из временных рядов;

3) в зависимости от полученной длины временных рядов n' и цели построения модели выбирается период усреднения τ и рассчитываются сглаженные временные ряды:

$$\overline{P}_t = \frac{1}{\tau}\sum_{i=t}^{t+\tau-1} P_i;\ \overline{\nu}_t = \frac{1}{\tau}\sum_{i=t}^{t+\tau-1} \nu_i;\ \overline{d_{эt}} = \frac{1}{\tau}\sum_{i=t}^{t+\tau-1} d_{эi};\ \overline{W}_t = \frac{1}{\tau}\sum_{i=t}^{t+\tau-1} W_i; \qquad (2)$$

$$\{\overline{P}_t\}_{t=1,\ 2,\ \ldots,\ n};\ \{\overline{\nu}_t\}_{t=1,\ 2,\ \ldots,\ n};\ \{\overline{d}_{эt}\}_{t=1,\ 2,\ \ldots,\ n};\ \{\overline{W}_t\}_{t=1,\ 2,\ \ldots,\ n}; \qquad (3)$$

$$n = n' - (\tau - 1);\ t = 1,\ 2,\ \ldots,\ n;$$

4) строится аддитивная модель суточного расхода ЭЭ на выбранном интервале грузооборота и рассчитывается регрессионная статистика, позволяющая оценить качество и адекватность модели [2]:

$$\hat{W} = \beta_p P + \beta_\nu \nu + \beta_d d_э,\ \text{кВт·ч/сут.}, \qquad (4)$$

где $\beta_p,\ \beta_\nu,\ \beta_d$ – коэффициенты регрессии; P – грузооборот нефти, тыс. т·км/сут.; ν – вязкость нефти, сСт; $d_э$ – эквивалентный диаметр многониточного нефтепровода, м.

Полученная аддитивная модель может использоваться для целей нормирования и прогнозирования расхода ЭЭ, а также для оценки экономии ЭЭ при проведении энергосберегающих мероприятий в технологическом процессе транспортировки нефти.

Рассмотрим некоторые элементы приведенного алгоритма подробнее.

Фактическое электропотребление отличается от расчетного на величину стохастической составляющей

$$W_t = \hat{W}_t + \varepsilon_t,\ \text{кВт·ч/сут.}, \qquad (5)$$

где W_t – фактическое суточное электропотребление, кВт·ч/сут.; $\hat{W}_t$ – расчетное суточное электропотребление, кВт·ч/сут.; ε_t – стохастическая составляющая, кВт·ч/сут.

При этом относительная погрешность модели рассчитывается как

$$\delta_t = 100\frac{\varepsilon_t}{W_t}, \%. \quad (6)$$

Мерой неопределенности информации в поведении $\{W\}$ выступает максимальная относительная погрешность $\delta^{\max}$ на интервале времени $t = 1, 2, \ldots, n$. Качество построенной модели характеризуется как величиной $\delta^{\max}$, так и среднеквадратичным отклонением относительной погрешности $\sigma(\delta)$ [3]:

$$\delta^{\max} = \max\left\{|\delta_t|\right\}_{t=1,2,\ldots,n}, \%; \quad (7)$$

$$\sigma(\delta) = \sqrt{\frac{1}{n-k-1}\sum_{i=1}^{n}\delta_i^2}\cdot 100, \%, \quad (8)$$

где k – количество факторов, включенных в модель.

С использованием выражения (5) выделяется стохастическая составляющая ε_t. Среднеарифметическое значение $\bar{\varepsilon}$ при достаточно большой длине временного ряда приближенно равно ее математическому ожиданию [3]

$$\bar{\varepsilon} = \sum_{t=1}^{n}\varepsilon_t\frac{m_t}{n} \approx \mu_\varepsilon = \sum_{t=1}^{n}\varepsilon_t p_t, \quad (9)$$

где m_t – частота значения ε_t; p_t – вероятность значения ε_t.

Как следует из теоремы Бернулли [3], точность этого равенства будет расти с увеличением выборки

$$\lim_{n\to\infty} P\left(\left|\frac{m_t}{n} - p_t\right| < \xi\right) = 1, \quad (10)$$

где ξ – сколь угодно малая величина.

Оценка фактических данных показала, что математическое ожидание стохастической составляющей близко к нулю ($\mu_\varepsilon \approx 0$).

Данное важное свойство позволяет уменьшить ε методом скользящего среднего (*Muving Average*), а следовательно, улучшить качество модели:

$$\overline{W}_t = \frac{1}{\tau}\sum_{i=t}^{t+\tau-1}W_i = \frac{1}{\tau}\sum_{i=t}^{t+\tau-1}\tilde{W}_i + \frac{1}{\tau}\sum_{i=t}^{t+\tau-1}\varepsilon_i = \tilde{W}_t + \bar{\varepsilon}_t, \text{ кВт·ч/сут.} \quad (11)$$

$$n = n' - (\tau - 1);\ t = 1, 2, \ldots, n,$$

где $\overline{W}$ – фактическое среднее электропотребление, кВт·ч/сут.; $\tilde{W}$ – расчетное среднее электропотребление, кВт·ч/сут.; $\bar{\varepsilon}$ – среднее значение стохастической составляющей, кВт·ч/сут.

Из изложенного следует, что с ростом периода усреднения τ стохастическая составляющая ε снижается и, как следствие, уменьшаются $\delta^{\max}$ и $\sigma(\delta)$. На рис. 1 представлена динамика $\delta^{\max}$ и σ в зависимости от периода усреднения τ.

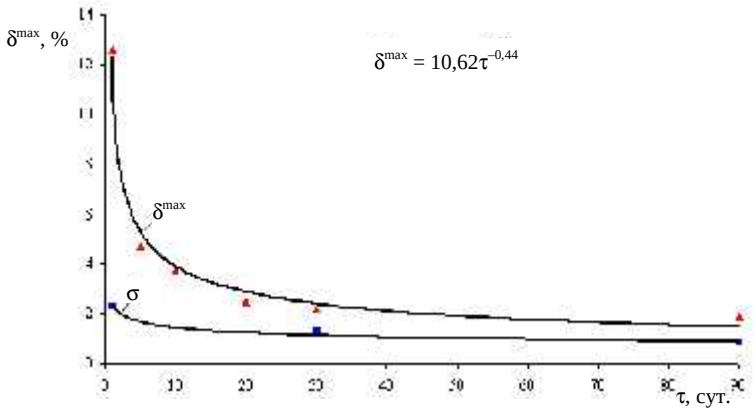

Рис. 1

Из рис. 1 видно, что между мерой неопределенности и периодом усреднения существует убывающая степенная зависимость. Для модели, построенной на несглаженных данных, δ^{max} = 12,6 %, что лежит за пределами, допустимыми техническими расчетами. В пересчете на абсолютное значение расхода ЭЭ мера неопределенности может достигать 110 МВт·ч/сут. Следовательно, использование такой модели неприемлемо.

Лучшее качество модели (δ^{max} = 1,9 %) достигается при квартальном периоде усреднения (τ = 90 сут.). Дальнейшее увеличение τ возможно только на достаточно больших выборках, поскольку уменьшение размера выборки в результате ее сглаживания ведет к снижению значимости модели.

В Республике Беларусь сложилась система ежемесячной отчетности по экономии топливно-энергетических ресурсов. Проведенный анализ показывает незначительное отличие максимальной ошибки δ^{max} и среднеквадратичного отклонения относительной погрешности $\sigma(\delta)$ в диапазоне изменения периода усреднения τ от 5 до 90 сут. от их соответствующих значений, полученных для модели с τ = 30 сут. Таким образом, для оценки экономии электрической энергии от проведения энергосберегающих мероприятий с различной продолжительностью действия допустимо применение единой модели с периодом усреднения τ = 30 сут.

ВЫВОД

Предложен способ построения модели режимов электропотребления участка нефтепровода на основе методов разложения временных рядов на компоненты и скользящего среднего, позволяющий снизить неопределенность оценки расхода электрической энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эконометрия / В. И. Суслов, Н. М. Ибрагимов, Л. П. Талышева, А. А. Цыплаков. – Кн. 3: Анализ временных рядов. – Новосибирск, 2003. – 157 с.

2. Фиков А. С., Токочакова Н. В. Математическое обеспечение оценки энергоэффективности энергосберегающих мероприятий при транспортировке нефти по трубопроводам // Наука и образование в условиях социально-экономической трансформации общества: Сб. материалов VIII Междунар. науч.-метод. конф. – Мн.: ЗАО «Современные знания», 2005. – Ч. 1. – С. 270–273.

3. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие для втузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1977. – 479 с.

Представлена кафедрой
электроснабжения ГГТУ

Поступила 17.10.2005