

Бобин Дмитрий Витальевич

старший преподаватель

Кулагина Алевтина Григорьевна

канд. экон. наук, доцент

Никитин Виктор Васильевич

канд. физ.-мат. наук, профессор, доцент

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет

им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Чувашская Республика

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РОССИИ

Аннотация: в статье разработана эконометрическая модель прогнозирования производства электроэнергии по факторам, отражающим характер ее динамики. Ее особенностями являются долгосрочная устойчивая тенденция к повышению и наличие сезонной составляющей. В результате получена методика для построения моделей с высокой степенью точности прогнозов и проведена апробация. Полученные результаты могут быть использованы в области оптимизации производства, распределения и потребления электроэнергии.

Ключевые слова: производство электроэнергии, прогнозирование, анализ временного ряда, множественная регрессия.

В 2024 году отечественная экономика прибавила примерно 4% по сравнению с предыдущим значением. Во многом этот рост достигнут благодаря электроэнергетической отрасли. В предыдущем году был достигнут исторический максимум производства и потребления электроэнергии в России, который составил примерно 1,2 трлн кВт·ч. Данный показатель за последние двадцать пять лет вырос на 37%. Это связано с увеличением валового внутреннего продукта страны и увеличением количества электроприборов. За указанное время положительный тренд на увеличение спроса значительно нарушился лишь дважды: в 2009 г. из-за финансово-экономического кризиса наблюдалось паде-

ние на 5%, а в 2020 г. из-за пандемии коронавируса спрос снизился на 7%, что существенно выше среднемирового падения на 0,5%. Да и в целом мировой спрос на электроэнергию за те же 25 лет вырос на 90%.

Растущая зависимость современного общества от электрической энергии, обусловленная технологическим прогрессом и потребностями населения, повышает значимость планирования и прогнозирования ее спроса. Однако точность прогнозирования нагрузки на электроэнергию часто не позволяет достичь желаемого результата, поскольку на нее влияют различные факторы, такие как экономическое развитие, уровень занятости, политика страны, климатическое воздействие, научно-технический прогресс.

В исследованиях С.В. Гужова [1], Р.В. Клюева [2], Г.Р. Токарева [3], Ю.К. Шлыка [4] и др. описаны подходы, используемые при прогнозировании производства и потребления электроэнергии. Среди используемых ими методов и моделей выделяются методы анализа временных рядов, регрессионные методы, нейронные сети, модель с долгой краткосрочной памятью, регрессионные деревья и пр. Возможность применения конкретного подхода зависит от характера исследуемых данных и требуемой точности прогнозирования.

В качестве исследуемой переменной рассматривается месячное производство электроэнергии в России за 2018–2014 годы (рис. 1).

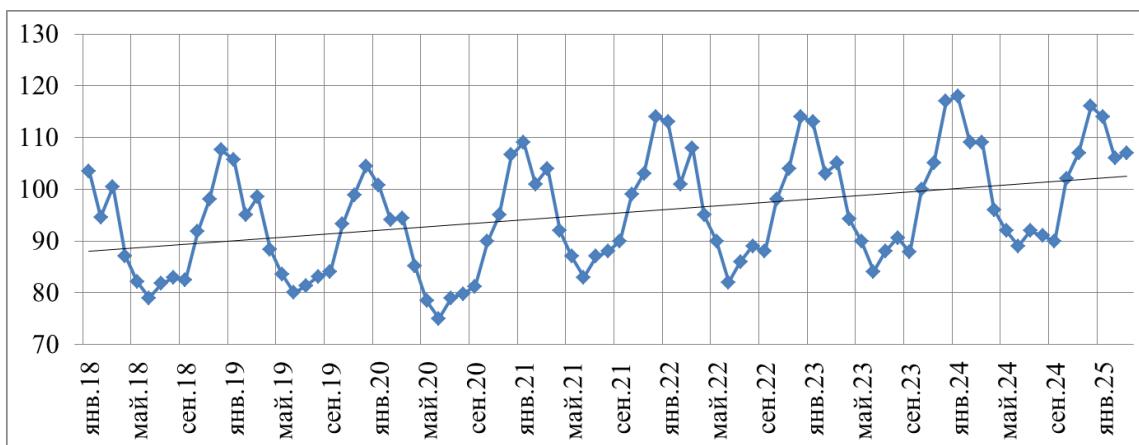


Рис. 1. Помесячное потребление электроэнергии, млрд кВт·ч

Как видно из рис. 1, в динамическом ряде наблюдаются компоненты и тренда, и сезонности. Поэтому для моделирования временного ряда используем многофакторную линейную регрессию со следующими входными признаками:

t – период времени от 1 до 84;

X_1 – среднемесячная температура воздуха, градусов по Цельсию;

X_2 – фактор коронавируса (1 – для месяцев апр.2020-дек.2020, 0 – для остальных);

X_3-X_{11} – фиктивные переменные месяцев с января по ноябрь.

Оценки параметров уравнения регрессии определим с помощью метода наименьших квадратов (таблица 1).

Таблица 1

Регрессионный анализ

	Коэффициенты	Станд. ошибка	t-статистика	P-Значение
Y -пересечение	103,480	0,807	128,21	8,17E-84
t	0,146	0,007	19,20	2,18E-29
X_1	-0,425	0,082	-5,18	2,09E-06
X_2	-5,429	0,606	-8,95	3,56E-13
январь	-2,163	0,900	-2,40	0,019032
февраль	-11,259	0,893	-12,60	1,45E-19
март	-6,401	0,946	-6,76	3,53E-09
апрель	-14,127	1,305	-10,81	1,65E-16
май	-16,798	1,680	-9,99	4,78E-15
июнь	-19,120	2,065	-9,25	1,02E-13
июль	-15,505	2,145	-7,22	5,18E-10
август	-14,690	2,083	-7,05	1,08E-09
сентябрь	-17,460	1,661	-10,50	5,84E-16
октябрь	-10,031	1,281	-7,82	4,12E-11
ноябрь	-7,583	0,971	-7,80	4,59E-11

Положительный коэффициент фактора t в уравнении показывает, что наблюдается тенденция увеличения спроса на электроэнергию в среднем на 0,147 млрд кВт·ч в месяц. Отрицательные коэффициенты перед факторами X_1 и X_2 в уравнении показывают, что при повышении температуры воздуха и перехода на дистанционный режим работы будет наблюдаться снижение спроса. Отрицательные коэффициенты перед факторами месяцев указывают на величи-

ну снижения спроса на электроэнергию в соответствующем месяце по сравнению с декабрем.

Искомое уравнение регрессии для прогнозирования электроэнергии имеет вид:

$$Y = 103,48 + 0,147 \cdot t - 0,426 \cdot X_1 - 5,429 \cdot X_2 - 2,163 \cdot \text{янв-11,259} \cdot \\ \text{фев-6,401} \cdot \text{мар-14,127} \cdot \text{апр-16,799} \cdot \text{май-19,12} \cdot \text{июн-15,505} \cdot \text{июл-14,69} \cdot \\ \text{авг-17,461} \cdot \text{сен-10,031} \cdot \text{окт-7,584} \cdot \text{ноя.}$$

Все параметры модели значимы по критерию Стьюдента, а сама модель в целом значима по критерию Фишера на уровне значимости 0,05. В построенной модели коэффициент детерминации составляет 0,98, то есть вариация спроса на электроэнергию на 98% зависит от выбранных факторов и на 2% от влияния прочих факторов. Ошибки модели составляют в среднем всего 1,2%, что говорит о ее высокой достоверности.

Доверительные интервалы прогнозов помесячного потребления электроэнергии в течение 2025 года найдем по формуле

$$Y_{t+1} \pm t_{\text{кр}} \cdot s_e \cdot \sqrt{1 + X_{t+1}(X^T X)X_{t+1}^T},$$

где X – матрица данных входных признаков;

X_{t+1} – вектор значений входных признаков на $(t+1)$ -й момент времени;

Y_{t+1} – прогнозное значение исследуемого показателя на $(t+1)$ -й момент времени;

$t_{\text{кр}}$ – табличное значение Стьюдента при уровне значимости 0,01 и 82 степенях свободы;

s_e – стандартная ошибка модели.

На рис. 2 представлены графики прогнозных значений электропотребления на 2025 год и их доверительных интервалов в сравнении с предварительными фактическими значениями.

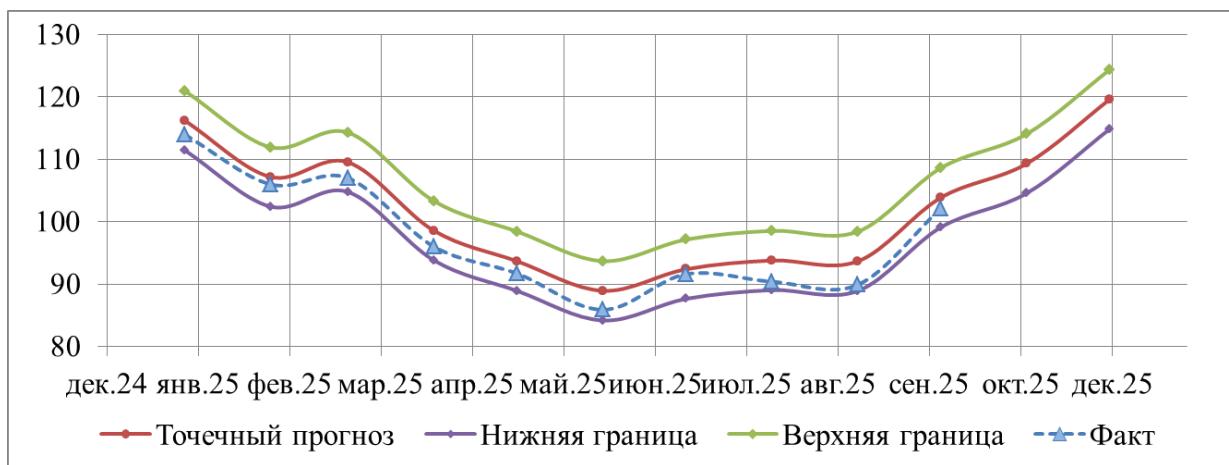


Рис. 2. Интервалы прогнозов производства электроэнергии на 2025 г., млрд кВт·ч

По графикам видно, что фактические значения для десяти месяцев 2025 года отклонились от прогнозов в среднем на 2% и все оказались в пределах доверительного интервала, что говорит о надежности оценок производства электроэнергии в России по построенной модели.

В работе была представлена методика построения прогнозов электроэнергии на основе моделирования временного ряда с помощью модели регрессии с фиктивными переменными месяцев. Преимуществом данного подхода является то, что все параметры модели имеют экономическую интерпретацию. Апробация методики на доступных данных за 2025 год показала высокую степень точности на горизонте прогнозирования в один год.

Список литературы

- Гужов С.В. О прогнозировании спроса на электроэнергию энергосистемами регионов Российской Федерации с применением искусственных нейронных сетей / С.В. Гужов // Известия Транссиба. – 2020. – №1 (41). – С. 133–140. EDN VWQQPB
- Прогнозирование планового потребления электроэнергии для объединенной энергосистемы с помощью машинного обучения / Р.В. Клюев, А.Д. Моргоева, О.А. Гаврина [и др.] // Записки Горного института. – 2023. – Т. 261. – С. 392–402. EDN FJGZTV

3. Токарева Г.Р. Модели прогнозирования потребления электроэнергии с учетом влияния метеофакторов / Г.Р. Токарева, Р.Р. Санжапов, М.В. Савенков, Д.А. Ильин // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2018. – №4. – С. 99–106. DOI 10.24143/2072-9502-2018-4-99-106. EDN YJCVTN
4. Анализ электропотребления малых населенных пунктов на основе линейных мультиплективных прогнозных моделей / Ю.К. Шлык, Р.Н. Хамитов, Е.И. Попов [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2025. – №8 (128). – С. 653–668. EDN LMSIMD