

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Прогнозирование потребления электрической энергии является актуальной задачей для генерирующих компаний, так как накопление электроэнергии в промышленных масштабах на данный момент невозможно. Также прогноз необходим потребителям для проведения технических работ и других мероприятий. Целью работы является составление прогноза потребления электрической энергии с помощью вейвлет-преобразования, выбор оптимальной вейвлет-функции для прогнозирования. Данными для прогнозирования является график нагрузки цеха, включающего в себя бытовое помещение, склад, а также рабочий офис для персонала, обслуживающего электроустановки на производственном предприятии. По результатам работы выбрана оптимальная вейвлет-функция. Результатом работы является представление тренда потребления электрической энергии рассматриваемым объектом, т.е. прогноз, представленный в виде графика, а также получена детализирующая составляющая прогнозируемого потребления, которая в теории обосновывается как помехи и резко переменный характер потребления электроэнергии.

Ключевые слова: краткосрочное прогнозирование, временные ряды, математическая модель прогноза, анализ потребления электроэнергии, вейвлет-преобразование, график нагрузки, методы прогнозирования.

Формирование и развитие такой важной для страны сферы обращения особых товаров, как оптовые рынки электрической энергии и мощности [1] во многом определяет взаимодействия субъектов и в смежных отраслях. Решение задач повышения эффективности и надежности работы систем электроснабжения тесно связано с вопросами расчета и прогнозирования потребления электрической энергии. Прогноз электрической энергии позволяет решать одну из самых острых задач генерирующих компаний — производство необходимого количества электроэнергии. Данная задача выделяется потому, что складирование электроэнергии в промышленных масштабах на сегодняшний день невозможно. Также прогнозирование позволяет работникам на производстве составлять графики ремонтов, проводить оперативные переключения в электрических сетях предприятия, рассчитывать режимы работ и производить другие технические мероприятия [2].

Для поддержания баланса в энергосистеме и проведения финансовых взаиморасчетов операторам поставили задачу: ежемесячно предоставлять потребителям электрической энергии данные об объемах потребления электрической энергии и мощности как в настоящий момент, так и в перспективе. Вследствие этого сетевым организациям необходимо иметь в своем запасе систему передачи результатов измерения, которая имеет возможность оповещать вовремя и оперативно участников единой системы электроснабжения.

Качество прогноза потребления электрической энергии сетевыми компаниями играет значимую роль для поддержания надежности электроснабжения, избегания попаданий в лимитные рамки передачи электроэнергии и мощности в сети, а также для формирования различных производственных задач.

Одной из главных проблем неправильного прогнозирования электроэнергии для организаций яв-



Рис. 1. Алгоритм выполнения прогноза

ляется урегулирование ценовых категорий. При наличии дефицита электроэнергии у предприятия, либо избыточного значения, их покупка и продажа будут осуществляться по заранее невыгодным ценам [3].

Одним из главных новшеств в прогнозировании потребления является расчет потребления электроэнергии в разные временные промежутки. Ранее прогноз потребления мог основываться на методе сопоставления ежедневных показателей потребления, либо оценки линейной регрессии, что исключало возможности анализа влияния нелинейных возмущающих факторов. Для точной оценки прогноза требуется производить учет влияния климатических факторов, сезонности погоды, различных природных явлений. Но стоит отметить тот факт, что точность метеорологических данных часто подвергается сомнениям, поэтому использование их в долгосрочном планировании вносит дополнительную погрешность. Исходя из данного замечания, следует вывод, что учет влияния климатических факторов следует принимать во внимание только при наличии достоверных данных.

Целью работы является составление прогноза потребления электрической энергии с помощью вейвлет-преобразования, выбор оптимальной вейвлет-функции для прогнозирования. Исходными данными для прогнозирования является электропотребление производственного предприятия за предыдущие года. Алгоритм выполнения прогноза представлен на рис. 1. По результатам работы выбрана оптимальная вейвлет-функция, позволяющая производить наиболее точный прогноз, сравнив полученные результаты с результатами, полученными с помощью других вейвлет-функций.

Прогнозирование потребления электрической энергии является актуальной задачей уже долгое время. Заинтересованы в данной теме как поставщики электроэнергии, так и непосредственно потребители, т.к. прогнозирование позволяет привести к минимуму издержек обеих сторон. Используя прогноз потребления электроэнергии, определяется количество генерирующих источников и их мощность, перечень оборудования, параметры режимов. Также использование прогноза потребления позволяет выбирать оптимальные режимы энергетической системы, выбирают состав работающего оборудования и распределяют резервы, рассматривают заявки на ремонт оборудования и дают соответствующее разрешение на его проведение. Прогнозирование электрической нагрузки обеспечивает основную исходную информацию для принятия решений при управлении электроэнергетическими системами в процессе планирования их нормальных электрических режимов.

Для осуществления прогнозирования потребления электрической энергии требуется осуществить следующие этапы:

— произвести анализ исходной информации для прогнозирования;

— исследовать временные ряды, образованные в ходе анализа;

— определить методику прогнозирования;

— составить математическую модель;

— произвести оценку полученных результатов.

Стоит отметить, что определенного метода и модели для прогнозирования не существует. Связано это с индивидуальными особенностями объекта, а также с регионом, где он расположен.

Динамика изменений потребления электрической энергии основывается на нескольких ключевых факторах. К таковым относятся: режим работы предприятия и метеорологические условия окружающей среды.

Режим работы может зависеть от различных обстоятельств, таких как поставка сырья и различных компонентов, работоспособности сотрудников.

Учитывая срок прогнозирования планируемой величины, существуют следующие виды прогноза: краткосрочные и долгосрочные. Их также можно классифицировать следующим образом:

- оперативный прогноз (пределы прогноза от минут до часов за определенные сутки);
- краткосрочный (от одних суток до десяти);
- среднесрочный (от месяца до нескольких месяцев);
- долгосрочный (от года до пяти лет);
- перспективный (на несколько лет вперед).

Краткосрочное и оперативное прогнозирование графиков нагрузки электропотребления является на сегодняшний день одним из важных направлений исследований в электроэнергетике [4].

Прогнозирование временных рядов применимо во многих областях, включая физику, системы управления, инженерные процессы, системы охраны окружающей среды и бизнес. Прогнозирование кратковременных/долгосрочных нагрузок, таких как прогнозирование временных рядов, является одной из основных проблем в управлении спросом в электроэнергетике. Краткосрочное прогнозирование (на несколько минут, часов или дней вперед), в частности, становится все более важным с момента роста конкурентных энергетических рынков. Целью краткосрочного прогнозирования нагрузки является прогнозирование будущих потребностей в электроэнергии на основе, как правило, исторических данных и прогнозируемых погодных условий.

Основной задачей прогнозирования является анализ факторов, которые влияют на изменение нагрузки и построение будущих графиков потребления электрической энергии.

Главными элементами прогноза являются графики нагрузок активной и реактивной мощности разных временных промежутков, потребление электрической энергии за определенные промежутки времени.

Основная идея прогнозирования заключается в статистическом анализе и моделировании представленных временных рядов. Временным рядом можно представить любое потребление электро-



Рис. 2. Суточный график нагрузки

энергии, представив мгновенными значениями потребляемой мощности в дискретный момент времени [5].

К современным методам можно отнести анализ временных рядов с помощью нейронных сетей, нечетких сетей, вейвлет-преобразования, различных алгоритмов и др. Данные методы представлены в работах [6–9].

В данной работе прогнозирование будет осуществляться с помощью применения пакетного вейвлет-преобразования. Выбранный метод осуществляет фильтрацию случайных значений, помех и применяется для анализа дискретных значений, тем самым позволяя более точно спрогнозировать линию тренда потребления электрической энергии. Более подробно с вейвлет-преобразованием можно ознакомиться в работах [10, 11].

Идея прогнозирования заключается в следующем: происходит разложение до определенного уровня, тем самым образуя аппроксимирующую часть и детализирующую. Аппроксимирующая часть представляет собой линию тренда электропотребления, она и есть прогнозируемая нагрузка, а детализирующая часть включает различные помехи и высокочастотные компоненты, которые образуются за счет резко переменных режимов работы электрических приемников и других составляющих.

Для разложения исходных данных с помощью вейвлет-преобразования используется следующая формула:

$$\hat{F}(a, b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad (1)$$

где $\psi_{j,k}(t)$ — функция материнского вейвлета. Если учесть, что a и b — дискретные значения: $a = a_0^m$, $b = nb_0 a_0^m$ и $m, n \in Z$, получается:

$$\hat{F}_{m,n} = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \int f(t) \psi\left(\frac{t}{a_0^m} - nb_0\right) dt. \quad (2)$$

Восстановление исходных данных происходит по следующей формуле:

$$P(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} P_{n,k} \Phi_{n,k}(t), \quad (3)$$

где j — уровень вейвлет-разложения; k — номер узла вейвлет-разложения; $\Phi_{j,k}(t)$ — базисная функция.

Исходными данными для прогнозирования электрической нагрузки является суточный график потребления производственного объекта. Данные представлены на рис. 2.

Таблица 1

Результаты расчета абсолютной средней ошибки для разных типов вейвлета

e (%)			
db4	db10	db24	db42
8,162	8,158	8,027	8,006



Рис. 3. График прогнозируемой нагрузки



Рис. 4. График детализирующих компонентов прогнозируемой нагрузки

Измерения активной мощности проводилось с интервалом в 10 минут в течение суток. В данном случае рассматривается краткосрочный прогноз электропотребления.

Для расчета дискретных значений применяют вейвлет-функции семейства Добеши. Были выбраны следующие порядки базисного вейвлета «db4», «db10», «db24» и «db42». Оценка точности прогнозирования производилась как абсолютная средняя ошибка:

$$e(\%) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{P_A^i - P_F^i}{P_A^i} \right| \cdot 100, \quad (4)$$

где P_A^i — фактическое значение потребляемой мощности; P_F^i — результат восстановления (прогноза), N — количество интервалов времени.

Полученные результаты представлены в виде табл. 1.

Прогнозируемая нагрузка представлена на рис. 3. Для наглядности график прогнозирования изображен с графиком фактических значений. Также на рис. 4 приведен график детализирующих составляющих.

В ходе выполнения работы произведен прогноз электропотребления с помощью вейвлет-функций. Произведен расчет абсолютной средней ошибки для ряда базисных вейвлетов. Выявлена наиболее оптимальная вейвлет-функция, а именно «db42».

Составлены графики прогнозируемой нагрузки и детализирующей составляющей, которая представляет собой помехи и резко переменных потребителей. Стоит отметить, подбор различных вейвлет-функций одного семейства вейвлетов не является способом значительно уменьшить относительную величину погрешности прогноза.

Для дальнейшего развития прогнозирования потребления электроэнергии следует рассмотреть возможность совмещения разных методик прогноза. К примеру, стоит рассмотреть возможность совмещения вейвлет-преобразования, а также нейронных сетей. Подобное предложение рассматривалось в ряде зарубежных [12, 13], а также отечественных публикаций [14].

Библиографический список

1. Российская Федерация. Законы. Об электроэнергетике: Федеральный закон от 26.03.2003 г., № 35-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».
2. Казаринов Л. С., Барбасова Т. А. Метод прогнозирования электропотребления промышленного предприятия // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2014. Т. 14, № 1. С. 5–13.
3. Зуева В. Н., Никитина Ю. Ю. Анализ методов прогнозирования графиков нагрузки электрооборудования // АМТИ-2016: сб. докл. Армавир: ООО Редакция газеты «Армавирский собеседник», подразделение Армавирская типография. С. 119–122. ISBN 978-5-93750-306-0.
4. Zhang Y., Yang R., Zhang K. [et al.]. Consumption Behavior Analytics-Aided Energy Forecasting and Dispatch // IEEE Intelligent Systems. 2017. Vol. 32, Issue 4. P. 59–63. DOI: 10.1109/MIS.2017.3121551.
5. Зуева В. Н. Регрессионные методы прогнозирования графика нагрузки электрооборудования // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 16. С. 119–130. DOI: 10.21515/1990-4665-126-008.
6. Hu H., Wang L., Peng L. [et al.]. Effective energy consumption forecasting using enhanced bagged echo state network // Energy. 2020. Vol. 197. P. 1167–1178. DOI: 10.1016/j.energy.2019.116778.
7. Taylor J. W. Short-Term Load Forecasting With Exponentially Weighted Methods // IEEE Transactions on Power Systems. 2012. Vol. 27, Issue 1. P. 458–464. DOI: 10.1109/TPWRS.2011.2161780.
8. Филатова Е. С., Филатов Д. М., Стоцкая А. Д. Методика построения системы прогнозирования электропотребления на базе нейронечеткого подхода и вейвлет-теории // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 11. С. 26–29.
9. Зуева В. Н. Нейросетевое прогнозирование графиков нагрузки энергосистемы // Научно-методический электронный журнал Концепт. 2015. Т. 8. С. 286–290.
10. Катеров Ф. В., Ремесник Д. В. Основы вейвлет-преобразования // Наука, техника и образование. 2016. № 9 (27). С. 42–44.
11. Блаттер К. Вейвлет-анализ. Основы теории / пер. с нем. Т. Э. Кренкеля; под ред. А. Г. Кюркчана. Москва: Техносфера, 2006. 272 с. ISBN 5-94836-033-4.

12. Trujillo-Romero F., Jiméñez Jose del Carmen, Lopez W. G. Predicting Electricity Consumption Using Neural Networks // IEEE Latin America Transactions. 2011. Vol. 9, Issue 7. P. 292–295. DOI: 10.1109/TLA.2011.6129704.

13. Esfetang N. N., Kazemzadeh R. A novel hybrid technique for prediction of electric power generation in wind farms based on WIPSO, neural network and wavelet transform // Energy. 2018. Vol. 149. P. 662–674. DOI: 10.1016/j.energy.2018.02.076.

14. Филатова Е. С., Филатов Д. М., Стоцкая А. Д. Модель прогнозирования электрической нагрузки с использованием вейвлет-теории и фрактального анализа // Научный взгляд на современное общество: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. (28 сентября 2014 г., г. Уфа.) Уфа: РИО МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2014. С. 37–39.

СКОРОХОДОВ Вячеслав Игорьевич, магистрант гр. ЭЭМ-191 факультета элитного образования и магистратуры Омского государственного технического университета (ОМГТУ).

SPIN-код: 8609-7871

AuthorID (РИНЦ): 1068596

Адрес для переписки: skorohodov154@gmail.com

ЛЫСЕНКО Олег Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрическая техника» ОМГТУ.

SPIN-код: 4975-9193

AuthorID (РИНЦ): 643928

ORCID: 0000-0002-7924-5494

AuthorID (SCOPUS): 5650338820

ResearcherID: N-5528-2015

Адрес для переписки: deolas@mail.ru

СИМАКОВ Александр Владимирович, аспирант кафедры «Электрические машины и общая электротехника» Омского государственного университета путей сообщения.

SPIN-код: 3865-0506

AuthorID (РИНЦ): 894651

ORCID: 0000-0002-9237-4469

AuthorID (SCOPUS): 57200447013

Адрес для переписки: simak_off94@mail.ru

ГОРОВОЙ Сергей Анатольевич, аспирант института нефти и газа по профилю «Электроэнергетические комплексы и системы» Югорского государственного университета.

SPIN-код: 8478-7760

AuthorID (РИНЦ): 8478-7760

Адрес для переписки: gorovoysergey97@gmail.com

Для цитирования

Скорыходов В. И., Лысенко О. А., Симаков А. В., Горовой С. А. Прогнозирование потребления электрической энергии с помощью вейвлет-преобразования // Омский научный вестник. 2021. № 3 (177). С. 75–78. DOI: 10.25206/1813-8225-2021-177-75-78.

Статья поступила в редакцию 02.11.2020 г.

© В. И. Скорыходов, О. А. Лысенко, А. В. Симаков, С. А. Горовой