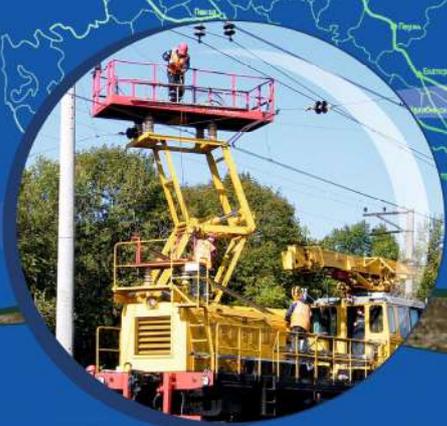


ИЗВЕСТИЯ

№ 1(41)

2020

Транссиба



РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА

1. Овчаренко Сергей Михайлович – главный редактор, ректор ОмГУПС, д.т.н., доцент.
2. Галиев Ильхам Исламович – зам. главного редактора, президент ОмГУПС, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ.
3. Шантаренко Сергей Георгиевич – зам. главного редактора, проректор по научной работе ОмГУПС, д.т.н., доцент.
4. Черемисин Василий Титович – зам. главного редактора, директор НИИЭ ОмГУПС, д.т.н., профессор.
5. Ведрученко Виктор Родионович – профессор кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС, д.т.н., профессор.
6. Глинка Тадеуш – доктор, профессор Силезского политехнического университета (Гливице, Польша).
7. Горюнов Владимир Николаевич – зав. кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий» ОмГУ, д.т.н., профессор (Омск).
8. Зыкина Анна Владимировна – зав. кафедрой «Прикладная математика и фундаментальная информатика» ОмГУ, д.ф.-м.н., профессор (Омск).
9. Каргапольцев Сергей Константинович – ректор ИрГУПС, д.т.н., профессор (Иркутск).
10. Косарев Александр Борисович – первый зам. генерального директора АО «ВНИИЖТ», д.т.н., профессор (Москва).
11. Лю Цзинькунь – доктор, профессор Пекинского транспортного университета, Школа строительства (Пекин, Китай).
12. Лебедев Виталий Матвеевич – профессор кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС, д.т.н., профессор.
13. Парамонов Александр Михайлович – профессор кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУ, д.т.н., доцент (Омск).
14. Сидоров Олег Алексеевич – зав. кафедрой «Электроснабжение железнодорожного транспорта» ОмГУПС, д.т.н., профессор.
15. Солоненко Владимир Гельевич – профессор кафедры «Подвижной состав» КазАТК, д.т.н., профессор (Алматы, Республика Казахстан).
16. Файзибаев Шерзод Сабирович – зав. кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство» Ташкентского государственного транспортного университета, д.т.н., профессор (Ташкент, Республика Узбекистан).
17. Харламов Виктор Васильевич – зав. кафедрой «Электрические машины и общая электротехника» ОмГУПС, д.т.н., профессор.

EDITORIAL BOARD

1. Ovcharenko Sergey Mikhailovich – chief editor, the rector of OSTU, D. Sc., associate professor (Omsk, Russia).
2. Galiev Ilkham Islamovich – deputy chief editor, the president of OSTU, D. Sc., professor, the honored worker of science and engineering of the Russian Federation (Omsk, Russia).
3. Shantarenko Sergey Georgievich – deputy chief editor, vice-rector for research of OSTU, D. Sc., associate professor (Omsk, Russia).
4. Cheremisin Vasily Titovich – deputy chief editor, director of SRIE OSTU, D. Sc., professor (Omsk, Russia).
5. Vedruchenko Victor Rodionovich – professor of the department «Heat-power» of OSTU, D. Sc., professor (Omsk, Russia).
6. Glinka Tadeusz – Ph. D., professor of Silesian University of Technology (Gliwice, Polish).
7. Goryunov Vladimir Nikolaevich – head of the department «Power supply of industrial enterprises» of OmSTU, D. Sc., professor (Omsk, Russia).
8. Zykina Anna Vladimirovna – head of the department «Applied mathematics and fundamental computer science» of OmSTU, D. Sc., professor (Omsk, Russia).
9. Kargapol'tsev Sergey Konstantinovich – rector of ISTU, D. Sc., professor (Irkutsk, Russia).
10. Kosarev Alexander Borisovich – senior deputy of general director of JSC «VNIIZhT» (Railway Research Institute), D. Sc., professor (Moscow, Russia).
11. Liu Jiankun – Ph. D., professor of Beijing Jiaotong University, School of Civil Engineering (Beijing, China).
12. Lebedev Vitaliy Matveevich – professor of the department «Heat-power» of OSTU, D. Sc., professor (Omsk, Russia).
13. Paramonov Alexander Mikhailovich – professor of the department «Heat-power» of OmSTU, D. Sc., associate professor (Omsk).
14. Sidorov Oleg Alexeevich – head of the department «Power supply of rail transport» of OSTU, D. Sc., professor (Omsk, Russia).
15. Solonenko Vladimir Gelyevich – professor of the department «Rolling stock» of KazATC, D. Sc., professor (Almaty, Kazakhstan).
16. Fayzibaev Sherzod Sabirovich – head of the department «Wagons of Tashkent State Transport University, D. Sc., professor (Tashkent, Uzbekistan).
17. Kharlamov Viktor Vasilyevich – head of the department «Electrical machines and common electrotechnic» of OSTU, D. Sc., professor (Omsk, Russia).

Иванченко Владимир Иванович – ответственный секретарь, к.т.н. (Омск).

СОДЕРЖАНИЕ

Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

- Плаксин А. В. Пути повышения топливно-энергетической эффективности специального и маневрового подвижного состава при снегоуборке.....2
- Салита Е. Ю., Ковалева Т. В., Комякова Т. В. Обоснование внедрения двенадцатипульсовых выпрямителей последовательного типа в системе электроснабжения метрополитена.....11
- Дульский Е. Ю., Иванов П. Ю., Романовский А. И., Дивинец М. А. Основы проектирования промышленной установки для упрочнения полимерной изоляции магнитной системы тягового двигателя электроваз тепловым излучением.....20
- Рябченко Н. Л., Алексеева Т. Л., Астраханцев Л. А., Тихомиров В. А. Энергетическая эффективность тягового привода магистральных электровазов.....29
- Сидоров О. А., Смердин А. Н., Слатин А. И. Совершенствование методики диагностирования теплового разупрочнения токоприемников электроподвижного состава.....41
- Каптанов А. Л., Дмитриев А. Д. Методы выбора уставок срабатывания системы резервирования мощности тяговых подстанций постоянного тока.....50
- Утепбергенова С. М., Томилов В. В. Усовершенствованная математическая модель теплового состояния полоза токоприемника магистрального электроподвижного состава постоянного тока.....58
- Кушнирук А. С. Система управления техническим состоянием локомотивного парка на основе искусственной нейронной сети прогнозирования72
- Мухамедова З. Г. Совершенствование принципов проектирования оборудования монтажной площадки автомотрисы с учетом норм надежности и реального состояния...83
- Носков В. О., Белоглазов А. К., Белоглазова Н. А. Применение методики обобщенных технико-экономических показателей работы тепловозов в эксплуатации91
- Никифоров М. М. Совершенствование методики определения потерь электроэнергии на тягу поездов.....98

Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог

- Капустян М. Ф., Обрывалин А. В., Аверков К. В., Супчинский О. П. Способ исключения термомеханических повреждений поверхности катания вагонных колес при роспуске грузовых составов на немеханизированных сортировочных горках.....107

Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте

- Лахметкина Н. Ю., Макарова А. М. Технологические решения управления грузными и порожними пробегими.....114

Электрические станции и электроэнергетические системы

- Геркусов А. А. Влияние температуры проводов воздушной линии электропередачи на их сопротивление и потери электроэнергии.....123

Энергетические системы и комплексы

- Гужов С. В. О прогнозировании спроса на электроэнергию энергосистемами регионов Российской Федерации с применением искусственных нейронных сетей133

Научно-технический журнал «Известия Транссиба»

Учредитель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС (ОмИИТ))»

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35

TRANS-SIBIRIAN EXPRESS
100 Years – 100 лет
НС-СИБИРСКИЙ ЭКСПРЕСС

ПСИ ОС

УДК 621.3

С. В. Гужов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»), г. Москва, Российская Федерация

О ПРОГНОЗИРОВАНИИ СПРОСА НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ ЭНЕРГОСИСТЕМАМИ РЕГИОНОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Аннотация. Расчет прогнозного спроса на электрическую энергию энергетическими системами и комплексами субъектов Российской Федерации является актуальной задачей. Использование детерминированных способов для объектов подобного масштаба практически исключено в силу отсутствия либо существенной неполноты исходных данных. Статистические данные, доступные в официальных источниках в неизменном формате, представлены, как правило, на период три – пять лет, что является недостаточным для применения искусственных нейронных сетей. В статье сделана попытка исследования свойств сходных энергетических систем и комплексов. Современные энергосистемы и комплексы относятся к замкнутым подсистемам, множество элементов и связей которых эквивалентно множеству элементов локальных подсистем энергосистемы более высокого уровня. Это означает недопустимость составления предиктивных правил функционирования без учета разнородных внешних воздействий. Система и подсистемы при этом представляются в качестве «черного ящика». Взаимодействия между системой и внешней средой и внутри системы осуществляются передачей сигналов, которые описываются конечным набором факторов, доступных к анализу и прогнозированию. Проведен анализ возможности дополнения генеральной совокупности статистическими данными по иным объектам со сходной структурой. Подтверждено свойство гетероморфизма энергетических систем и комплексов. На примере энергосистем регионов Российской Федерации показана возможность подобного подхода в случае применения к анализу неколлинеарных групп факторов. Приведены результаты 15 расчетов наиболее энергоемких субъектов страны, в 28 % случаев погрешность точности прогнозного электропотребления составляет менее 5 %. Дальнейшее повышение точности прогноза должно развиваться в направлении увеличения числа входных факторов при соблюдении условия отсутствия их коллинеарности и мультиколлинеарности.

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

Sergey V. Guzhov

National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (NRU «MPEI»), Moscow, the Russian Federation

ON FORECASTING DEMAND FOR ELECTRIC POWER WITH APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS BY ENERGY SYSTEMS OF THE REGIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION

Abstract. The calculation of the forecast demand for electric energy by energy systems and complexes of the constituent entities of the Russian Federation is an urgent task. The use of deterministic methods for objects of a similar scale is practically excluded due to the absence or significant incompleteness of the source data. Statistical data available in official sources in an unchanged format is usually presented for a period of 3 – 5 years, which is insufficient for the use of artificial neural networks. The article attempts to study the properties of similar energy systems and complexes. Modern power systems and complexes belong to closed subsystems, the set of elements and connections of which is equivalent to the set of elements of local subsystems of a higher level energy system. This means the inadmissibility of drawing up predictive rules of functioning without taking into account heterogeneous external influences. The system and subsystems are presented as a "black box". Interactions between the system and the external environment and within the system are carried out by the transmission of signals, which are described by a finite set of factors available for analysis and forecasting. The analysis of the possibility of supplementing the general population with statistical data on other objects with a similar structure is carried out. The property of heteromorphism of energy systems and complexes is confirmed. The example of energy systems in the regions of the Russian Federation shows the possibility of a similar approach if non-collinear groups of factors are applied to the analysis. The results of 15 calculations of the most energy-intensive entities of the country are presented, in 28 % of cases the accuracy of forecasted power consumption accuracy is less than 5 %. A further increase in the accuracy of the forecast should develop in the direction of increasing the number of input factors, subject to the condition of the absence of their collinearity and multicollinearity. It is shown

that energy systems and complexes of various scales can be described by non-Gaussian stable distributions with infinite dispersion of non-Gaussian distributions, which makes incorrect the use of such methods as the simple extrapolation method, as well as statistical methods based on the assumption that the random distribution law is normal.

Keywords: *comparable conditions, forecasting, demand for electric energy, artificial neural network, error.*

Проблематика повышения качества прогнозирования энергопотребления актуальна для 80 % всех предприятий, организаций и учреждений Российской Федерации и состоит в снижении экономической эффективности ввиду отсутствия возможности осуществлять качественное прогнозирование энергопотребления энергосистемами и комплексами (ЭСиК). Более чем 35 % предприятий указывает высокий износ технологического оборудования значимой причиной, усложняющей прогнозирование по причине существенного дрейфа фактических характеристик ЭСиК относительно проектных значений. Поскольку снижение энергоемкости – процесс, растянутый по временной шкале, то расчет состоит в вычислении разницы между спрогнозированным значением энергопотребления до модернизации, очищенным от всех воздействующих факторов, и фактическим значением энергопотребления после модернизации, очищенным от всех воздействующих факторов.

Основная сложность в расчете «базовой» линии состоит в определении значения энергопотребления до модернизации, спрогнозированного на момент после свершения модернизации. В связи с этим корректность составления прогнозного спроса на энергетические ресурсы влияет не только на процесс принятия решений о модернизации, но и преимущественно на расчет энергоемкости производимого продукта (оказываемой услуги) как составляющей цены продукции (прибыли энергокомплекса предприятия).

Выводы о возможности снижения энергозатрат и улучшении качественных характеристик выходного продукта делаются, как правило, не в процессе проектирования ЭСиК, а в результате практической их эксплуатации. В таких условиях улучшение характеристик подсистем часто не представляется возможным, так как это требует коренной их переделки. При исследовании сложных систем создавать адекватную физическую модель, как правило, не представляется возможным. Для решения сложных проблем обычно применяют системный подход, в котором моделирование является основным методом исследования. Для большинства рабочих процессов необходимая точность прогнозирования их характеристик может быть достигнута на основе математического моделирования. Наиболее распространенным является способ прямого математического моделирования, использование которого ввиду большого объема вычислительных работ, сложности и широкой взаимосвязанности реальных процессов возможно только на базе современной высокопроизводительной вычислительной техники. Необходимая точность моделирования достигается использованием достаточно большого числа входных данных, которые для достижения общих результатов при сохранении их достоверности необходимо ограничивать только вполне надежными значениями и, как правило, характерными для широкого ряда устройств.

ЭСиК включает в себя одну или несколько подсистем. При этом каждая выделенная подсистема обладает рядом свойств:

- представляет собой целостный комплекс взаимосвязанных элементов, способный к самостоятельному рассмотрению и анализу;

- образует единство со средой и требует учета воздействия как системы на среду, так и среды на систему;

- является элементом системы более высокого порядка;

- при необходимости может быть разделена на ряд систем более низкого порядка.

Основными задачами формирования сводного прогнозного баланса производства и поставок энергии потребителю являются удовлетворение спроса, обеспечение надежного энергоснабжения, минимизация затрат на производство и поставку электрической и тепловой энергии [1].

Для достижения поставленной цели ЭСиК целесообразно представить как систему, описываемую тремя классами математических моделей:

1) агрегативно, основываясь на причинности во времени (и в неявной форме), считая систему неупреждающей;

2) экономико-математическими моделями, в частности, на основании модели Неймана [2];

3) как сообщество технических изделий, на множестве которых осуществлено разбиение на семейства и виды, принадлежащие данному множеству.

Для описания современных ЭСМК различного масштаба применимы негауссовы устойчивые распределения с бесконечной дисперсией негауссовых распределений, приводящих к увеличению разброса средней величины, по сравнению с гауссовыми законами [3]. При их определении становится возможным сформулировать уравнения для расчета параметров распределений.

Очевидно, что все три класса моделей не используют в явной форме, например, законы термодинамики и иные классические уравнения, а основываются на следующих статистических положениях:

1) техническое и энергетическое хозяйство ЭСМК есть целое, обладающее новыми качественными характеристиками, не присущими каждому из составляющих элементов в отдельности;

2) техническое и энергетическое хозяйство ЭСМК может быть описано системой показателей, необходимой и достаточной для принятия решений с необходимой точностью и достоверностью в условиях неопределенности и дефицита времени;

3) процесс принятия решения неформализуем и осуществляется как на основе профессионально-логического анализа комбинированных результатов машинной обработки данных информационной базы, так и эвристического анализа параметров расчетных моделей.

В настоящей работе поставлена цель проверить свойства морфизма региональных энергетических систем и комплексов, а также осуществить прогнозирование спроса на электрическую энергию энергосистемами регионов Российской Федерации. Дополнительными особенностями подобного рода энергетических систем является, как правило, их связь с единой электроэнергетической системой страны. Поскольку ряд регионов отличается существенными профицитными объемами генерации электрической энергии, то данные по генерации электрической энергии будут вносить в анализ существенный дисбаланс. В дальнейшем рассматриваем энергосистемы регионов с точки зрения объединенных подмножеств потребителей энергоресурсов. В таком случае энергопотребление субъектов РФ будет зависеть от ряда экономических факторов, а также являться следствием изменения ряда иных факторов.

Сложность, многофункциональность, существенная дифференцируемость по нагрузке оборудования, различный физический и моральных износ подсистем энергетических систем и комплексов, а также отсутствие и иногда закрытость даже общей технической информации о рассматриваемом объекте являются причинами невозможности полноценного детерминированного описания данных систем и подсистем с достаточной точностью. Следовательно, при анализе необходимо использовать стохастические методы обработки информации, к которым относятся искусственные нейронные сети (ИНС) и многофакторный регрессионный анализ. Система и подсистемы при этом представляются в качестве «черного ящика». Поскольку функционирование реального технического и энергетического хозяйства ЭСМК носит в общем случае случайный характер, зависящий от множества факторов, то допустимо представить описание эксплуатации системы как случайного процесса, не выходящего за некоторые пределы. Энергетической системой будем считать совокупность конечного числа автономных и неавтономных агрегатов вместе с их взаимосвязями. Взаимодействие между системой и внешней средой и внутри системы осуществляется передачей сигналов, которые описываются конечным набором факторов, доступных к анализу и прогнозированию.

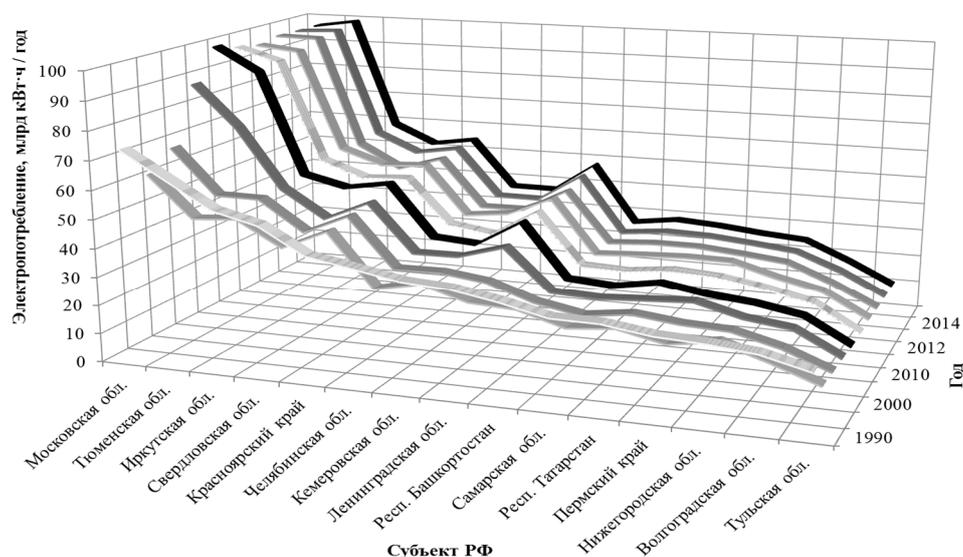
Для подсистем технического и энергетического хозяйства ЭСМК характерны все виды морфизма, но наиболее распространены гетероморфизм, полиморфизм и автоморфизм [4].

Опираясь на свойства гетероморфизма, всякая ЭСик одного объекта подобна аналогичной системе другого объекта [5]. Таким образом, прогнозная модель и спрогнозированный эффект управляющего воздействия, например, от энергосберегающего мероприятия [6], в одной ЭСик может быть транспонирован на все объекты аналогичного класса. Определим применимость данного свойства к задачам формирования предиктивных правил при определении прогнозных объемов энергопотребления субъектами РФ. Перечисленные выше сходные качества энергетических систем будут частично нивелироваться следующими причинами:

- 1) каждый из субъектов РФ находится на отдельно стоящей позиции в социально-экономическом рейтинге [7];
- 2) климатические и погодные характеристики в один и тот же момент времени могут существенно различаться для групп рассматриваемых энергосистем;
- 3) площадь территории, плотность населения и объем производимого валового регионального продукта (ВРП) различны;
- 4) для различных субъектов РФ характерно развитие различных отраслей промышленности и сельского хозяйства, сложившегося и развивающегося исходя из исторических, территориальных, климатических и иных, порою стохастических, причин;
- 5) статистические данные, предоставляемые Федеральной службой государственной статистики [8], проходят предварительную обработку и обновляются крайне редко – дискретность раз в год.

В связи с перечисленным выше, а также с недостаточностью и высокой дискретностью данных о функционировании объектов точность результатов прогнозирования не может быть высокой. Дискретность прогнозных величин будет равняться наибольшей дискретности входных факторов, т. е. ежегодной.

Существенный вклад в анализ энергопотребления объектов внес Б. И. Кудрин посредством развития теории Н-распределения техноценозов. Анализ и прогноз абсолютных показателей энергопотребления показывает неравномерный характер темпов их изменений по регионам [9], отраслям, ЭСик. Результатом структурно-топологического прогноза является совокупность траекторий случайных процессов изменения показателя спроса на электрическую энергию во времени (рисунок) [10]. Учитывая фрактальность и нелинейность траекторий, подобное рассмотрение структуры позволяет осуществить прогнозирование как места объекта среди аналогов, так и тенденции дрейфа его показателей с течением времени. К недостаткам метода можно отнести отсутствие алгоритма точного и достоверного прогнозирования трендов энергопотребления ЭСик.



Фрагмент типовой картины структурно-топологической динамики рангового распределения электропотребления

Входные факторы для расчета прогнозного энергопотребления могут быть представлены, например, следующим перечнем:

X1. Среднегодовая температура ($T_{\text{среднегод}}$), °C;

X2. Относительная влажность (%) на высоте 2 метра над поверхностью земли ($\varphi_{\text{среднегод}}$), %;

X3. Реальные денежные доходы населения в процентах к предыдущему году;

X4. Численность пенсионеров, тыс. чел.;

X5. Удельный вес расходов домашних хозяйств на оплату жилищно-коммунальных услуг, тыс. чел.;

X6. Фактическое конечное потребление домашних хозяйств на душу населения на территории субъектов Российской Федерации, руб.;

X7. Индексы промышленного производства в процентах к предыдущему году;

X8. Валовой сбор зерна (в весе после доработки), тыс. т;

X9. Расход кормов в расчете на одну условную голову крупного рогатого скота в сельскохозяйственных организациях, центнеров кормовых единиц;

X10. Объем работ, выполненных по виду экономической деятельности «Строительство», млн руб.;

X11. Ввод в действие жилых домов на 1000 человек населения, кв. м. общей площади жилых помещений;

X12. Объем платных услуг на душу населения, руб.;

X13. Объем услуг связи на душу населения, руб.

Прогнозируемым фактором (Y) является потребление электрической энергии субъектом РФ, млрд кВт·ч/год. Климатические данные получены из открытой базы данных [10], остальные – с сайта Федеральной службы государственной статистики, период анализа – с 1990 по 2015 г. Необходимо отметить, что представленный набор факторов не претендует на уникальность. Для моделирования могут быть применены и иные наборы факторов, использование которых позволит достичь лучшей или худшей по сравнению с приведенной в статье точностью прогнозирования. Комплектование группы входных факторов должно подчиняться нескольким правилам:

1. Данные должны быть достоверны и проверяемы.

2. Данные должны содержать не менее двух независимых погодных фактора: X1 и X2.

3. Методология сбора и обработки статистических данных не должна изменяться на протяжении всего периода, за который производится анализ. Необходимо отметить, что для многих факторов методологии сбора и обработки данных с 1990 по 2015 г. изменялись, например, в связи с объединением субъектов РФ, изменением агрегированных данных по энергосистемам ввиду изменения границ субъектов РФ, инфляцией, изменением демографических критериев и пр.

4. Используемые статистические факторы по регионам должны быть разнородными. Недопустимо использование факторов, например, только экономического или только энергетического, или только социального профиля.

5. Используемые статистические факторы по регионам должны иметь отношение к объемам потребления электрической энергии, но не обязательно должны быть определяющими для региона. Также не следует чрезмерно ограничивать набор входных данных, так как один и тот же фактор может быть несущественным для электропотребления одних регионов и весьма существенным для других. В качестве яркого примера можно привести объемы электропотребления на нужды сельского хозяйства для Ямало-Ненецкого АО и для Краснодарского края. Незначительность для ЯНАО не является поводом для исключения рассматриваемого критерия из набора входных данных, так как для Краснодарского края и прочих южных регионов фактор является существенным.

Для обучения была выбрана трехслойная ИНС с 13 входными нейронами и одним выходным, скрытый слой включает в себя 40 нейронов. Активационная функция – сигмоидная с кривизной 2. На вход всего подано 7000 единиц первичной информации.

В качестве тестовой выборки приняты наиболее сложные для анализа энергоемкие области, показанные на рисунке. Результаты прогнозирования представлены в таблице. Сравнению подлежит прогнозируемое и фактическое электропотребление за 2015 г.

Результаты прогнозирования объемов потребления электрической энергии наиболее энергоемкими субъектами Российской Федерации

№	Субъект РФ	Точность прогнозирования, %
1	Московская обл.	79,13
2	Тюменская обл.	96,78
3	Иркутская область	96,04
4	Свердловская область	81,31
5	Красноярский край	97,34
6	Челябинская область	87,63
7	Кемеровская область	86,66
8	Ленинградская область	97,97
9	Республика Башкортостан	93,57
10	Самарская область	91,46
11	Республика Татарстан	99,29
12	Пермский край	77,29
13	Нижегородская область	94,59
14	Волгоградская область	95,08
15	Тульская область	96,74

Результаты сравнительного анализа прогнозного и фактического электропотребления показывают, что в шести из 15 тестовых выборок удалось получить точность свыше 95 %. Из 83 проанализированных субъектов РФ в 24 случаях получена погрешность не выше 5 %. Причиной относительно низкой точности прогнозных моделей в остальных случаях является невысокая точность исходных данных и чрезмерно низкая ежегодная периодичность наблюдения. Дальнейшее повышение точности прогноза должно развиваться в направлении увеличения числа входных факторов при соблюдении условия отсутствия их коллинеарности и мультиколлинеарности.

На основании изложенного выше можно сделать следующие выводы.

1. Современные ЭСМК по сложившейся практике эксплуатации, экономическим и технологическим критериям относятся к замкнутым подсистемам, множество составляющих элементов и связей которых эквивалентно множеству элементов локальных подсистем энергосистемы более высокого уровня, что означает недопустимость рассмотрения и формулирования предиктивных правил функционирования ЭСМК любого масштаба без учета разнородных и разнонаправленных внешних воздействий.

2. Задача прогнозирования потребления топливно-энергетических ресурсов ЭСМК может быть решена либо посредством составления громоздкого индивидуального технико-экономического детерминированного аппарата, либо с применением статистических моделей, например, искусственных нейронных сетей.

3. Подтверждено свойство гетероморфизма энергетических систем и комплексов. Малый объем выборки для одного объекта может быть дополнен выборками аналогичных объектов до массива, пригодного к обработке посредством искусственных нейронных сетей. В 28 % случаев прогнозирование спроса на электрическую энергию энергосистемами регионов Российской Федерации посредством ИНС дало результат с погрешностью менее 5 %.

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

Список литературы

1. Приложение к приказу Федеральной службы по тарифам от 21 марта 2006 г. № 60-э/5 «Порядок формирования сводного прогнозного баланса производства и поставок электрической энергии (мощности) в рамках Единой энергетической системы России по субъектам Российской Федерации» [Текст] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/5221140/> (дата обращения: 12.04.2020).
2. Абакумов, А. И. Модели Неймана – Гейла [Текст] / А. И. Абакумов / Дальневост. гос. ун-т. – Владивосток, 2004. – 44 с.
3. Седнев, В. А. Применение техноценологического подхода для обеспечения электроэнергетической безопасности территорий [Текст] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-2/01-02-16.ttb.pdf> (дата обращения: 12.04.2020).
4. Морфизмы алгебраических систем [Текст] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studopedia.ru/18_69302_morfizmi-algebraicheskikh-sistem.html (дата обращения 12.04.2020).
5. Кудрин, Б. И. Организация, построение и управление электрическим хозяйством металлургических предприятий: Дис... доктора техн. наук: 05.09.03 / Кудрин Борис Иванович. – М., 1979. – 283 с.
6. Постановление Правительства Российской Федерации от 25 января 2011 г. № 18 «Об утверждении Правил установления требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений и требований к Правилам определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов» [Текст] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/12182261/>. (дата обращения: 12.04.2020).
7. Рейтинг социально-экономического положения регионов-2019 [Текст] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://riarating.ru/infografika/20190604/630126280.html> (дата обращения: 12.04.2020).
8. Федеральная служба государственной статистики [Текст] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gks.ru/> (дата обращения: 12.04.2020).
9. Потребление электрической энергии субъектами Российской Федерации, млрд кВт·ч/год [Текст] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kudrinbi.ru/public/304301/index.htm> (дата обращения: 12.04.2020).
10. rp5.ru. Расписание погоды [Текст] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rp5.ru/> (дата обращения: 12.04.2020).

References

1. *Prilozheniye k prikazu Federal'noy shuzhby po tarifam ot «21» marta 2006 goda № 60-e/5 «Poryadok formirovaniya svodnogo prognoznogo balansa proizvodstva i postavok elektricheskoy energii (moshchnosti) v ramkakh Yedinoy energeticheskoy sistemy Rossii po sub'yektam Rossiyskoy Federatsii»* (Appendix to the order of the Federal Tariff Service of March 21, 2006 No. 60-e / 5 “Procedure for the Formation of the Consolidated Forecast Balance of Production and Supply of Electric Energy (Power) within the Unified Energy System of Russia by Subjects of the Russian Federation”), URL: <https://base.garant.ru/5221140/> (accessed 04/12/2020).
2. Abakumov A. I. *Modeli Neymana – Geyla* (Neumann – Gale Models). Vladivostok: FENU, 2004, 44 p.
3. Sednev, V. A. Application of a technocenological approach to ensure the electric power security of territories [Primeneniye tekhnotsenologicheskogo podkhoda dlya obespecheniya elektroenergeticheskoy bezopasnosti territoriy], URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-2/01-02-16.ttb.pdf> (accessed 12.04.2020).
4. Morphisms of algebraic systems [Morfizmy algebraicheskikh sistem], URL: https://studopedia.ru/18_69302_morfizmi-algebraicheskikh-sistem.html (accessed 12.04.2020).

5. Kudrin B. I. *Organizatsiya, postroyeniye i upravleniye energeticheskim khozyaystvom metallurgicheskikh predpriyatiy* (Organization, construction and management of the energy sector of metallurgical enterprises). Doctor's thesis. Moscow, State Union Institute for the Design of Metallurgical Plants (GIPROMEZ), 1979, 282 p.

6. *Postanovleniye Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 25 yanvarya 2011 g. № 18 «Ob utverzhdenii Pravil ustanovleniya trebovaniy energeticheskoy effektivnosti dlya zdaniy, stroyeniy, sooruzheniy i trebovaniy k Pravilam opredeleniya klassa energeticheskoy effektivnosti mnogokvartirnykh domov»* (Decree of the Government of the Russian Federation of January 25, 2011 No. 18 "On approval of the Rules for establishing energy efficiency requirements for buildings, structures, structures and requirements for the Rules for determining the energy efficiency class of apartment buildings"), URL: <https://base.garant.ru/12182261/> (accessed 12.04.2020).

7. *Reyting sotsial'no-ekonomicheskogo polozheniya regionov – 2019* (Rating of the socio-economic situation of the regions – 2019), URL: <https://riarating.ru/infografika/20190604/630126280.html> (accessed 12.04.2020).

8. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki* (Federal State Statistics Service), URL: <https://www.gks.ru/> (accessed 12.04.2020).

9. *Potrebleniye elektricheskoy energii sub'yektami Rossiyskoy Federatsii, mlrd. kVt·ch/god* (Electric energy consumption by the constituent entities of the Russian Federation, billion kW·h/year), URL: <http://www.kudrinbi.ru/public/304301/index.htm> (accessed 12.04.2020).

10. *rp5.ru Raspisaniye pogody* (rp5.ru Weather schedule), URL: <https://rp5.ru/> (accessed 12.04.2020).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Гужов Сергей Вадимович
НИУ «МЭИ» (ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»).

Красноказарменная ул., д. 14, г. Москва, 111250,
Российская Федерация.

Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Тепломассообменные процессы и установки», НИУ
«МЭИ».

Тел.: +7-965-294-91-11.

E-mail: GuzhovSV@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Guzhov Sergey Vadimovich
National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU «MPEI»).

14, Krasnokazarmennaya st., 14, Moscow, 111250,
Russian Federation.

Ph. D. in Engineering, Associate Professor of the
department «Heat and Mass Transfer Processes and Installations», NRU «MPEI».

Phone: +7-965-294-91-11.

E-mail: GuzhovSV@yandex.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Гужов, С. В. О прогнозировании спроса на электроэнергию энергосистемами регионов Российской Федерации с применением искусственных нейронных сетей / С. В. Гужов // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск. – 2020. – № 1 (41). – С. 133 – 140.

BIBLIOGRAPHIC DESCRIPTION

Guzhov S. V. On forecasting demand for electric power by energy systems of the regions of the Russian Federation with application of artificial neural networks. Journal of Transsib Railway Studies, 2020, no. 1 (41), pp. 133 – 140 (In Russian).