

качества электрической энергии в питающей электрической сети. Модель обеспечивает учет искажения питающего напряжения в узле нагрузки, а в случае необходимости и периодические колебания напряжения и может применяться при определении показателей качества электрической энергии с использованием метода гармонического баланса.

3. Разработан алгоритм определения параметров математической модели узла нагрузки по результатам измерения спектрального состава напряжений и токов. Алгоритм основан на использовании метода покоординатной минимизации целевого функционала и дает возмож-

ность определять параметры линейных инерционных блоков структурной схемы. Работоспособность предложенного подхода к математическому моделированию и определению параметров математической модели узла нагрузки проиллюстрирована на примере реальной нагрузки, содержащей в своем составе значительное количество люминесцентных ламп и микропроцессорной техники. Полученные результаты подтверждают его эффективность и перспективность применения с целью дальнейшего развития методов и алгоритмов моделирования показателей качества электрической энергии на основе метода гармонического баланса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 184 с.
2. Черепанов В.В. Расчеты несинусоидальных и несимметричных режимов систем электроснабжения промышленных предприятий. – Горький, ГТУ. 1989. – 95 с.
3. Гармоники в электрических системах / Пер. с англ. Дж. Аррилага, Д. Брэдли, П. Боджер. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.: ил.
4. Харлов Н.Н., Лир Л.В. О влиянии питающей сети на гармонический состав токов мощных статических преобразователей // Известия вузов. Энергетика. – 1987. – № 2. – С. 35–37.
5. Харлов Н.Н. Методика совместного расчета установившихся режимов систем электроснабжения и преобразователей: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Киев, 1985. – 22 с.
6. Левченко В.В. Расчет установившихся режимов в системах переменного тока сложной структуры, содержащих мощные преобразователи. Преобразовательные устройства и системы возбуждения синхронных машин. – Л.: Наука, 1973. – С. 18–22.
7. Кучумов Л.А., Харлов Н.Н., Картасиди Н.Ю., Пахомов А.В., Кузнецов А.А. Использование метода гармонического баланса для расчета несинусоидальных и несимметричных режимов в системах электроснабжения // Электричество. – 1999. – № 12. – С. 10–22.
8. Попков Ю.С., Киселев О.Н., Петров Н.П., Шмульян Б.Л. Идентификация и оптимизация нелинейных стохастических систем. – М.: Энергия, 1976. – 440 с.: ил.

УДК 621.311.1

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ УСТОЙЧИВОГО Н-РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

С.А. Бурдинский, В.К. Кистенев, А.С. Торопов

Красноярский государственный технический университет

E-mail: Andrej\_tr@mail.ru

*Показана возможность прогнозирования электропотребления крупных электроэнергетических систем с помощью метода рангового анализа.*

Существующие методы прогнозирования электрических нагрузок формализуют расчеты на основе классических представлений электротехники и методах математической статистики. Но расчет электрических нагрузок, опирающийся только на классический аппарат, не может обеспечить достаточную точность при прогнозировании процессов в современных условиях в крупных электроэнергетических системах.

Электрическое хозяйство крупного предприятия является системой нового типа, для которой характерно, что ее свойства не вытекают из совокупности свойств отдельных элементов ее образующих. В биологии, например, системы такого типа и порядка сложности определяются как ценозы.

Исследование ценоза – это исследование целого конкретного объекта, предполагающее движение от целого к части при изучении очень сложных вероятностных систем.

Научно-технический прогресс достиг степени развития, когда видовое разнообразие выпускаемых изделий соизмеримо с видовым разнообразием в природе. Законы формирования технических систем из отдельных изделий схожи с законами формирования биосистем из отдельных особей. Законы развития и поведения биологических и технических систем имеют общность, поэтому представляется возможным и необходимым описать законы функционирования и развития сложных технических систем, основываясь на ценологическом подходе к

их изучению. Тогда при изучении технических систем, возможно, ввести понятия из биологии: вид, особь, техноценоз (по аналогии с биоценозом). Впервые это сделано в работах Б.И. Кудрина [1, 2]. Техноценоз – сообщество всех изделий, включающее все популяции; ограниченное в пространстве и времени выделенное единство, характеризующееся слабыми связями и слабыми взаимодействиями элементов – изделий, образующих систему. Это система искусственного происхождения, выделяемая для целей исследования, проектирования, обеспечения функционирования и управления [1–3].

Ценозы обладают структурой, заключающейся в определённом количественном соотношении между крупным и мелким, уникальным и массовым. Устойчивость структуры обусловлена действием законов энергетического и информационного отбора (аналогично с биологией – закон естественного отбора).

Исследование техноценозов осуществляется в следующем порядке.

Ценоз выделяется в пространстве – времени как некоторая система, например, Забайкальская железная дорога. Внутри него определяется рассматриваемый вид – тяговые подстанции (48 ед.).

За исследуемый параметр вида нами принято электропотребление за месяц активной энергии тяговыми подстанциями –  $W$  (МВт·ч).

После проведения корреляционного анализа электропотребления по месяцам, установлено наличие зависимости близкой к линейной – значения коэффициентов лежат в пределах 0,80...0,94. Следовательно, наблюдается устойчивая связь между элементами системы.

Для дальнейшего анализа, объекты системы располагаем в порядке убывания исследуемого параметра и присваиваем каждому объекту порядковый номер ( $r$ -ранг).

В качестве основы для построения математической модели, выбрана гиперболическая зависимость –  $H$ -распределение:

$$W(r) = \frac{W_1}{r^\beta},$$

где  $W(r)$  – электропотребление объекта с рангом  $r$ ;  $W_1$  – электропотребление объекта с первым рангом;  $\beta$  – ранговый коэффициент, характеризующий степень крутизны кривой.

Определив параметры рангового распределения по всей длине предыстории функции  $W(r)$  возможно получение сглаживающей поверхности исследуемого параметра, рис. 1.

Прогнозирование электропотребления с учётом применения аппарата  $H$ -распределения заключается в следующем:

1. Определяем расчётный ранг известного последнего месяца предыстории:

$$r_{расч} = \left( \frac{W_t}{W_r} \right)^{1/\beta}.$$

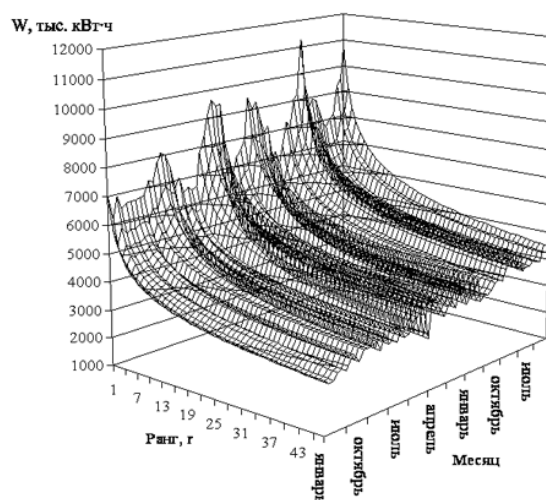


Рис. 1. Математическая модель рангового распределения

Введение расчётного ранга необходимо в связи с тем, что на практике регрессионная кривая, не проходит точно через все фактические точки. Поэтому расчётный ранг не равен целому числу.

2. Определяем прогнозное значение электропотребления по формуле:

$$W_i^{t+1} = \frac{W_i^t}{r_{расч}^{\beta^{t+1}}}.$$

3. Прогнозируем суммарное электропотребление:

$$W_f^{t+1} = \sum_{i=1}^r W_i^{t+1}.$$

4. Производим оценку прогнозного значения электропотребления (рис. 2):

$$\varepsilon\% = \frac{W_{факт} - W_{прогн}}{W_{факт}} \cdot 100\%.$$

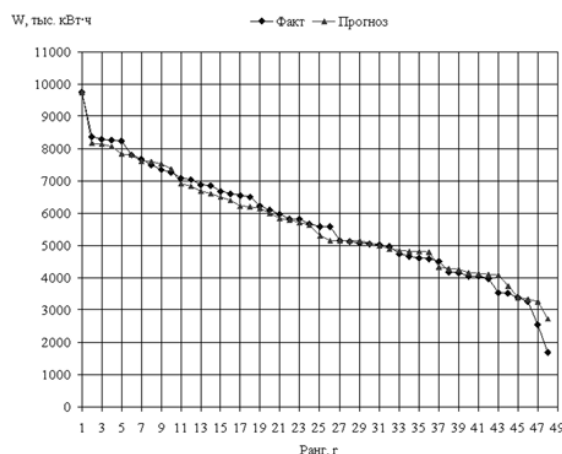


Рис. 2. Прогнозное и фактическое значение электропотребления Забайкальской железной дороги за январь 2004 г.

Применение предлагаемой методики при прогнозировании электропотребления для тяговых подстанций, на примере Забайкальской железной дороги, получающих питание от энергосистем Чи-

та- и Амурэнерго, позволило выявить следующие закономерности:

- 1) электропотребление объекта с первым рангом и ранговый коэффициент увеличиваются во времени, что свидетельствует об увеличении разрыва электропотребления между крупными и мелкими элементами системы из-за того, что крупные развиваются быстрее мелких;
- 2) заявленные филиалом ОАО «РЖД» «Энергосбыт» договорные величины электрической энергии по каждой из энергосистем в среднем на 15...20 % завышены.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрин Б.И. Введение в технетику. – Томск: Изд-во ТГУ, 1993. – 552 с.
2. Кудрин Б.И., Жилин Б.В., Лагуткин О.Е., Ошурков М.Г. Ценологическое определение параметров электропотребления многономенклатурных производств. – Тула: Приок. кн. изд-во, 1994. – 122 с.

Прогнозирование по данному методу отличается в лучшую сторону от контрольных прогнозов по наиболее распространённым экстраполяционным методам. Ошибка прогноза – 2...3 % от фактического значения.

Преимущество модели заключается также в том, что она не требует привлечения большого количества данных, как это требуется в многофакторных моделях. Данная методика обеспечивает приемлемую точность необходимую для заключения договоров с энергосистемами и позволяет находить новые пути в решении вопросов энергосбережения.

3. Кистенёв В.К., Лукьянов П.Ю., Яковлев Д.А. Прогнозирование годового электропотребления модернизированным методом наискорейшего спуска // Технические науки, технологии и экономика: Матер. III Межрегион. научно-практ. конф. – Чита: ЧГУ, 2003.

УДК 621.311.45

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ СОГЛАСОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С ГРАФИКОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

В.З. Манусов, А.В. Седельников

Новосибирский государственный технический университет  
E-mail: Manusov@merlin.power.nstu.ru

*Предлагается методика расчета, учитывающая фактор неопределенности силы ветра, как энергоносителя, являющегося случайным неуправляемым природным процессом, а также предложен системный подход для согласования ветроэнергетических ресурсов с графиком нагрузки и возможности аккумулирования энергии. Принцип оценки ветроиспользования основан на теории нечетких множеств.*

#### Введение

Важнейшим условием повышения технико-экономических показателей ветроэнергетических установок (ВЭУ) является наиболее строгое соответствие характеристик агрегата ветровому режиму – с одной стороны, и с другой – особенностям электропотребителя. В этом смысле главным является нахождение оптимальных расчетных скоростей ветра, определяющих установленную мощность, и скорости потока, при которой вступает в действие система автоматического регулирования, ограничивающая развиваемую ветроколесом мощность. Расчеты балансов поступления энергии от ветроустановки и ее расхода (потребления) за любой период или в любой момент времени являются важнейшей процедурой, позволяющей определить большинство аспектов, характеризующих эффективность ветроиспользования.

Ветроэнергетический агрегат работает по неуправляемому графику, потребитель же часто не допускает перебоев в подаче энергии или продукта

переработки, требует обеспечения его энергией по заданному графику нагрузки [1, 2].

Нечёткая логика наиболее хорошо подходит для решения задач оценки ситуации управления и принятия решений в условиях неопределённости, в тех случаях, когда человеком не могут быть даны точные количественные оценки того или иного параметра, а также, когда нахождение точного решения стандартными методами связано с большими временными, вычислительными затратами, либо требуют для своей реализации больших объёмов памяти. В связи с этим предполагается перспективным применение нечёткого анализа в области ветроэнергетики.

#### 1. Нечеткие переменные

Представим шкалу Бофорта (табл. 1) характерными функциями принадлежности лингвистических переменных ветра [3]: для пограничных интервальных значений скоростей ветра каждой характеристики  $\mu=0,5$ . При  $\mu=1$  значение скорости в каждом диапазоне будет равна  $(v_{\max}-v_{\min})/2$ .