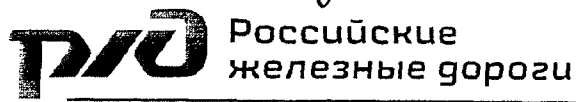


1431

Всем по, наг. дирекции, служб, центр. деп. упр. бюджета

О.Ф.И.В. Гапанович



ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ»
(ОАО «РЖД»)

РАСПОРЯЖЕНИЕ

« 6 » декабря 2011 г. Москва № 2626р

Об утверждении Методики планирования расхода электрической энергии на нетяговые нужды с использованием искусственных нейронных сетей

В целях совершенствования системы планирования расхода электрической энергии на нетяговые нужды в филиалах ОАО «РЖД» и их структурных подразделениях:

1. Утвердить и ввести в действие с 1 января 2012 г. Методику планирования расхода электрической энергии на нетяговые нужды с использованием искусственных нейронных сетей (далее – Методика).
2. Начальнику Управления планирования и нормирования материально-технических ресурсов Звереву А. В. обеспечить рассылку электронного приложения к Методике филиалам ОАО «РЖД».
3. Руководителям филиалов ОАО «РЖД» довести до сведения структурных подразделений Методику, обеспечить рассылку электронного приложения к Методике структурным подразделениям и обеспечить планирование расхода электрической энергии на нетяговые нужды в соответствии с Методикой.
4. Контроль за исполнением настоящего распоряжения возложить на начальника Управления планирования и нормирования материально-технических ресурсов Зверева А. В.

Старший вице-президент
ОАО «РЖД»



В. А. Гапанович

Исп. Фролов Владимир Николаевич, ЦУНР
2-55-71

Западно-Сибирская железная дорога
-филиал ОАО «РЖД»
Отдел документационного обеспечения
Службы управления делами (НД)
Вх. № 3503/Злсб
07.12.2011, на 1 л. пр. 57

УТВЕРЖДЕНО
распоряжением ОАО «РЖД»
от «06» 12 2011 г.
№ 2526р

**Методика планирования расхода электрической энергии
на нетяговые нужды с использованием
искусственных нейронных сетей**

СОДЕРЖАНИЕ

I. Общие положения	3
II. Общие принципы планирования расхода электрической энергии с использованием ИНС	5
III. Формирование первичных исходных данных	6
IV. Обработка первичных исходных данных и формирование обучающей выборки	9
V. Создание и обучение ИНС	12
VI. Сбор информации о плановых значениях влияющих факторов	15
VII. Расчет плановых значений расхода электрической энергии на нетяговые нужды с применением ИНС	17
VIII. Дообучение ИНС в процессе эксплуатации	19
Приложение А. Среднестатистические годовые (нормативные) значения коэффициента использования нагрузки основного ЭО, применяемого в ОЛО «РЖД»	21
Приложение Б. Климатологические данные по железным дорогам – филиалам ОЛО «РЖД»	23
Приложение В. Инструкция пользователя электронного приложения к Методике планирования расхода электрической энергии на нетяговые нужды с использованием искусственных нейронных сетей	29
1 Общие положения	30
2 Структура Приложения	30
3 Алгоритм работы с Приложением	31
4 Создание и обучение нейронной сети	31
5 Работа с обученной нейронной сетью	35
6 Дообучение нейронной сети	38
7 Минимальные системные требования	39
Приложение Г. Пример расчета планируемого расхода электрической энергии на нетяговые нужды	41
1 Сбор первичных исходных данных	41
2 Обработка первичных исходных данных и формирование обучающей выборки	47
3 Создание и обучение ИНС	49
4 Сбор информации о плановых значениях влияющих факторов	53
5 Расчет плановых значений расхода электрической энергии на нетяговые нужды с применением ИНС	53
6 Определение погрешности планирования расхода электрической энергии с использованием ИНС	56
7 Дообучение ИНС	56

I. Общие положения

1. Настоящая Методика устанавливает единые принципы и методологию планирования расхода электрической энергии с использованием искусственных нейронных сетей в филиалах ОАО «РЖД» и их структурных подразделениях (далее – СП).

2. Методика позволяет планировать расход электрической энергии на сетевые нужды на любой расчетный период (месяц, квартал, год), используя следующие исходные показатели:

а) расход электрической энергии СП за предшествующие расчетному периоды;

б) объем производственной деятельности СП за предшествующие расчетному периоды;

в) плановые объемы производственной деятельности на расчетный период;

г) средняя температура воздуха за расчетный период;

д) показатели изменения установленной мощности электрооборудования (далее – ЭО), применяемого в СП, или показатели потребляемой мощности ЭО при изменении режимов его работы;

е) показатели энергоэффективности внедренных организационно-технических мероприятий по экономии электрической энергии.

3. Расчет плановых значений расхода электрической энергии ведется с использованием электронного приложения к Методике, в основу работы которого заложен принцип использования математической модели искусственных нейронных сетей.

4. В настоящей Методике применяются следующие термины и определения:

1) искусственная нейронная сеть (далее – ИНС) – математическая модель электропотребления СП, которая позволяет выполнять планирование расхода электрической энергии на основе установленных исходных показателей.

2) искусственный нейрон – элемент (узел) искусственной нейронной сети, являющийся упрощенной моделью естественного нейрона.

3) синапс – связь, по которой выходные сигналы одних нейронов поступают на вход других.

4) обучение нейронной сети – процесс установления параметров ИНС, характеризующих степень зависимости между расходом электрической энергии и влияющими факторами, на основе выборки значений этих показателей за предшествующие расчетному периоды.

5) дообучение искусственной нейронной сети – процесс корректировки параметров ИНС в процессе ее эксплуатации, позволяющий учитывать текущие изменения электропотребления СП, обусловленные совокупностью внешних и внутренних факторов.

6) обучающая выборка – набор данных о значениях расхода электрической энергии и влияющих факторов за определенный период, на основе которого осуществляется процесс обучения (дообучения) ИНС.

7) скорость обучения ИНС – безразмерная величина, определяющая чувствительность весов синапсов к ошибке на выходе нейросети при ее обучении.

8) коэффициент обратной связи ИНС – безразмерная величина, определяющая зависимость веса синапса от предыдущего значения при обучении нейросети.

9) объект моделирования – цех, отделение, производственный участок СП с уникальными, присущими только ему географическими, климатическими и производственными характеристиками.

5. При разработке Методики использовались следующие документы:

Методика анализа и планирования расхода электрической энергии на нетяговые нужды в ОАО «РЖД», утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» № 2502р от 29 декабря 2007 г.;

Методика расчета потребности железных дорог в топливе и тепловой энергии на нетяговые нужды, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» №1507р от 03.08.2007 г.;

Положение о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации, утвержденное постановлением Правительства Российской Федерации от 31 октября 2009 г. № 879;

распоряжение ОАО «РЖД» от 03.11.2004 г. № 3517р «Об утверждении внутренних форм статистической отчетности по топливу, теплоэнергии, электроэнергии и смазочным материалам в локомотивном хозяйстве ОАО «РЖД».

6. Размерности и разрядности используемых в расчете величин:

количество электрической энергии и абсолютные значения небаланса электропотребления указываются в киловатт-часах (кВт·ч) в целых числах;

доля расхода электрической энергии является безразмерной величиной и указывается с точностью до двух знаков после запятой;

температура воздуха указывается в градусах Цельсия (°С) в целых числах;

установленная и приведенная мощность электрооборудования указываются в киловаттах (кВт) с точностью до одного знака после запятой;

относительные значения небаланса электропотребления указываются в процентах (%) с точностью до одного знака после запятой;

время работы ЭО указывается в часах (ч) с точностью до одного знака после запятой;

затраты на приобретение электрической энергии указываются в рублях (руб.) с точностью до двух знаков после запятой.

II. Общие принципы планирования расхода электрической энергии с использованием ИНС

7. Искусственная нейронная сеть представляет собой современный математический аппарат, который находит широкое применение в задачах планирования сложных производственных процессов.

Основным достоинством ИНС в сравнении с другими методами планирования является то, что она самостоятельно выстраивает зависимости между расходом электроэнергии и влияющими факторами, перечисленными в п. 2 настоящей Методики.

8. В общем виде ИНС представляет собой совокупность искусственных нейронов (на рис. 1 обозначены цифрами 1–9) и синапсов (на рис. 1 указаны стрелками). Каждый нейрон может иметь неограниченное количество входов и единственный выход.

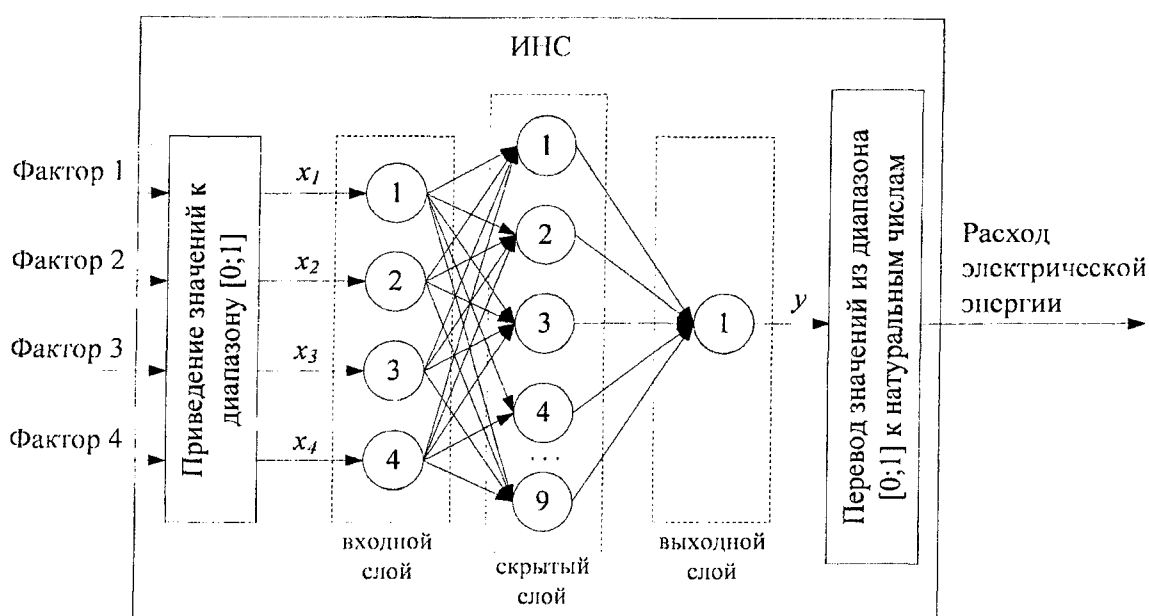


Рис. 1. Структура нейронной сети для решения задачи планирования расхода электрической энергии

9. Используемая для целей планирования расхода электрической энергии ИНС включает в себя три слоя: входной, выходной и скрытый. Входной слой имеет четыре нейрона, а выходной – один, что соответствует количеству рассматриваемых влияющих факторов x_1 – x_4 (объем производственной деятельности, температура воздуха, приведенная мощность по условно-постоянной и переменной составляющим электропотребления) и выходных величин y (расход электрической энергии). Количество нейронов на скрытом слое равно 9.

10. Между собой слои соединены синапсами, каждый из которых характеризуется своим весом, выраженным действительным числом.

Значения весов синапсов определяют характер зависимости расхода электрической энергии от величины принятых к рассмотрению влияющих факторов.

11. Веса синапсов задаются нейронной сетью автоматически в процессе ее обучения на основании выборки значений расхода электрической энергии и влияющих факторов.

12. Для корректной работы ИИС в ее структуре предусмотрены блоки перевода значений к диапазону $[0;1]$ и обратно, так как сигналы, передаваемые по синапсам, должны принимать значения из указанного диапазона.

13. Общий алгоритм планирования расхода электрической энергии с использованием ИИС состоит из следующих этапов:

1) сбор исходных данных, представляющих собой выборку значений расхода электрической энергии и влияющих факторов за предшествующие расчетному периоду;

2) создание и обучение ИИС на основе полученной выборки исходных данных;

3) сбор данных о плановых значениях влияющих факторов на рассматриваемый период;

4) расчет плановых значений расхода электроэнергии с применением ИИС и оценка достоверности результатов планирования;

5) дообучение ИИС в процессе эксплуатации.

III. Формирование первичных исходных данных

14. Базовой бизнес-единицей для планирования расхода электрической энергии на нетяговые нужды является СП.

15. Если производственные участки СП имеют ярко выраженные отличия по климатическим условиям или видам производственной деятельности, выполняемой с использованием ЭО, то такой участок следует выделять в отдельный объект моделирования. Во всех остальных случаях целесообразно рассматривать в качестве объекта моделирования СП в целом.

Сбор исходных данных необходимо выполнять по каждому объекту моделирования.

16. При выделении объекта моделирования в составе СП следует учитывать, что объем его производственной деятельности должен быть отражен в существующей системе отчетности ОАО «РЖД».

17. При планировании расхода электрической энергии на нетяговые нужды принимаются к рассмотрению следующие влияющие факторы:

1) объем производственной деятельности СП;

2) средняя температура воздуха за отчетный период;

3) приведенная мощность электрооборудования (ЭО) по условно-постоянной составляющей электропотребления;

4) приведенная мощность ЭО по переменной составляющей электропотребления.

Отдельной составляющей рассматривается уровень небаланса электропотребления, который предъявляется СП Дирекцией по энергообеспечению.

18. Для формирования выборки принятых к рассмотрению влияющих факторов и расхода электроэнергии осуществляется сбор первичных исходных данных (табл. 1 – 4).

19. Исходные данные должны быть предоставлены как минимум за два года, предшествующих расчетному периоду. Например, если необходимо спланировать расход электрической энергии на 2011 г., то исходные данные собираются за 2009 и 2010 гг.

При увеличении объема исходных данных точность планирования повышается, поэтому при наличии необходимой информации целесообразен сбор данных за более ранние периоды.

Таблица 1

Первичные исходные данные

№ п/п	Наименование показателя	Обозначение показателя	Единица измерения	Источник представления данных	Форма представления данных
1	Расход электрической энергии за предшествующие расчетному периоду без учета небаланса электропотребления	W	кВт·ч	СП	произвольная
2	Уровень небаланса электропотребления за предшествующие расчетному периоду	ΔW	кВт·ч	СП	произвольная
3	Фактическая среднемесячная температура воздуха в населенном пункте, в котором находится объект моделирования, за предшествующие расчетному периоду	t	°С	Метеорологическая служба железной дороги или информационный портал www.gismeteo.ru	произвольная
4	Объем производственной деятельности объекта моделирования за предшествующие расчетному периоду	V	Принимается в зависимости от типа бизнес-процесса СП	СП	произвольная

Продолжение табл. 1

№ п/п	Наименование показателя	Обозначение показателя	Единица измерения	Источник представления данных	Форма представления данных
5	Перечень ЭО, используемого в СП по состоянию на начало расчетного периода	—	—	СП	Табл. 2
6	Перечень ЭО, введенного в эксплуатацию и выведенного из эксплуатации за предшествующие расчетному периоду	—	—	СП	Табл. 3
7	Перечень ЭО с изменившимся режимом работы за предшествующие расчетному периоду	—	—	СП	Табл. 4

Примечание. Исходные данные по пунктам 1-4 предоставляются ежемесячно.

Таблица 2

Перечень ЭО, используемого в СП

Наименование ЭО	Кол-во единиц оборудования	Установленная мощность единицы оборудования $P_{и}$, кВт	Коэффициент использования нагрузки $k_{и}$
Объект моделирования 1			
Объект моделирования 2			
Объект моделирования N			

Таблица 3

Перечень ЭО, введенного в эксплуатацию или выведенного из эксплуатации

Дата ввода в эксплуатацию/вывода из эксплуатации	Наименование ЭО	Место установки (объект моделирования)	Кол-во единиц	Установленная мощность единицы оборудования $P_{и}$, кВт	Коэффициент использования нагрузки $k_{и}$
Введенное в эксплуатацию оборудование					
Выведенное из эксплуатации оборудование					

Перечень ЭО с изменившимся режимом работы

Дата изменения режима работы	Наименование ЭО	Место установки (объект моделирования)	Кол-во единиц	Установленная мощность единицы оборудования $P_{н}$, кВт	Коэффициент использования нагрузки $k_{н}$	
					до изменения режима работы	после изменения режима работы

Примечание. Под установленной мощностью ЭО понимается его номинальная активная мощность $P_{н}$, т. е. мощность, заявленная в паспортных данных.

20. Среднестатистические годовые (нормативные) значения коэффициента использования нагрузки эксплуатируемого ЭО $k_{н}$ определяются по справочным данным (прил. А). Однако такой подход может быть применен только в тех случаях, когда невозможно установить четкую зависимость его значения от режимов работы ЭО. В тех случаях, когда известна специфика работы ЭО, коэффициент использования нагрузки определяется по формуле:

$$k_{н} = \frac{\sum t_{ЭО}}{\sum T_{см}}, \quad (1)$$

где $t_{ЭО}$ – общее время работы ЭО за смену, ч;

$T_{см}$ – длительность смены объекта моделирования, ч.

21. В случае, если за предшествующие расчетному периоды в СП применялись организационно-технические мероприятия по экономии электрической энергии, изменялся технологический процесс предприятия, внедрялось новое энергосберегающее оборудование, это должно быть учтено в табл. 3 и 4 за счет изменения установленной мощности и коэффициента использования нагрузки ЭО.

IV. Обработка первичных исходных данных и формирование обучающей выборки

22. Информация, представленная в пунктах 1, 3, 4 табл. 1 настоящей Методики (расход электрической энергии, температура воздуха, объем производственной деятельности) может непосредственно записываться в обучающую выборку.

23. Данные о небалансе электропотребления (п. 2 табл. 1 настоящей Методики) необходимо представить в относительных значениях:

$$\delta_W = \frac{\Delta W}{W} \cdot 100\%. \quad (2)$$

24. Информация по пунктам 5-7 табл. 1 требует дополнительной обработки для представления ее в виде приведенной мощности ЭО по условно-постоянной и переменной составляющим расхода электрической энергии.

25. Условно-постоянная составляющая обусловлена наличием ЭО, режимы работы которого не зависят от объемов производственной деятельности и носят вспомогательный характер выполнения производственно-технологического процесса.

Переменная составляющая обусловлена выполнением основного вида работ и зависит от его объема.

26. К условно-постоянной составляющей относятся расход электрической энергии следующими группами ЭО, применяемого на железнодорожном транспорте:

- 1) наружное освещение (лампы накаливания, люминесцентные и др.);
- 2) внутреннее освещение (лампы накаливания, люминесцентные и др.);
- 3) вентиляция, кондиционирование (промышленные, бытовые вентиляторы, дымососы, воздуходувки, кондиционеры);
- 4) электроотопление, калориферы;
- 5) вычислительная и оргтехника (компьютеры, принтеры, факсы и т. д.);
- 6) бытовые электроприборы (электрочайники, электроплиты, телевизоры, микроволновые печи).

27. Переменную составляющую электропотребления формируют следующие группы ЭО:

- 1) электропривод, станки (металлорежущие, деревообрабатывающие, токарные, строгальные, фрезерные, карусельные, точильные, долбежные станки, электроинструмент, электропривод стрелочных переводов, шагбаумов и т. д.);

2) кузнечно-прессовое оборудование (приводы молотов, ковочных машин);

- 3) насосы (насосы масляные, производственного водоснабжения);

4) электротермическое оборудование (печи сопротивления, индукционные печи, сушильные шкафы, горны, нагреватели, термокамеры, мелкие нагревательные приборы);

5) подъемно-транспортные механизмы (краны, кран-балки, тельферы, передаточные тележки, электрокары, поворотные устройства, толкатели, электроподъемники, электротали);

6) сварочное, наплавочное оборудование (сварочные трансформаторы и выпрямители, автоматы, полуавтоматы, оборудование для наплавки, напыления поверхностей);

7) молотковые машины, дробеструйные комплексы, окрасочно-сушильное оборудование;

8) компрессоры;

9) выпрямители (установки для зарядки аккумуляторных батарей, электролизные ванны);

10) стенды, лабораторные установки (испытательные стенды, дефектоскопы, сборочные стенды, контрольно-диагностическое и монтажно-демонтажное оборудование);

11) устройства автоматики, телемеханики, СЦБ (рельсовые цепи, поездные сигналы, аппаратура ПОНАБ).

12) прочее оборудование.

28. Приведенная мощность единицы ЭО определяется по формуле:

$$P_{пр.и} = k_{и} \cdot P_{и}, \quad (3)$$

где $k_{и}$ – коэффициент использования нагрузки эксплуатируемого ЭО;

$P_{и}$ – установленная мощность единицы эксплуатируемого ЭО.

29. Приведенная мощность ЭО, относящегося к одной из групп ЭО объекта моделирования, определяется по формуле:

$$P_{пр. j} = \sum_{i=1}^h \frac{T_{см}}{24} P_{пр. ij}, \quad (4)$$

где $P_{пр. ij}$ – приведенная мощность i -го ЭО, принадлежащего j -й группе ЭО;

h – количество единиц ЭО в j -й группе ЭО.

30. Приведенные мощности ЭО по условно-постоянной и переменной составляющим расхода электроэнергии определяются путем суммирования приведенных мощностей соответствующих групп ЭО:

$$P_{пр.у.п} = \sum_{j=1}^k P_{пр. j}, \quad (5)$$

$$P_{пр.перем} = \sum_{j=1}^m P_{пр. j}, \quad (6)$$

где k и m – число групп ЭО соответственно по условно-постоянной и переменной составляющим электропотребления.

31. Если за рассматриваемый период происходили изменения в составе ЭО, изменялся режим его работы, то необходимо выполнить пересчет приведенной мощности ЭО на основании данных, представленных в табл. 3 и 4.

Например, если известно, что по состоянию на текущий период (июнь 2011 г.) приведенная мощность по переменной составляющей $P_{пр.перем}$ равна 500 кВт, а в декабре 2010 г. был введен в эксплуатацию новый станок с

номинальной мощностью 10 кВт и коэффициентом использования нагрузки 0,15, то приведенная мощность по переменной составляющей с начала рассматриваемого периода по ноябрь 2010 г. включительно составит $P_{пр.перем} = 500 - 10 \cdot 0,15 = 498,5$ кВт. При этом мощность с декабря 2010 г. по июнь 2011 г. остается неизменной и равной 500 кВт.

32. Обработанные исходные данные представляются по форме табл. 5.

Полученная информация является выборкой, служащей для обучения ИНС.

Таблица 5

**Форма представления данных для обучения нейронной сети
по объекту моделирования**

Период	Объем производственной деятельности V	Фактическая среднемесячная температура воздуха t , °С	Приведенная мощность по соответствующей составляющей расхода электроэнергии		Расход электрической энергии W , кВт·ч	Уровень небаланса электропотребления δ_w , %
			условно-постоянная $P_{пр.п}$, кВт	переменная $P_{пр.перем}$, кВт		

V. Создание и обучение ИНС

33. Создание нейронной сети подразумевает выбор топологии сети, количества скрытых слоев, количества нейронов на каждом скрытом слое и вида используемой в сети передаточной функции.

34. При решении задачи планирования расхода электрической энергии в электронном приложении к Методике используется сеть обратного распространения с одним скрытым слоем. Входной слой служит лишь для подачи входных сигналов в сеть. На скрытом и выходном слоях производится обработка поступающих сигналов. При этом может использоваться одна из двух активационных (передаточных) функций:

сигмоидная (логистическая):

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-ax}} \quad (7)$$

или радиально-симметричная:

$$f(x) = e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^2}, \quad (8)$$

где x – входной сигнал;

a – параметр активационной функции.

35. Создание ИНС осуществляется в электронном приложении к Методике. Для этого необходимо указать ее название, имя файла, в котором она будет сохранена и загрузить обучающую выборку, которая представляет собой совокупность данных, представленных в виде таблицы 5. Более подробно порядок работы с электронным приложением на этапе создания и обучения ИНС представлен в «Инструкции по работе с электронным приложением к методике планирования расхода электрической энергии на петляговые нужды с использованием искусственных нейронных сетей» (прил. В).

36. В электронном приложении к Методике загружаемые данные автоматически делятся на

– выборку, непосредственно участвующую в обучении (обучающая выборка);

– выборку, использующуюся для контроля качества обучения (тестовая выборка).

37. Электронное приложение к Методике автоматически выделяет тестовую выборку в объеме двадцати процентов от общего объема информации. При этом как в тестовую, так и в обучающую выборки обязательно включаются минимальные и максимальные значения расхода электрической энергии.

Если объем загруженных данных невелик, то часть данных могут присутствовать как в обучающей, так и в тестовой выборках.

38. При загрузке данных выполняется их минимальная обработка – по каждому фактору определяется минимальное и максимальное значения для установки граничных значений факторов.

39. При обучении нейронной сети на входы созданной ИНС подаются в случайном порядке значения входных факторов. Электронное приложение к Методике автоматически подбирает внутренние параметры сети (вид и параметры активационных функций, скорость обучения, коэффициент обратной связи и веса синапсов), таким образом, чтобы на выходе сети получались значения наиболее близкие к соответствующим выходным значениям. Достигается это с помощью минимизации выходной ошибки по двум критериям. Расхождение между выданным сетью и фактическим значениями расхода электрической энергии передается в обратном направлении (от выходного слоя к входному). На каждом слое происходит коррекция весов синапсов с учетом текущей ошибки планирования. Этот процесс многократно повторяется в автоматическом режиме, благодаря чему достигается высокая точность планирования. Этот процесс называется обучением ИНС.

40. Сравнение нейронных сетей и выбор наилучшей из них ведется электронным приложением к Методике в автоматическом режиме на основании двух безразмерных коэффициентов – K_{T1} и K_{T2} .

41. Коэффициент K_{T1} оценивает близость дисперсий фактической и смоделированной выборок расхода электроэнергии:

$$K_{T1} = \frac{S_1}{S_2}, \quad (9)$$

где S_1 и S_2 – дисперсии фактической и смоделированной выборок расхода электроэнергии (отношение большей к меньшей, так что значение критерия K_{T1} всегда больше единицы), рассчитываемые по формуле:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^{N_T} (y_i - \bar{y})^2}{N_T - 1}, \quad (10)$$

где N_T – объем тестовой выборки;

y_i – фактическое или смоделированное значение расхода электрической энергии;

\bar{y} – среднее фактическое или смоделированное значение расхода электроэнергии.

42. Безразмерный коэффициент K_{T2} оценивает близость среднего смоделированного значения фактическому, т.е. значение средней ошибки моделирования с использованием ИНС:

$$K_{T2} = \frac{2,1\bar{\sigma}}{\bar{y}}, \quad (11)$$

где 2,1 – значение t-критерия Стьюдента для доверительной вероятности $P_d = 0,95$ и объема выборки более 20 значений;

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_T} (y_i - y_i^0)^2}{N_T(N_T - 1)}} \quad - \quad \text{среднеквадратическое отклонение средней}$$

ошибки моделирования;

y_i – смоделированное значение расхода электрической энергии при i -м наборе входных факторов;

y_i^0 – фактическое значение расхода электроэнергии при i -м наборе входных факторов;

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{N_T} y_i^0}{N_T} \quad - \quad \text{среднее фактическое значение расхода электроэнергии.}$$

43. Наиболее подходящей считается нейронная сеть, имеющая ближайшее к единице значение коэффициента K_{T1} и ближайшее к нулю значение коэффициента K_{T2} .

44. В режиме обучения электронное приложение тестирует множество сетей, меняя внутренние параметры каждой в определенных диапазонах. Скорость обучения меняется от 30 до 60 с шагом 5, а коэффициент обратной связи меняется от 0 до 0,5 с шагом 0,2. При этом проверяются два вида перелаточных функций. Первый вариант сетей – сети, имеющие сигмоидную функцию на обоих слоях (скрытом и выходном). В этом случае параметр активационной функции a меняется в пределах от 0,04 до 0,2 с шагом 0,03 и от 0,2 до 0,6 с шагом 0,08. Второй вариант – сети, имеющие на скрытом слое сигмоидную активационную функцию с параметром a , меняющимся от 0,02 до 0,3 с шагом 0,02, а на выходном слое – радиально-симметричную функцию с параметром a , меняющимся от 1 до 8 с шагом 2. В электронном приложении к Методике перебор вариантов ИНС осуществляется в автоматическом режиме.

45. В результате перебора параметров электронное приложение выбирает наилучший вариант ИНС. Необходимо отметить, что обучение сети в некотором смысле является случайным процессом и в отдельных неблагоприятных случаях может завершиться неудачей. В этом случае следует повторить процесс обучения. Если второй раз сеть вновь не обучилась, тогда следует проанализировать исходные данные на корректность.

46. После создания и первичного обучения в электронном приложении к Методике ИНС должна быть сохранена на персональном компьютере.

47. При сохранении ИНС на персональном компьютере создается файл, в котором хранятся ее структура, значения внутренних параметров, обучающая и тестовая выборка, на которых производилось обучение, и результаты всех выполненных расчетов расхода электроэнергии.

VI. Сбор информации о плановых значениях влияющих факторов

48. Для расчета планируемого расхода электрической энергии на сетяговые нужды на расчетный период (месяц, квартал, год) необходима информация, представленная в табл. 7.

49. Расчет планируемых значений приведенной мощности ЭО по условно-постоянной и переменной составляющим расхода электроэнергии ведется по алгоритму, изложенному в п. 24–32 настоящей Методики, основываясь на информации о возможном изменении состава ЭО или режимов его работы (см. пункты 4–5 табл. 7).

Например, если известно, что по состоянию на текущий период (июнь 2011 г.) приведенная мощность по условно-постоянной составляющей $P_{\text{пр}}^{\text{у.п}}$

равна 200 кВт, а в августе 2011 г. планируется ввод в эксплуатацию новых светодиодных светильников общей мощностью 5 кВт и коэффициентом использования нагрузки 0,5 с одновременным списанием ламп накаливания общей мощностью 50 кВт с тем же k_n , то приведенная мощность по условно-постоянной составляющей в августе и сентябре 2011 г. составит $P_{пр. план}^{у.п} = 200 - 50 \cdot 0,5 + 5 \cdot 0,5 = 177,5$ кВт. Приведенная мощность в июле 2011 г. остается неизменной и равной 200 кВт.

Таблица 7

Плановые значения влияющих факторов

№ п/п	Наименование показателя	Обозначение показателя	Единица измерения	Источник представления данных	Форма представления данных
1	Средняя месячная температура в населенном пункте, в котором находится объект моделирования, за расчетный период	t_{cp}	°С	Приложение Б к методике	произвольная
2	Плановый объем производственной деятельности объекта моделирования на расчетный период	$V_{план}$	Принимается в зависимости от типа бизнес-процесса СИ	СИ	произвольная
3	Плановый уровень небаланса электропотребления на расчетный период	$\delta_{план}$	%	СИ	произвольная
4	Перечень ЭО, планируемого к вводу или выводу из эксплуатации за расчетный период	—	—	СИ	Табл. 3
5	Перечень ЭО с планируемым изменением режима работы в течение расчетного периода	—	—	СИ	Табл. 4

Примечание. Исходные данные по пунктам 1–3 предоставляются ежемесячно.

50. Обработанная информация о плановых значениях влияющих факторов сводится в табл. 8.

**Форма представления плановых значений влияющих факторов
по объекту моделирования**

Период	Плановый объем производственно й деятельности $V_{план}$	Прогнозное среднемесячно е значение температуры воздуха $t_{ср}$, °С	Планируемое значение приведенной мощности по соответствующей составляющей расхода электроэнергии		Планируемый уровень несбаланса электро- потребления $\delta_{план}$, %
			условно- постоянная $R_{упр план}$, кВт	переменная $R_{перем пр план}$, кВт	

VII. Расчет плановых значений расхода электрической энергии на нетяговые нужды с применением ИНС

51. Расчет планируемого расхода электрической энергии ведется с использованием электронного приложения к Методике. Для этого в предварительно обученной нейросетевой модели необходимо задать расчетный период (I–IV кварталы) и для соответствующего месяца заполнить информацию о плановых значениях влияющих факторов из табл. 8.

52. В графе «Расход» электронного приложения ИНС автоматически рассчитывает плановое значение электропотребления на рассматриваемый период на основе зависимостей между расходом и влияющими факторами, полученными в результате обучения нейросетевой модели. Кроме того, определяется процент изменения планового расхода относительно электропотребления за соответствующий период предыдущего года.

53. По результатам планирования ИНС определяет изменение расхода электрической энергии в сравнении с предыдущим периодом, обусловленное изменением принятых к рассмотрению влияющих факторов (табл. 9).

Таблица 9

Результаты расчета плановых значений расхода электрической энергии по объекту моделирования

Расчетный период	Расход электрической энергии, кВт·ч		Изменение планируемого расхода электроэнергии в сравнении с фактическим за аналогичный период предыдущего года, кВт·ч					ВСЕГО
	без учета небаланса		за счет изменения объема производственной деятельности	за счет изменения температуры туры воздуха	за счет изменения условно-постоянной составляющей электропотребления	за счет изменения перемнной составляющей электропотребления	за счет изменения уровня небаланса электропотребления	
	предыдущий период (факт. значение)	с учетом небаланса						
	расчетный период (расч. значение)	расчетный период (расч. значение)						

54. Планируемое значение расхода электроэнергии на отчетный период в целом по СИ определяется как сумма плановых ее расходов по отдельным объектам моделирования $W_{q \text{ план}}$ с учетом уровня дисбаланса электропотребления

$$W_{\text{план}} = \sum_{q=1}^n W_{q \text{ план}}, \quad (12)$$

где n – количество объектов моделирования в СИ.

55. Рассчитанное значение планового расхода электрической энергии СИ используется для установления лимитов электропотребления на соответствующий период.

56. Планируемые затраты на приобретение электрической энергии на отчетный период определяются по формуле:

$$Z = W_{\text{план}} \cdot C_{\text{эл}}, \quad (13)$$

где $C_{\text{эл}}$ – планируемый (прогнозный) уровень тарифа на электрическую энергию, руб./кВт·ч.

57. Оценка погрешности планирования осуществляется на основе анализа расхождения спланированного с помощью ИИС и фактического расхода электрической энергии за расчетный период.

58. Относительная погрешность планирования рассчитывается для каждого объекта моделирования по формуле:

$$\varepsilon_{\text{план}} = \frac{W_{q \text{ план}} - W_{q \text{ факт}}}{W_{q \text{ факт}}} \cdot 100\%, \quad (14)$$

где $W_{q \text{ план}}$ – планируемый объем расхода электрической энергии объекта моделирования;

$W_{q \text{ факт}}$ – фактический объем расхода электрической энергии объекта моделирования.

VIII. Дообучение ИИС в процессе эксплуатации

59. Дообучение нейросети осуществляется только в электронном приложении к настоящей Методике в автоматическом режиме. Дообучение ИИС заключается в корректировке весов синапсов на основании добавления в обучающую выборку последних данных о фактическом расходе электрической энергии и фактических значениях влияющих факторов таким образом, чтобы ошибка моделирования была минимальной с учетом новых данных.

60. Дообучение ИИС следует проводить один раз в квартал после поступления новых данных о расходе электрической энергии СИ и значениях влияющих факторов. Данные необходимо представлять в форме табл. 5.

61. Алгоритм дообучения ИНС в электронном приложении к настоящей Методике следующий:

- открыть существующую ИНС;
- добавить новые данные о фактических значениях влияющих факторов и расходе электроэнергии;

- в процессе дообучения приложение корректирует веса синапсов, придавая им наиболее подходящие значения, в то время как внутренние параметры нейросети (скорость обучения, вид и параметры активационных функций, коэффициент обратной связи, количество нейронов на скрытом слое) не меняются;

- в случае, если после дообучения ошибка моделирования K_{72} снижается, то дообученная сеть автоматически принимается в качестве рабочей, а ее параметры сохраняются в том же файле.

62. Расчет планируемого расхода электрической энергии на последующие периоды необходимо выполнять с применением дообученной ИНС.

Среднестатистические годовые (нормативные) значения коэффициента использования нагрузки основного ЭО, применяемого в ОАО «РЖД»

Наименование группы ЭО	Нормативное значение коэффициента $k_{и}$
1	2
Наружное и внутреннее освещение	
Лампы накаливания, люминесцентные лампы	0,5
Лампы ртутные высокого давления (ДРЛ)	
Вентиляция, кондиционирование	
Вентиляторы производственные, воздуходувки, дымососы	0,75
Санитарно-гигиеническая, сантехническая вентиляция, бытовые вентиляторы	0,70
Электропривод, станки	
Металлорежущие станки, мелкие токарные, строгальные, фрезерные, карусельные, точильные, долбежные и т. д.	0,15
Электропривод стрелочных переводов	0,0004
Кузнечно-прессовое оборудование	
Приводы молотов, ковочных машин, автоматы, прессы	0,20
Насосы	
Насосы масляные	0,65
Насосы производственного водоснабжения, сетевые насосы	0,80
Насосы прочие мощностью до 50 кВт	0,70
Электроотопление, caloriferы	
Электрокотлы, электрокалориферы, электротэны, системы отопления типа «ОВЭЛ», устройства обогрева стрелочных переводов, замедлителей, приводов выключателей	0,3
Электротермическое оборудование	
Печи сопротивления с непрерывной автоматической загрузкой, сушильные шкафы	0,80
То же, с периодической загрузкой	0,60
Индукционные печи	0,70
Мелкие нагревательные приборы	0,70
Подъемно-транспортные механизмы	
Элеваторы, транспортеры, конвейеры (не заблокированные)	0,40
То же, заблокированные	0,60

Окончание таблицы

1	2
Маневровое устройство, трансбордер	0,50
Лебедки, вспомогательные механизмы конвейеров	0,15
Краны мостовые, грейферные, кран-балки, тельферы, домкраты	0,10
Сварочное, наплавочное оборудование	
Сварочные трансформаторы для ручной сварки	0,30
Однопостовые сварочные агрегаты	0,30
Многопостовые сварочные агрегаты	0,50
Сварочные трансформаторы автоматической сварки	0,40
Сварочные машины шовные, стыковые и точечные сварочные дуговые автоматы типа АДС	0,35
Моечные машины, дробеструйные комплексы, окрасочно-сушильное оборудование	
Моечные машины, дробеструйно-окрасочные комплексы, ультразвуковые моечные установки	0,50
Компрессоры	
Компрессоры стационарные мощностью до 200 кВт	0,70
Выпрямители	
Выпрямители, электролизные ванны, установки для заряда аккумуляторных батарей	0,10
Стенды, лабораторные установки	
Испытательные стенды и установки	0,40
То же, с длительным режимом работы	0,70
Лабораторное оборудование	0,80
Автоматические установки	0,60
Полуавтоматические установки	0,30
Вычислительная и оргтехника	
Персональные компьютеры	0,80
Принтеры, копировальные аппараты	0,10
Бытовые электроприборы	
Микроволновые печи, электрочайники, электроплиты	0,10
Холодильники	0,80
Бытовые электробойлеры	0,10
Устройства автоматики, телемеханики, СЦБ	
Оборудование устройств СЦБ	1,00
Прочее электрооборудование	
Пульты управления	0,5
Устройства ввода (вывода) электровозов	0,002

Климатологические данные по железным дорогам – филиалам ОАО «РЖД»

(приняты по данным. Методики расчета потребности железных дорог в топливе и тепловой энергии на нетяговые нужды, утвержденной распоряжением ОАО «РЖД» №1507р от 03.08.2007 г., с учетом округления до целых чисел)

Географический пункт	Средняя по месяцам температура наружного воздуха, t_{cp} , °С												Среднегодовая температура воздуха, t_{cp} , °С
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Октябрьская железная дорога													
Тверь	-11	-9	-5	4	11	16	17	16	10	4	-2	-7	4
Бежецк	-11	-10	-5	3	11	15	17	15	10	4	-2	-8	3
Санкт-Петербург	-8	-8	-4	3	10	15	18	16	11	5	0	-5	4
Новгород	-9	-9	-4	3	10	15	17	15	10	4	-1	-6	4
Великие Луки	-9	-8	-3	5	12	16	17	16	11	5	0	-5	5
Тихвин	-11	-9	-5	3	10	15	17	15	10	4	-2	-7	3
Петрозаводск	-11	-10	-5	1	8	14	16	14	9	3	-3	-7	2
Кемь	-11	-11	-7	-1	5	11	14	13	8	2	-3	-7	1
Мурманск	-11	-11	-7	-2	3	9	13	11	7	1	-4	-8	0
Ржев	-10	-9	-4	4	11	16	17	16	10	4	-1	-6	4
Псков	-8	-8	-3	4	11	16	17	16	11	5	0	-5	5
Лоухи	-12	-12	-8	-2	5	12	15	13	7	1	-4	-9	0
Горьковская железная дорога													
Владимир	-11	-10	-4	5	12	17	18	16	11	4	-3	-8	4
Муром	-12	-11	-5	5	13	17	19	17	11	4	-2	-8	4
Арзамас	-12	-12	-7	4	12	17	19	17	11	4	-4	-9	3
Нижний Новгород	-12	-11	-5	4	12	16	18	17	11	4	-3	-9	4
Чебоксары	-13	-12	-6	4	12	17	19	17	11	3	-4	-10	3
Йошкар-Ола	-14	-13	-6	4	12	16	18	16	10	3	-4	-10	3
Казань	-14	-13	-7	4	12	17	19	18	11	3	-4	-10	3

Глазов	-15	-14	-8	2	10	16	18	15	9	2	-6	-13	1
Ижевск	-15	-13	-7	3	11	16	19	16	10	2	-5	-12	2
Калининградская железная дорога													
Калининград	-3	-3	-1	6	12	15	17	17	13	8	3	-1	7
Черняховск	-4	-3	1	6	13	16	18	17	13	7	2	-2	7
Московская железная дорога													
Москва	-10	-9	-4	4	12	16	18	16	11	4	-2	-7	4
Тула	-10	-10	-4	5	13	17	19	17	12	5	-1	-7	5
Орел	-10	-9	-4	6	13	17	19	17	12	5	-1	-6	5
Курск	-9	-8	-3	6	14	17	19	18	13	6	-1	-6	5
Рязань	-11	-10	-5	5	13	17	19	17	12	4	-2	-7	4
Смоленск	-9	-8	-4	4	12	16	17	16	10	5	-1	-6	4
Калуга	-10	-9	-4	5	12	16	18	17	11	5	-2	-7	4
Брянск	-9	-8	-3	6	13	17	18	17	12	5	0	-5	5
Вязьма	-10	-9	-4	3	11	15	17	15	10	4	-2	-6	4
Ливны	-10	-9	-4	5	14	17	19	18	12	6	-1	-7	5
Кашира	-11	-10	-5	5	12	16	18	17	11	4	-2	-7	4
Дмитров	-10	-10	-4	4	12	16	18	16	10	4	-2	-7	4
Стародуб	-8	-8	-3	5	13	17	18	17	12	6	0	-5	5
Юго-Восточная железная дорога													
Воронеж	-10	-10	-4	7	15	18	20	19	13	6	-1	-6	6
Тамбов	-11	-10	-5	6	14	18	20	19	13	5	-1	-7	5
Липецк	-10	-10	-4	6	14	18	20	19	13	6	-2	-7	5
Белгород	-9	-6	-3	8	15	18	20	19	13	6	0	-5	6
Приволжская железная дорога													
Волгоград	-9	-8	-1	10	17	21	23	22	16	8	1	-4	8
Эльтон	-10	-10	-3	9	17	22	25	23	16	7	0	-7	8
Астрахань	-7	-6	0	10	18	23	25	24	17	10	2	-3	10
Верхний Баскунчак	-10	-9	-2	10	17	22	26	24	17	8	1	-6	8
Саратов	-11	-11	-5	7	15	19	21	20	14	5	-2	-8	5
Северная железная дорога													
Ярославль	-12	-11	-5	4	11	16	18	16	10	3	-3	-8	3
Иваново	-12	-11	-5	4	11	16	18	16	10	4	-3	-8	3

Шарья	-13	-12	-6	3	10	15	17	15	9	2	-5	-11	2
Вологда	-13	-12	-6	2	10	15	17	15	9	3	-4	-9	2
Архангельск	-13	-13	-8	-1	6	12	16	14	8	2	-4	-10	1
Котлас	-14	-13	-7	1	8	14	17	15	8	1	-6	-11	1
Ухта	-17	-16	-9	-1	5	12	16	13	7	1	-9	-14	-1
Воркута	-20	-21	-17	-9	-3	6	12	10	4	-5	-14	-16	-6
Киншма	-12	-11	-6	3	11	16	18	16	10	3	-4	-9	3
Кострома	-12	-11	-5	3	11	16	18	16	10	3	-3	-9	3
Череловец	-11	-11	-6	2	10	15	17	15	9	3	-3	-9	3
Вельск	-13	-12	-6	2	9	14	17	15	9	2	-4	-10	2
Емца	-14	-13	-7	0	7	13	16	14	8	1	-5	-10	1
Онега	-12	-12	-7	0	6	13	16	14	8	2	-4	-9	1
Весьяна	-16	-15	-9	0	6	13	16	13	7	0	-8	-14	-1
Петрунь	-20	-19	-15	-7	0	8	14	11	5	-3	-11	-17	-4
Печора	-20	-18	-12	-3	3	11	16	12	6	-3	-11	-16	-3
Сыктывкар	-16	-14	-8	1	8	14	17	14	8	0	-7	-13	0
Северо-Кавказская железная дорога													
Ростов-на-Дону	-6	-5	1	9	16	20	23	22	16	9	3	-3	9
Таганрог	-5	-5	1	9	17	21	24	23	17	10	3	-2	9
Котельниково	-7	-7	-1	10	17	21	24	23	16	8	2	-4	9
Краснодар	-2	-1	4	11	17	21	23	23	18	11	6	1	11
Сочи	6	6	8	12	16	20	23	23	20	16	12	8	14
Ставрополь	-3	-2	1	9	15	19	22	21	16	10	4	-1	9
Элиста	-7	-6	0	10	17	22	24	23	17	9	2	-3	9
Нальчик	-4	-3	2	10	15	19	22	21	16	9	4	-1	9
Владикавказ	-4	-3	1	9	14	18	20	19	15	9	3	-2	8
Грозный	-4	-2	3	10	17	21	24	23	18	10	5	-1	10
Дербент	2	2	4	9	16	21	25	25	20	14	9	4	13
Махачкала	-1	0	4	9	16	22	25	24	19	13	7	3	12
Миллерово	-8	-7	-2	8	16	20	22	21	15	7	1	-5	7
Куйбышевская железная дорога													
Саранск	-12	-12	-6	5	13	17	19	18	12	4	-3	-9	4
Пенза	-12	-11	-6	5	14	18	20	18	12	4	-3	-9	4

Ульяновск	-14	-13	-7	4	13	18	20	18	11	4	-4	-10	3
Самара	-14	-13	-6	6	14	19	20	19	13	4	-3	-10	4
Бугульма	-14	-14	-8	2	11	16	18	16	10	2	-6	-12	2
Мелеуз	-16	-14	-8	5	14	18	20	18	12	3	-5	-12	3
Уфа	-15	-14	-7	4	13	17	19	17	11	3	-5	-11	3
Западно-Сибирская железная дорога													
Омск	-19	-18	-10	3	11	17	19	16	11	2	-9	-16	1
Черлак	-19	-18	-10	3	12	18	20	17	11	2	-8	-16	1
Барабинск	-20	-18	-12	1	10	16	19	16	10	1	-9	-17	0
Болотное	-19	-17	-9	1	10	16	19	16	10	1	-10	-17	0
Карасук	-19	-18	-11	3	12	18	20	17	11	2	-9	-16	1
Купино	-20	-19	-12	1	11	17	20	16	11	2	-9	-17	0
Новосибирск	-19	-17	-10	2	10	17	19	16	10	2	-9	-17	0
Тагарск	-20	-18	-11	1	11	16	19	16	10	1	-9	-16	0
Чулым	-20	-18	-11	0	10	16	19	16	10	1	-9	-17	0
Алейск	-18	-16	-9	3	12	18	20	17	11	3	-8	-15	2
Барнаул	-18	-16	-9	2	11	18	20	17	11	3	-8	-15	1
Бийск	-18	-17	-9	2	11	17	19	16	11	3	-8	-15	1
Рубцовск	-18	-16	-9	4	13	19	21	18	12	4	-7	-15	2
Славгород	-19	-18	-11	3	13	19	21	18	12	3	-8	-16	1
Кемерово	-19	-17	-10	1	10	16	19	15	10	1	-10	-17	0
Киселевск	-17	-16	-8	2	10	17	19	16	10	2	-8	-15	1
Кондома	-19	-16	-9	1	9	15	17	15	9	1	-9	-17	0
Тайга	-19	-17	-10	0	8	15	18	14	8	0	-10	-17	-1
Топки	-18	-16	-10	0	9	16	18	15	9	1	-10	-17	0
Томск	-19	-17	-10	0	9	15	18	15	9	1	-10	-17	-1
Южно-Уральская железная дорога													
Челябинск	-16	-14	-7	4	12	17	18	16	11	2	-6	-13	2
Златоуст	-15	-14	-8	2	13	19	20	16	10	2	-9	-14	2
Курган	-18	-17	-9	4	13	17	19	16	11	2	-7	-14	2
Магнитогорск	-15	-14	-9	3	15	21	22	19	12	3	-8	-14	3
Оренбург	-11	-11	-6	6	15	21	23	21	15	6	-3	-10	6
Белорецк	-15	-14	-7	5	15	20	22	20	13	5	-4	-11	4

Свердловская железная дорога													
Бисер	-18	-15	-9	1	7	13	15	13	7	-1	-9	-15	-1
Пермь	-15	-13	-7	3	10	16	18	15	9	1	-6	-13	2
Верхотурье	-17	-15	-8	2	9	15	17	14	9	1	-8	-15	0
Ивдель	-19	-17	-8	1	8	14	17	14	8	-1	-9	-16	-1
Екатеринбург	-16	-14	-7	3	10	15	17	15	9	1	-7	-13	1
Сосьва	-23	-20	-12	-2	5	12	16	13	7	-3	-13	-20	-3
Тюмень	-17	-16	-8	3	11	16	18	15	10	1	-8	-14	1
Красноярская железная дорога													
Маринск	-18	-16	-9	1	9	16	18	15	9	1	-9	-16	0
Тисуль	-17	-16	-9	1	9	16	18	15	9	1	-9	-16	0
Абакан	-26	-19	-9	3	11	17	20	16	10	2	-10	-18	0
Ачинск	-18	-16	-9	0	9	16	18	15	9	-1	-9	-16	0
Боготол	-17	-16	-9	0	8	15	18	15	9	1	-10	-16	0
Канск	-20	-19	-10	1	9	16	19	16	9	0	-10	-19	-1
Шира	-19	-17	-9	1	9	16	18	15	9	1	-9	-16	0
Ключи	-18	-16	-8	1	8	16	18	15	9	1	-10	-17	0
Красноярск	-18	-17	-8	3	9	17	19	16	9	2	-9	-16	1
Минусинск	-21	-19	-9	3	11	17	20	17	10	2	-9	-18	0
Дальневосточная железная дорога													
Архара	-27	-22	-11	3	11	17	21	19	12	2	-12	-24	-1
Бихин	-22	-17	-8	4	12	17	21	20	13	5	-8	-18	2
Бира	-22	-17	-8	3	10	17	20	19	12	3	-10	-20	1
Биробиджан	-23	-18	-9	3	11	17	20	19	12	3	-10	-20	1
Вяземский	-22	-18	-9	3	11	17	21	20	13	4	-8	-18	1
Комсомольск-на-Амуре	-26	-20	-10	1	9	16	20	19	13	3	-11	-22	-1
Облучье	-27	-21	-11	1	10	16	20	18	11	1	-13	-24	-2
Советская Гавань	-18	-15	-8	0	5	10	14	16	13	5	-5	-14	0
Хабаровск	-22	-17	-9	3	11	17	21	20	14	5	-8	-19	1
Владивосток	-13	-10	-2	5	10	14	19	21	17	10	0	-9	5
Тында	-32	-26	-16	-4	6	13	17	14	6	-6	-22	-30	-7
Усть-Нюкжа	-32	-26	-15	-3	7	14	18	14	7	-5	-21	-31	-6
Долинск	-14	-12	-7	1	6	11	15	17	13	6	2	-9	2

Южно-Сахалипск	-14	-13	-7	1	7	11	16	17	13	6	-2	-9	2
Корсаков	-11	-10	-5	1	6	10	15	17	14	7	0	-7	3
Холмск	-10	-9	-4	2	7	11	16	18	14	8	0	-6	4
Поронайск	-17	-14	-8	0	4	9	14	16	12	5	-5	-14	0
Александровск-													
Сахалинский	-18	-15	-9	0	6	11	15	16	12	5	-5	-13	0
Макаров	-14	-12	-7	1	5	10	14	16	13	6	-3	-10	2
Невельск	-9	-8	-4	2	7	11	16	18	15	8	1	-5	4
Забайкальская железная дорога													
Борзя	-27	-24	-12	0	9	16	19	16	9	-1	-14	-24	-3
Дарасун	-22	-20	-10	0	8	14	17	14	7	-1	-13	-20	-2
Могоча	-30	-25	-15	-2	7	14	17	14	7	-4	-19	-29	-5
Нерчинск	-31	-26	-14	1	10	17	20	17	9	-1	-17	-28	-4
Чита	-26	-22	-11	0	8	16	18	15	8	-2	-14	-24	-3
Белогорск	-27	-21	-11	2	10	17	21	19	12	1	-14	-24	-1
Благовещенск	-24	-19	-9	3	11	18	21	19	12	2	-12	-22	0
Поярково	-27	-22	-12	2	10	17	21	19	12	2	-12	-24	-1
Свободный	-28	-22	-12	1	10	17	20	18	11	0	-15	-25	-2
Сковородино	-29	-23	-14	-2	7	15	18	15	8	-4	-18	-28	-5
Шимановск	-28	-22	-12	1	9	16	20	17	10	-1	-16	-25	-3
Ерофей Павлович	-28	-22	-13	-1	8	15	18	15	8	-3	-18	-26	-4
Завитинск	-27	-21	-12	1	10	17	20	18	11	1	-13	-24	-2
Восточно-Сибирская железная дорога													
Братск	-21	-19	-10	-1	6	14	18	15	8	-1	-10	-18	-2
Зима	-23	-20	-10	1	9	16	18	15	8	0	-12	-21	-2
Иркутск	-21	-18	-9	1	9	15	18	15	8	1	-10	-18	-1
Перевоз	-27	-25	-15	-4	6	13	17	13	6	-4	-18	-26	-5
Слюдянка	-17	-17	-10	0	6	12	15	14	8	-2	-7	-14	-1
Тайшет	-20	-17	-9	1	8	16	18	15	8	0	-11	-18	-1
Тулун	-22	-18	-10	0	8	14	17	14	7	-1	-12	-20	-2
Бабушкин	-16	-17	-10	-1	5	11	14	14	9	3	-5	-11	0
Улан-Удэ	-25	-21	-10	1	9	16	19	16	9	0	-12	-21	-2

ИНСТРУКЦИЯ
пользователя электронного приложения к Методике
планирования расхода электрической энергии
на нетяговые нужды с использованием
искусственных нейронных сетей

1 Общие положения

Приложение к Методике планирования расхода электрической энергии на нетяговые нужды с использованием искусственных нейронных сетей позволяет выполнять построение нейросетевых моделей процесса электропотребления для структурных подразделений (СП) на основе следующих данных:

- объем производственной деятельности;
- средняя температура окружающего воздуха;
- приведенная мощность, обуславливающая условно-постоянную составляющую расхода электрической энергии;
- приведенная мощность, обуславливающая переменную составляющую расхода электрической энергии;
- уровень небаланса электропотребления;
- расход электрической энергии.

Указанные данные вводятся в Приложение ежемесячно. Минимальный объем данных, необходимый для построения нейросетевой модели, составляет два года.

По имеющимся данным Приложение автоматически выполняет построение искусственной нейронной сети (ИНС) и ее обучение.

Имея обученную нейронную сеть можно осуществлять планирование расхода электрической энергии на последующие периоды. Планирование выполняется ежемесячно.

В процессе эксплуатации нейросетевой модели раз в квартал необходимо ее дообучать на основе вновь полученных данных.

2 Структура Приложения

Приложение реализовано исполняемым файлом «insmanager.exe».

В той же папке, что и исполняемый файл, должны находиться файлы «Инструкция.doc», «Методика.doc» и «Пример расчета.doc», представляющие собой настоящую Инструкцию, действующую Методику и подробный оформленный пример построения нейронной сети.

Файлы с исходными данными, которые загружаются в сеть для создания, обучения и затем дообучения нейросети могут располагаться в любой папке на компьютере. К файлам с исходными данными предъявляются жесткие требования по структуре, которые изложены в разделе «Создание и обучение нейронной сети».

Файлы созданных Приложением нейронных сетей хранятся в папке «nps», расположенной в той же папке, что и исполняемый файл, и автоматически создаваемой при запуске Приложения. Каждой нейронной сети соответствует один Microsoft Excel файл. В этом файле хранится структура нейронной сети, значения всех ее внутренних параметров, исходные данные, которые использовались при ее обучении и дообучении,

результаты выполненных расчетов расхода электроэнергии.

Внимание. Открывать и редактировать файлы из папки «nns» крайне не рекомендуется, так как это может привести к тому, что Приложение не сможет корректно прочитать данные из него при следующем открытии. Если есть необходимость поработать с файлом нейронной сети, то лучше скопировать его в любую другую папку и там уже открывать его. Однако программа в любом случае будет считывать данные из файла, расположенного в папке «nns».

Кроме файлов нейронных сетей, создаваемых Приложением при сохранении результатов работы, в папке «nns» не должно лежать никаких других файлов (особенно с расширением *.XLS).

3 Алгоритм работы с Приложением

При каждом запуске Приложение отображает список созданных нейронных сетей, если таковые имеются.

Создание и обучение нейронной сети выполняется в следующем порядке:

- указывается название нейросети и имя файла, в котором в будущем она будет сохранена;
- загружаются и обрабатываются данные для обучения нейронной сети;
- выполняется процесс обучения сети (Приложение автоматически подбирает наиболее подходящую структуру и значения внутренних параметров нейросети);
- обученная сеть сохраняется, после чего с ней можно работать.


Работа с нейронной сетью заключается в следующем:

- загружается нужная сеть;
- указываются период планирования и планируемые значения влияющих факторов;
- формируется отчет о результатах планирования;
- результаты планирования должны быть сохранены в Приложении;

Раз в квартал рекомендуется дообучать нейронную сеть. Для этого необходимо:

- загрузить в Приложение созданную и обученную ранее сеть;
- добавить новые данные для обучения (влияющие факторы и расход электрической энергии за последний квартал);
- выполнить дообучение, в результате которого Приложение автоматически скорректирует значения внутренних параметров с учетом новых данных;
- сохранить дообученную сеть.

4 Создание и обучение нейронной сети

Для создания нейронной сети необходимо выполнить команду «Файл > Создать ИНС» или воспользоваться одноименной кнопкой  в

главном меню. При этом появляется диалоговое окно, изображенное на рисунке 1, в котором необходимо указать наименование создаваемой нейросети и имя файла, в котором она в последующем будет сохранена.

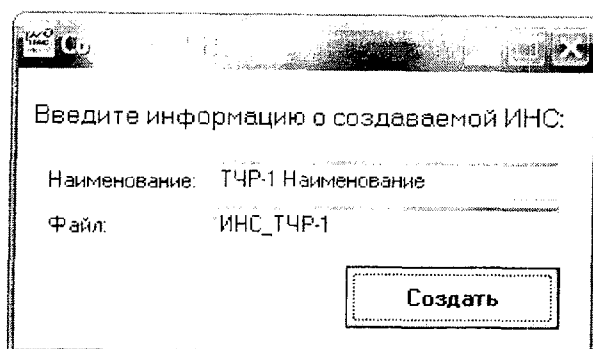


Рисунок 1 – Диалоговое окно создания ИНС

Если файл с таким именем уже имеется в папке «pns», то будет предложено его перезаписать. В этом случае прошлый файл будет утерян.

После нажатия кнопки «Создать» в правом верхнем углу Приложения появится окно, в котором будет отображаться состояние сети. Пример этого окна приведен на рисунке 2.

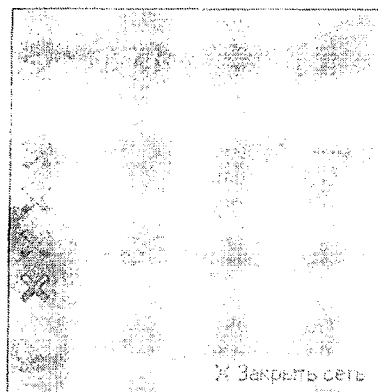


Рисунок 2 – Отображение состояния ИНС


Состояние сети определяется тем, выполнены ли следующие этапы:

- в Приложение загружен массив исходных данных;
- данные обработаны Приложением;
- нейросеть обучена или дообучена на загруженных данных;
- нейросеть сохранена.

Напротив каждого из этапов указывается выполнен ли он. При успешном выполнении этапа крестик заменяется галочкой.

Если с сохраненной сетью происходили какие-то изменения (например, ее дообучали или выполняли расчет плановых значений расхода электрической энергии), то напротив пункта «Сеть сохранена» будет опять показан крестик, что говорит о необходимости ее сохранения перед закрытием Приложения.

После того как сеть создана, появляется возможность загрузить


исходные данные для ее обучения. Для этого необходимо выполнить команду «Управление данными > Открыть данные» или воспользоваться одноименной кнопкой  в главном меню Приложения. После ее нажатия откроется стандартное диалоговое окно Windows для открытия файла, в котором необходимо указать файл с исходными данными для обучения.

К файлу с исходными данными для обучения ИНС предъявляются следующие требования:

- файл с исходными данными для обучения – это Microsoft Excel файл;
- данные расположены на самом первом листе и именно этот лист открывается при загрузке файла (активен);
- данные начинаются со второй строки (первая строка отводится под заголовки и игнорируется Приложением);
- данные идут без пропусков (не должно быть пустых строк или отдельных пустых ячеек) – все данные должны быть заполнены;
- данные идут в четком порядке по столбцам, как отражено в таблице 1.

Таблица 1 – Порядок столбцов в файле с исходными данными

Номер столбца	Параметр	Формат
A	Дата	Дата (год, месяц)
B	Объем производственной деятельности	Числовой
C	Температура окружающего воздуха	Числовой
D	Приведенная мощность, обуславливающая условно-постоянную составляющую расхода электрической энергии	Числовой
E	Приведенная мощность, обуславливающая переменную составляющую расхода электрической энергии	Числовой
F	Расход электрической энергии (без учета небаланса электропотребления)	Числовой
G	Уровень небаланса электропотребления	Числовой

К добавленным из указанного файла исходным данным можно добавлять данные из другого файла. Для этого необходимо воспользоваться командой «Управление данными > Добавить данные» или воспользоваться одноименной кнопкой  в главном меню Приложения. Когда данные загружены, состояние «Данные загружены» в правом верхнем углу Приложения помечается зеленой галочкой.

Когда все необходимые для обучения нейросети данные загружены в Приложение, необходимо **скорректировать значения коэффициентов нормирования**, которые отображены в левом нижнем углу Приложения. Эти


коэффициенты необходимы Приложению для установления крайних граничных значений по каждому параметру. Над коэффициентами нормирования отображается статистическая информация по загруженным данным.

Если фактические значения выходят за пределы интервала, заданного коэффициентами нормирования, то соответствующий коэффициент нормирования выделяется красным цветом и должен быть скорректирован.

Выход за пределы интервала, задаваемого коэффициентами нормирования, нежелателен. Поэтому чтобы в процессе эксплуатации сети не возникло ситуации, что какой-либо из параметров вышел за границы данного интервала, рекомендуется при указании коэффициентов нормирования оставлять некоторый запас как в большую, так и в меньшую сторону. Величина этого запаса определяется индивидуально экспертной оценкой.


При первичной загрузке данных программа автоматически выставляет значения коэффициентов нормирования с двадцатипроцентным запасом.

При нажатии кнопки «Сделать по умолчанию», расположенной ниже таблицы с коэффициентами нормирования, текущие значения коэффициентов сохраняются на диске в файле «_config.ini» и используются в будущем при загрузке новых данных. В этом случае Приложение автоматически не будет выставлять интервалы с двадцатипроцентным запасом, а воспользуется сохраненными значениями, что может потребовать ручной корректировки значений коэффициентов. Для того, чтобы Приложение вновь автоматически рассчитывало значения коэффициентов нормирования, необходимо удалить файл «_config.ini».

Когда установлены граничные значения интервалов по всем (как входным, так и выходным) параметрам, необходимо **разбить** весь имеющийся объем данных на две выборки – обучающую и тестовую. Это выполняется в Приложении автоматически при выполнении команды «Управление данными > Обработать данные» или при нажатии одноименной кнопки  в главном меню.


Визуально результат разбиения отображается в основной таблице с данными – зеленым цветом устанавливаются маркеры в столбцах «Г» (обучение) и «Т» (тест). Промаркированные данные используются для соответствующих целей. Каждая строка может быть использована только при обучении, только при тесте или, если объем данных не велик, то и при обучении, и при тесте.

Когда данные разбиты на две выборки, состояние «Данные обработаны» в правом верхнем углу Приложения помечается зеленой галочкой и становится доступной функция обучения сети.

Обучение нейронной сети осуществляется при выполнении команды «Обучение ИНС > Обучить ИНС» или при нажатии одноименной кнопки  в главном меню.

Обучение происходит в автоматическом режиме. В это время

Приложение перебирает множество вариантов сетей с различными параметрами и выбирает наилучшую сеть из всех. Количество тестируемых сетей составляет несколько сотен тысяч, поэтому процесс обучения является крайне ресурсоемким. В зависимости от производительности компьютера этот процесс может занять от нескольких минут до получаса. Однако это разовый процесс, выполняемый при первичном обучении сети. Работа с обученной сетью и процесс дообучения осуществляются значительно быстрее.

Когда перебор параметров закончится и если была найдена наиболее подходящая сеть, то на экране появится сообщение, что сеть успешно обучена, состояние «Сеть обучена» в правом верхнем углу Приложения помечается зеленой галочкой, а также становится доступной функция сохранения сети (команда «Файл > Сохранить ИНС» или одноименная кнопка  в главном меню. В случае успешного сохранения сети зеленой галочкой помечается состояние «Сеть сохранена».

Обучение сети в некотором смысле является случайным процессом и в некоторых неблагоприятных случаях может завершиться неудачей. В этом случае следует повторить процесс обучения. Если второй раз сеть вновь не обучилась, тогда следует проанализировать исходные данные на корректность.

После сохранения обученной нейронной сети Приложение можно закрывать – результаты сохраняются в папке «pns».

5 Работа с обученной нейронной сетью

Если нейронная сеть только что обучена, то с ней сразу можно начинать работать. Если же нейронная сеть ранее была обучена и сохранена, то при запуске Приложения ее необходимо загрузить. Созданные нейронные сети отображаются в одноименном списке при запуске Приложения.

Внешний вид Приложения с загруженной или только что обученной сетью приведен на рисунке 3.

В центре окна отображаются графики зависимости расхода электрической энергии от одного из влияющих факторов при постоянных значениях остальных факторов. Имеется возможность устанавливать численные значения всех четырех параметров, мгновенно получая смоделированное значение расхода электрической энергии.

В поле графика снизу красной линией отображается диапазон значений рассматриваемого фактора, в пределах которого имелись данные в обучающей выборке. Соответственно вне этого диапазона зависимость расхода электроэнергии от выбранного фактора получается исключительно расчетным путем (на основе экстраполяции).

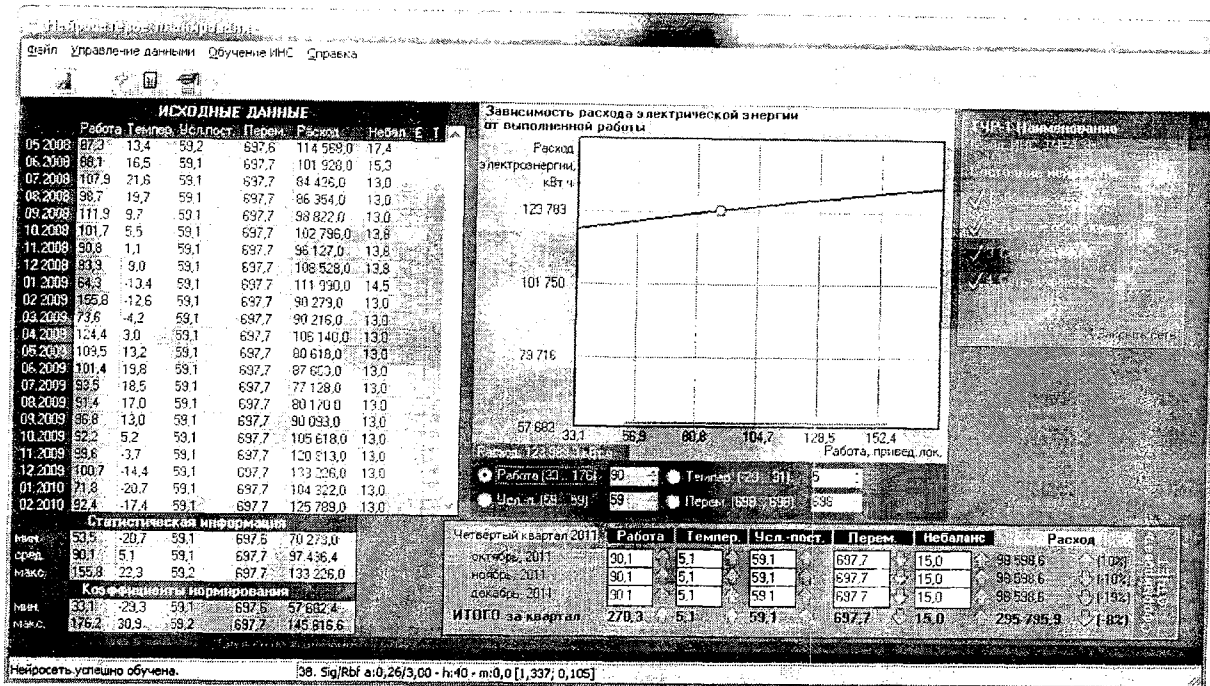


Рисунок 3 – Внешний вид Приложения с обученной нейронной сетью

Пример отображения зависимости расхода электрической энергии от температуры при постоянном значении объема производственной деятельности, а также постоянных приведенных мощностях, обеспечивающих условно-постоянную и переменную составляющие расхода электроэнергии, отображен на рисунке 4.

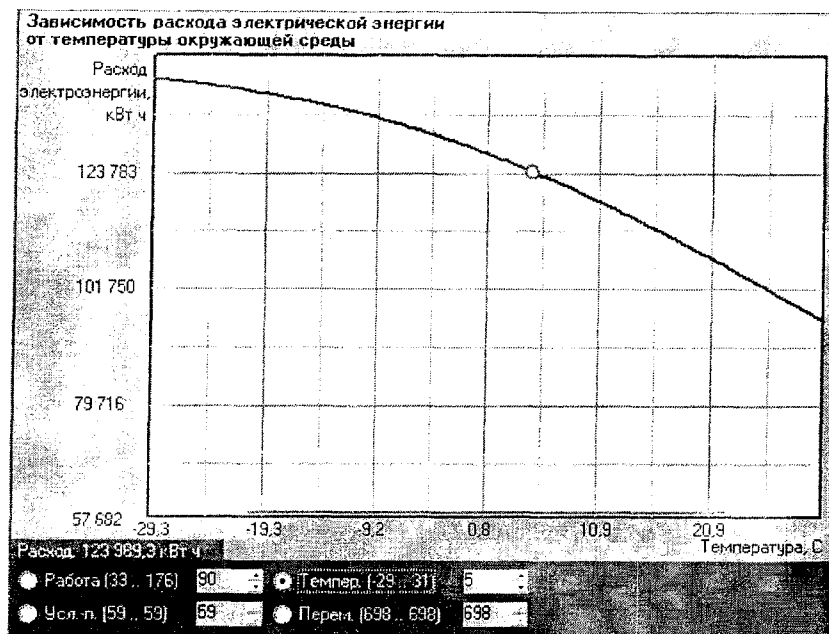


Рисунок 4 – Пример отображения зависимости расхода электрической энергии от температуры при постоянных значениях остальных параметров

Ниже графика находится таблица, в которой указываются планируемые значения влияющих факторов на расчетный период. Область таблицы можно разбить на четыре участка в соответствии с рисунком 5.

1	2					3		4
Четвертый квартал 2011	Работа	Темпер.	Усл.-пост.	Перем.	Небаланс	Расход		
октябрь, 2011	62,3	3,1	59,1	697,7	13,0	87 665,0	(9%)	
ноябрь, 2011	64	-2,5	61,0	697,7	15,0	144 059,0	(32%)	
декабрь, 2011	84	-8,4	61,0	698,5	15,0	145 791,6	(20%)	
ИТОГО за квартал	210,3	-2,6	60,4	698,0	14,3	387 515,6	(21%)	

Рисунок 5 – Таблица для задания планируемых значений влияющих факторов на расчетном периоде

Область 1 показывает расчетный период, при нажатии на который появляется диалоговое окно для его смены.

В области 2 устанавливаются планируемые значения влияющих факторов. При этом стрелками показывается, выше повые значения или ниже по сравнению со значениями за такой же месяц предыдущего года.

В области 3 отображаются смоделированные сетью значения расхода электрической энергии, а также отображается результат сравнения расчетного значения расхода электроэнергии с фактическим за аналогичный месяц предыдущего года. Результат сравнения отображается стрелкой (превышает или оказывается ниже) и в процентах.

При нажатии на область 4 появляется таблица с результатами планирования расхода электрической энергии.

Внимание. При смене расчетного периода может возникнуть ситуация, когда для данного периода уже выполнялся расчет расхода электроэнергии и результаты его были сохранены. В этом случае Приложение предложит отобразить сохраненные (старые) значения.

Если с момента выполнения предыдущего расчета нейросеть не дообучалась, то расчетные значения никак не изменятся.

Однако если предыдущий расчет выполнялся в более старой версии сети (то есть с тех пор сеть прошла процесс дообучения), то те же значения влияющих факторов могут привести к отличным значениям расхода электроэнергии. Чтобы спланированные значения расхода электроэнергии не изменялись, Приложение предложит отображать старые прогнозные значения. В этом случае моделирование расхода электрической энергии для данного периода не выполняется, а лишь отображаются результаты предыдущего расчета. Пересчет значений по новой (дообученной) нейросетевой модели будет выполнен при смене любого из влияющих факторов.

Результатом расчета планируемого значения расхода электроэнергии является таблица, которая появляется при нажатии на область 4 таблицы (см. рисунок 5). Пример отображения итоговой таблицы приведен на рисунке 6.

Расчетный период	без учета небаланса		с учетом небаланса		за счет изменения объема потребления	с фактическим за аналогичный период			ВСЕГО	
	2010 год	2011 год	2010 год	2011 год		за счет изменения потребления	за счет изменения уд. пост. составляющей	за счет изменения переменной составляющей		
	(факт. знач.)	(расч. знач.)	(факт. знач.)	(расч. знач.)		руб/кВтч	руб/кВтч	руб/кВтч		
сентябрь	89 920	97 665	101 649	110 361	-211	7 956	0	0	968	8 713
ноябрь	109 475	144 049	123 754	165 656	-965	2 610	32 929	0	7 328	41 902
декабрь	121 993	145 792	137 905	167 660	174	-1 841	12 718	12 747	5 957	29 755
ИТОГО:	321 388	387 506	363 309	443 048	-1 001	8 724	45 647	12 747	14 252	90 370

При тарифе 2 руб/кВтч планируемые затраты: 886 096 руб.


Рисунок 6 – Итоговая таблица с результатами расчета планируемых значений расхода электрической энергии

В этой таблице приводится результат сравнения расчетного значения расхода электроэнергии с фактическим значением за аналогичный период предыдущего года как с учетом уровня небаланса электропотребления, так и без их учета. Кроме того, разница между прошлым годом и текущим расходом электрической энергии раскидывается по влияющим факторам. При этом учитывается, насколько изменились значения каждого фактора и насколько велико влияние каждого из факторов.

В Приложении на основании выражения (13) автоматически рассчитываются и отображаются планируемые затраты на приобретение электрической энергии на весь расчетный период. Для этого под таблицей имеется поле для установки тарифа. Результат расчета также отображается в рублях под таблицей.

При нажатии на кнопку «Открыть таблицу в Microsoft Excel», расположенную под таблицей, данный отчет открывается в указанной программе и может быть сохранен для дальнейшего использования.

Для передачи результатов моделирования в ИТЭЦ рекомендуется сохранять результаты расчета в файле с моделью при помощи кнопки «Сохранить данные для передачи в ИТЭЦ». В этом случае результат расчета сохраняется в файле с моделью в папке «nns».


При нажатии на кнопку «Сохранить данные для передачи в ИТЭЦ» результаты расчета сохраняются лишь в оперативной памяти Приложения. Окончательная запись их на жесткий диск (в файл с нейросетью) осуществляется при выполнении команды «Файл > Сохранить ИНС» или при нажатии на одноименную кнопку  в главном меню.

6 Дообучение нейронной сети


В процессе эксплуатации нейронной сети появляются новые фактические данные о значениях влияющих параметров и расхода электрической энергии. Обученная некогда сеть ничего не знала об этих данных. И, как следствие, ее внутренние параметры могут оказаться не

оптимальными в условиях меняющейся действительности.

Для корректировки внутренних параметров нейросети в Приложении предусмотрена функция ее дообучения. Для этого необходимо загрузить обученную ранее сеть. При этом будут отображены те данные, на которых сеть обучалась.

После этого с помощью команды «Управление данными > Добавить данные» или посредством одноименной кнопки  в главном меню Приложения добавляются новые данные для дообучения. Новые данные должны быть представлены в отдельном файле в таком же виде и с теми же требованиями, которые предъявляются к файлам с исходными данными (см. пункт «Создание и обучение нейронной сети»). Как правило, новые данные представляют собой трехмесячную выборку.

Затем данные должны быть обработаны (разбиты на две выборки) с помощью команды «Управление данными > Обработать данные», После чего можно дообучать нейронную сеть.

Для этого необходимо выполнить команду «Обучение ИНС > Дообучить ИНС» или нажать на одноименную кнопку  в главном меню. После успешного дообучения сеть может быть сохранена.

7 Минимальные системные требования

В целом Приложение не является ресурсоемким. Однако процесс обучения нейронной сети заключается в переборе огромного количества вариантов сетей и выборе одной наиболее подходящей. Этот процесс может занять от пары минут до нескольких десятков минут.

Минимальные системные требования приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Минимальные системные требования

Параметр	Минимальное значение	Рекомендуемое значение
Операционная система	MS Windows XP, Windows Vista, Windows 7	MS Windows XP
Пакет Microsoft Office	MS Excel 2003 или MS Excel 2007	MS Excel 2003
Частота процессора	Не ниже 1 ГГц	более 2 ГГц
Оперативная память	Не ниже 512 МБ	более 1 ГБ

Внимание. При загрузке нейронной сети, при загрузке исходных данных для обучения или дообучения сети, при сохранении нейросети, а также при открытии отчета о результатах планирования в MS Excel в фоновом режиме запускается MS Excel и с ним идет работа. Поэтому пока Приложение выполняет эти функции, не рекомендуется что-то делать на компьютере вплоть до того, что не двигать и не нажимать что-нибудь мышью. Кроме того, рекомендуется перед выполнением этих операций

закрывать все приложения Microsoft Excel, а те из них, к которым будет происходить обращение – в обязательном порядке.

При обучении сети Приложение не обращается к сторонним программам и в это время можно выполнять другие функции (например, работать с документами MS Office), однако это может замедлить процесс обучения.

Пример расчета планируемого расхода электрической энергии на сетевые нужды

Необходимо выполнить расчет плановых значений расхода электрической энергии для локомотивного ремонтного депо Таганай Южно-Уральской железной дороги на 3-й квартал 2011 г.

1 Сбор первичных исходных данных

Ремонтное локомотивное депо ТЧР-21 Таганай выполняет следующие виды ремонта и технического обслуживания локомотивов: ТР-1, ТР-2, ТР-3, ТО-5, ТО-2 электровозов ВЛ10, ТР-1, ТО-5, ТО-3, ТО-2 тепловозов 2ТЭ10, ТР-2, ТР-1, ТО-5, ТО-3, ТО-2 тепловозов ЧМЭЗ, а также обточку колесных пар в рамках ТО-4.

В состав ТЧР-21 входят основное депо на ст. Златоуст, а также производственные участки на ст. Бердяуш, Миасс и Кропачево. Т.к. все участки имеют схожие климатические условия и направления производственной деятельности, то целесообразно рассматривать в качестве объекта моделирования депо в целом.

Сбор первичных исходных данных осуществляется в соответствии с табл. 1-4 Методики за период с января 2009 г. по май 2011 г.

Информация о расходе и небалансе электропотребления собирается в произвольной форме (таблица 1) и в дальнейшем может быть непосредственно перенесена в таблицу с обучающей выборкой.

Таблица 1 – Расход электрической энергии и небаланс электропотребления по локомотивному ремонтному депо Таганай

Отчетный период	Расход электрической энергии без учета небаланса W, кВт·ч	Уровень небаланса электропотребления ΔW , кВт·ч
2009, январь	698 987	118828
2009, февраль	504 473	90805
2009, март	409 260	77759
2009, апрель	242 011	50822
2009, май	175 731	36904
2009, июнь	178 758	35752
2009, июль	186 577	31718
2009, август	142 202	21330
2009, сентябрь	187 041	28056
2009, октябрь	306 958	52183
2009, ноябрь	422 797	71875
2009, декабрь	479 776	91157
2010, январь	622 273	105786
2010, февраль	523 288	104658

Отчетный период	Расход электрической энергии без учета небаланса W, кВт·ч	Уровень небаланса электропотребления ΔW , кВт·ч
2010, март	459 695	91939
2010, апрель	262 008	52402
2010, май	184 617	36923
2010, июнь	229 796	43661
2010, июль	171 120	32513
2010, август	258 367	38755
2010, сентябрь	188 563	28284
2010, октябрь	312 892	50063
2010, ноябрь	295 203	53137
2010, декабрь	404 855	80971
2011, январь	603 000	108540
2011, февраль	519 848	103970
2011, март	441 988	88398
2011, апрель	268 136	53627
2011, май	179 456	35891

Информация об объеме производственной деятельности локомотивного депо за рассматриваемый период приведена в таблице 2. Для перевода ремонтной работы из физических единиц в приведенные используются коэффициенты трудоемкости (таблица 3), устанавливаемые Дирекцией по ремонту тягового подвижного состава.

Результаты расчета объема производственной деятельности ТЧР-21 приведены в таблице 4.

Сведения о составе электрооборудования (ЭО), вводе или выводе его из эксплуатации за рассматриваемый период приведены в таблицах 5 и 6.

Сведения о фактической температуре воздуха в городе Златоуст приведены в таблице 7.

Информация о существенном изменении режимов работы ЭО отсутствует, следовательно, таблица 4 Методики не заполняется.

Таблица 2 – Объем ремонта локомотивов в ремонтном локомотивном депо Таганай

Период	Вид ремонта																		
	ТР-3 ВЛ-10	ТР-3 ВЛ-10К	ТР-2 ВЛ-10	ТР-2 ВЛ10К	ТР-1 ВЛ-10	ТР-1 ВЛ10К	ТР-1 ВЛ10К	ТР-1 ВЛ10К	ТР-1 ВЛ10К	ТР-1 ВЛ10К	ТР-1 ВЛ10К	ТР-1 ВЛ10К	ТР-1 ВЛ10К	ТР-1 ВЛ10К	ТР-1 ВЛ10К				
2009, январь	2	3	8	1	47	4	5	2	0	4	13	232	66,5	148	8	28	27	3	9
2009, февраль	4	1	5	1	44	8	2	3	0	5	12	279	77	109	13	8	5	1	5
2009, март	5	0	6	5	48	10	0	2	0	7	10	318	78	139	16	4	0	1	6
2009, апрель	3	2	6	1	45	14	1	2	0	8	16	309	105	167	9	8	1	3	13
2009, май	4	1	5	2	55	10	3	3	0	11	24	271	138	202	15	6	1	0	1
2009, июнь	5	0	6	1	45	14	5	2	0	12	29	316	132	203	14	2	4	0	0
2009, июль	5	0	4	0	42,5	11	5,5	2	0	7,5	29	331	134,5	202	15	6	2	0	0
2009, август	4	1	2	2	55	19	3	1	0	12,5	25	359	141	221	16	0	12	0	0
...
2010, август	3	2	6	1	50	21	2	0	0	8	20	335	108	200	22	0	0	0	0
2010, сентябрь	3	1	5	1	50	21	0	1	0	11	23	335	118	200	21	0	0	0	0
2010, октябрь	5	0	7	0	64	0	2	0	0	8	25	330	123	192	20	0	0	0	1
2010, ноябрь	5	0	5	1	78	0	1	1	1	8	18	335	111	175	22	6	0	0	1
2010, декабрь	4	0	11	0	61	0	1	1	0	9	27	292	107	167	20	8	0	2	0
2011, январь	1	1	14	0	76	2	3	1	0	6	26	333	67	178	26	0	0	3	1
2011, февраль	0	2	4	0	69	3	1	3	1	5	18	339	80	170	25	9	0	1	1
2011, март	2	0	6	0	78	3	0	2	0	7	18	334	73	147	25	3	0	1	0
2011, апрель	3	0	8	0	78	1	3	3	1	5	15	367	116	200	27	1	0	0	0
2011, май	2	1	11	1	63	3	1	7	1	6	19	366	117	200	25	9	0	3	0

Таблица 3 – Коэффициенты приведения ремонта локомотивов из физических в приведенные единицы в ДРТ Южно-Уральской железной дороги

Вид ремонта	Вид и серия подвижного состава												
	Электровозы										Тепловозы		
	ВЛ-10	ЧС-7	2ЭС6	ЧС-2	ВЛ-60	ВЛ-80	ЭП1	ЭПК	ТГМ23	ЧМЭЗ	ТЭ10		
СР	14,897	-	-	-	-	15,247	-	-	-	-	9,529	-	
СР+ТО-6	14,897	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,658	-	
ТР-3	11,957	-	-	-	10,969	14,864	-	-	-	-	6,279	12,089	
ТР-3 +ТО-6	14,085	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,401	-	
ТР-2	1,954	2,714	-	-	3,193	4,542	3,908	-	-	-	2,443	6,255	
ТР-1	1,057	1,357	-	-	1,029	1,44	0,98	-	0,602	-	0,665	1,055	
ТО-5	0,557	0,68	-	-	0,512	0,721	0,487	-	-	-	0,333	0,528	
ТО-4	0,01	0,01	-	-	0,010	0,01	0,01	-	-	-	0,01	0,01	
ТО-3	0,548	0,548	-	-	-	-	-	-	0,260	-	0,315	0,434	
ТО-2	0,026	0,030	0,035	0,016	0,025	0,031	0,027	0,027	0,010	0,02	0,02	0,024	

Таблица 4 – Объем производственной деятельности ремонтного локомотивного депо Таганай

Отчетный период	Объем производственной деятельности V , прив. ед.	Отчетный период	Объем производственной деятельности V , прив. ед.
2009, январь	196,0	2010, апрель	193,0
2009, февраль	159,5	2010, май	176,7
2009, март	167,9	2010, июнь	164,9
2009, апрель	175,9	2010, июль	187,7
2009, май	180,6	2010, август	179,4
2009, июнь	175,7	2010, сентябрь	164,9
2009, июль	164,2	2010, октябрь	170,5
2009, август	189,1	2010, ноябрь	185,5
2009, сентябрь	176,9	2010, декабрь	166,9
2009, октябрь	197,1	2011, январь	166,5
2009, ноябрь	185,1	2011, февраль	145,7
2009, декабрь	175,2	2011, март	147,1
2010, январь	152,2	2011, апрель	166,7
2010, февраль	166,6	2011, май	171,1
2010, март	185,2		

Таблица 5 – Перечень ЭО, применяемого в локомотивном ремонтном депо Таганай

Наименование ЭО	Кол-во единиц оборудования	Установленная мощность единицы оборудования $P_{\text{н}}$, кВт	Коэффициент использования нагрузки $k_{\text{н}}$
Электромашинный цех № 2			
Станок токарный	1	7,5	0,8
Печь сушильная Т1628А	1	42	0,9
Печь сушильная Т1628Б	1	42	0,9
Печь сушильная Т1628	1	42	0,9
Нагреватель индукционный № 1	1	5	0,4
Нагреватель индукционный № 2	1	5	0,4
...
НГОЛ Кропачево			
Эл.насос перекачки масла №1	1	4	0,3
Эл.насос перекачки масла №2	1	4	0,2
Эл.насос дизельного масла №1	1	4	0,3
Эл.насос дизельного масла №2	1	4	0,2
Сварочный трансформ. ТПН/1250 №2	1	17,3	0,2

Таблица 6 – Перечень ЭО, введенного в эксплуатацию или выведенного из эксплуатации

Дата ввода в эксплуатацию/вывода из эксплуатации	Наименование ЭО	Место установки (объект моделирования)	Кол-во единиц	Установленная мощность единицы оборудования P_n , кВт	Коэффициент использования нагрузки k_n
Введенное в эксплуатацию оборудование					
11.01.2009	Мостовой кран	ТЧР-21 цех БИР	1	34	0,6
16.02.2009	Компрессор ВП20/8	ТЧР-21 компрессорное отделение	1	130	0,9
Выведенное из эксплуатации оборудование					
15.05.2010	Компрессор ДЭН-200ПМ	ПГОЛ Кропачево	3	200	0,8
10.01.2010	Лампы накаливания	ТЧР-21	-	23,6	0,5

Таблица 7 – Фактическая температура воздуха в г. Златоуст

Отчетный период	Фактическая среднемесячная температура воздуха t , °С	Отчетный период	Фактическая среднемесячная температура воздуха t , °С
2009, январь	-11,5	2010, апрель	4,8
2009, февраль	-10,2	2010, май	13,2
2009, март	-3,7	2010, июнь	18,8
2009, апрель	1,3	2010, июль	19,2
2009, май	11,1	2010, август	19,1
2009, июнь	17,0	2010, сентябрь	10,3
2009, июль	15,6	2010, октябрь	2,2
2009, август	14,5	2010, ноябрь	-1,1
2009, сентябрь	11,5	2010, декабрь	-11,8
2009, октябрь	5,0	2011, январь	-14,2
2009, ноябрь	-4,1	2011, февраль	-16,1
2009, декабрь	-13,9	2011, март	-7,1
2010, январь	-18,7	2011, апрель	4,0
2010, февраль	-15,3	2011, май	11,2
2010, март	-5,7		

2 Обработка первичных исходных данных и формирование обучающей выборки

В данном разделе осуществляется расчет приведенной мощности ЭО локомотивного депо по условно-постоянной и переменной составляющим электропотребления.

Рассмотрим порядок расчета на примере электромашиного цеха №2.

Приведенная мощность единицы ЭО рассчитывается по формуле (3) Методики. Например, приведенная мощность станка токарного составит $P_{пр.} = 0,8 \cdot 7,5 = 6$ кВт, печи сушильной Т1628А $P_{пр.} = 0,9 \cdot 42 = 37,8$ кВт, индукционного нагревателя $P_{пр.} = 0,4 \cdot 5 = 2$ кВт. Аналогично определяются приведенные мощности остального оборудования.

Выполняем разделение общего перечня ЭО на основные группы, указанные в п. 26 и 27 Методики. Например, к группе «электротермическое оборудование» относим три сушильных печи Т1628А и два индукционных нагревателя.

Приведенную мощность ЭО каждой из групп определим по формуле (4) Методики. С учетом времени работы смены $T_{см} = 8$ ч для группы «электротермическое оборудование» приведенная мощность составит $P_{пр. \text{ э.терм.}} = \frac{8}{24} (3 \cdot 37,8 + 2 \cdot 2) = 39,1$ кВт, где 37,8 кВт – приведенная мощность одной сушильной печи, 2 кВт – приведенная мощность одного индукционного нагревателя.

Аналогично определяем приведенную мощность остальных групп ЭО.

Приведенные мощности ЭО по условно-постоянной и переменной составляющим расхода электроэнергии определим путем суммирования приведенных мощностей соответствующих групп ЭО по формулам (5) и (6) Методики.

В результате приведенная мощность по условно-постоянной составляющей расхода электроэнергии в электромашином цехе составила $P_{пр.}^{у.п.} = 2,5$ кВт, а по переменной составляющей $P_{пр.}^{перем} = 165,1$ кВт.

Проведя аналогичный расчет по остальным цехам и производственным участкам и просуммировав их приведенные мощности, получаем, что по состоянию на текущий момент условно-постоянная составляющая в целом по депо равна 55,5 кВт, а переменная – 524,2 кВт.

Поскольку за рассматриваемый период происходили изменения в составе ЭО, то необходимо выполнить пересчет приведенной мощности ЭО на основании данных, представленных в таблице 6.

Т.к. в мае 2010 г. на ПГОЛ Кропачево были выведены из эксплуатации три компрессора мощностью 200 кВт каждый с коэффициентом использования нагрузки 0,8, то с января 2009 г. по апрель 2010 г.

приведенная мощность по переменной составляющей расхода электроэнергии составит $P_{\text{пр.}}^{\text{перем}} = 524,2 + \frac{8}{24} \cdot (3 \cdot 200 \cdot 0,8) = 684,2$ кВт.

В феврале 2009 г. введен в эксплуатацию компрессор В1120/8 мощностью 130 кВт с коэффициентом использования нагрузки 0,9. Следовательно, в январе 2009 г. приведенная мощность по переменной составляющей расхода электроэнергии составит

$$P_{\text{пр.}}^{\text{перем}} = 684,2 - \frac{8}{24} \cdot (1 \cdot 130 \cdot 0,9) = 645,2 \text{ кВт.}$$

В январе 2010 г. произведена замена осветительных приборов, в результате чего установленная мощность светильников снизилась на 23,6 кВт. Тогда с января 2009 г. по декабрь 2009 г. приведенная мощность по условно-постоянной составляющей расхода электроэнергии была выше и составляла $P_{\text{пр.}}^{\text{у.п.}} = 55,5 + \frac{8}{24} \cdot (23,6 \cdot 0,5) = 59,5$ кВт.

Результаты расчета приведенной мощности сводятся в итоговую форму (таблица 8) в соответствии с таблицей 5 Методики. В эту же таблицу записываются данные о расходе и уровне небаланса электрической энергии (в относительных значениях) из таблицы 1, объеме производственной деятельности из таблицы 4, а также о фактической температуре воздуха из таблицы 7.

Таблица 8 – Форма представления данных для обучения нейронной сети по ТЧР-21 Таганай

Период	Объем производственной деятельности V , прив. ед.	Фактическая среднемесячная температура воздуха t , °С	Приведенная мощность по соответствующей составляющей расхода электроэнергии		Расход электрической энергии W , кВт·ч	Уровень небаланса электропотребления δ_w , %
			условно-постоянная $P_{\text{пр.}}^{\text{у.п.}}$, кВт	переменная $P_{\text{пр.}}^{\text{перем}}$, кВт		
1	2	3	4	5	6	7
2009, январь	196,0	-12	59,5	645,2	698 987	17,0
2009, февраль	159,5	-10	59,5	684,2	504 473	18,0
2009, март	167,9	-4	59,5	684,2	409 260	19,0
2009, апрель	175,9	1	59,5	684,2	242 011	21,0
2009, май	180,6	11	59,5	684,2	175 731	21,0
2009, июнь	175,7	17	59,5	684,2	178 758	20,0
2009, июль	164,2	16	59,5	684,2	186 577	17,0
2009, август	189,1	15	59,5	684,2	142 202	15,0
2009, сентябрь	176,9	12	59,5	684,2	187 041	15,0
2009, октябрь	197,1	5	59,5	684,2	306 958	17,0
2009, ноябрь	185,1	-4	59,5	684,2	422 797	17,0

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7
2009, декабрь	175,2	-14	59,5	684,2	479 776	19,0
2010, январь	152,2	-19	55,5	684,2	622 273	17,0
2010, февраль	166,6	-15	55,5	684,2	523 288	20,0
2010, март	185,2	-6	55,5	684,2	459 695	20,0
2010, апрель	193,0	5	55,5	684,2	262 008	20,0
2010, май	176,7	13	55,5	524,2	184 617	20,0
2010, июнь	164,9	19	55,5	524,2	229 796	19,0
2010, июль	187,7	19	55,5	524,2	171 120	19,0
2010, август	179,4	19	55,5	524,2	258 367	15,0
2010, сентябрь	164,9	10	55,5	524,2	188 563	15,0
2010, октябрь	170,5	2	55,5	524,2	312 892	16,0
2010, ноябрь	185,5	-1	55,5	524,2	295 203	18,0
2010, декабрь	166,9	-12	55,5	524,2	404 855	20,0
2011, январь	166,5	-14	55,5	524,2	603 000	18,0
2011, февраль	145,7	-16	55,5	524,2	519 848	20,0
2011, март	147,1	-7	55,5	524,2	441 988	20,0
2011, апрель	166,7	4	55,5	524,2	268 136	20,0
2011, май	171,1	11	55,5	524,2	179 456	20,0

3 Создание и обучение ИНС

Создание нейронной сети ведется в соответствии с разделом 4 Инструкции. Для этого запускаем приложение «`inpmanager.exe`» и выполняем команду «Файл > Создать ИНС». В открывшемся окне вводим наименование создаваемой ИНС:

Создание ИНС

Введите информацию о создаваемой ИНС:

Наименование: ТЧР-21 Таганай

Файл: ИНС_ТЧР-21 Таганай

Создать

Рисунок 1 – Диалоговое окно создания ИНС

Выполняем команду «Управление данными > Открыть данные» и открываем файл «Обучение - Таганай.xls». В результате в основной блок программы загружаются исходные данные о значениях влияющих факторов и расходе электроэнергии из таблицы 8:

Нейросетевое планирование

Файл Управление данными Справка

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

	Работа	Темпер	Успешност.	Перем	Расход	Небал.	E	T
01.2008	156.0	-11.5	59.5	645.2	639 987.0	17.0		
02.2008	159.5	-10.2	59.5	604.2	504 473.0	19.0		
03.2008	167.9	-3.7	59.5	604.2	409 260.0	19.0		
04.2008	175.9	1.3	59.5	604.2	242 011.0	21.0		
05.2008	180.6	11.1	59.5	604.2	175 731.0	21.0		
06.2008	175.7	17.0	59.5	604.2	179 758.0	20.0		
07.2008	164.2	15.6	59.5	604.2	186 577.0	17.0		
08.2008	189.1	14.5	59.5	604.2	142 202.0	15.0		
09.2008	176.9	11.5	59.5	604.2	107 041.0	15.0		
10.2008	197.1	5.0	59.5	604.2	306 958.0	17.0		
11.2008	185.1	-4.1	59.5	604.2	422 797.0	17.0		
12.2008	175.2	-13.9	59.5	604.2	479 776.0	19.0		
01.2010	152.2	-18.7	55.5	604.2	622 273.0	17.0		
02.2010	166.6	-15.3	55.5	604.2	523 208.0	20.0		
03.2010	185.2	-5.7	55.5	604.2	459 635.0	20.0		
04.2010	193.0	4.8	55.5	604.2	262 008.0	20.0		
05.2010	176.7	13.2	55.5	524.2	184 617.0	20.0		
06.2010	164.9	18.8	55.5	524.2	229 796.0	19.0		
07.2010	187.7	19.2	55.5	524.2	171 120.0	19.0		
08.2010	179.4	19.1	55.5	524.2	253 367.0	15.0		
09.2010	164.9	10.3	55.5	524.2	189 563.0	15.0		
10.2010	170.5	2.2	55.5	524.2	312 832.0	16.0		

Статистическая информация

Мин.	145.7	-18.7	55.5	524.2	142 202.0			
Сред.	173.6	1.6	57.2	611.1	339 989.8			
Макс.	197.1	19.2	59.5	604.2	639 987.0			

Коэффициенты нормирования

Мин.	133.4	-26.3	54.8	492.2	30 845.0			
Макс.	207.4	26.0	60.3	716.2	810 244.0			

Данные успешно считаны из файла.

Рисунок 2 – Загрузка исходных данных в электронное приложение

Для разделения исходных данных на обучающую и тестовую выборки используем команду «Управление данными > Обработать данные». Когда данные разбиты на две выборки, состояние «Данные обработаны» в правом верхнем углу Приложения помечается зеленой галочкой и становится доступной функция обучения сети:

Нейросетевое планирование

Файл Управление данными Обучение ИИС Справка

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

	Работа	Темпер	Успешност.	Перем	Расход	Небал.	E	T
01.2008	156.0	-11.5	59.5	645.2	639 987.0	17.0		
02.2008	159.5	-10.2	59.5	604.2	504 473.0	19.0		
03.2008	167.9	-3.7	59.5	604.2	409 260.0	19.0		
04.2008	175.9	1.3	59.5	604.2	242 011.0	21.0		
05.2008	180.6	11.1	59.5	604.2	175 731.0	21.0		
06.2008	175.7	17.0	59.5	604.2	179 758.0	20.0		
07.2008	164.2	15.6	59.5	604.2	186 577.0	17.0		
08.2008	189.1	14.5	59.5	604.2	142 202.0	15.0		
09.2008	176.9	11.5	59.5	604.2	107 041.0	15.0		
10.2008	197.1	5.0	59.5	604.2	306 958.0	17.0		
11.2008	185.1	-4.1	59.5	604.2	422 797.0	17.0		
12.2008	175.2	-13.9	59.5	604.2	479 776.0	19.0		
01.2010	152.2	-18.7	55.5	604.2	622 273.0	17.0		
02.2010	166.6	-15.3	55.5	604.2	523 208.0	20.0		
03.2010	185.2	-5.7	55.5	604.2	459 635.0	20.0		
04.2010	193.0	4.8	55.5	604.2	262 008.0	20.0		
05.2010	176.7	13.2	55.5	524.2	184 617.0	20.0		
06.2010	164.9	18.8	55.5	524.2	229 796.0	19.0		
07.2010	187.7	19.2	55.5	524.2	171 120.0	19.0		
08.2010	179.4	19.1	55.5	524.2	253 367.0	15.0		
09.2010	164.9	10.3	55.5	524.2	189 563.0	15.0		
10.2010	170.5	2.2	55.5	524.2	312 832.0	16.0		

Статистическая информация

Мин.	145.7	-18.7	55.5	524.2	142 202.0			
Сред.	173.6	1.6	57.2	611.1	339 989.8			
Макс.	197.1	19.2	59.5	604.2	639 987.0			

Коэффициенты нормирования

Мин.	133.4	-26.3	54.8	492.2	30 845.0			
Макс.	207.4	26.0	60.3	716.2	810 244.0			

Обработка данных успешно завершена.

Рисунок 3 – Обработка исходных данных

Выполняем команду «Обучение ИНС > Обучить ИНС». Обучение происходит в автоматическом режиме. В это время Приложение перебирает множество вариантов сетей с различными параметрами и выбирает наилучшую сеть из всех:

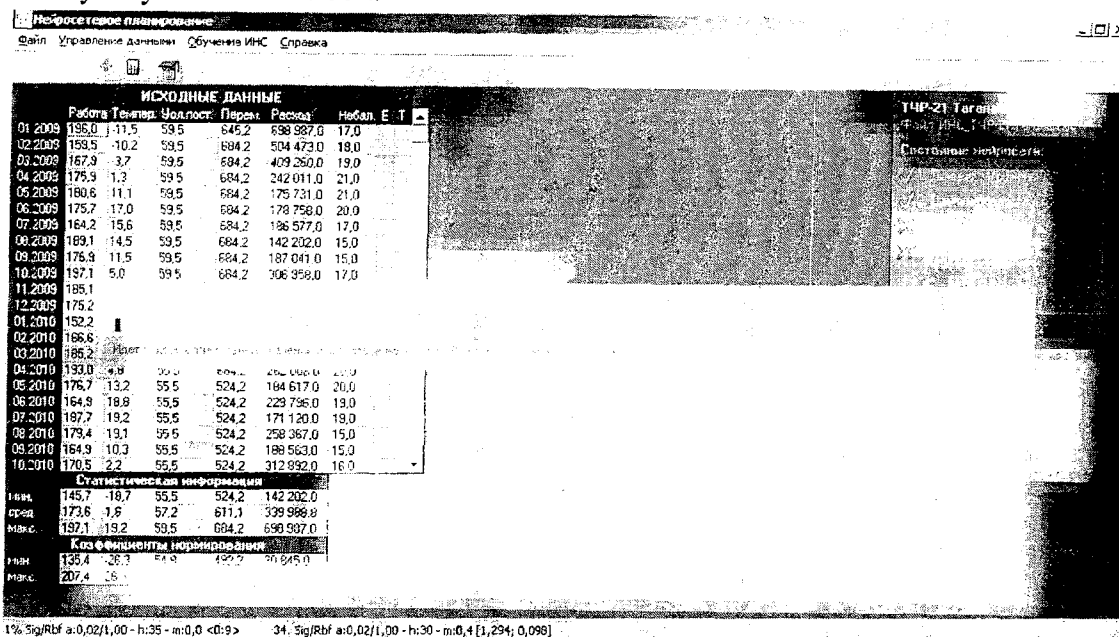


Рисунок 4 – Обучение ИНС

Когда перебор параметров закончится, то на экране появится сообщение, что сеть успешно обучена, состояние «Сеть обучена» в правом верхнем углу Приложения помечается зеленой галочкой, а также становится доступной функция сохранения сети (команда «Файл > Сохранить ИНС»). Выполняем эту команду, и в результате в папке «nns» сохраняется файл «ИНС_ТЧР-21 Таганай.xls». Внешний вид окна Приложения с обученной нейронной сетью приведен на рисунке 5.

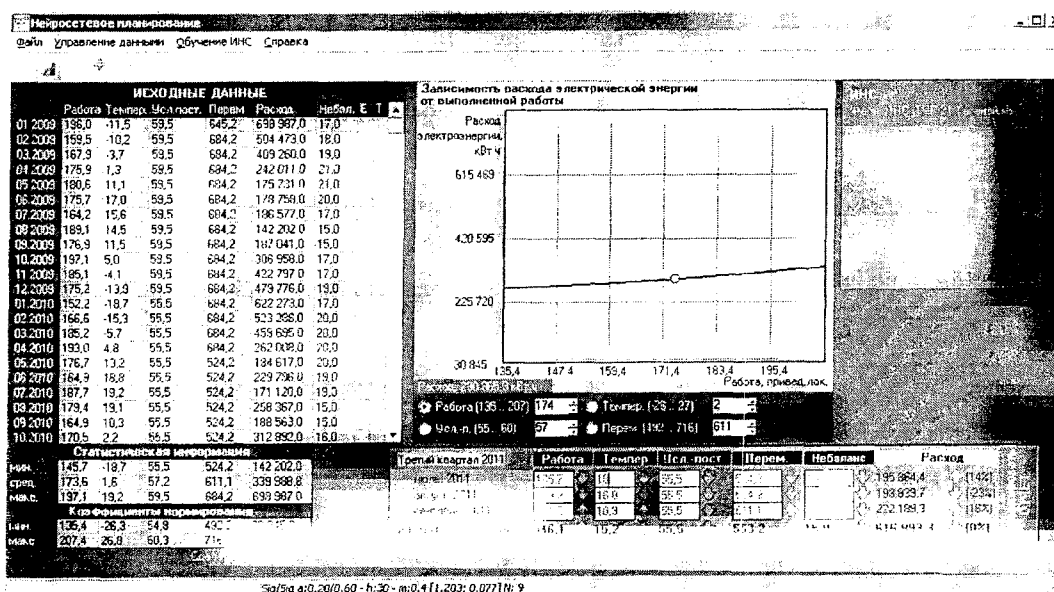


Рисунок 5 – Внешний вид Приложения с обученной нейронной сетью

В результате обучения в качестве оптимальной выбрана нейронная сеть с сигмоидной активационной функцией на входном и выходном слое. Коэффициент K_{T1} , характеризующий близость дисперсий выборок фактического и смоделированного расхода, составил 1,203, а средняя ошибка моделирования $K_{T2} = 0,077$.

В электронном приложении заложена возможность отображения графиков зависимости расхода электрической энергии от одного из влияющих факторов при постоянных значениях остальных факторов (рисунок 6).

Из рисунка 6 видно, что зависимость расхода электроэнергии от величины приведенной мощности является практически линейной, от объема производственной деятельности – приближенной к линейной; при этом с ростом значения фактора возрастает расход электроэнергии.

Зависимость электропотребления от температуры воздуха является убывающей и существенно нелинейной. При приближении температуры к $+15-17^{\circ}\text{C}$ темпы снижения расхода электроэнергии падают, так как начинает возрастать процент использования систем вентиляции и кондиционирования.

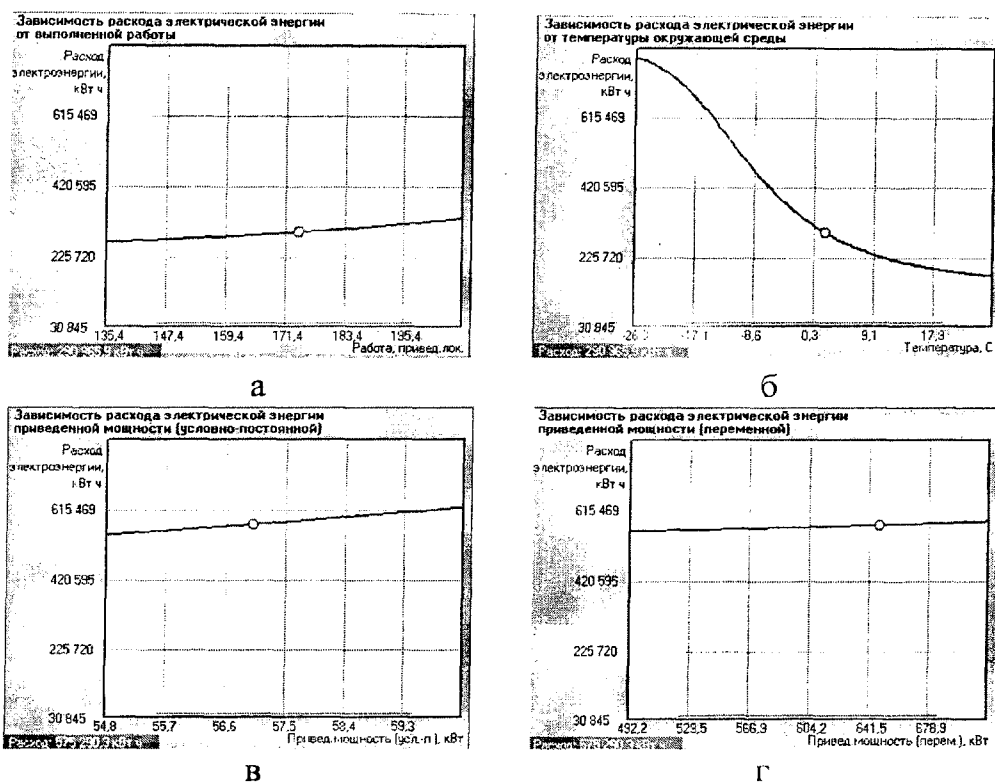


Рисунок 6 – Зависимости расхода электроэнергии от влияющих факторов: а – объема производственной деятельности, б – температуры воздуха, в и г – приведенной мощности по условно-постоянной и переменной составляющим электропотребления

4 Сбор информации о плановых значениях влияющих факторов

Сбор исходных данных для планирования расхода электроэнергии на 3-й квартал 2011 г. ведется в соответствии с п. 49–51 Методики в следующем порядке:

1) информацию о средних значениях температуры воздуха в г. Златоуст принимаем по данным Прил. Б к Методике;

2) плановый объем ремонта локомотивов принимаем в соответствии с Программой ремонта локомотивов для ТЧР-21 Таганай;

3) плановый уровень небаланса электропотребления принимаем по данным депо.

В 3-м квартале 2011 г. изменения в составе ЭО депо не планируются, поэтому п. 4 и 5 таблицы 7 Методики к рассмотрению не принимаются. Следовательно, приведенная мощность ЭО по условно-постоянной и переменной составляющим электропотребления в 3-м квартале 2011 г. остается неизменной и равной значению за 2-й квартал.

Информация о плановых значениях влияющих факторов сводится в таблицу 9.

Таблица 9 – Форма представления плановых значений влияющих факторов по ТЧР-21 Таганай

Период	Плановый объем производственной деятельности $V_{план}$, прив. ед	Прогнозное среднесуточное значение температуры воздуха $t_{ср}$, °С	Планируемое значение приведенной мощности по соответствующей составляющей расхода электроэнергии		Планируемый уровень небаланса электропотребления $\delta_{план}$, %
			условно-постоянная $P_{у.п. пр. план}$, кВт	переменная $P_{перем пр. план}$, кВт	
июль 2011 г.	185,7	20	55,5	524,2	15
август 2011 г.	179,2	16	55,5	524,2	15
сентябрь 2011 г.	181,2	10	55,5	524,2	15

5 Расчет плановых значений расхода электрической энергии на нетяговые нужды с применением ИНС

Для расчета планируемого расхода электроэнергии по ТЧР-21 Таганай в предварительно сохраненной нейросетевой модели задаем расчетный период (Третий квартал 2011 г.) – см. рисунок 5 Инструкции.

В соответствующие поля вносим плановые значения влияющих факторов из таблицы 9. В результате ИНС автоматически рассчитывает планируемое значение расхода электрической энергии на 3-й квартал 2011 г. помесячно:

Четвертый квартал 2011	Работа	Темпер.	Усл.-пост.	Перем.	Небаланс	Расход
октябрь, 2011						296 162,3 (-5%)
ноябрь, 2011						296 162,3 (0%)
декабрь, 2011						296 162,3 (-27%)
ИТОГО за квартал	520,8	1,6	57,2	611,1	15,0	888 486,9 (-12%)

Рисунок 7 – Окно электронного приложения с плановыми значениями влияющих факторов

Используя кнопку «Сформировать отчет», определим изменение расхода электрической энергии в сравнении с предыдущим периодом, обусловленное изменением принятых к рассмотрению влияющих факторов (рисунок 8).

Используя кнопку «Открыть таблицу в Microsoft Excel», сформируем отчет о планируемом расходе электрической энергии (таблица 10).

Рассчитанные плановые значения расхода электрической энергии могут быть использованы для установления лимитов электропотребления для ТЧР-21 Тагай на 3-й квартал 2011 г.

Расчетный период	Расход электрической энергии, кВт ч				Изменение планируемого расхода электроэнергии в сравнении с фактическим за аналогичный период 2010 года, кВт ч					
	без учета небаланса		с учетом небаланса		за счет изменения объема производственной деятельности	за счет изменения температуры воздуха	за счет изменения состава приводящей мощности ЭО	за счет изменения переим. состава приводящей мощности ЭО	за счет изменения уровня небаланса электроэнергии	ВСЕГО
	2010 год (факт. знач.)	2011 год (расч. знач.)	2010 год (факт. знач.)	2011 год (расч. знач.)						
июль	171 120	190 338	203 633	218 888	2 632	16 515	70	0	-3 962	15 256
август	258 367	200 229	297 122	230 264	176	-58 330	16	0	-8 721	-66 858
сентябрь	188 563	230 089	216 847	264 603	28 552	13 106	-132	0	6 229	47 755
ИТОГО	618 050	620 656	718 938	713 755	31 360	-38 703	45	0	-6 454	-3 848

Плитарифе 2 руб./кВт ч планируемые затраты: 1 427 510 руб

Рисунок 8 – Изменение планируемого расхода электрической энергии в сравнении с предыдущим периодом

Используя выражение (13), определим планируемые затраты на приобретение электрической энергии. При тарифе $C_{эл} = 2,00$ руб./кВт·ч они составят:

$$З = 713755 \cdot 2 = 1427510,00 \text{ руб.}$$

Таблица 10 – Плановые значения расхода электрической энергии для ТЧР-21 Таганай

Расчетный период	Расход электрической энергии, кВт ч		Изменение планируемого расхода электроэнергии в сравнении с фактическим за 2010 год, кВт ч							
	без учета небаланса		с учетом небаланса		за счет изменения объема производства ответственности деятиельности	за счет изменения температуры воздуха	за счет изменения усл.-пост. составляющей приведенной мощности ЭО	за счет изменения перем. составляющей приведенной мощности ЭО	за счет изменения уровня небаланса	ВСЕГО
	2010 год (фактич. знач.)	2011 год (расч. знач.)	2010 год (фактич. знач.)	2011 год (расч. знач.)						
июль	171 120	190 338	203 633	218 888	2 632	16 515	70	0	-3 962	15 256
август	258 367	200 229	297 122	230 264	176	-58 330	16	0	-8 721	-66 858
сентябрь	188 563	230 089	216 847	264 603	28 552	13 106	-132	0	6 229	47 755
ИТОГО:	618 050	620 656	718 998	713 755	31 360	-28 709	-45	0	-6 454	-3 848

6 Определение погрешности планирования расхода электрической энергии с использованием ИНС

Для определения относительной погрешности планирования электропотребления по итогам 3-го квартала 2011 г. необходимо осуществить сбор информации о фактическом расходе электроэнергии за указанный период (таблица 11).

Таблица 11 – Определение погрешности планирования расхода электрической энергии за 3-й квартал 2011 г.

Период	Расход электрической энергии, кВт ч		Относительная погрешность планирования, %
	расчетное значение	фактическое значение	
июль	190 338	188 000	1,2
август	200 229	231 000	-13,3
сентябрь	230 089	223 000	2,1
ИТОГО	620 656	642 000	-3,7

Относительную погрешность планирования определяем по выражению (14) Методики. Например, для июля 2011 г.:

$$\varepsilon_{\text{план}} = \frac{190338 - 188000}{188000} \cdot 100\% = 1,2\%$$

Результирующая погрешность за 3-й квартал 2011 г. составила (-3,7%). Наибольшее расхождение между расчетным и фактическим значением наблюдается в августе 2011 г., что связано с увеличением фактического объема ремонта локомотивов в сравнении с плановым на 15% (с 179,4 до 206,1 прив.ед.), а также со снижением температуры воздуха с 16,4 до 13,1°C.

Подставив фактические значения объема производственной деятельности и температуры в соответствующее окно электронного приложения, рассчитываем скорректированное значение расхода электрической энергии, которое составит 221441 кВт·ч. Тогда расхождение между расчетным и фактическим расходом будет равно:

$$\varepsilon_{\text{план}} = \frac{221441 - 231000}{231000} \cdot 100\% = -4,1\%$$

При этом результирующая погрешность планирования за 3-й квартал 2011 г. составит (-0,02%).

7 Дообучение ИНС

Дообучение ИНС выполняется по итогам 3-го квартала 2011 г. в соответствии с алгоритмом, представленном в п. 61 Методики.

В главном окне электронного приложения выбираем файл «ИНС_ТЧР-21 Таганай.xls» и с помощью команды «Управление данными > Добавить данные» в главном меню Приложения добавляем новые данные для дообучения из файла «Дообучение – ТЧР-21 Таганай.xls» (таблица 12).

Затем обрабатываем данные с помощью команды «Управление данными > Обработать данные», после чего можно дообучать нейронную сеть.

Для этого выполняем команду «Обучение ИНС > Дообучить ИНС». После успешного дообучения сеть приобретает новые параметры весов синапсов с учетом значений влияющих факторов за 3-й квартал 2011 г.

Сохраняем сеть путем выполнения команды «Файл > Сохранить ИНС». В результате планирование расхода электрической энергии на 4-й квартал 2011 г. будет осуществляться с применением ИНС с новыми, улучшенными параметрами.

Таблица 12 – Исходные данные для дообучения ИНС (из файла «Дообучение – ТЧР-21 Таганай.xls»)

Дата	Работа	Темпер	УслПоет	Перем	Расход	Небаланс
2011, июль	176,6	19,9	55,5	524,2	188 000	15,0
2011, август	206,1	13,1	55,5	524,2	231 000	15,0
2011, сентябрь	156,7	10,1	55,5	524,2	223 000	15,0