

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 2 (2021)

Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/JBVN5702>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/DJLB3547>***Д. Н. Асенов, Э. К. Темырканова**

Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева,
Республика Казахстан, г. Алматы

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В статье рассмотрены основные современные подходы прогнозирования потребления электрической энергии, применяемых в мировой энергетике, в том числе автономное использование моделирования нейросетей. Проведен структурный анализ современных методов формирования математической модели электроэнергетических систем и разработка интеллектуальной информационной системы мониторинга потребления электроэнергии. Изучены основные классические методы проведения прогноза (аналитический, статистический, вероятностный), выявлены их недостатки и уязвимые стороны. Проанализирована вероятность эффективности применения существующих моделей прогнозирования для электроэнергетических систем Республики Казахстан. Разработан список целевых задач, которые нуждаются в реализации алгоритмами прогнозирования потребления электроэнергии на различных объектах.

Ключевые слова: прогнозирование, электрическая энергия, математическое моделирование, аналитический метод, вероятностный метод, статистический метод.

Введение

При расчете технико-экономической целесообразности внедрения энергосберегающих мероприятий необходимо использовать математическое моделирование интересующего объекта для прогнозирования потребности в энергоресурсах. Существующие современные пути прогнозирования потребления электрической энергией предлагают системный подход к определению ожидаемого спроса на энергоресурсы основываясь на детерминированных и вероятностных методах [1]. Применения технологий многомерной регрессии и нейросетевого анализа дают формулировку прогноза спроса на электроэнергию в рамках изолированной энергосистемы города.

С точки зрения проблемы прогнозирования потребности энергосистем и комплексов в электроэнергии, предметом настоящего научного исследования является анализ технологических процессов, регистрирующих и обрабатывающих первичную информацию. Все более актуальным становится создание методов и математических моделей обработки данных потребления электрической энергии в системах автоматического учета. Поэтому необходимо исследовать математический аппарат для расчета прогнозируемого топливно-энергетического баланса с учетом системы сбора дополнительной информации. В то же время модернизация систем измерения энергии в обозримом будущем вызывает сомнения в связи с высокими экономическими затратами и технической сложностью дооснащения важных технологических узлов.

Прогнозирование электропотребления осуществляется посредством различных методов [4], основанных на анализе ретроспективной динамики электропотребления и действующих на него факторов, выявлении статистической связи между признаками и на построении прогнозных моделей с использованием различных методов и программных средств.

Классические способы прогнозирования нагрузки можно разделить на три вида [7]:

- методы аналитического прогнозирования;
- методы статистического прогнозирования;
- методы вероятностного прогнозирования.

Используя аналитические методы [9], основанные на выявленных закономерностях (ассоциации прогнозируемых объектов и факторов, которые на них влияют), можно создать модель, которая представлена системой математических уравнений. Согласно этой модели, прогнозируемые значения изучаемого явления (например, уровень нагрузки) используются с определенной комбинацией прогнозных фоновых факторов. Аналитические методы также известны как объективные, экспликативные и казуальные. Аналитическое (математическое) моделирование работает тогда, когда существует известная модель прогноза. При прогнозировании динамики системы с помощью этого метода необходимо получить полное описание всех характеристик, а также взаимосвязей и зависимостей системы от внешних факторов.

Потребность в вероятностных прогнозах зависит от сильных внутренних и внешних факторов, которые по своей природе случайны. Методы вероятностного прогнозирования включают такие основные методы, как: статистический градиент, тест Байеса, фильтрация, гипотеза и другие. Фильтры используются для получения непрерывных прогнозов. Фильтры Винера-Хопфа используются для прогнозирования стационарных процессов, а фильтры Калмана используются для переходных процессов. Уравнение Винера-Хопфа - один из важнейших результатов теории

фильтрации Колмогорова-Винера. Известно, методы, построенные на основе данного уравнения, позволяют определять оптимальные параметры фильтра, обеспечивающего воспроизведение полезного сигнала из некоррелированного шума с минимальной среднеквадратической ошибкой.

Статистические методы [8] довольно точны при прогнозировании суточного графика нагрузки в будние дни, но отсутствие гибкости в структуре и невозможность анализировать нагрузки в праздничные или другие дни являются их главными недостатками. Статистические методы включают несколько множественных моделей линейной и нелинейной регрессии, а также методы, построенные на основе авторегрессионных моделей с линейным и экспоненциальным сглаживанием. Метод прогнозирования на основе регрессии с использованием регрессионного анализа (множественная регрессия) является одним из наиболее широко используемых статистических методов. При построении множественной регрессии основным шагом является выбор наиболее важных факторов, которые повлияют на результирующую функцию. Этот способ в построении модели множественной регрессии основан на качественном теоретическом анализе в сочетании со статистическими методами.

Методы исследования

В качестве эталонного подхода прогнозирования для анализа, выделим метод прямой интеграции. Недостатком этого метода является необходимость обработки большого количества информации, что требует высоких энергозатрат и времени, а также частичная неопределенность исходных данных [1]. Несмотря на то, что методы расчета и прогнозирования электрических энергосистем очень чувствительны к качеству информации, полное оснащение их устройствами сбора данных часто технически неэффективно и экономически неоправданно. В результате формируется ряд информационных и вычислительных ошибок. Возникновение подобных ошибок связано с недостаточной надежностью и качеством данных, полученных при измерениях. Система автоматического измерения и диспетчерского контроля потребления электроресурсов может иметь частичную или полную степень погрешности [2]. В этом случае измерения следует проводить с учетом допустимых ошибок и частотой, определяемой в соответствии с требованиями к точности и надежности, необходимыми для формирования высококачественного прогнозируемого спроса на энергоресурсы.

Например, прогнозируемая потребность в электроресурсах рассчитывается по методике, рекомендованной Министерством энергетики Республики Казахстан. Все эти расчеты основаны на детерминированном подходе, учитывающем только реальные технические и технологические параметры сети: состав, схемы, основные расчетные режимы и т. д. Недостатком использования этих методов является

сложность прогнозирования потребления электроэнергии на короткий срок. Преимуществом же является учет случайных и внепроектных режимов.

Одним из основных методов исследования был выбран метод построения математических моделей системы прогнозирования объемов потребления электроэнергии.

Задача определения прогнозируемого значения может иметь значительное количество вариантов решения, отличающихся применяемым математическим методом, в качестве которого было решено использовать регрессионный анализ, в формулы которого введем поправочный коэффициент [3]. Он будет учитывать изменения наиболее значимых для энергопотребления показателей работы предприятия, среди которых выделяются:

- увеличение прибыли организации в последнем отчетном месяце по сравнению с предыдущим, в %;
- увеличение стоимости имеющихся основных производственных фондов в последнем отчетном месяце по сравнению с предыдущим, в %;
- увеличение общей численности персонала предприятия в последнем отчетном месяце по сравнению с предыдущим, в %.

Значение, которое будет высчитываться по методу регрессионного анализа (подробно будет рассмотрен ниже), должно быть умножено на поправочный коэффициент, рассчитываемый на основе значений, указанных трех показателей. Для учета различных по своей природе, и даже структуре, показателей в квалитметрии традиционно их подвергают следующим операциям:

- нормализации (обычно все показатели приводят к безразмерному виду, например, делением на максимальное значение, которое вообще в принципе может наблюдаться для каждого показателя);
- взвешиванию (обычно простым умножением весового коэффициента на значение показателя – если он усиливающий, стимулирующий, или умножением весового коэффициента на обратную к показателю величину - если он понижающий);
- свертке (объединение в единый общий результат всех отдельных нормализованных и взвешенных показателей).

Эти операции могут выполняться многими способами, среди которых наиболее часто используются следующие три комбинации, которые выражаются следующими формулами:

- мультипликативная формула:

$$x_i = \frac{\prod_{k=1}^{I_1} (u_{ik} \cdot \rho_{ik} \cdot w_{ik})}{\prod_{k=I_1+1}^{I_1+I_2} (u_{ik} \cdot \rho_{ik} \cdot w_{ik}^{-1})}$$

где l_1 – количество входных показателей, при увеличении которых повышается значение x_i , такие показатели будем называть стимулирующими, усиливающими (показатели-стимуляторы);

ρ_{ik} – коэффициент для приведения к единой мере (размерности) k -того показателя, нормализующий множитель, который часто рассчитывается как $1/u_{ik \max}$.

При таком подходе также следует рассматривать константу l_2 – количество входных показателей, при уменьшении которых повышается прогнозируемое значение x_i (их будем называть дестимулирующими, показатели-дестимуляторы, понижающие). Справедливо соотношение:

$$l_1 + l_2 = l.$$

Отметим, что все 3 показателя, приведенные в начале данного подраздела, являются стимулирующими (увеличение выработки продукции и прибыли, покупка нового оборудования и прием на работу новых сотрудников будут увеличивать энергопотребление в сравнении с предыдущими периодами).

– формула на базе теории аддитивной полезности:

$$x_i = \frac{\sum_{k=1}^{l_1} (u_{ik} \cdot \rho_{ik} \cdot w_{ik})}{\sum_{k=l_1+1}^{l_1+l_2} (u_{ik} \cdot \rho_{ik} \cdot w_{ik}^{-1})};$$

– формула согласно теории адаптивной полезности:

$$x_i = \sum_{k=1}^{l_1} (u_{ik} \cdot \rho_{ik} \cdot w_{ik}) + \sum_{k=l_1+1}^{l_1+l_2} \left(\frac{w_{ik}}{u_{ik} \cdot \rho_{ik}} \right). \quad (1.1)$$

Последний вариант и взят в данной работе за основу. Конкретнее, методика моделирования состоит из трех шагов:

- вычисление относительных значений каждого показателя (т.е. приведение к единой мере), то есть это аналог вычисления произведений $u_{ik} \cdot \rho_{ik}$;

- вычисление общего показателя роста x_i путем умножения каждого нормализованного показателя на его весовой коэффициент и суммирования в соответствии с формулой (1.1);

- поправка прогнозируемого значения энергопотребления, полученного по методу регрессионного анализа, путем умножения, соответствующего значение на поправочный коэффициент x_i , который также нормализуется, согласно формуле (1.2):

$$E_i = E_{\delta \hat{a} \hat{a}} \cdot \left(1 + \frac{x_i}{x_m} \right) \quad (1.2)$$

где $E_{\text{пер}}$ – значение энергопотребления, полученное по методу регрессионного анализа.

Рассмотрим далее существующий подход к построению прогнозов, который эффективно используется в таком разделе математической статистики, как регрессионный анализ. В рассматриваемом случае, имеем определенное изменение энергопотребления во времени. Говоря строго математическим языком одна величина E (потребление электроэнергии за месяц) зависит от другой величины t (времени). Поскольку сейчас будет рассматриваться известный блок материала из области регрессионного анализа, то, как принято в этой области, для аргумента будем временно использовать обозначение x , а для функции - y . После установки финального вида формулы, которая будет использоваться в данной работе, вернемся к обозначениям t, E .

Итак, задачи воспроизведения такой функциональной зависимости между одной величиной (аргументом) и другой (функции) являются типичными для раздела математической статистики, называется регрессионным анализом. Сам вид этой функциональной зависимости называется регрессией (или уравнением регрессии). Иногда название уточняют словом «одномерная», если надо подчеркнуть, что исходная величина зависит только от одной входной.

В общем случае предметом поиска в регрессионном анализе может быть не только функция одной переменной. Из математического анализа хорошо известны функции многих переменных, которые также широко используются в регрессионном анализе, если необходимо установить зависимость одной исходной величины от нескольких входных аргументов. Такая задача называется множественной регрессией (или установлением уравнения множественной регрессии). Рассмотрим эти задачи подробнее.

Как указано выше, в практических исследованиях часто возникает необходимость установления зависимости между одной исходной величиной и набором входных параметров, влияющих на значение этой величины. Результатом является функция многих переменных:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

В простейшем и наиболее распространенном случае рассматривается зависимость выходной переменной от одного аргумента:

$$y = f(x). \quad (1.3)$$

Функция (1.3) может быть более или менее сложной, в зависимости от явления, которое рассматривается. В простейшем случае функция (1.3) представляется линейной зависимостью:

$$y = ax + b, \quad (1.4)$$

где коэффициенты a и b должны быть определены на основе экспериментальных данных о процессе моделируемой системы.

Например, выполнено несколько экспериментальных замеров величины y_i при заданной величине x_i - рис. 1.1, показанные точками.

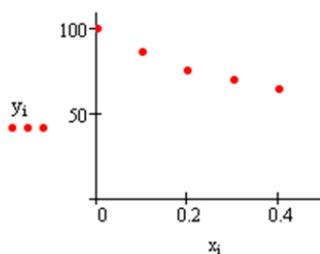


Рисунок 1.1 – Функциональная зависимость, близкая к линейной

Как уже сказано выше, можно выполнить аппроксимацию линейной зависимостью (1.4) (и которая показана пунктиром на рис. 1.1). Возможно, более адекватно отражала бы явление квадратичная зависимость (или какие-либо другие варианты функциональной зависимости), но с математической точки зрения, как самая простая, взята именно линейная зависимость (1.4).

Выбрать конкретные коэффициенты можно по методу наименьших квадратов: следует рассмотреть отклонения $\varepsilon_i = (y_i - (ax_i + b))$ и найти минимум суммы квадратов таких невязок: $\sum \varepsilon_i^2 \rightarrow \min$.

Из этого требования следует система двух уравнений, из которой можно определить коэффициенты линейной регрессии:

$$\begin{cases} a \sum x_i^2 + b \sum x_i = \sum x_i y_i \\ a \sum x_i + b n = \sum y_i \end{cases} \rightarrow a = \frac{\sum x_i y_i - x_{cp} y_{cp}}{\frac{\sum x_i^2}{n} - (x_{cp})^2}; \quad b = y_{cp} - a x_{cp} \quad (1.5)$$

Ввиду сложности (непрактичности) формул квадратичной и более высоких порядков регрессии, в работе будем применять именно линейную регрессию (1.5), размерность которой также выбираем равной единице (наиболее простое значение), так как фактически необходимо установить зависимость функции только от одной величины – времени.

Результаты исследования

Таким образом, при использовании языка общего назначения, реализовывать целесообразно только одномерную линейную регрессионную модель, поэтому в качестве основы для написания программного обеспечения принимается зависимость (1.4), коэффициенты которой определяются по формулам (1.5).

Использование блок-схем алгоритмов расчета коэффициентов линейной регрессии, которые приведены на рис. 1.2, позволяет начинать процесс

реализации программной системы, проекта программного обеспечения, предназначенного для моделирования процесса потребления электрической энергии во времени.

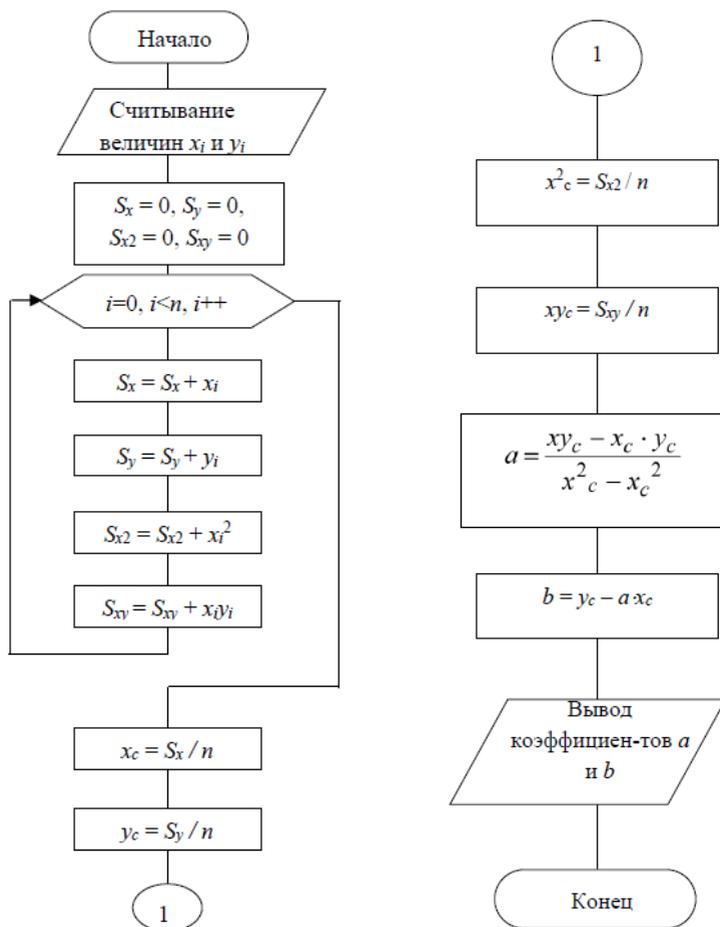


Рисунок 1.2 – Алгоритм расчета линейной регрессии

Рассмотрение сути предложенного нового подхода к моделированию будущих состояний процесса энергопотребления, заключается в объединении формул (1.1) – (1.2) с моделью (1.4) – (1.5). Соответствующая формула приводится ниже, и получена она путем подстановки (1.5) в (1.4), а затем использованием результата в (1.2), куда также подставлена (1.1):

$$E_i = \left(\frac{\sum t_i E_i - t_{cp} E_{cp}}{\sum t_i^2 - (t_{cp})^2} (t - t_{cp}) + E_{cp} \right) \cdot \left(1 + \frac{\sum_{k=1}^{l_1} (u_{ik} \cdot \rho_{ik} \cdot w_{ik}) + \sum_{k=l_1+1}^{l_1+l_2} \left(\frac{w_{ik}}{u_{ik} \cdot \rho_{ik}} \right)}{\sum_{k=1}^{l_1+l_2} w_{ik}} \right) \quad (1.6)$$

Кроме самой математической процедуры вычисления коэффициентов линейной регрессионной модели (1.3), также необходимы некоторые простые (технического характера) вещи, связанные с вводом-выводом данных [5]. Учитывая статистический характер работы данного программного обеспечения, ему необходимы определенные входные данные, имеющие небольшой объем и представляют собой значения энергопотребления данного предприятия, которые наблюдались в течение нескольких предыдущих месяцев. Учитывая, что количество месяцев не может быть очень большим (максимально – несколько десятков), целесообразно организовать простой ручной ввод этих значений в соответствующие текстовые поля, что и реализовано в работе – рис. 1.3, строка в верхней части окна программы. Также в программе реализована возможность загрузки из базы данных значений энергопотребления последних месяцев для некоторых ранее введенных в базу предприятий. Тогда делать для них прогноз можно на основе изменения значений показателей, исследуя, как изменятся предполагаемые значения, если изменить условия, в которых находится сейчас данное предприятие.

Введите количество месяцев, для которых есть значения потребленной электроэнергии:
p = 10

Можно выбрать одного из потребителей, по которым уже есть данные потребления в базе данных:
Выберите потребителя:

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Месячное потребление электроэнергии, кВт*ч	290	305	302	317	324	360	309	370	365	

Увеличение прибыли организации в последнем отчетном месяце по сравнению с предыдущим, % 10

Увеличение стоимости изношенных основных производственных фондов в последнем отчетном месяце по сравнению с предыдущим, % 8

Увеличение общей численности персонала предприятия в последнем отчетном месяце по сравнению с предыдущим, % 6

Рассчитать!

Рисунок 1.3 – Внешний вид экрана разработанного программного обеспечения для ввода информации

Принимая во внимание специфику проектируемого программного продукта (который должен предоставить прогноз энергопотребления на предстоящий период на основе набора статических входных данных), можно сделать вывод, что у него должно быть два основных экрана: для сбора информации и для отображения результатов прогнозирования. Таким

образом, если классифицировать интерфейс, то, несмотря на сложность самой задачи, решаемой в работе, интерфейс хотя и является графическим, но достаточно простым и может быть отнесен к пакетным.



Рисунок 1.4 – Алгоритм работы пользователя с проектируемым ПО

Внешний вид окна для ввода выходных данных показан на рис. 1.5. После введения всех необходимых данных пользователь должен инициировать процесс расчета, для чего используется специальная кнопка «Рассчитать». После нажатия на нее происходит расчет по формулам, описанным выше (1.6), а результат выдается пользователю в виде простого скалярного значения энергопотребления, которое, как прогнозируется, будет наблюдаться на заданном предприятии в следующем месяце. Заметим, что график на рис. 1.5 генерируется динамически, в соответствии с количеством месяцев наблюдения.

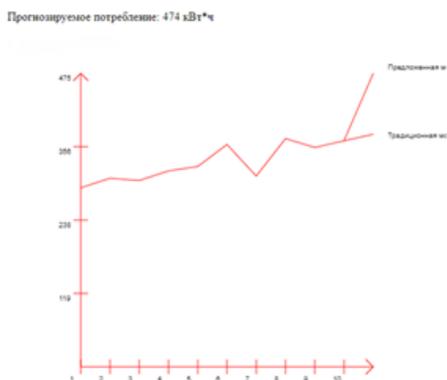


Рисунок 1.5 – Экран программного обеспечения для вывода информации

Программное обеспечение написано на языке JavaScript (основные расчеты), с использованием языка PHP для доступа (в том числе по технологии AJAX) к серверной базе данных, в качестве которой выбрана MySQL [6]. Еще одной особенностью программной реализации является использование базы данных для хранения информации об энергопотреблении некоторых «стандартных» предприятий. К базе данных выполняется два вида запросов:

- select ConsumerName from consumers;
- для считывания всего перечня предприятий, для которых имеются данные по энергопотреблению в базе, этот запрос выполняется один раз при загрузке страницы;
- SELECT ConsumptionValues FROM consumptions, consumers WHERE consumptions. ConsumptionConsumer=consumers.ConsumerID AND consumers.ConsumerName='»'.\$_POST[«consumer»].»';
- для получения энергопотребления избранного предприятия, этот запрос выполняется при каждом AJAX-запросе.

Выводы

В данной статье был рассмотрен анализ современных подходов прогнозирования потребления электрической энергией с применением технологий математического моделирования. В ходе работы были выявлены основные недостатки и преимущества существующих методов прогнозирования (аналитическое, статистическое, вероятностное). На основе исследования и разбора слабых сторон, приведены рекомендации по повышению качества.

Тестирование показало, что программное обеспечение работает без очевидных системных ошибок, стабильно выполняя задачу, поставленную в данной работе.

Результаты моделирования оценивались следующим образом:

- рассчитывалось прогнозное значение энергопотребления для последнего месяца только на основе традиционной регрессионной модели.

- рассчитывалось прогнозное значение энергопотребления для последнего месяца на основе регрессионной модели, скорректированной в соответствии с предложенной новой формулой (1.6);

Из чего следует вывод, что программное обеспечение может применяться для более точной оценки объемов потребления электрической энергии будущих периодов по сравнению с традиционными статистическими методами регрессионного анализа.

Выводы

В данной работе был рассмотрен анализ современных подходов прогнозирования потребления электрической энергией. В результате чего были изучены алгоритмы, позволяющий тестировать и прогнозировать потребление электро ресурсов. Были рассмотрены основные модели прогнозирования и выявлены их недостатки и риски применения, по результату чего были предложены рекомендации по их совершенствованию. В работе также представлено детальное описание применяемого программного обеспечение для формирования математической модели анализа подходов прогнозирования потребления электроэнергии. Детально разбраны составляющие внутренней структуры программного обеспечения. Из чего был сделан вывод, что программное обеспечение может применяться для более точной оценки объемов потребления электрической энергии будущих периодов по сравнению с традиционными статистическими методами регрессионного анализа

Список использованных источников

1 **Гужов С.В.** Прогнозирование спроса на электрическую энергию изолированной энергетической системой города // Энергетическая политика. Москва, 2020.

2 **Билалова А. И.** Прогнозирование потребления электрической энергии электротехническим комплексом городской электрической сети // Прогнозирование потребления электрической энергии электротехническим комплексом городской электрической сети. Ульяновск, 2019.

3 **Доманов, В.И.** Прогнозирование объемов энергопотребления в зависимости от исходной базы // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2016. - No2. – С.42-46.

4 **Щелкалин В.Н.** Трендовый и декомпозиционный подходы прогнозирования процессов потребления электроэнергии / В.Н. Щелкалин, А.Д. Тевяшев // Вост. Европ. журн. передовых технологий. – 2011.

5 **Шумилова Г.П.** Прогнозирование нагрузки ЭЭС на базе новых информационных технологий / Г.П. Шумилова, Н.Э. Готман, Т.Б. Старцева // Новые информационные технологии в задачах оперативного управления электроэнергетическими системами: Сб. научн. тр. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002.

6 **Чернецов В.И.** Прогнозирование потребления электрической энергии с использованием нейронных сетей / В.И. Чернецов, Е.Н. Казаковский // Надежность и качество: Междунар. сб. научн. тр. – 2006.

7 **Alfares H.K.** Electric load forecasting: literature survey and classification of methods / H.K. Alfares, M. Nazeeruddin // International Journal of Systems Science. – 2002.

8 **Галустов Г.Г.** Статистические прогнозные математические модели: учебн. пособие. / Г.Г. Галустов, С.П. Бровченко, С.Н. Мелешкин. – Таганрог, 2011.

9 **Поляхов Н.Д., Приходько И.А., Ван Ефэн.** Прогнозирование электропотребления на основе метода опорных векторов с использованием эволюционных алгоритмов оптимизации // Современные проблемы науки и образования. – 2013.

10 **Чукреев Ю.Я.** Прототип экспертной системы советчика диспетчера региональной ЭЭС // Новые информационные технологии в задачах оперативного управления электроэнергетическими системами: Сб. научн. тр. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002.

References

1 **Guzhov S.V.** Prognozirovaniye sprosa na elektricheskuyu energiyu izolirovannoy energeticheskoy sistemoy goroda // Energeticheskaya politika. [Forecasting the demand for electrical energy by the isolated energy system of the city]. Energeticheskaya politika. – Moscow, 2020.

2 **Bilalova A.I.** Prognozirovaniye sprosa na elektricheskuyu energiyu izolirovannoy energeticheskoy sistemoy goroda // Prognozirovaniye potrebleniya elektricheskoy energii elektrotekhnicheskim kompleksom gorodskoy elektricheskoy seti.geticheskaya politika. [Forecasting the consumption of electrical energy by the electrical complex of the urban electrical network // Forecasting the consumption of electrical energy by the electrical complex of the urban electrical network]. – Ulyanovsk, 2019.

3 **Domanov, V.I.** Prognozirovaniye ob'yemov energopotrebleniya v zavisimosti ot iskhodnoy bazy // Promyshlennyye ASU i kontrollery. [Forecasting the volume of energy consumption depending on the initial base]. Promyshlennyye ASU i kontrollery. – 2016. – No2. – P. 42-46.

4 **Shchelkalin V.N.** Trendovyy i dekompozitsionnyy podkhody prognozirovaniya protsessov potrebleniya elektroenergii / V.N. Shchelkalin, A.D. Tevyashev [Trend and decomposition approaches to forecasting the processes of electricity consumption / V.N. Shchelkalin, A.D. Tevyashev] Vost. Yevrop. zhurn. peredovyykh tekhnologiy. – 2011.

5 **Shumilova G.P.** Prognozirovaniye nagruzki EES na baze novykh informatsionnykh tekhnologiy / G.P. Shumilova, N.E. Gotman, T.B. Startseva // Novyye informatsionnyye tekhnologii v zadachakh operativnogo upravleniya elektroenergeticheskimi sistemami: Sb. nauchn. tr. [Forecasting the EPS load based on new information technologies / G.P. Shumilova, N.E. Gotman, T.B. Startseva // New information technologies in the tasks of operational management of electric power systems] Sb. nauchn. tr. – Yekaterinburg: UrO RAN, 2002.

6 **Chernetsov V.I.** Prognozirovaniye potrebleniya elektricheskoy energii s ispol'zovaniyem neyronnykh setey / V.I. Chernetsov, Ye.N. Kazakovskiy [Forecasting the consumption of electrical energy using neural networks / V.I. Chernetsov, E.N. Kazakovskiy] Nadezhnost' i kachestvo: Mezhdunar. sb. nauchn. tr. – 2006.

7 **Alfares H.K.** Electric load forecasting: literature survey and classification of methods / H.K. Alfares, M. Nazeeruddin // International Journal of Systems Science. – 2002.

8 **Galustov G.G.** Statisticheskkiye prognoznyye matematicheskkiye modeli: uchebn. posobiye. / G.G. Galustov, S.P. Brovchenko, S.N. Meleshkin [Statistical predictive mathematical models: textbook. allowance. / G.G. Galustov, S.P. Brovchenko, S.N. Meleshkin]. – Taganrog, 2011.

9 **Polyakhov N.D., Prikhod'ko I.A., Van Yefen.** Prognozirovaniye elektropotrebleniya na osnove metoda opornykh vektorov s ispol'zovaniyem evolyutsionnykh algoritmov optimizatsii [Forecasting power consumption based on the support vector method using evolutionary optimization algorithms] Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. – 2013.

10 **Chukreyev Yu.Ya.** Prototip ekspertnoy sistemy sovetchika dispatchera regional'noy EES // Novyye informatsionnyye tekhnologii v zadachakh operativnogo upravleniya elektroenergeticheskimi sistemami: Sb. nauchn. tr. – Yekaterinburg: UrO RAN, 2002. [The prototype of the expert system of the advisor to the dispatcher of the regional EPS // New information technologies in the tasks of operational control of electric power systems] Sb. nauchn. tr. – Yekaterinburg: UrO RAN, 2002.

Материал поступил в редакцию 12.06.21.

**Д. Н. Асенов¹, Э. К. Темырканова²*^{1,2}Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика

және байланыс университеті,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

Материал 12.06.21 баспаға түсті.

ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫНЫҢ ТҰТЫНУЫН БОЛУҒА АРНАЛҒАН ҚАЗІРГІ ТӘСІЛДЕРДІ ТАЛДАУ

Мақалада әлемдік энергетикада қолданылатын электр энергиясын тұтынуды болжаудың негізгі заманауи тәсілдері, соның ішінде жүйке желілерін модельдеудің автономды қолданылуы қарастырылады. Электр энергетикалық жүйелерінің математикалық моделін қалыптастырудың және электр энергиясын тұтынуды бақылаудың интеллектуалды ақпараттық жүйесін жасаудың заманауи әдістеріне құрылымдық талдау жүргізілді. Болжаудың негізгі классикалық әдістері (аналитикалық, статистикалық, ықтималдық) зерттелді, олардың кемшіліктері мен осалдықтары анықталды. Қазақстан Республикасының электр энергетикалық жүйелері үшін болжамды модельдерді қолдану тиімділігінің ықтималдығы талданды. Әр түрлі нысандарда электр энергиясын тұтынуды болжау алгоритмімен іске асыруды қажет ететін мақсатты тапсырмалардың тізімі жасалды.

Кілтті сөздер: болжау, электр энергиясы, математикалық модельдеу, аналитикалық әдіс, ықтималдық әдіс, статистикалық әдіс.

**D. N. Assenov¹, E. K. Temyrkanova²*^{1,2}Almaty University of Power Engineering

and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev,

Republic of Kazakhstan, Almaty.

Material received on 12.06.21.

ANALYSIS OF MODERN APPROACHES FOR FORECASTING ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION

The article discusses the main modern approaches to forecasting the consumption of electric energy used in the world energy industry,

including the autonomous use of neural network modeling. The structural analysis of modern methods of forming a mathematical model of electric power systems and the development of an intelligent information system for monitoring electricity consumption is carried out. The main classical methods of forecasting (analytical, statistical, probabilistic) are studied, their shortcomings and vulnerabilities are identified. The probability of the effectiveness of the existing forecasting models for the electric power systems of the Republic of Kazakhstan is analyzed. A list of target tasks that need to be implemented by algorithms for predicting electricity consumption at various facilities has been developed.

Keywords: forecasting, electrical energy, mathematical modeling, analytical method, probabilistic method, statistical method.

Теруге 12.06.2021 ж. жіберілді. Басуға 24.06.2021 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

6,28 Мб RAM

Шартты баспа табағы 15,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. Р. Омарова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3792

Сдано в набор 12.06.2021 г. Подписано в печать 24.06.2021 г.

Электронное издание

6,28 Мб RAM

Усл. печ. л. 15,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. Р. Омарова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3792

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

8 (7182) 67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz