

ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В БЫТУ СЕЛЬСКОГО НАСЕЛЕНИЯ

Н.И. Черкасова

Разработаны математические модели электропотребления сельского населения различных категорий жилья: коттеджей, частного сектора, многоквартирных домов.

Ключевые слова: значимые факторы, математическая модель, потребление электроэнергии, расход электроэнергии, суточное потребление.

Автором разработаны математические модели электропотребления различных категорий жилья: коттеджей, частного сектора с централизованным и печным отоплением, многоквартирных домов, которые могут быть применены для определения и прогнозирования расхода электроэнергии сельским населением.

В условиях текущего состояния социальной сферы села и систем жизнеобеспече-

ния последней, назрела острая необходимость в реализации проектов комплексного обустройства сельских территорий, направленных на создание комфортных условий проживания граждан [1].

Бытовое потребление электроэнергии сельским населением имеет несколько составляющих: частные дома с централизованным или печным отоплением, коттеджи, многоквартирные дома, рисунок 1.

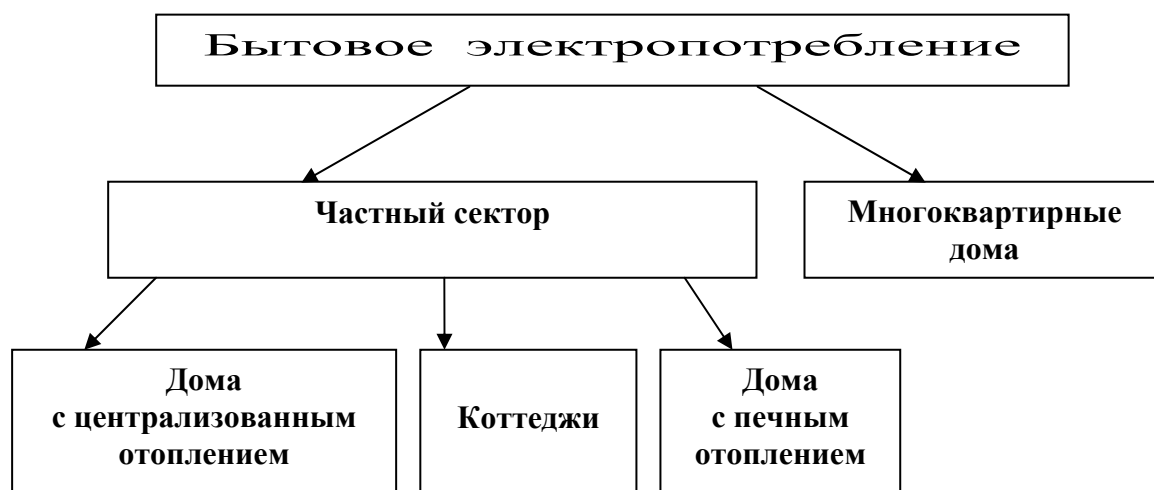


Рисунок 1 - Структура бытового потребления сельского населения

Исходными данными явилось суточное потребление (расход) электроэнергии многоквартирными домами за полтора летних месяца (с 9-го июля по 22 августа) по показаниям счетчиков на вводе в дом. Информация по среднесуточной температуре, наличию осадков и ветру за указанный период была предоставлена местной метеостанцией. Замеры температуры производились 6 раз в сутки через каждые 4 часа, и среднесуточная температура определялась работниками метеостанции как среднеарифметическая величина полученных замеров.

Визуальный анализ графика суточного потребления (расхода) электроэнергии за полтора летних месяца (рисунок 2) показывает следующее. Заметна зависимость расхода от дня недели: видны характерные всплески потребления по пятницам, снижение расхода в выходные погожие дни, когда люди не находятся дома. Легко заметить увеличение расхода на 9-11% при отсутствии горячей воды, что имело место с 9-го по 16 июля и с 16-го по 22 августа, причем в первый день подачи воды (16 июля) расход увеличивается на 20%.

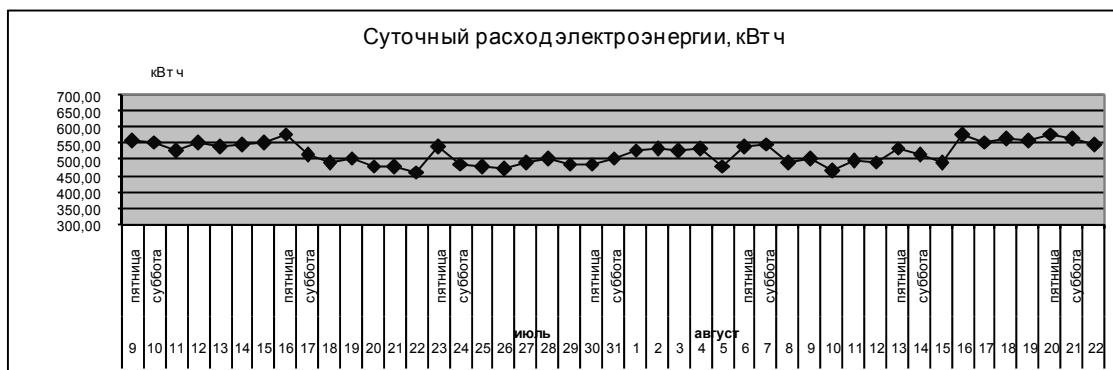


Рисунок 2 - Суточный расход электроэнергии, кВт·ч



Рисунок 3 - Среднесуточное потребление электроэнергии многоквартирным домом, кВт·ч

Таблица 1 - Корреляционная матрица

| | День недели | Расход | Температура | Горячая вода | Осадки | Сезонные заготовки |
|--------------------|-------------|---------|-------------|--------------|---------|--------------------|
| День недели | 1,00 | 0,39 * | 0,01 | -0,04 | 0,03 | -0,08 |
| Расход | 0,39 * | 1,00 | -0,02 | -0,75 * | 0,15 | -0,09 |
| Температура | 0,01 | -0,02 | 1,00 | -0,02 | -0,31 * | -0,16 |
| Горячая вода | -0,04 | -0,75 * | -0,02 | 1,00 | 0,06 | 0,26 |
| Осадки | 0,03 | 0,15 | -0,31 * | 0,06 | 1,00 | 0,10 |
| Сезонные заготовки | -0,08 | -0,09 | -0,16 | 0,26 | 0,10 | 1,00 |

Заметно увеличение расхода в дождливые будние дни (с 1 по 4 августа) и в субботах (холодный, дождливый) день 7 августа, когда люди находились дома по причине ненастья. Среднесуточный расход (кВт·ч) по дням недели показан на рисунке 3.

Очевидно, что потребление электроэнергии зависит от многих факторов. К фак-

торам, влияющим на потребление электроэнергии населением в летний период, можно отнести следующие:

1. Наличие (отсутствие) горячей воды, (**ГВ**);
2. День недели, (**ДН**);
3. Атмосферные воздействия (среднесуточная температура, **Т**, осадки, **О**, ветер);

ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В БЫТУ СЕЛЬСКОГО НАСЕЛЕНИЯ

4. Период плодоношения овощных и плодово-ягодных культур (сезонные заготовки, **СЗ**);

5. Наличие грудных детей;

6. Степень занятости жильцов работой вне дома.

Оценить зависимость расхода и приведенных факторов позволяет корреляционная матрица, приведенная в таблице 1.

Значимые коэффициенты корреляции выделены звездочкой.

Требуется смоделировать расход электроэнергии и выделить наиболее значимые факторы, влияющие на него.

Задача решалась с помощью статистического программного обеспечения на базе системы STATISTIKA 6.0, использовались

модули Multiple Regression - Nonlinear Estimation – Множественная регрессия/ Нелинейное оценивание [2].

Использовался метод регрессионного анализа и, так как имели место несколько независимых переменных, применялся метод множественной регрессии. Из пошаговых регрессионных методов, предложенных системой, был выбран Forward Stepwise, который состоит в том, что на каждом шаге в модель включается какая-то наиболее «значимая» независимая переменная. Включение переменной определяется при помощи F – критерия [2]. Программный комплекс представляет параметры множественной регрессии в форме таблицы 2.

Таблица 2 - Параметры множественной регрессии

| | Beta | Std.Err.of Beta | B | Std.Err.of B | t(40) | p-level |
|----|----------|-----------------|----------|--------------|---------|----------|
| bo | | | -160,740 | 154,8863 | 1,03780 | 0,305598 |
| ГВ | 0,782650 | 0,082314 | -59,260 | 6,2326 | 9,50810 | 0,000000 |
| ДН | 0,365984 | 0,079706 | 6,502 | 1,4160 | 4,59169 | 0,000043 |
| О | 0,177851 | 0,079885 | 13,093 | 5,8811 | 2,22635 | 0,031688 |
| СЗ | 0,124179 | 0,082795 | 9,260 | 6,1737 | 1,49985 | 0,141506 |

В четвертом столбце расположены искомые коэффициенты. Искомая регрессия имеет вид:

$$Y = -160,740 - 59,260 \cdot (ГВ) + 6,502 \cdot (ДН) + 13,093 \cdot (О) + 6,1737 \cdot (СЗ)$$

Адекватность модели определялась при анализе остатков по графику распределения остатков с наложением нормального распределения, который показал, что они распределены близко к нормальному.

Стандартная ошибка оценивания коэффициентов составляет 18,9 %, что является неплохим показателем. Коэффициент детерминации равен **0,748**. Значит, построенная регрессия описывает 75 % разброса значений относительно среднего. Остатки составляют менее 6,5%.

На рисунке 4 представлены следующие графики:

1. график наблюдаемых значений расхода, кВт·ч, - линия -1;

2. график расхода электроэнергии, предсказанный с помощью математической модели множественной регрессии, кВт·ч, - линия -2;

3. график остатков, кВт·ч, - линия -3

Модель электропотребления многоквартирного дома в зимний период на основе модели множественной регрессии и авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего

Исследования показали, что значимыми факторами в *зимний* период являются: день недели, величина недогрева в системе централизованного теплоснабжения, температура окружающего воздуха и наличие ветра более 15 м/с.

1. День недели: определились следующие значимые коэффициенты для дней недели: понедельник - 106; вторник -108; среда - 107; четверг – 108; пятница – 110; суббота - 112; воскресенье – 111. Коэффициент корреляции 0,38.

2. Степень отопления жилья (недогрев), коэффициент корреляции - 0,37, причем «недогрев» в декабре составил 3,8 процента, а в январе – 8,0 %.

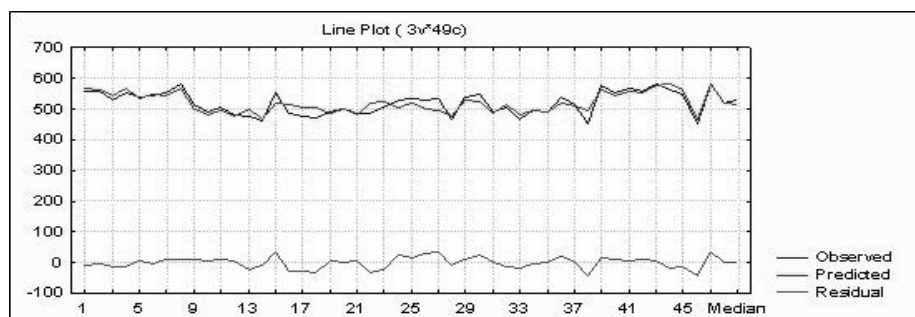


Рисунок 4 - Математическая модель. Множественная регрессия: график наблюдаемых значений (линия – 1); график расхода, предсказанный математической моделью (линия – 2); график остатков (линия – 3)

3. Температура окружающего воздуха.
Коэффициент корреляции – 0,29.

В дни новогоднего праздника (31.12 – 1.01) расход увеличился на 37 %.

После оценивания коэффициентов регрессии, получаем модель (рисунок 5) множественной регрессии вида:

$$\text{Расход} = -604,980 + 0,460 \cdot \text{ДН} - 0,23 \cdot \text{T} + 0,383 \cdot \text{Н} + 0,040 \cdot \text{В}.$$

Коэффициент детерминации = 0,45; коэффициент множественной корреляции = 0,67; стандартная ошибка оценки = 38,12; F-критерий = 11,6; уровень значимости высокий, $p = 1^{-000001}$. Остатки составляют менее 4 %.

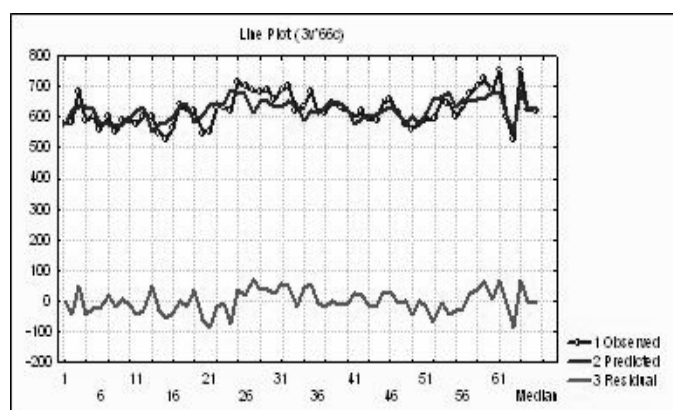


Рисунок 5 - Фактические и модельные графики электропотребления для зимнего периода: график наблюдаемых значений (линия – 1); график расхода, полученный по математической модели (линия-2); остатки (линия – 3)

Далее воспользуемся методом авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего - АРПСС (по англ - ARIMA).

Исходный временной ряд был преобразован в стационарный для работы в модуле ARIMA следующим образом: взятие разности со сдвигом D(-1), D(-7) и сезонной декомпозиции по дням недели (lag 7). Модель идентифицировалась следующими параметрами модели:

$$p = P = 0, q = Q = 0), \text{ (рисунок 6)}.$$

Процесс оценивания параметров дал следующие результаты: точечная оценка составляет $q(1) = 0,535948$; нижний предел – 0,315947 верхний предел – 0,755948; $Qs(1) = 0,663826$;

нижний предел – 0,421137, верхний – 0,906515, соответственно, в 90 процентном доверительном интервале.

Асимптотическая стандартная ошибка оцениваемых параметров $q(1)$ и $Qs(1)$ соответственно составляет 0,109 и 0,121, степень адекватности $p = 1^{-0,00001}$ и $p = 1^{-0,000001}$, соответственно.

Для определения степени адекватности модели был проведен анализ остатков между наблюдаемыми и предсказанными данными с использованием графиков остатков на нормальной вероятностной бумаге и гистограммы остатков с наложенной нормальной плотностью.

ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В БЫТУ СЕЛЬСКОГО НАСЕЛЕНИЯ

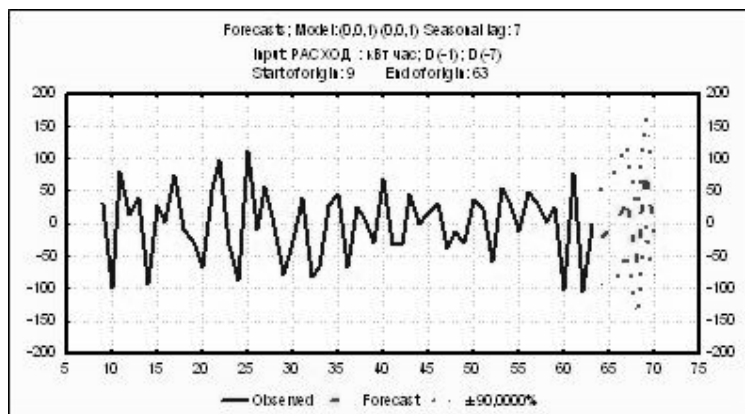


Рисунок 6 - График расхода с построенным прогнозом в зимний период

Анализ показал, что распределение остатков близко к нормальному. Можно сделать вывод, что модель достаточно адекватно описывает наблюдаемый временной ряд и можно доверять прогнозу, построенному с помощью модели. Прогноз задавался на 10 дней вперед и показан на графике (рисунок 6) штриховой линией.

Модели электропотребления частного сектора на основе модели множественной регрессии

Электропотребление сектора «Частные дома с печным отоплением» представлено

моделью на основе множественной регрессии вида:

$$\text{Расход} = -33,7376 - 2,054 (T) + 3,9116 (ДН)$$

Графическое изображение электропотребления дано на рис.7.

Коэффициент детерминации равен 0,473; коэффициент множественной корреляции = 0,299; F-критерий $F = 7,4$; уровень значимости высокий, $p = 1 - 000001$. Остатки составляют 6,4%.

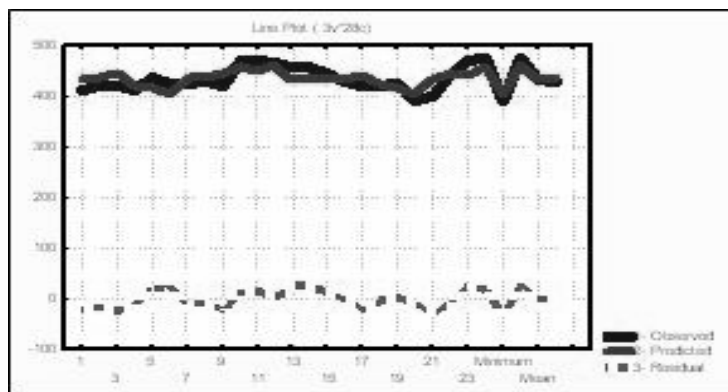


Рисунок 7 - Фактический и модельный графики электропотребления: график наблюдаемых значений (линия – 1); график расхода, предсказанный математической моделью (линия-2); остатки (линия – 3)

Модели электропотребления коттеджей на основе периодической функции и множественной регрессии

Исходными данными для моделирования электропотребления сельского населения для категории жилья «Коттеджи» явился суточный расход ВЛ 10 кВ, микрорайона коттеджей осуществляющих электроснабжение с 8-го января по 15 февраля 2005 года.

Анализ графика потребления в зимний период показал периодический еженедель-

ный рост нагрузки в выходные дни, что подсказало возможность описать наблюдаемый ряд периодической функцией (рисунок 8) вида:

$$y = b_0 \cdot \cos(b_1 \cdot x + b_4) + b_2,$$

где y – расход электроэнергии, кВт·ч; x – день недели, имеющий соответственные коэффициенты (понедельник – 109, вторник – 106, среда – 107, четверг – 108, пятница – 111, суббота – 112, воскресенье – 110).

ЧЕРКАСОВА Н.И.

Данная функция была реализована в модуле **Определяемая пользователем регрессия**. Результаты оценивания параметров данной регрессии следующие: $b_0 = 134,108$; $b_1 = 4,883$; $b_2 = 3399,064$; $b_4 = 756,541$.

Модель в общем виде:

$$\text{РАСХОД} = 134,1 \cdot \cos(4,8 \cdot \text{ДН} + 756,5) + 3399,0,$$

где ДН – день недели, взятый с соответствующим коэффициентом.

График функции вида $y = b_0 \cdot \cos(b_1 \cdot x + b_4) + b_2$ изображен на рисунке 8.

Из графика видно, что данная периодическая функция недостаточно точно описывает наблюдаемый процесс.

Достоверность аппроксимации составляет 29,7 %, что не является хорошим показателем.

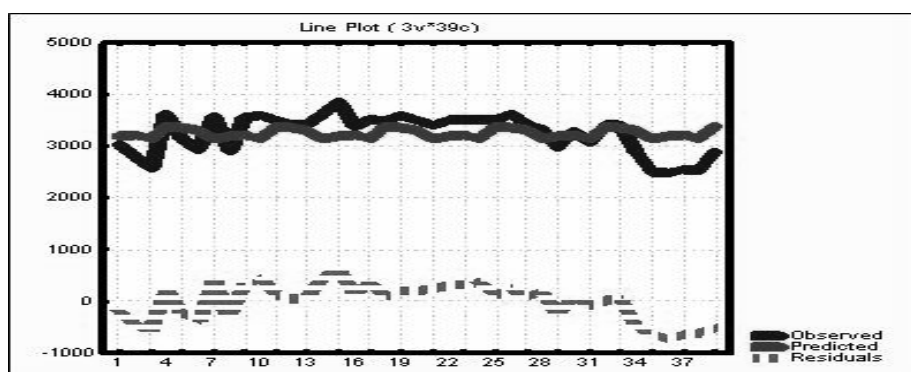


Рисунок 8 - График функции вида $y = b_0 \cdot \cos(b_1 \cdot x + b_4) + b_2$ (линия с маркерами) наблюдаемого расхода (сплошная линия) и остатки (точечная линия), кВт·ч

Наблюдаемый ряд можно описать с помощью множественной регрессии, (рис.9) вида:

$$\text{Расход} = 3730,3855 + 18,268(\text{Н}) - 22,396(\text{Т}) - 8,728(\text{ДН}),$$

где Н- недогрев, Т – температура окружающего воздуха, в градусах Цельсия;

ДН – день недели, имеющий указанные выше коэффициенты значимости.

Коэффициент детерминации равен 0,368; F-критерий $F = 6,4$; уровень значимости высокий, $p = 1 - 0001$. Остатки составляют 6,89 процентов. Анализ остатков показал, что в их поведении нет закономерности, они не коррелированы между собой, их распределение близко к нормальному, следовательно, модель достаточно адекватно описывает данные.

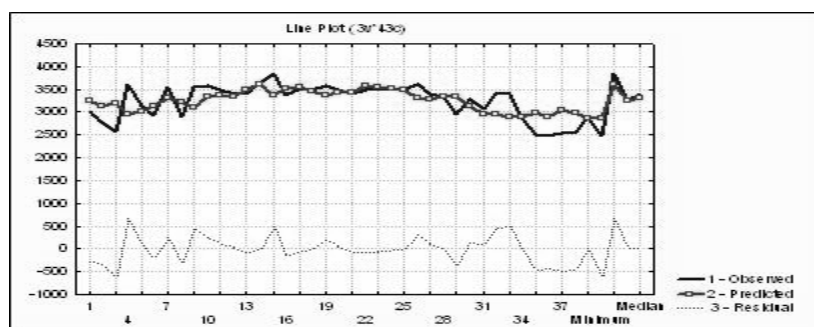


Рисунок 9 - Фактический и модельный графики электропотребления коттеджей: график наблюдаемых значений (линия – 1); график расхода, предсказанный математической моделью (линия-2); остатки (линия – 3)

Наиболее адекватными моделями расхода электроэнергии различными категория-

ми жилья являются многофакторная модель множественной регрессии и модель авторег-

ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В БЫТУ СЕЛЬСКОГО НАСЕЛЕНИЯ

рессии и проинтегрированного скользящего среднего – АРПСС. Однако регрессионная модель обладает рядом недостатков, в частности, не учитывает интегральный характер нагрузки при продолжительных заморозках и (или) длительных периодах недостаточности обогрева жилья (недогреве) в зимнее время со сдвигом в несколько дней и интегральный характер нагрузки при резком снижении температуры окружающего воздуха в период отсутствия отопления осенью. Этих недостатков лишена модель АРПСС (Авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего), которая позволяет делать краткосрочный или

среднесрочный прогноз расхода электроэнергии различными категориями жилья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закон Алтайского края № 5-ЗС «Краевая целевая программа» «Социальное развитие села до 2012 года
2. Боровиков В.П., Боровиков И.П. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows® Информационно-издательский дом» Филлинь», 1997 - 608 с.

Черкасова Н.И., к.т.н., доцент, кафедра «Электрификация производства и быта», АлтГТУ им. И.И.Ползунова, тел.: 8(3852) 36- 71- 29.