

УДК 51-74 + 621.31]:004

## К ВОПРОСУ О ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

Лейзгольд К.А., Ромодин А.В., Мишуринских С.В.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Пермь, e-mail: romodin@msa.pstu.ru*

В статье проводится разработка модели долгосрочного прогнозирования потребления электрической энергии энергетическим оборудованием предприятий нефтегазодобывающей отрасли. Определена актуальность задачи прогнозирования потребления электрической энергии. Приведена укрупненная классификация факторов, влияющих на величину потребления электрической энергии. Составлен набор параметров, подаваемых на вход модели, с учетом минимизации ошибки выдаваемых моделью прогнозных значений. Определены нюансы представления данных, подаваемых на вход модели. Рассмотрена методика масштабирования исходных данных. Предложена модель прогнозирования потребления электрической энергии энергетическим оборудованием предприятий нефтегазодобывающей отрасли 2014–2015 год. Описана методика оценки точности прогнозных значений. Выполнен прогноз потребления электрической энергии, с помощью предложенной модели, на 2014–2015 год. Выполнена оценка точности полученного прогноза.

**Ключевые слова:** потребление электроэнергии, долгосрочное прогнозирование, модель, нефтегазодобывающая отрасль

## TO THE ISSUE OF THE FORECASTING OF ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION BY POWER-GENERATING EQUIPMENT OF THE OIL AND GAS PRODUCING INDUSTRY ENTERPRISES

Leyzgold K.A., Romodin A.V., Mishurinskikh S.V.

*Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: romodin@msa.pstu.ru*

The article presents the development of a long-term forecasting model of the power-generating equipment's electric energy consumption of the oil and gas producing industry enterprises. The urgency of the task considering the prediction of the electric energy consumption is determined. The integrated classification of the factors that influence the range of electric energy consumption is given. The set of the options applied to the input of the model, considering a minimized error given by the predicting model. The nuances of data presentation given on the model input are defined. The method of scaling the initial data is considered. A model for predicting the energy consumption by the electrical energy equipment of oil and gas producing industry enterprises (2014–2015) is introduced. A method for evaluation of the predicted unit values' correctness is described. The prediction of the electric energy consumption with the help of the introduced model for the year 2014–2015 is carried out. The evaluation of the received prediction accuracy is conducted.

**Keywords:** power consumption, long-term forecasting, model, oil and gas extraction branch

Решение задач повышения энергетической эффективности неразрывно связано с прогнозированием величины потребления электроэнергии на планируемый период. От точности прогноза зависит точность планирования потребления электроэнергии что, в свою очередь, позволит предприятию, независимо от отраслевой принадлежности, сократить финансовые издержки на оплату электроэнергии.

Объектами исследования являются два цеха добычи нефти и газа ЦДНГ-11 и ЦДНГ-12 ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ».

### Зависимость потребления электроэнергии от различных факторов

Задача прогнозирования электропотребления сложна и многогранна, она включает в себя множество технологических, экономических и социальных факторов. Невоз-

можно учесть такое количество разноплановых факторов, поэтому учитывается только ряд факторов, которые классифицируются по четырем основным группам[2, 12]:

- экономические;
- временные;
- погодные;
- случайные.

Экономические условия эксплуатации энергосистемы четко сказываются на графиках потребления электроэнергии, но в моделях долгосрочного прогнозирования нагрузки экономические факторы в явном виде не фигурируют, так как они связаны с более длительными временными масштабами.

Существенное влияние на величину нагрузки оказывают три основных временных фактора: сезонные эффекты, недельно-суточный цикл и нерабочие дни. Сезонные

изменения определяют, приходится ли пик потребления электроэнергии в энергосистеме на лето или на зиму. Также, к важным сезонным изменениям относится переход от летнего времени к зимнему и обратно, изменения структуры тарифов, начало учебного года в школах и значительные спады деятельности в период каникул.

Недельно-суточная неравномерность графика нагрузки соответствует распределению рабочего и свободного времени населения района обслуживания.

Наличие нерабочих дней, связанных с религиозными праздниками и установленным законом, в общем приводит к существенному снижению нагрузки до уровней заметно меньших «нормального». Кроме того, в дни, предшествующие или следующие за праздниками, наблюдаются изменения графика электропотребления, обусловленные тенденцией к организации «продленных уикендов».

Существенные отклонения графика нагрузки вызываются метеорологическими условиями. Это объясняется наличием у большинства энергосистем крупных составных частей нагрузки, чувствительных к погоде. К ним относятся отопительные приборы, кондиционеры и средства ирригации в сельском хозяйстве.

Кроме того, метеофакторы в значительной степени определяют глубокие сезонные колебания и суточную неравномерность графиков потребления. Устойчивые сезонные и суточные циклы колебаний температуры и их влияние могут быть представлены в аналитическом виде и использоваться при разработке прогнозов ожидаемых значений потребления на всех циклах планирования и управления режимами.

К случайным возмущениям отнесены различные случайные влияния, вызывающие отклонения графика нагрузки, которые нельзя объяснить действием выше рассмотренных факторов. Энергосистема постоянно подвержена случайным возмущениям. Кроме малых возмущений возможны и сильные колебания потребления электроэнергии из-за больших нагрузок – сталеплавильных печей, синхротронов. Имеются также многочисленные события, о которых заранее известно, но влияние их на нагрузку является неопределенным, например закрытие промышленных предприятий.

Также значительное влияние на электропотребление оказывает количество аварийных ситуаций. Данный параметр имеет вероятностный характер, но тем не менее приводит к большому ущербу, вследствие чего снижается электропотребление. По-

этому при составлении прогноза электропотребления учесть данный фактор просто необходимо.

Так как объектом прогнозирования является нефтедобывающее предприятие, то сильное влияние на электропотребление будут оказывать перепады и средняя температура окружающего воздуха. Это объясняется тем, что в зависимости от температуры меняется вязкость нефти. Например, при отрицательных значениях температуры нефть становится более вязкой, что повышает потребление электроэнергии двигателями, потому что увеличивается механическое сопротивление при перекачке. Также к немаловажным факторам можно отнести длительность светового дня, этот фактор влияет на продолжительность работы освещения. Самым главным фактором является объем добычи, потому что все электродвигатели, задействованные в месторождениях, используются для добычи нефти и ее перекачки.

### Прогнозирование

#### Формирование массива входных данных

В результате анализа [1, 3–11] было определено, что на входы моделей для различных месяцев будут подаваться следующие переменные, которые дают наименьшую погрешность прогнозирования: номер месяца в году ( $N$ ), объем добычи нефти ( $D$ ), средняя температура дня ( $t$ ), разница между максимальной и минимальной температурой в месяце ( $R$ ) и длительность светового дня ( $S$ ). Модель в общем виде представлена на рис. 1.

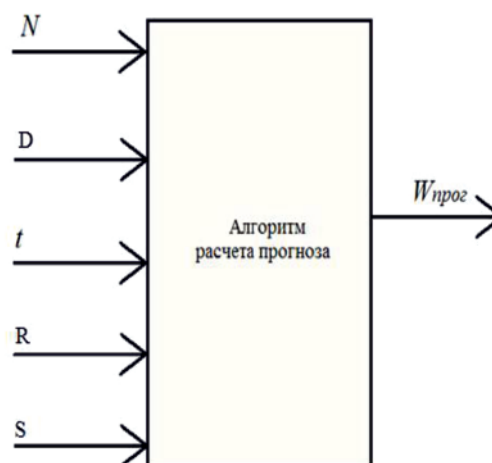


Рис. 1. Модель прогнозирования потребления электроэнергии,  $W_{\text{прог}}$  – является прогнозируемой величиной

Таблица 1

Выборка для обучения нейронной сети по Сухаревскому месторождению

N	D	t	R	S	W
0,083	0,755	0,254	0,732	0,296	0,863
0,167	0,597	0,335	0,648	0,375	0,782
0,250	0,665	0,396	0,507	0,479	0,929
0,333	0,618	0,488	0,687	0,583	0,793
0,417	0,651	0,632	0,616	0,676	0,780
0,500	0,580	0,680	0,696	0,729	0,689
0,583	0,566	0,625	0,624	0,701	0,642
0,667	0,492	0,603	0,515	0,615	0,629
0,750	0,491	0,594	0,497	0,500	0,587
0,833	0,520	0,429	0,405	0,417	0,735
0,917	0,539	0,347	0,457	0,308	0,788
1,000	0,570	0,322	0,631	0,265	0,853
0,083	0,724	0,244	0,702	0,296	0,910
0,167	0,567	0,330	0,616	0,375	0,825
0,250	0,635	0,397	0,484	0,479	0,884
0,333	0,596	0,484	0,662	0,583	0,746
0,417	0,698	0,621	0,660	0,676	0,741
0,500	0,615	0,696	0,738	0,729	0,731
0,583	0,599	0,639	0,660	0,701	0,686
0,667	0,520	0,613	0,544	0,615	0,664

Таблица 2

Результаты прогнозирования, фактического потребления и погрешности для Юрчукского месторождения

N месяца	$W_{\text{факт}}$ , кВт·ч	$W_{\text{прогн}}$ , кВт·ч	$d_{\%}$
9	1542662	1657500	-7,44
10	1737167	1640000	5,59
11	1869716	2185000	-16,86
12	2033856	907500	55,38

Таблица 3

Результаты прогнозирования и фактического потребления для месторождения имени Сухарева

N месяца	$W_{\text{факт}}$ , кВт·ч	$W_{\text{прогн}}$ , кВт·ч	$d_{\%}$
9	373421	308000	17,52
10	433736	466000	-7,44
11	360422	178500	50,47
12	405309	420000	-3,62

Для того чтобы правильно обучить ИНС, необходимо обработать первоначальные данные. Это необходимо, чтобы уменьшить погрешность при прогнозировании [3].

Так как значения входов, выходов нечеткой нейронной сети представляют собой вещественные числа из отрезка  $[0, 1]$ , то существует необходимость масштабирования исходных данных.

Масштабирование переменных служит для ускорения процесса обучения. Масштабирование переменных представлено выражением

$$x_m = \frac{x + c}{x_0},$$

где  $x_m$  – значение переменной после масштабирования, о.е.;

$x$  – значение масштабируемой переменной, выраженное в абсолютных ед.;  
 $c$  – значение смещения в абсолютных ед.;  
 $x_6$  – базисное значение масштабируемой переменной в абсолютных ед.

В ходе проведения экспериментов было установлено, что оптимальным вариантом,

дающим наилучшие результаты, является выборка, состоящая из 20 строчек, в которые входят переменные за 2014 г. и за первые 8 месяцев 2015 г.

После операций, проведенных выше, была получена обучающая выборка и проведено обучение ИНС.

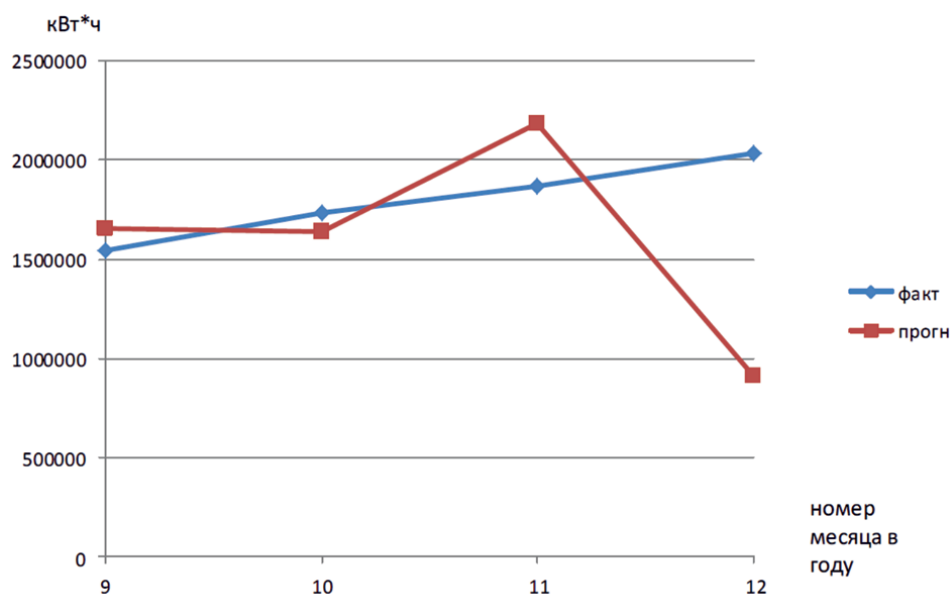


Рис. 2. Прогнозные и фактические значения потребления электроэнергии на Южно-Юрчукском нефтяном месторождении

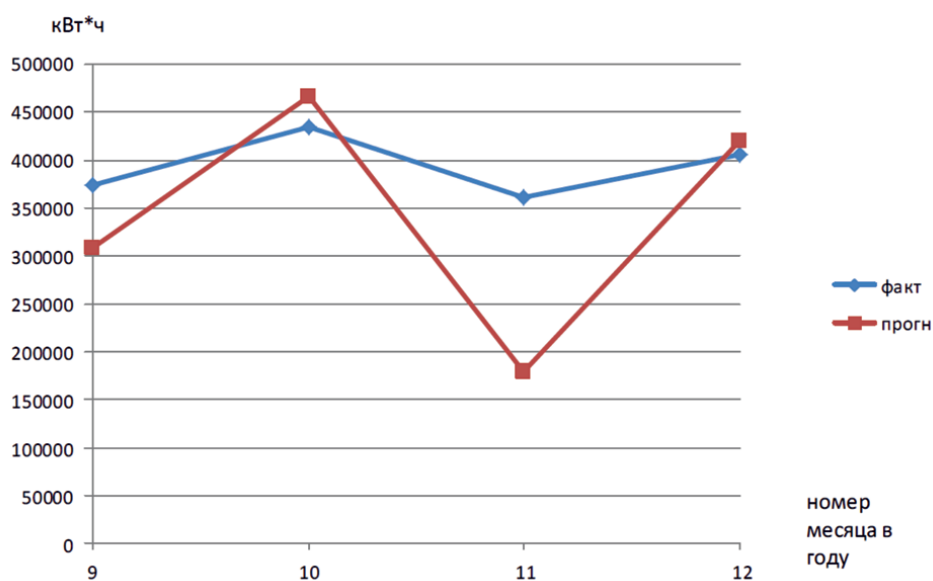


Рис. 3. Прогнозные и фактические значения потребления электроэнергии на нефтяном месторождении имени Сухарева

### Прогнозирование и оценка точности прогноза

Для оценки точности прогноза необходимо рассчитать погрешность составленного прогноза. Расчет прогноза будет проводиться по следующей формуле [4]:

$$d_{\%} = \frac{W_{\text{факт}} - W_{\text{прогн}}}{W_{\text{факт}}},$$

где  $d_{\%}$  – относительная погрешность прогноза, %;

$W_{\text{факт}}$  – фактическая величина электропотребления, кВт·ч;

$W_{\text{прогн}}$  – прогнозируемая величина электропотребления, кВт·ч.

Алгоритм обучения в ИНС использует стохастические методы обучения, следовательно, выполняются псевдослучайные изменения значений весов, сохраняя те изменения, которые ведут к уменьшению функции ошибки.

В ходе проведения экспериментов было установлено, что оптимальным вариантом, дающим наилучшие результаты, является выборка, состоящая из 20 строчек, в которые переменные за 2014 г. и за первые 8 месяцев 2015 г.

В качестве примера обучающей выборки приведены данные, сведенные в табл. 1.

Результаты расчета погрешности прогноза для Юрчукского месторождения представлены в табл. 2.

Результаты расчета погрешности прогноза для месторождения имени Сухарева представлены в табл. 3.

На рис. 2–3 представлены графики прогнозных и фактических значений потребления электрической энергии на Южно-Юрчукском и Сухаревском нефтяных месторождениях.

### Заключение

Анализ полученных прогнозных данных позволяет говорить об адекватности разработанной модели. Выявлены выбросы прогнозных значений, значительно отличающиеся от реальных данных. Их присутствие вполне возможно в ходе работы ИНС. Анализ полученных погрешностей прогнозных значений задает вектор дальнейших исследований в направлении уточнения объема и состава параметров, подаваемых на вход модели.

### Список литературы

1. Биятто Е.В., Шарманова Г.Ю., Привалихина К.К. Зависимость электропотребления от влияния различных факторов. Анализ потребления электроэнергии по ОЭС и энергосистемам 2012–2014 гг. // Молодой ученый. – 2015. – № 6. – С. 126–129.

2. Воропай Н.И., Труфанов В.В. Математическое моделирование развития электроэнергетических систем в современных условиях // Электричество. – 2000. – № 10.

3. Горбань А.Н. Обучение нейронных сетей. – М.: СП ПараГраф, 1990. – 160 с.

4. Круглов В.В., Голуноф Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. – М: Наука, 1995. – 221 с.

5. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ Петербург, 2005. – 736 с.

6. Макоклроев Б.И., Ёч В.Ф. Взаимосвязь точности прогнозирования и неравномерности графиков электропотребления // Электричество. – 2001. – № 10.

7. Мокроусова Е.С., Ромодин А.В., Андриевская Н.В. Прогнозирование электропотребления месторождений ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» с помощью искусственных нейронных сетей // Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. электротехника, информационные технологии, системы управления: Сб. науч. тр. / ПГТУ. – Пермь, 2009. – С. 189–199.

8. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. – М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2009. – 798 с.

9. Петроченков А.Б., Ромодин А.В. Комплекс «Энергооптимизатор» // Электротехника. – 2010. – № 4. – С. 49–54.

10. Петроченков А.Б., Ромодин А.В. Разработка подходов к построению комплекса «Энергооптимизатор» // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2013. – № 4. – С. 20–25.

11. Самосейко В.Ф., Шошмин В.А. Математическое моделирование потребления электроэнергетики производственными системами // Электричество. – 1995. – № 13.

12. Хайкин С. Нейронные сети: Полный курс. Пер. с англ. Н.Н. Куссуль, А.Ю. Шелестова. 2-е изд., испр. – М.: Издательский дом Вильямс, 2008. – 1103 с.

### References

1. Bijatto E.V., Sharmanova G.Ju., Privalihina K.K. Zavisimost jelektropotreblienija ot vlijanija razlichnyh faktorov. Analiz potreblenija jelektrojenergii po OJeS i jenergosisistemam 2012–2014 gg. // Molodoj uchenyj. 2015. no. 6. pp. 126–129.

2. Voropaj N.I., Trufanov V.V. Matematicheskoe modelirovanija razvitija jelektrojenergeticheskikh sistem v sovremennykh uslovijah // Jelektrichestvo. 2000. no. 10.

3. Gorban A.N. Obuchenie nejronnyh setej. M.: SP ParaGraf, 1990. 160 p.

4. Kruglov V.V., Golunof R.Ju. Nechetkaja logika i iskusstvennye nejronnye seti. M: Nauka, 1995. 221 p.

5. Leonenkov A.V. Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH. SPb.: BHV Peterburg, 2005. 736 p.

6. Makokljuev B.I., Joch V.F. Vzaimosvjaz tochnosti prognozirovanija i neravnomernosti grafikov jelektropotreblienija // Jelektrichestvo. 2001. no. 10.

7. Mokrousova E.S., Romodin A.V., Andrievskaja N.V. Prognozirovanie jelektropotreblienija mestorozhdenij ООО «LUKOJL-PERM» s pomoshhju iskusstvennyh nejronnyh setej // Vestnik permskogo nacionalnogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. jelektrichestvo, informacionnye tehnologii, sistemy upravlenija: Sb. nauch. tr. / PGU. Perm, 2009. pp. 189–199.

8. Pegat A. Nechetkoe modelirovanie i upravlenie. M.: Binom. Laboratorija znaniy, 2009. 798 p.

9. Petrochenkov A.B., Romodin A.V. Kompleks «Jenergooptimizator» // Jelektrichestvo. 2010. no. 6. pp. 49–54.

10. Petrochenkov A.B., Romodin A.V. Razrabotka podhodov k postroeniju kompleksa «Jenergooptimizator» // Jelektr. Jelektrichestvo, jelektrojenergetika, jelektricheskaja promyshlennost. 2013. no. 4. pp. 20–25.

11. Samosejko V.F., Shoshmin V.A. Matematicheskoe modelirovanie potreblenija jelektrojenergetiki proizvodstvennyimi sistemami // Jelektrichestvo. 1995. no. 13.

12. Hajkin S. Nejrionnye seti: Polnyj kurs. Per. s angl. N.N. Kussul, A.Ju. Shelestova. 2-e izd., ispr. M.: Izdatelskij dom Viljams, 2008. 1103 p.