

УДК 620.9:658.26

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА НА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ РЕГИОНА В ВИДЕ ПОЛИНОМА ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА

С.В. Чернышев

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассмотрен новый подход к определению коэффициентов влияния температуры окружающего воздуха в пределах региона на энергопотребление в регионе. Проведен анализ подходов, предлагаемых авторами статьи [2], в которых в качестве математической модели влияния температуры предложен переменный коэффициент влияния, зависящий от величины самой температуры. Изменение коэффициента влияния описывается кусочно-линейной моделью. В данной работе предложено проверить гипотезу о представлении коэффициента влияния температуры в виде нелинейной модели, заданной полиномом третьего порядка. В ходе проверки гипотезы был построен график модели третьего порядка и представлен для визуального сравнения с предложенной в [1] кусочно-линейной моделью. В качестве критерия состоятельности модели выбран коэффициент детерминации R^2 , значения которого были определены на нескольких интервалах в пределах диапазона изменения температуры и представлены в виде графика.

Ключевые слова: влияние температуры, коэффициент детерминации, модель третьего порядка, регрессионный анализ, энергопотребление региона.

При расчете энергопотребления для формирования долгосрочных и перспективных балансов электроэнергии и мощности операционных и технологических зон единой энергосистемы необходим учет влияния температуры окружающего воздуха. Точность расчетов потребления в этом случае в значительной мере определяет балансовую надежность энергосистем. Коэффициенты влияния температуры также применяются для оценки приростов потребления за различные годы и формирования статистической и отчетной документации.

Ранее коэффициент влияния температуры, используемый в практике расчетов, был достаточно стабильным и колебался в диапазоне 0,5–0,8 % на 1 градус Цельсия [2].

За последние годы на фоне снижения производственной нагрузки можно наблюдать рост коммунально-бытовой и осветительной нагрузки и, как следствие, увеличение влияния метеофакторов на энергопотребление. Следовательно, необходим уточненный учет влияния температуры при планировании режимов работы энергосистем.

Зависимость энергопотребления от метеофакторов, и в том числе от температуры, в целом нелинейна и имеет достаточно сложный характер. Для оценки их влияния применяются так называемые коэффициенты влияния. Они отражают линейную взаимосвязь отклонений нагрузки от регулярной составляющей $P_{cp}(n)$

Сергей Витальевич Чернышев (к.т.н.), доцент кафедры «Информационные технологии».

(средних значений) и отклонений температуры от регулярной компоненты T_{cp} на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ [2].

Исследуя динамику зависимости нагрузки от метеофакторов, следует отметить некоторое запаздывание, связанное с инерционностью влияния температуры. Этот фактор отмечается давно и подтверждается многими исследованиями [1, 2]. Для качественной оценки этого явления можно использовать корреляционную функцию. Расчет взаимной корреляционной функции показывает наличие явно выраженного запаздывания изменений электропотребления по отношению к изменениям температуры [2].

Авторами [2] было отмечено, что взаимная корреляционная функция температуры и нагрузки достигает максимума при значении времени запаздывания в пределах 15–22 ч.

Зависимость энергопотребления от температуры представлена на рис. 1.

В целом отчетливо наблюдается снижение потребления при повышении температуры в диапазоне от -30 до $+17$ градусов и повышение потребления при повышении температуры от $+17$ и выше, что связано с кондиционированием воздуха в жаркую погоду.

В целом можно выделить несколько диапазонов влияния температуры, в которые степень влияния сохраняется достаточно стабильной и может быть моделирована линейным коэффициентом влияния [3].

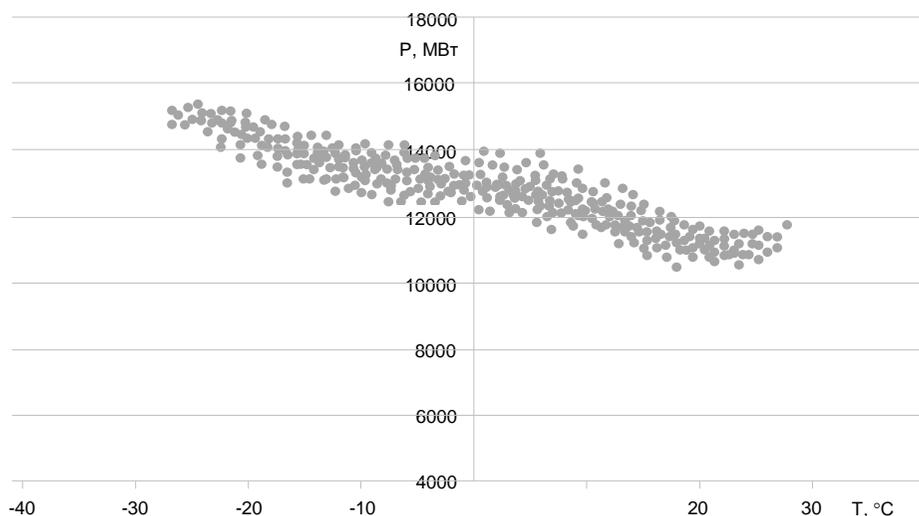


Рис. 1. Зависимость энергопотребления от температуры для среднесуточных значений

На рис. 2 представлены коэффициенты влияния температуры в зависимости от величины температуры, вычисленные согласно методике, изложенной в статье [1], где температура разбивается на несколько диапазонов, в которых коэффициент влияния моделируется линейной функцией. Таких диапазонов может быть несколько, и они могут существенно отличаться для различных энергосистем. Задание диапазонов может производиться вручную технологом или рассчитываться автоматически. Для этого реализуется специальный оптимизационный алгоритм, включающий задание в качестве входных ограничивающих парамет-

ров минимального и максимального количества диапазонов, минимальной длины диапазона [1].

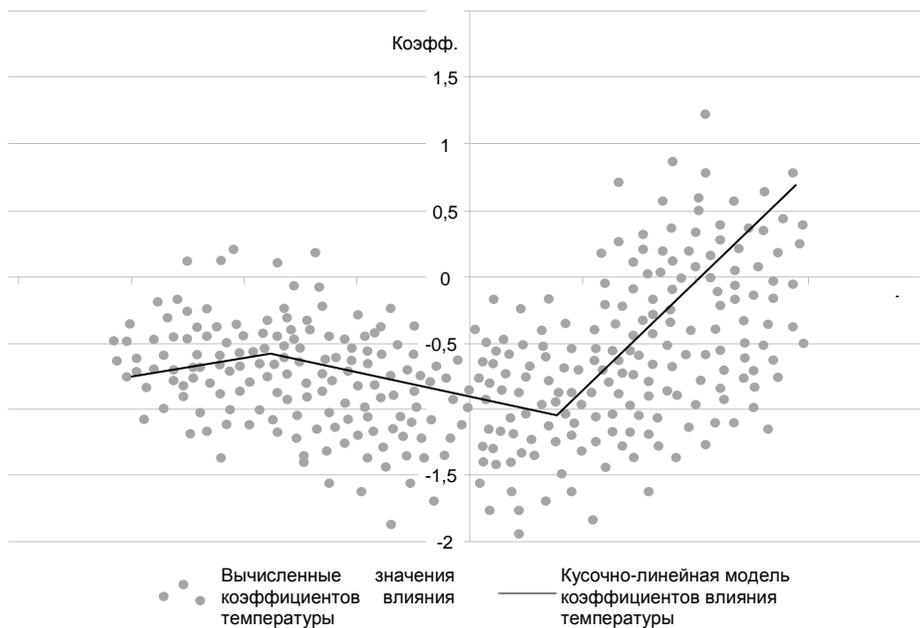


Рис. 2. Фактическая и моделируемая зависимость коэффициента влияния

Изложенная в статье [1] методика применяется в специализированном программном комплексе «АС Метео», эксплуатируемом в СО ЕЭС [4].

В настоящей статье предлагается модифицировать определения коэффициентов влияния температуры и проверить гипотезу о состоятельности и практической значимости модели, использующей функции третьего порядка при исследовании влияния температуры на энергопотребление.

В подтверждение гипотезы необходимо аппроксимировать полученные в статье [1] линейные диапазоны кусочно-линейной зависимости коэффициента влияния температуры моделями третьего порядка.

Модель третьего порядка будет иметь следующий классический вид:

$$y(x) = a_3 \cdot x^3 + a_2 \cdot x^2 + a_1 \cdot x + a_0, \quad (1)$$

где a_3, \dots, a_0 – коэффициенты модели; x – независимый параметр.

Для определения $y(x)$ необходимо провести регрессионный анализ и решить систему из четырех уравнений:

$$\begin{cases} \sum_n y = a_3 \cdot \sum_n x^3 + a_2 \cdot \sum_n x^2 + a_1 \cdot \sum_n x + a_0 \cdot n \\ \sum_n (y \cdot x) = a_3 \cdot \sum_n x^4 + a_2 \cdot \sum_n x^3 + a_1 \cdot \sum_n x^2 + a_0 \cdot \sum_n x \\ \sum_n (y \cdot x^2) = a_3 \cdot \sum_n x^5 + a_2 \cdot \sum_n x^4 + a_1 \cdot \sum_n x^3 + a_0 \cdot \sum_n x^2 \\ \sum_n (y \cdot x^3) = a_3 \cdot \sum_n x^6 + a_2 \cdot \sum_n x^5 + a_1 \cdot \sum_n x^4 + a_0 \cdot \sum_n x^3 \end{cases}, \quad (2)$$

где n – число членов ряда регрессии.

Для решения уравнений воспользуемся следующими формулами [5]:

$$a_0 = \frac{1}{D_1} \cdot \left(\sum_n y \cdot \sum_n (x - x_s)^4 - \sum_n (x - x_s)^2 \cdot \sum_n (y \cdot (x - x_s)^2) \right), \quad (3)$$

$$a_1 = \frac{1}{D_2} \cdot \left(\sum_n (y \cdot (x - x_s)) \cdot \sum_n (x - x_s)^5 - \sum_n (x - x_s)^4 \cdot \sum_n (y \cdot (x - x_s)^3) \right), \quad (4)$$

$$a_2 = \frac{1}{D_1} \cdot \left(n \cdot \sum_n (y \cdot (x - x_s)^2) - \sum_n (x - x_s)^2 \cdot \sum_n y \right), \quad (5)$$

$$a_3 = \frac{1}{D_2} \cdot \left(\sum_n (x - x_s)^2 \cdot \sum_n (y \cdot (x - x_s)^3) - \sum_n (x - x_s)^4 \cdot \sum_n (y \cdot (x - x_s)) \right), \quad (6)$$

где x_s – среднее значение x ;
 D_1, D_2 – определители матриц, вычисляемые по следующим формулам:

$$D_1 = \left(n \cdot \sum_n (x - x_s)^4 - \sum_n ((x - x_s)^2)^2 \right), \quad (7)$$

$$D_2 = \left(\sum_n (x - x_s)^2 \sum_n (x - x_s)^5 - \sum_n (x - x_s)^4 \right)^2. \quad (8)$$

Параметр x отражает влияние температуры и в нашем случае меняется от -30 до 30 °С. Функция $y(x)$ – это изменение коэффициента влияния температуры на энергопотребление в зависимости от величины температуры и, возможно, от направления ее изменения.

При расчете коэффициентов уравнений получаются следующие значения:

$$a_0 = -0,65; a_1 = -0,0025; a_2 = 0,001; a_3 = 0,00003.$$

Построив по данным коэффициентам график результирующей функции и наложив его на точечные значения зависимости коэффициента влияния температуры от величины температуры, получим изображение, как на рис. 3.

Для определения состоятельности и практической значимости предложенной модели рассчитаем коэффициент детерминации R^2 [5]:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_n (y - y^*)^2}{\sum_n (y - y_s)^2}, \quad (9)$$

где y – наблюдаемые значения коэффициента влияния температуры;
 y^* – модельные значения, найденные по уравнениям регрессии;
 y_s – среднее по наблюдаемым значениям.

По расчетным значениям были построены графические изображения величин коэффициента детерминации R^2 на отдельных интервалах изменения температуры (рис. 4).

Из графика видно, что значения находятся в пределах 0,75–0,85, что говорит о достаточно хорошем «качестве» уравнений регрессии; следовательно, данный

подход может применяться в расчетах коэффициентов влияния температуры окружающего воздуха на энергопотребление региона.

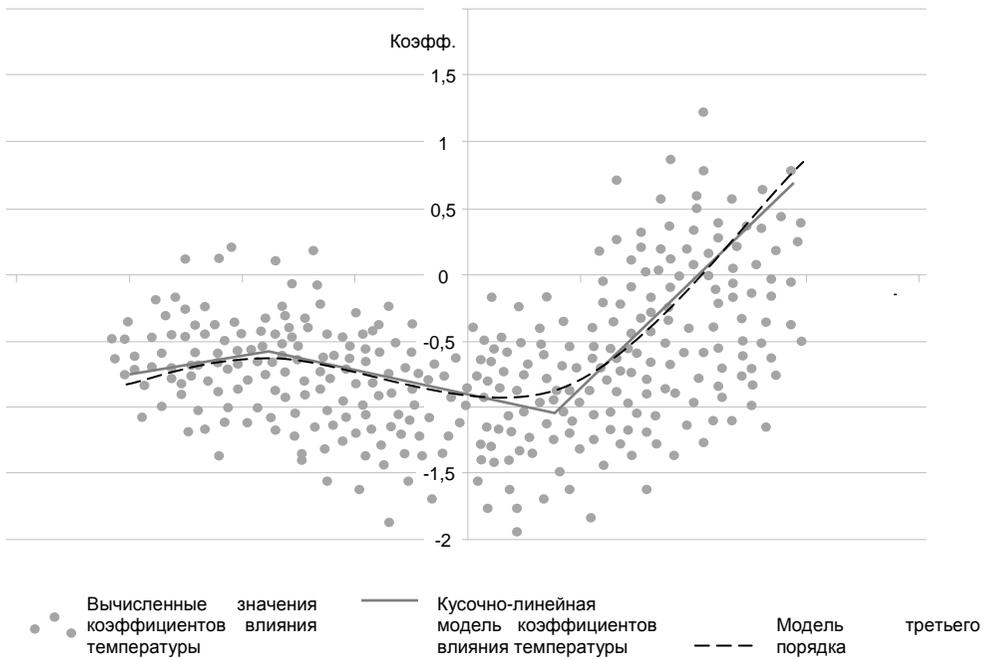


Рис. 3. Исходные значения, кусочно-линейная модель и модель третьего порядка для коэффициента влияния температуры

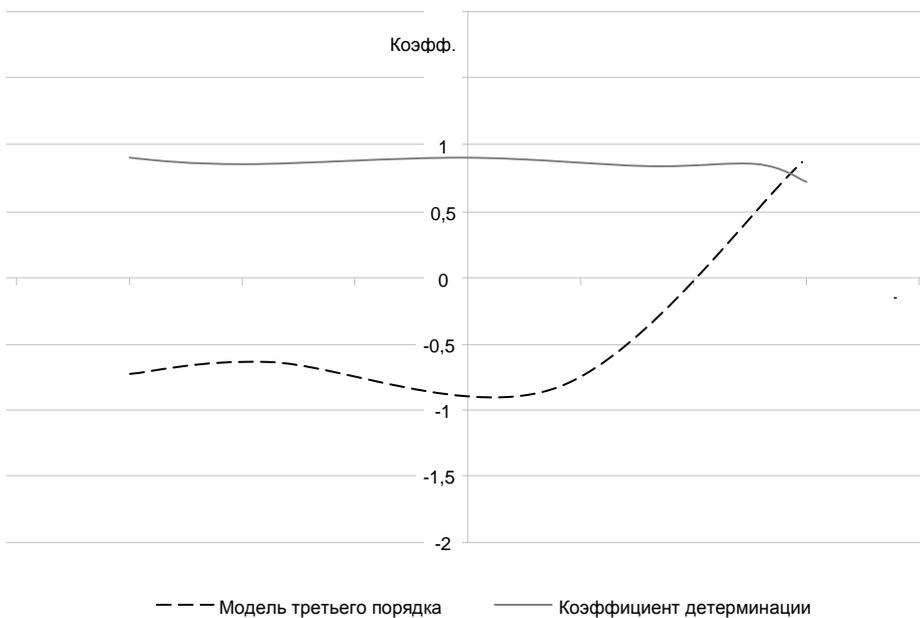


Рис. 4. График модели третьего порядка у и соответствующего ей коэффициента детерминации R^2

В работе был проведен анализ существующей методики определения коэффициентов влияния температуры на энергопотребление и предложено использовать нелинейную модель третьего порядка для определения указанных коэффициентов. Данный подход позволит установить более гибкую связь между температурой и энергопотреблением и в конечном счете несколько повысить точность краткосрочного прогноза энергопотребления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Макоклюев Б.И., Антонов А.В., Полижаров А.С., Туицин И.В., Гилева С.С.* Влияние метеофакторов на режимы потребления электроэнергии энергосистем // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Вып. 65. Надежность либерализованных систем энергетики: достижения, проблемы, перспективы. – ИСЭМ СО РАН, 2015. – С. 405–414.
2. *Макоклюев Б.И.* Анализ и планирование электропотребления. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 296 с.
3. Методические указания по определению влияния температурного фактора на потребление электрической энергии (мощности). Распоряжение ОАО «СО ЕЭС» от 15.12.2010 № 75р.
4. *Артемьев А.А., Антонов А.В., Полижаров А.С., Туицин И.В., Дацко В.С.* Разработка и внедрение комплекса обработки метеоданных СО ЕЭС (АС «Метео») // Сборник докладов III международной научно-технической конференции «Электроэнергетика глазами молодежи», Екатеринбург, 2012. – С. 123–127.
5. *Дрейпер Н., Смит Г.* Прикладной регрессионный анализ. Кн. 2. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 351 с.

Статья поступила в редакцию 31 марта 2017 г.

CREATING OF A MODEL FOR CALCULATING THE COEFFICIENTS OF THE TEMPERATURE INFLUENCE OF THE ENVIRONMENT ON THE ENERGY CONSUMPTION OF THE REGION BY A THIRD-ORDER POLYNOMIAL

S.V. Chernyshev

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

The paper considers the modification of the existing approach to determining the coefficients of influence of ambient air temperature within the region on energy consumption in the region. The existing approach proposed by the authors of the article [2] is analyzed in which a coefficient depending on the temperature itself is proposed as a mathematical model of the temperature influence, and its variation is described by a piecewise linear model. In contrast to the existing approach, the author proposed to test the hypothesis of using the third-order polynomial as a temperature-effect model. In the course of testing the hypothesis of representing the coefficient of temperature effect in the form of a nonlinear model given by a third-order polynomial, it was established that this approach can consistently replace the piecewise linear model proposed in [2]. As a criterion for the consistency of the model, the determination coefficient R^2 was chosen, the values of which were determined at several intervals within the range of the temperature change and are presented in the form of a graph.

Keywords: *temperature effect, coefficient of determination, third-order model, regression analysis, energy consumption of the region.*

Sergey V. Chernyshev (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.