

РГАСНТИ 44.09.29

ISSN 2409-5516

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

ОБЩЕСТВЕННО-ДЕЛОВОЙ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№6(148), июнь 2020



Тема номера

**ДОЛГОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
НА ФОНЕ СПАДА COVID-19 И ТРАНСФОРМАЦИИ ОТРАСЛЕЙ ТЭК**

Содержание

3 Слово редакторов

Нефть

- 4** **А.М. Мастепанов.** Большие циклы и «чёрные лебеди»
20 **Е.А. Телегина, Л.А. Студеникина.** Пандемия и выбор
новой энергетической парадигмы:
иллюзия или реальность

Футурама

- 26** **В.В. Бушуев.** Камо грядеши?

Атом

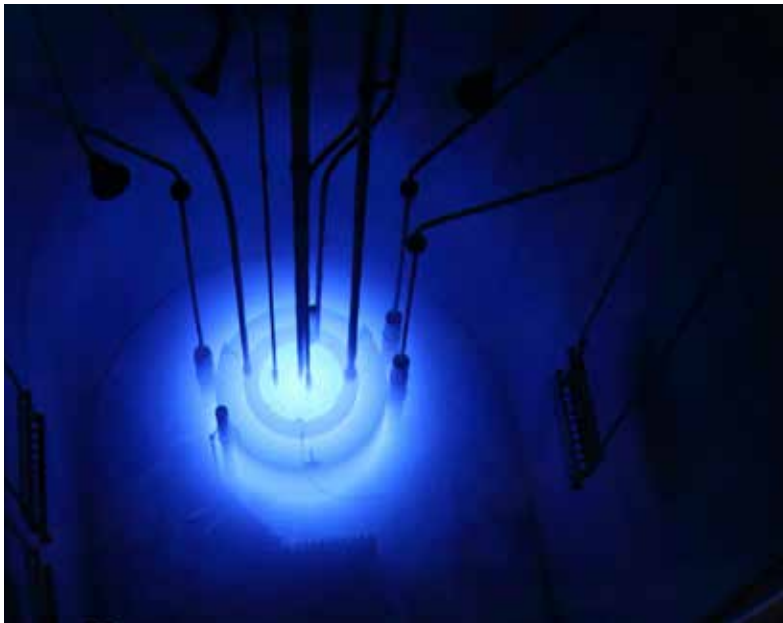
- 42** **Д.С. Пантелей.** Перспективы экспорта
русского атома

Энергия города

- 50** **С.В. Гужов.** Прогнозирование спроса
на электрическую энергию изолированной
энергетической системой города
58 **С.И. Лаптева.** Повышение энергоэффективности
в системе жизнеобеспечения города
64 **К. Дацко.** Активные энергокомплексы
76 **В.М. Зырянов, Н.Г. Кирьянова, И.Ю. Коротков,**
Г.Б. Нестеренко, Г.А. Пранкевич. Системы накопления
энергии: российский и зарубежный опыт

Экология

- 88** **С.В. Мещеряков, И.С. Еремин.** Нефтесодержащие
отходы как полезный ресурс



Contents

3 Editor's Column

Oil

- 4** **A. Mastepanov.** Big cycles and «black swans»
20 **E. Telegina, L. Studenikina.** Pandemic and the choice
of a new energy paradigm: illusion or reality

Futurama

- 26** **V. Bushuev.** Quo vadis?

Nuclear Power

- 42** **D. Panteley.** Prospects for export
of the russian nuclear industry

City Energy

- 50** **S. Guzhov.** Forecasting demand for electric energy
of the isolated energy system of the city
58 **S. Lapteva.** Improving energy efficiency
in the city's life support system
64 **K. Datsko.** Active energy complexes
76 **V. Zyryanov, N. Kiryanova, I. Korotkov,**
G. Nesterenko, G. Prankevich. Energy storage systems:
russian and international experience

Ecology

- 88** **S. Mescheriakov, I. Eremin.** Oil-containing
waste as a useful resource

УЧРЕДИТЕЛИ

Министерство энергетики
Российской Федерации,
107996, ГСП-6, г. Москва,
ул. Щепкина, д. 42

ФГБУ «Российское
энергетическое агентство»
Министерства энергетики
Российской Федерации,
129085, г. Москва,
проспект Мира, д. 105, стр. 1

ИЗДАТЕЛЬ

Федеральное
государственное
бюджетное учреждение
«Российское энергетическое
агентство»
Министерства энергетики
Российской Федерации,
129085, г. Москва,
проспект Мира,
д. 105, стр. 1

НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

В.В. Бушуев – акад. РАЕН и РИЗ, д. т. н.,
председатель совета, ген. директор ИЭС
А.М. Мастепанов – акад. РАЕН, д. э. н.,
руководитель Центра энергетической
политики ИПНГ РАН
Д.А. Соловьев – к. ф.-м. н.,
ответственный секретарь совета
А.Н. Дмитриевский – акад. РАН, д. г.-м. н.,
научный руководитель ИПНГ РАН
Н.И. Воропай – член-корр. РАН, д. т. н.,
научный руководитель ИСЭМ СО РАН
А.И. Кулапин – д. х. н., директор
Департамента Минэнерго России

В.А. Крюков – акад. РАН, д. э. н.,
директор ИЭОПП СО РАН
Е.А. Телегина – член-корр. РАН,
д. э. н., декан факультета РГУ
нефти и газа им. И.М. Губкина
А.И. Громов – к. г. н., директор по
энергетическому направлению ФИЭФ
С.П. Филиппов – акад. РАН,
д. э. н., директор ИНЭИ РАН
А.Б. Яновский – д. э. н., заместитель
министра энергетики России
П.Ю. Сорокин – заместитель
министра энергетики России
О.В. Жданев – к. ф.-м. н., руководитель
дирекции технологий ТЭК ФГБУ «РЭА»

Главный редактор

Анна Горшкова

Научный редактор

Виталий Бушуев

Обозреватель

Марина Коцюбинская

Корректор

Роман Павловский

Фотограф

Иван Федоренко

Дизайн и верстка

Роман Павловский

Адрес редакции:

129085,
г. Москва,
проспект Мира,
д. 105, стр. 1

Журнал зарегистрирован
в Федеральной службе
по надзору в сфере связи,
информационных технологий
и массовых коммуникаций

Свидетельство о регистрации
средства массовой информации
ПИ № 77–75080 от 07.03.2019

Журнал «Энергетическая политика»
входит в Перечень рецензируемых
научных изданий ВАК

При перепечатке ссылка
на издание обязательна

Перепечатка материалов
и использование их в любой форме,
в том числе в электронных СМИ,
возможны только с письменного
разрешения редакции

Редакция не несет ответственности
за содержание рекламных
материалов

Редакция не имеет возможности
вступать в переписку,
рецензировать и возвращать
не заказанные ею рукописи
и иллюстрации

Тираж 1000 экземпляров

Периодичность выхода 12 раз в год

Цена свободная

Отпечатано в «ПБ «Модуль»,
115162, Москва, Мытная улица,
дом 48, цоколь пом. 2, ком. 1,3

Подписано в печать:
05.06.2020
Время подписания
по графику: 13:00
фактическое: 13:00

16+

Прогнозирование спроса на электрическую энергию изолированной энергетической системой города

Forecasting demand for electric energy of the isolated energy system of the city

УДК 621.3

Сергей Вадимович ГУЖОВ
Директор центра подготовки и проф.
переподготовки «Энергоменеджмент
и энергосберегающие технологии»
ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ», к. т. н.
e-mail: GuzhovSV@yandex.ru

S.V. GUZHOV
Director of the training center «Energy Management
and energy-saving technologies», MPEI, CES
e-mail: GuzhovSV@yandex.ru

Серверное помещение

Источник: scanrail / Depositphotos.com



Аннотация. Прогнозирование спроса на энергоресурсы при расчете технико-экономической целесообразности внедрения энергосберегающих мероприятий требует использования математического моделирования исследуемого объекта. Для достижения точности моделирования энергетической системы необходимо определить требования к типам информации, её точности и периодичности сбора. Современные подходы не предлагают системного подхода определения прогнозного спроса на энергоресурсы. Авторами предлагаются как детерминированные, так и стохастические способы. Набор учитываемых факторов и степень их детализации также различен. В настоящей работе сделана попытка формулирования необходимого и достаточного набора исходных для прогноза данных. Приведён пример формулирования прогноза спроса на электрическую энергию изолированной энергетической системой города посредством многофакторного регрессионного и нейросетевого анализа.

Ключевые слова: сопоставимые условия, многофакторная регрессия, прогнозирование, спрос на электрическую энергию, искусственная нейронная сеть, погрешность, информационная обеспеченность.

Abstract. The task of forecasting energy demand with energy jets and complexes in determining the technical and economic feasibility of implementing energy-saving measures includes the need to use mathematical modeling of the studied object. Information security issues should be coordinated with information collection and storage systems. To achieve the necessary accuracy of modeling the energy system, it is necessary to determine the requirements for the types of information taken into account, its accuracy and frequency of collection. Modern approaches do not offer a systematic approach to determining the forecast demand for energy resources. The authors propose both deterministic and stochastic methods. The set of factors taken into account and the degree of detail are also different. In the present work, an attempt is made to formulate the necessary and sufficient set of initial data for forecasting data. An example of formulating a forecast of demand for electric energy by an isolated energy system of a city through multivariate regression and neural network analysis is given.

Keywords: comparable conditions, multivariate regression, forecasting, demand for electric energy, artificial neural network, error, information security.



**Погрешности возникают
из-за допущений
при получении
данных о реальном
технологическом процессе.
В основе – неполная
достоверность данных**

При рассмотрении задачи прогнозирования спроса на энергоресурсы энергетическими системами и комплексами, в качестве предмета исследования возникает необходимость анализа обеспеченности технического процесса средствами сбора и обработки первичной информации [1].

К средствам информационного обеспечения относят совокупность условий, гарантирующих её достоверное и оптимальное решение [2], в частности, для задачи оценки и расчета потерь. Среди таких условий можно выделить метрологические [3], методические [4], математические [5] и внешние условия.

На рис. 1 приведена блок-схема по достижению информационной обеспеченности при оптимизации системы. Структура включает в себя технологическую, техническую и статистическую информацию. Она содержит также базы данных о схеме и измерительных комплексах, режимные параметры, данные электропотребления и их статистическую обработку.

В качестве сравнения с эталоном, применяется метод непосредственного интегрирования. Недостатки метода состоят в трудоёмкости, необходимости обработки большого объёма информации, а также в частичной неопределённости исходных данных. Несмотря на то, что методы расчёта и прогнозирования многорежимных

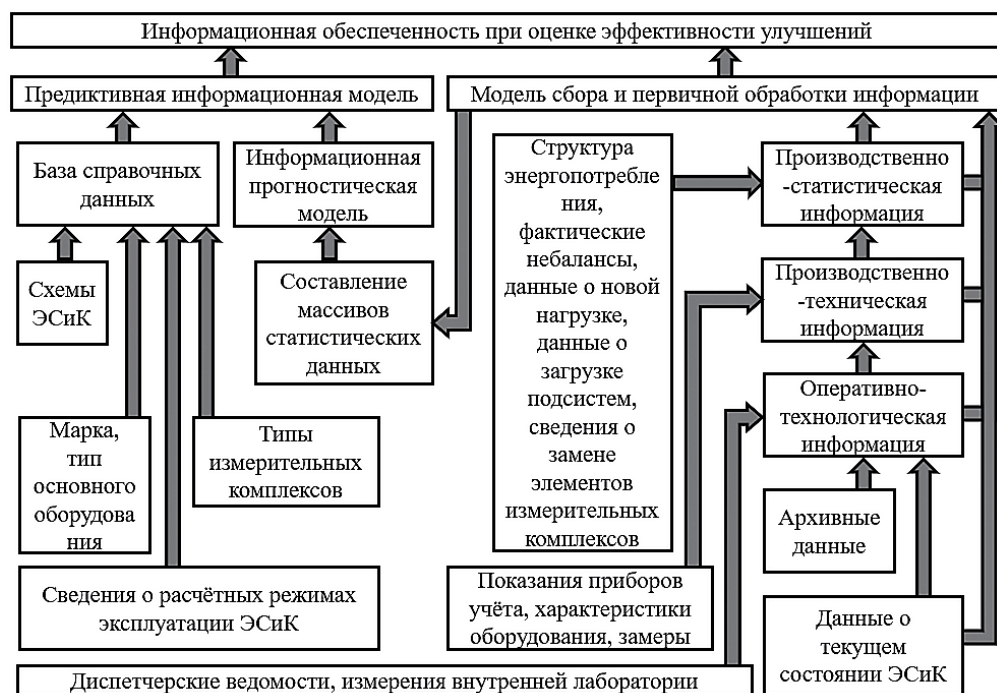


Рис. 1. Блок-схема системы по достижению информационной обеспеченности при внедрении в ЭСик улучшений, проводящих к энергосбережению и повышению энергетической эффективности

энергосистем очень чувствительны к качеству информации, полное оснащение устройствами сбора данных часто является технически мало реализуемо и экономически нецелесообразно[6]. Как следствие, все используемые методы обладают методическими и информационными погрешностями. Методические погрешности возникают из-за принятия допущений при получении данных о реальном технологическом процессе. Возникновение информационных погрешностей связано с недостаточной достоверностью и качеством полученных при замерах данных. Частичного либо полного нивелирования погрешностей можно добиться путем внедрения автоматических

систем учёта энергоресурсов и автоматизированных систем диспетчерского управления. Измерения в таком случае должны проводиться с погрешностью и периодичностью, регламентируемыми в том числе требованиями по точности и достоверности, необходимыми для формирования качественного прогностного спроса на энергоресурсы. В любом случае, при существовании возможности произвести расчёт с использованием детерминированного подхода, важно выполнять эти расчёты с максимальной точностью. Повышение точности расчёта некоторых входных данных позволяет повысить точность прогностной стохастической модели.

Становится актуальной подготовка методов и математических моделей для обработки данных от автоматических систем учета. Таким образом, необходима проработка математического аппарата по расчёту прогностного топливно-энергетического баланса, учитывающего и дополняющего системы сбора информации. Вместе с тем, модернизация систем учета энергоресурсов в обозримом будущем сомнительна из-за больших экономических затрат и технической сложности переоборудования основных технологических агрегатов.

Расчёт прогностного спроса на энергоресурсы, например, в электросетевых

Методы расчёта и прогнозирования многорежимных энергосистем очень чувствительны к качеству информации, но полное оснащение устройствами сбора данных экономически нецелесообразно

Особенной сложностью является учёт случайных и нерасчётных режимов, появление которых вполне вероятно. Для учёта вероятностных флуктуаций применяют регрессионный и факторный анализ

организациях производится по методам расчёта, рекомендованным Минэнерго России. Все подобные расчёты основаны на детерминированном подходе, при котором учитываются только фактические технические и технологические параметры сети: конфигурация схемы, основные расчётные режимы и прочее. Данными методами невозможно выполнить прогноз энергопотребления ни на краткосрочный, ни на среднесрочный период. Особенной сложностью является учёт случайных и нерасчётных режимов, появление которых вполне вероятно. Для учёта вероятностных флуктуаций применяют регрессионный и/или факторный анализ, анализ ряда Фурье, нейронные сети и прочие. В таком случае необходимо использовать статистическую информацию автоматических систем учета данных и данных диспетчерских, при условии, что расчёты ведутся на основании очищенной от флуктуаций и шума репрезентативной выборки [7], коррелирующийся с генеральной совокупностью с заданной достоверностью [8]. Основное направление дальнейшего совершенствования математических моделей связано с объединением детерминированного и стохастического подходов при допущении, что объединение результатов расчёта по двум алгоритмам и предварительное центрирование относительно нуля погрешности обоих методов при помощи коэффициентов снижает дисперсию погрешности относительно нулевого значения. Также применяется предположение о корректности линейной аппроксимации статистической нелинейной зависимости исходных данных.

Прогнозирование спроса на электрическую энергию возможно через расчёт приходной и расходной части энергобаланса, который является частью контроля до-

стоверности учёта электрической энергии на станциях и подстанциях. Фактическое значение небаланса не должно превышать значение допустимого небаланса. Последний определяется на основании относительной погрешности приборов учёта энергоресурсов. С метрологических позиций наибольшее допустимое значение относительной погрешности автоматических систем учета определяется по формуле:

$$\delta = \pm 1,1 \sqrt{\delta_I^2 + \delta_U^2 + \delta_{п.у.}^2 + \delta_n^2 + \delta_e^2 + \sum_{j=1}^n (\delta_{д.с.j}^2)} (1),$$

где 1,1 – коэффициент метрологической поверки приборов учёта; δ_I^2 , δ_U^2 , $\delta_{п.у.}^2$ – относительные погрешности трансформаторов тока, напряжения и приборов учёта; δ_n^2 – погрешности измерений во вторичной цепи трансформатора напряжения;



Хакер использует ноутбук с экраном кибербезопасности
Источник: VitalikRadko / Depositphotos.com

δ_e^2 – относительные угловые погрешности трансформаторов тока и напряжения; $\delta_{д.с.j}^2$ – допустимая дополнительная погрешность счётчика от j-го влияющего фактора (например: отклонение температуры окружающего воздуха, напряжения, частоты, магнитного поля) [9].

Несмотря на простоту приведённой формулы, расчёт погрешности измерений автоматических систем учета для отдельной энергосистемы или комплекса затруднено в силу необходимости дополнительных данных, зачастую недоступных. Для создания прогностной функции электропотребления

энергосистемы города необходимо использовать несколько групп изменяющихся факторов, среднее за период наблюдений:

I. Группа технических и технологических факторов:

1. Число часов работы основных энергопотребителей, ч.;
2. Объём потребления тепловой энергии за год, Гкал;
3. Объём потребления электрической энергии за год, кВт·ч;
4. Объём потребления ХВС за год, м³;
5. Объём потребления ГВС за год, м³;
6. Объём потребления природного газа за год, м³;

13. Скорость ветра на высоте 10–12 метров над земной поверхностью, осредненная за 10-минутный период, непосредственно предшествовавший сроку наблюдения (м/с);

14. Направление ветра (угол) на высоте 10–12 метров над земной поверхностью, осредненное за 10-минутный период, непосредственно предшествовавший сроку наблюдения;

15. Степень затемнённости небосклона облачностью за световой день, ч;

16. Продолжительность светового дня, мин.;



Главный диспетчерский центр СО ЕЭС

Источник: Пресс-служба «Системного оператора ЕЭС»

7. Средневзвешенная по объёму температура внутри здания за год, °С;

8. Средневзвешенная по объёму относительная влажность воздуха внутри здания за год, %;

II. Группа климатических и климатологических факторов:

9. ГСОП;

10. Температура наружного воздуха (°С) на высоте 2 метра над поверхностью земли;

11. Атмосферное давление на уровне станции (миллиметры ртутного столба);

12. Относительная влажность наружного воздуха (%) на высоте 2 метра над поверхностью земли;

III. Группа социальных факторов:

17. Дифференциация рабочих и нерабочих дней;

18. Суммарное число часов работы сотрудников, ч;

19. Число посетителей (для бюджетных либо офисных зданий), ед.;

20. Суммарное ежемесячное число часов нахождения посетителей в здании, ч;

21. Численность населения (для МКД – жильцов), ед.;

22. Продолжительность времени работы организации с учётом числа выходных и праздничных дней, ч;

IV. Группа экономических факторов:

23. Стоимость тепловой энергии и её изменение за период проведения анализа, руб./Гкал;

24. Стоимость электрической энергии и её изменение за период проведения анализа, руб./ кВт·ч;

25. Стоимость ХВС и её изменение за период проведения анализа, руб./м³;

26. Стоимость ГВС и её изменение за период проведения анализа, руб./м³;

27. Стоимость природного газа и её изменение за период проведения анализа, руб./м³;

V. Группа социально-экономических показателей [10]:

28. Реальные денежные доходы населения в процентах к предыдущему году;

29. Численность пенсионеров, тыс. чел.;

30. Удельный вес расходов домашних хозяйств на оплату жилищно-коммунальных услуг, тыс. чел.;

31. Валовой региональный продукт на душу населения, руб.;

32. Фактическое конечное потребление домашних хозяйств на душу населения на территории субъектов Российской Федерации, руб.;

33. Индексы промышленного производства в процентах к предыдущему году;

34. Поступление налогов, сборов и иных обязательных платежей в консолидированный бюджет Российской Федерации, млн руб.;

35. Валовой сбор зерна (в весе поле доработки), тыс. т;

36. Расход кормов в расчете на одну условную голову крупного скота в сельскохозяйственных организациях, центнеров кормовых единиц;

37. Объём работ, выполненных по виду экономической деятельности «Строительство», млн руб.;

38. Ввод в действие жилых домов на 1000 человек населения, м² общей площади жилых помещений;

39. Объём платных услуг на душу населения, руб.;

40. Объём услуг связи на душу населения, руб.;

41. Индекс промышленного производства по субъектам Российской Федерации, в % к предыдущему году и т. д. и т. п.

Для примера проанализируем энергетическую систему г. Анадырь. Отличительная

особенность города состоит в изолированности её от единой энергосистемы страны. Одним из главных требований к анализируемым данным является синхронность их получения во времени. Использование в анализе данных, полученных в разное время, либо за различный период приводят к полному обесцениванию точности и достоверности результатов расчёта.

В качестве анализируемых данных приняты ежесуточные показания электропотребления за 2017 год. Поскольку период наблюдения включает один календарный год, то значительная часть из 41 перечисленного выше показателя не может быть использована, поскольку они мало изменились. Помимо этого, некоторые данные, доступные в открытых источниках, могут быть недостоверные и не используются в настоящем расчёте. Таким образом, используются

Главным требованием к данным является их синхронность во времени. Использование данных, полученных в разное время, приводит к обесцениванию точности и достоверности результатов расчёта

только факторы 10–17 с посуточной дифференциацией. Пример методики обработки данных для построения регрессионной модели описан в литературе [11]. Прогнозная регрессионная модель имеет $R^2=84.98\%$, результаты расчёта на проверочной выборке показаны на рис. 2. Сравнение точности прогноза спроса на электрическую энергию посредством формулы (1) не представляется возможным из-за отсутствия данных, поэтому используется формула относительной погрешности. Таким образом, точность прогноза с многофакторной регрессией составляет 90,43 %. Нейронная сеть построена по схеме: 8 входных факторов; 8 входных нейронов сигмоидального типа с кривизной 2; 1 скрытый слой с 8 экспоненциальными нейронами; 1 нейрон с экспоненциальной активационной функцией в выходном слое. Точность полученного прогноза с искусственной нейронной сетью составляет 92,98 %.

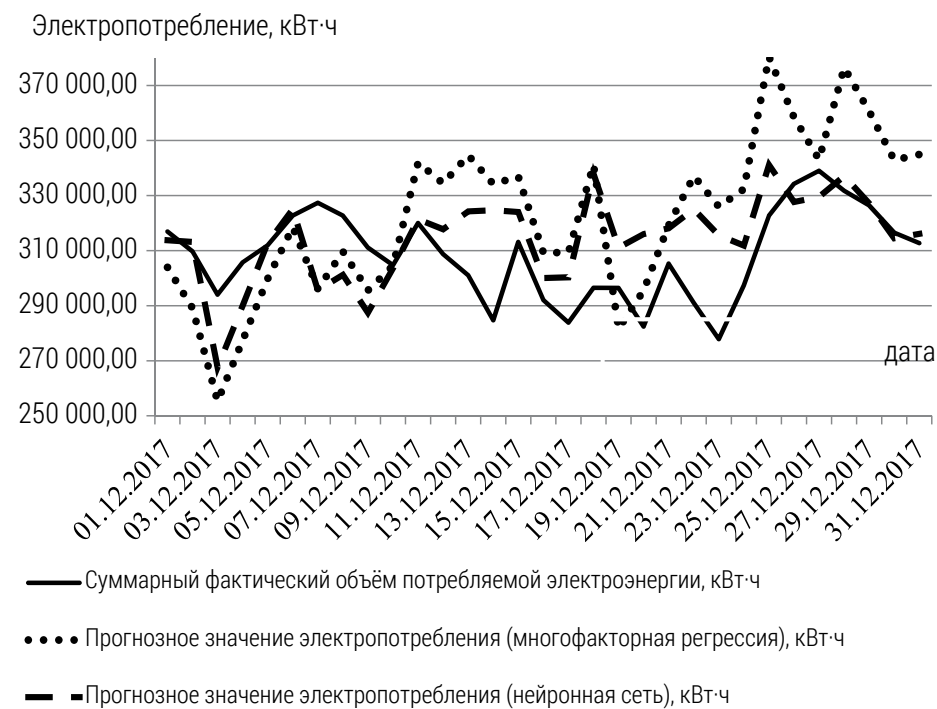


Рис. 2. Графики фактического и прогнозных электропотреблений энергетической системой города Анадырь

Поставленная в работе задача прогнозирования спроса на энергоресурсы энергетическими системами и комплексами при определении технико-экономической целесообразности внедрения энергосберегающих мероприятий может быть решена как посредством использования прогнозов на основе многофакторных линейных регрессионных моделей, так и на основе искусственных нейронных сетей. Преимущество регрессионных моделей состоит в простоте использования, недостаток – в относительно низкой точности. Преимущество искусственных нейронных сетей состоит в более высокой точности прогноза, недостаток – в необходимости специальных навыков и специализированного программного обеспечения.

Расчёт прогнозного спроса на энергоресурсы производится по методам Минэнерго. Они основаны на подходе, который учитывает только фактические технические и технологические параметры сети

Выводы:

1. Показана необходимость разработки математического аппарата прогнозирования спроса на энергоресурсы энергосистем и комплексов, объединяющего детерминированный и стохастический подходы.
2. Предложена блок-схема системы по достижению информационной обеспеченности, позволяющая максимально полно учесть особенности существующих на объекте систем сбора информации.
3. Предложен набор сгруппированных факторов, являющихся входными для создания прогнозной стохастической модели спроса на энергоресурсы энергетической системой.
4. Приведены точность расчёта спроса на электрическую энергию изолированной энергетической системой города: посредством многофакторного регрессионного анализа 90,43 %; посредством нейросетевого анализа 92,98 %.
5. Показано для прогнозирования спроса на электрическую энергию при обработке почасовых значений электропотребления городской энергосистемой наиболее точно выполнять прогноз на основании нейросетевых моделей.

Статья подготовлена по результатам проекта, выполненного при поддержке Российского научного фонда (уникальный идентификатор гранта РНФ № 16-19-20568).



Линии электропередачи

Источник: alex_b / Depositphotos.com

Использованные источники

1. Савина Н.В., Мясоедов Ю.В. Системные исследования потерь электроэнергии при функционировании РЭС // Вестник ИрГТУ 2012. № 1(60). С. 142–148.
2. Кабаков А.А., Попов А.А. Современное состояние проблемы расчёта и анализа потерь электрической энергии // Молодой ученый, 2017. № 12. С. 56–59.
3. Камаев В.А., Щербаков М.В., Бребельс А. Интеллектуальные системы автоматизации управления энергосбережением // Открытое образование, 2011. № 2–2. С. 227–231.
4. Финогеев А.Г., Дильман В.Б., Маслов В.А., Финогеев А.А. Система удаленного мониторинга и управления сетями теплоснабжения на основе беспроводных сенсорных сетей // Прикладная информатика, 2011. № 3(33). С. 83–93.
5. Брумштейн Ю.М., Тарков Д.А., Дюдиков И.А. Анализ моделей и методов выбора оптимальных совокупностей решений для задач планирования в условиях ресурсных ограничений и рисков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии, 2013. № 3. С. 169–179.
6. Обухов С.Г. Математическое моделирование в системах электроснабжения: учебное пособие / Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. 84 с.
7. Ананичева С.С., Мезенцев П.Е., Мызин А.Л. Модели развития электроэнергетических систем: учебное пособие / Екатеринбург: УрФУ, 2014. 148 с.
8. Бобков С.П., Бытев Д.О. Моделирование систем: учебное пособие / Иван. гос. хим.-технол. ун-т., 2008. 156 с.
9. Пузырев Е.В. Детерминированный и стохастический подходы в расчётах и анализе потерь электрической энергии при оценке эффективности функционирования распределительных сетей: дисс. ... канд. техн. наук. Красноярск: СФУ, 2019.
10. Федеральная служба государственной статистики. Официальная статистика [Официальный сайт]. – URL: <https://www.gks.ru/folder/10705> (дата обращения 11.04.2020).
11. Гужов С.В., Гашо Е.Г., Шепель В.А. Составление прогнозного топливно-энергетического баланса котельной в условиях недостаточности данных // С.О.К., 2019. № 11. С. 58–60.