

**АЛЫШЕВ С. В., КОНДРАТЬЕВА Г. А.**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ТОПЛИВА КОТЕЛЬНЫХ**

**Аннотация.** В данной статье рассмотрено применение метода наименьших квадратов для получения зависимости экспериментальных данных: отпуск тепла в сеть и удельный расход топлива на 1Гкал от температуры наружного воздуха. Получено уравнение регрессии. Проведено сравнение расчетных значений удельного расхода топлива с фактическими.

**Ключевые слова:** уравнение регрессии, математическая модель, удельный расход топлива, температура наружного воздуха, отпуск тепла в сеть.

**ALYSHEV S. V., KONDRATYEVA G. A.**

## **MODELING OF BOILER SPECIFIC FUEL CONSUMPTION**

**Abstract.** The article considers the least-square method to calculate the experimental data relation: the network heat supply and the specific fuel consumption on 1Gkal dependence on the outdoor temperature. In this connection a regression equation is developed. The authors present a comparative study of the calculated and actual values of the specific fuel consumption in question.

**Keywords:** regression equation, mathematical model, specific fuel consumption, outdoor temperature, network heat supply.

Температура наружного воздуха является одним из показателей регулирования отпуска тепла потребителям. Чем она ниже, тем выше расход топлива. С другой стороны, расход топлива определяется нагрузкой котлоагрегата, которая напрямую зависит от отпуска.

Проанализируем влияние средней температуры наружного воздуха на отпуск тепла в сеть и удельный расход топлива. Для этого обработаем данные по этим параметрам за 4 года. Для оценки параметров уравнения множественной регрессии используем метод наименьших квадратов [1].

Известны следующие факты, влияющие на норматив удельного расхода топлива котельной Центральной [2], результаты наблюдений приведены в таблице 1.

Таблица 1

## Опытные данные

№ опыта, год	Отпуск тепла в сеть, Гкал	Среднесуточная температура наружного воздуха, °С	Удельный расход усл. топлива (факт), кг/Гкал
	X1	X2	Y <sub>i</sub>
2011	155333	-3,3	Y <sub>1</sub> = 168,7
2013	102891	-3,5	Y <sub>2</sub> = 167,0
2014	86854	-1,7	Y <sub>3</sub> = 165,7
2008	200917	-0,9	Y <sub>4</sub> = 169,7

Обработка представленных данных позволила получить следующее регрессионное уравнение:

$$Y^{\text{рег}}_i = 162,0 + 0,0367 \cdot X1 - 0,33 \cdot X2$$

Результаты расчетов по полученному регрессионному уравнению сведем в таблицу 2.

Таблица 2

## Результаты расчетов

№ опыта, год	Удельный расход усл. топлива (факт), кг/Гкал	Удельный расход усл. топлива (расч.), кг/Гкал
	Y <sub>i</sub>	Y <sup>рег</sup> <sub>i</sub>
2011	Y <sub>1</sub> = 168,7	Y <sup>рег</sup> <sub>1</sub> = 168,78
2013	Y <sub>2</sub> = 167,0	Y <sup>рег</sup> <sub>2</sub> = 166,92
2014	Y <sub>3</sub> = 165,7	Y <sup>рег</sup> <sub>3</sub> = 165,74
2008	Y <sub>4</sub> = 169,7	Y <sup>рег</sup> <sub>4</sub> = 169,67

Результаты расчетов по полученному регрессионному уравнению хорошо согласуются с реальными данными по расходу условного топлива.

Оценку значимости уравнения множественной регрессии осуществим путем проверки гипотезы о равенстве нулю коэффициента детерминации рассчитанного по данным генеральной совокупности: R<sup>2</sup>.

Используем F-критерий Фишера:

$$R^2 = 1 - \frac{S^2 e}{\sum (y_i - \bar{y})^2} = 1.$$

Проверим гипотезу F-распределения Фишера. Если  $F < F_{кр} = F_{\alpha; n-m-1}$ , то нет оснований для отклонения гипотезы  $H_0$ .

$$F = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-m-1}{m^2} = 312.$$

Табличное значение при степенях свободы  $k_1 = 2$  и  $k_2 = n-m-1 = 1$ ,  $F_{кр}(2;1) = 200$ .

Поскольку фактическое значение  $F > F_{кр}$ , то коэффициент детерминации статистически значим и уравнение регрессии статистически надежно.

Проверим значимость полученных коэффициентов корреляции с помощью t-критерия Стьюдента. Рассчитаем наблюдаемые значения t-статистики для  $r_{yx1}$  по формуле:

$$t_{набл} = r_{yx1} \cdot \frac{\sqrt{n-m-1}}{\sqrt{1-r_{yx1}^2}} = 6,46;$$

где  $m = 1$  – количество факторов в уравнении регрессии.

$$T_{табл} \ t_{крит}(n-m-1; \alpha/2) = (2; 0.025) = 4,303$$

$t_{набл} > t_{крит}$  – коэффициент корреляции статистически значим.

Рассчитаем наблюдаемые значения t-статистики для  $r_{yx2}$  по формуле:

$$t_{набл} = r_{yx2} \cdot \frac{\sqrt{n-m-1}}{\sqrt{1-r_{yx2}^2}} = 0,31$$

$t_{набл} < t_{крит}$  – коэффициент корреляции статистически незначим.

Таким образом, связь между ( $y$  и  $x_{x1}$ ) является существенной.

Наибольшее влияние на результативный признак оказывает фактор  $x_1$  ( $r = -0.98$ ), поэтому при построении модели он войдет в регрессионное уравнение первым.

Результаты расчетов показывают, что между температурой наружного воздуха и количеством отпущенной теплоты наблюдается хорошая корреляция. Это указывает на достаточно корректную регулировку по температуре.

Вместе с тем наблюдается достаточно слабая связь между температурой наружного воздуха и удельным расходом топлива, которая показывает, что с понижением температуры

окружающей среды растет удельный расход топлива. По мнению авторов, это отражает тепловые потери при производстве тепла.

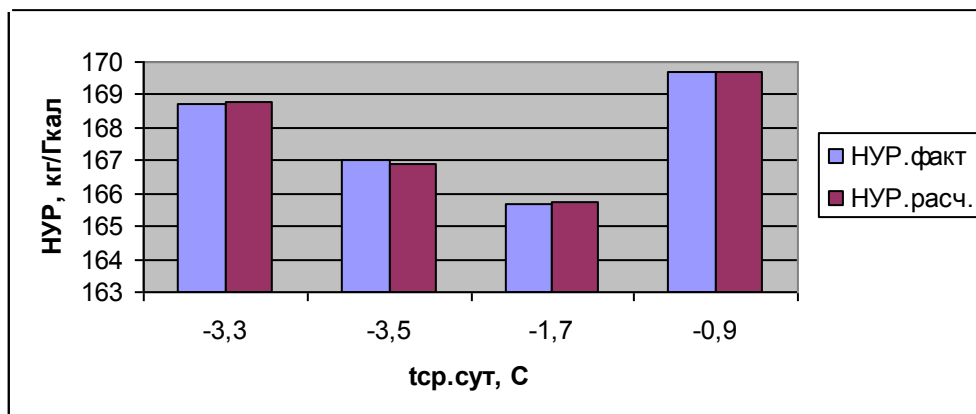


Рис.1 Зависимость норматива удельного расхода топлива от среднесуточной температуры наружного воздуха.

Анализируя примеры расчетов, видно, что прогноз, полученный по данной модели, будет достаточно высокой точности, то есть абсолютная погрешность не превышает величину в 3,5%, что говорит о ее высоком качестве. Предлагается дополнительно установить автоматический датчик погодного регулирования с выводом на общую систему контроля и управления процессами котельной. Это повлияет на количество отпущенного тепла в сеть, а также приведет к снижению удельного расхода топлива.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Львовский Е. Н. Статические методы построения эмпирических формул: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1988. – 239 с.
2. Инструкция по организации в Минэнерго России работы по расчету и обоснованию нормативов удельного расхода топлива на отпущенную электрическую и тепловую энергию от тепловых электрических станции и котельных: Приказ Минэнерго России № 323 от 30 декабря 2008 г.