

УДК 621.311

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ДЛЯ РАСЧЕТОВ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ****АЛИЕВ Х.Т.***АО «Азербэнеджи»*

При расчете потерь энергии в распределительных электрических сетях используются характеристики графика нагрузки. Для расчета потерь энергии распространение получили формулы, полученные на основе представления графиков электрических нагрузок непрерывными функциями. В данной статье рассматриваются вопросы анализа вероятностных характеристик графиков электрических нагрузок, полученных измерениями по электронным счетчикам.

При расчетах потерь электроэнергии принимались, что изменения электрической нагрузки подчинены закону бета - распределения. Методы расчета используют график нагрузки по продолжительности. Графики нагрузки имели устойчивые характеристики и позволяли проводить расчет потерь энергии с учетом бета - распределения нагрузки [1-7]. В настоящее время графики нагрузки фидеров 6-10 кВ имеют самые разные формы, которые связаны с переходным этапом экономики. Неравномерность в суточных графиках нагрузки, отключения, связанные с не оплатой за электроэнергию, ограничения, связанные с перегрузкой элементов сети, и.т.д. Современные электронные счетчики, информационные и коммуникационные технологии имеют большие возможности по хранению, передаче и обработке режимной информации, удовлетворяющие требованиям времени и изменяющимся условиям режима потребителей. В связи с этим, меняются требования к методам, алгоритмам и программам расчета потерь электроэнергии. В нынешних условиях развития экономики требуется решение задачи расчета технологического расхода электроэнергии на ее передачу использованием новых подходов. Эти факторы требуют перепроверки соответствия бета – распределению, определение законов распределения графиков нагрузки по продолжительности как случайной величины на основе реальных (опытных) данных.

Наиболее информативной является графики нагрузки отдельных групп потребителей, для которых известны типовые графики. График нагрузки фидера формируется из разных групп потребителей. Из комбинации графиков нагрузки формируется суммарный график фидера. Информация о вероятностных характеристиках графиков нагрузки обычно является мало известным. График нагрузки по продолжительности представляется в виде плавно убывающей функции. Задание графиков нагрузки аналитическими зависимостями, интегрируемыми через элементарные функции, позволяет получить все необходимые характеристики графика нагрузки непосредственным интегрированием графика нагрузки  $i(t)$ . При этом можно применить законы теории вероятностей.

График нагрузки по продолжительности характеризуется продолжительностью наибольшей нагрузки  $T_{max}$ . Для различных групп потребителей значение этой величины различно. К примеру, в [6] показано, что при осветительной нагрузке городов и поселков  $T_{max}$  изменяется в пределах 2000-3000 ч, при нагрузке предприятий, работающих в одну смену, 1500-2200 ч, в две смены, 3000-4500 ч и.т.д.

Годовой график нагрузки по продолжительности может быть выражен разными видами функций: параболической; линейной; экспоненциальной; гиперболической. В

[1] показано, что годовой график нагрузки по продолжительности может быть аппроксимирован следующими видами функций: параболической при  $T_{\max} \geq 5840$ ; линейной при  $T_{\max} = 4300-5840$ ; экспоненциальной при  $T_{\max} = 2100 - 4300$ ; гиперболической при  $T_{\max} = 0-2000$ .

Приведенная классификация выражения графика нагрузки по продолжительности разными видами функций является не достаточной. Кроме соответствия  $T_{\max}$  для обеспечения адекватности  $k_{\phi}^2$ , требуется также соответствие других параметров, характеризующих формы: продолжительности минимума и максимума графика нагрузки. В [1] приводятся параметры  $k_3$ ,  $P_{\min}$ ,  $t_{\min}$  для некоторых типовых графиков нагрузки.

Для анализа вероятностных характеристик графиков электрических нагрузок использовались результаты измерений активной и реактивной мощности электронными счетчиками «Индиго» и «Энергомера» на ВВЭС Акстафа и РЕТ Шамкир. Измерения проводились по 32 электронным счетчикам «Индиго» и 40 счетчикам «Энергомера» 19-22.06.2007 года в ВВЭС Акстафа и РЕТ Шамкир. Счетчики «Индиго» имеют выходные результаты в формате Excel. Счетчики «Энергомера» имеют специальное программное обеспечение для обработки и передачи данных. Данные отображаются в табличном и графическом виде. Суточные графики нагрузки (P и Q) счетчиков «Энергомера» регистрировались через каждые 0.5 часа, а «Индиго» через каждый час.

На рис 1. приведен суточный график нагрузки 35/6 кВ Таузских ПЭС, фидера 6 кВ Ашагы Гушчу, полученный по измерениям 01.05.2007 года электронным счетчиком Энергомера,  $k_3=0.3626$ .

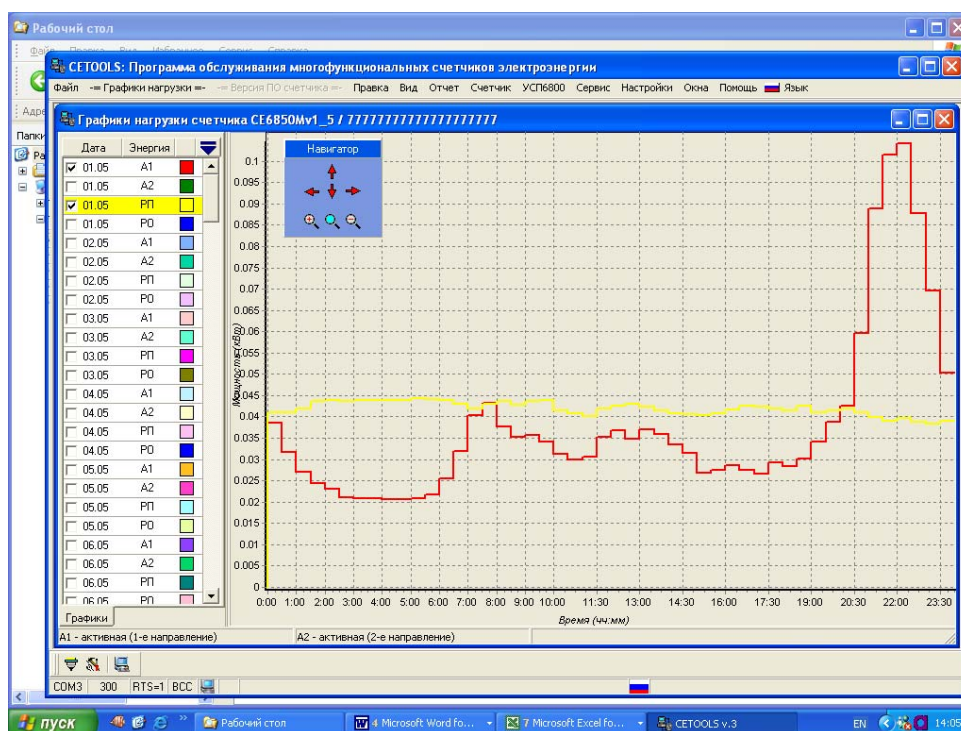


Рис 1. Суточный график нагрузки по продолжительности фидера 6 кВ Ашагы Гушчу, полученный с электронного счетчика Энергомера.

На рис 2-5. приведены суточные графики нагрузки фидера Гедабек 10 кВ Гедабекских ПЭС 02, 03, 19 -05.2007 года.

Принятые ранее допущения об изменении электрической нагрузки по закону бета - распределения в изменившихся условиях требует проверки.

**Определение параметров бета - распределения графика нагрузки как случайной величины по статистическим данным.** Определение значений параметров бета – распределения методом максимального правдоподобия затруднительно. Оценка параметров бета – распределения произведена методом моментов [2], который сводится к следующим уравнениям:

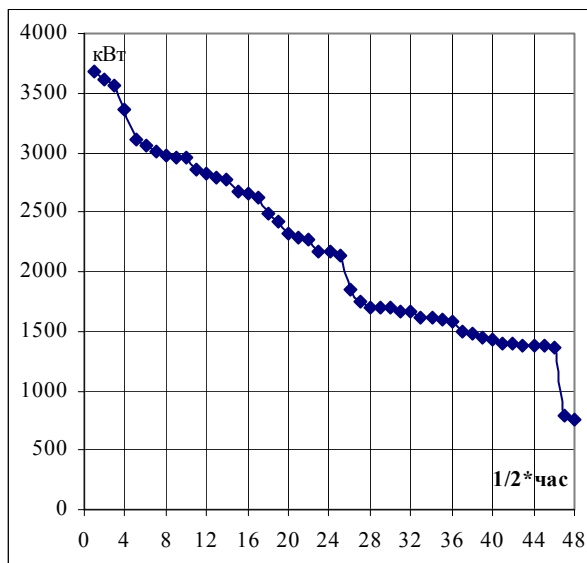


Рис. 2. Суточный график нагрузки по продолжительности 02.05.2007 года,  $k_3=0.588$ .

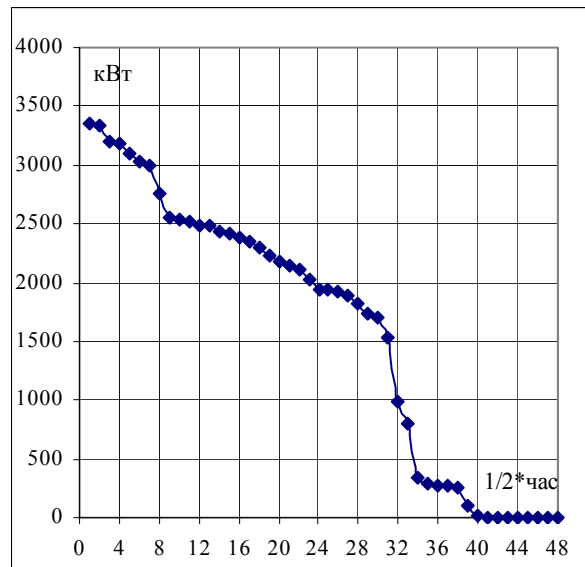


Рис.3. Суточный график нагрузки по продолжительности 11.05.2007 года,  $k_3=0.484$ .

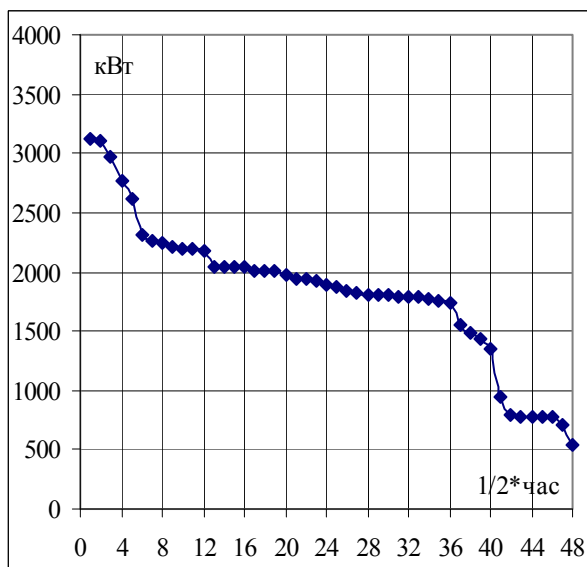


Рис. 4. Суточный график нагрузки по продолжительности 19.05.2007 года,  $k_3=0.585$ .

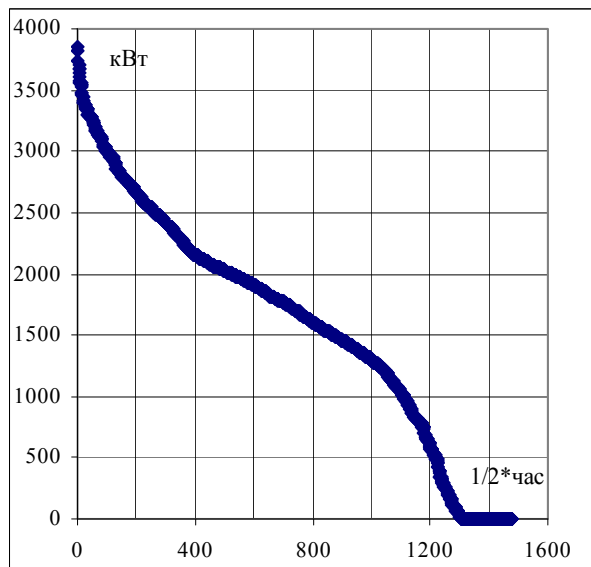


Рис. 5. Месячный график нагрузки по продолжительности 01.05.2007 - 31.05.2007 года,  $k_3=0.4613$ .

Рис 2-5. Графики нагрузки по продолжительности 35\10 кВ Гедабекских ПЭС, фидера 10 кВ Гедабек, полученные по измерениям за май месяц 2007 года электронными счетчиками.

Определяется среднее значение

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

Значение  $s^2$  выражается формулой для несмещенной оценки центрального момента второго порядка и используется в качестве оценки дисперсии.

$$s^2 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)} \quad (2)$$

По значениям  $\bar{x}$  и  $s^2$  производится оценка параметров бета – распределения в соответствии с формулами

$$\eta = \frac{1-\bar{x}}{s^2} [\bar{x}(1-\bar{x}) - s^2] \quad (3)$$

$$\gamma = \frac{\bar{x}\eta}{1-\bar{x}} \quad (4)$$

Задача определения законов распределения случайных величин по статистическим данным сводится к проверке правдоподобия гипотез, нахождению неизвестных параметров распределения.

Как бы хорошо ни была подобрана теоретическая кривая, между нею и статистическим распределением неизбежны некоторые расхождения.

Вывод об изменении электрической нагрузки согласно закону бета - распределения был сделан для годовых графиков нагрузки по продолжительности 365 суток. Для месячных графиков нагрузки имеют место около 720 -744 данных по часам или около 1440 – 1488 по получасам. Для суточных графиков нагрузки имеют место 24 данных по часам или 48 по получасам.

Плотность бета – распределения для месячного графика нагрузки фидера 10 кВ Гедабек, по продолжительности мая 2007 года имеет параметры  $k_3=0.4613$ ,  $\eta=27.5804$ ,  $\gamma=23.6188$  (рис. 6).

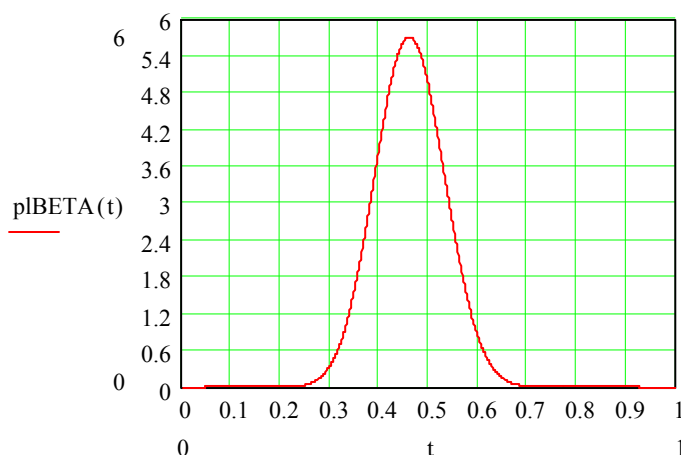


Рис. 6. Плотность бета – распределения для суточного графика нагрузки 35\10 кВ Гедабекских ПЭС, фидера 10 кВ Гедабек по измерениям мая 2007 года.

Плотность бета – распределения для суточного графика нагрузки 35\10 кВ Гедабекских ПЭС, фидера 10 кВ Гедабек по измерениям 19.05.2007 года имеет параметры  $k_3=0.585$ ,  $\eta=7.633767$ ,  $\gamma=42.58907$ .

Суточный график нагрузки по продолжительности 35\10 кВ Казахских ПЭС, фидера 10 кВ-луг Казах полученный по измерениям 01.05.2007 года электронным счетчиком Энергомера, имеет  $k_3=0.712$ ,  $\eta=56.1248$ ,  $\gamma=21.6067$ .

Получены также оценки параметров формы  $\eta$ ,  $\gamma$  после выравнивания распределения для вышеприведенных графиков электрических нагрузок линейной зависимостью, которые резко отличаются.

Суточный график нагрузки по продолжительности 35\10 кВ Казахских ПЭС, фидера 10 кВ-луг Казах, полученный по измерениям 01.05.2007 года электронным счетчиком Энергомера, имеет  $k_3=0.712$ ,  $\eta=56.1248$ ,  $\gamma=21.6067$ .

Расчеты плотности бета – распределения произведены по Mahtcad программе.

$$\begin{aligned}
 t &:= 0, 0.001 \dots 1 & \eta &:= 7.6337 & \gamma &:= 42.589 \\
 \text{gamma}\eta &:= \int_0^{100} [t^{\gamma-1} \cdot e^{-t}] dt & \text{gamma}\eta &= 3.015 \times 10^{50} \\
 \text{gamma}\eta &:= \int_0^{100} [t^{\eta-1} \cdot e^{-t}] dt & \text{gamma}\eta &= 2.431 \times 10^3 \\
 \text{gamma}\eta &:= \int_0^{100} [t^{(\gamma+\eta-1)} \cdot e^{-t}] dt & \text{gamma}\eta &= 1.451 \times 10^{63} & \frac{\text{gamma}\eta}{\text{gamma}\eta \cdot \text{gamma}\eta} &= 1.98 \times 10^9 \\
 \text{plBETA}(t) &:= \frac{\text{gamma}\eta}{\text{gamma}\eta \cdot \text{gamma}\eta} \cdot t^{(\gamma-1)} \cdot (1-t)^{(\eta-1)}
 \end{aligned}$$

Суточный график нагрузки по продолжительности 35\10 кВ Казахских ПЭС, фидера 10 кВ-луг Казах полученный по измерениям 01.05.2007 года электронным счетчиком Энергомера, имеет  $k_3=0.712$ ,  $\eta=56.1248$ ,  $\gamma=21.6067$ .

Получены также оценки параметров формы  $\eta$ ,  $\gamma$  после выравнивания распределения для вышеприведенных графиков электрических нагрузок линейной зависимостью, которые резко отличаются.

Прямая оценка параметров формы  $\eta$ ,  $\gamma$  по методу моментов дают относительно большие разбросы бета – распределения, по сравнению с результатами, полученными после выравнивания распределения.

Таким образом, оценки параметров бета – распределения произведенные методом моментов, используя результаты измерений, показывают существенные отклонения параметров формы для разных фидеров.

Используя результаты оценки параметров бета – распределения, возможно установить значения параметров  $\eta$  и  $\gamma$  и добиться повышения точности моделирования вероятностных характеристик графиков электрических нагрузок

**Пример.** По элементу распределительной сети, в течение расчетного времени  $t=1$  было передано электроэнергии, соответствующей  $k_3 = 0.5$ . Требуется определить значение потерь энергии, возникающих в элементе сети, если известно, что в результате измерений была получена информация о графике нагрузки значения  $I_{\max} = 1$ ,  $I_{\min} = 0.2$  и продолжительности максимальной нагрузки  $t_{\max} = 0.1$ .

Результаты расчетов сравнить с теми результатами, которые получаются при использовании формул, полученных выбором параметров бета - распределения через функции распределения вероятностей и по методике, полученной выбором параметров экспоненциального распределения.

График нагрузки по продолжительности  $I_1(t)$  степенной функцией имеет параметр  $\lambda=0.6$ . Аппроксимация характеристик графиков нагрузки функциями и экспонентой, обеспечивающая  $k_3=0.5$  в соответствии с [7], имеет масштабные параметры  $\rho$  и  $\alpha$ : для  $I_2(t)$  -  $\rho=2$  и  $\alpha=2.362$ ; для  $I_3(t)$  -  $\rho=3$  и  $\alpha=2.381$  и для  $I_4(t)$  -  $\rho=4$  и  $\alpha=2.417$ .

На рис 7. приведены аппроксимирующие зависимости графиков нагрузки по продолжительности степенной функцией:  $I_1(t)$  при  $\lambda=0.6$  и экспонентой:  $I_2(t)$  при  $\rho=2$  и  $\alpha=2.362$ ;  $I_3(t)$  при  $\rho=3$  и  $\alpha=2.381$ ;  $I_4(t)$  при  $\rho=4$  и  $\alpha=2.417$ .

Характеристики графиков определены использованием выражений:

- среднее значение непрерывной функции

$$I_{cp} = \int_0^T i(t) dt,$$

-среднеквадратическое значение функции

$$I_{ck} = \sqrt{\int_0^T [i(t)]^2 dt}.$$

-дисперсия случайной величины

$$D_I = \int_0^T [i(t)]^2 dt - I_{cp}^2.$$

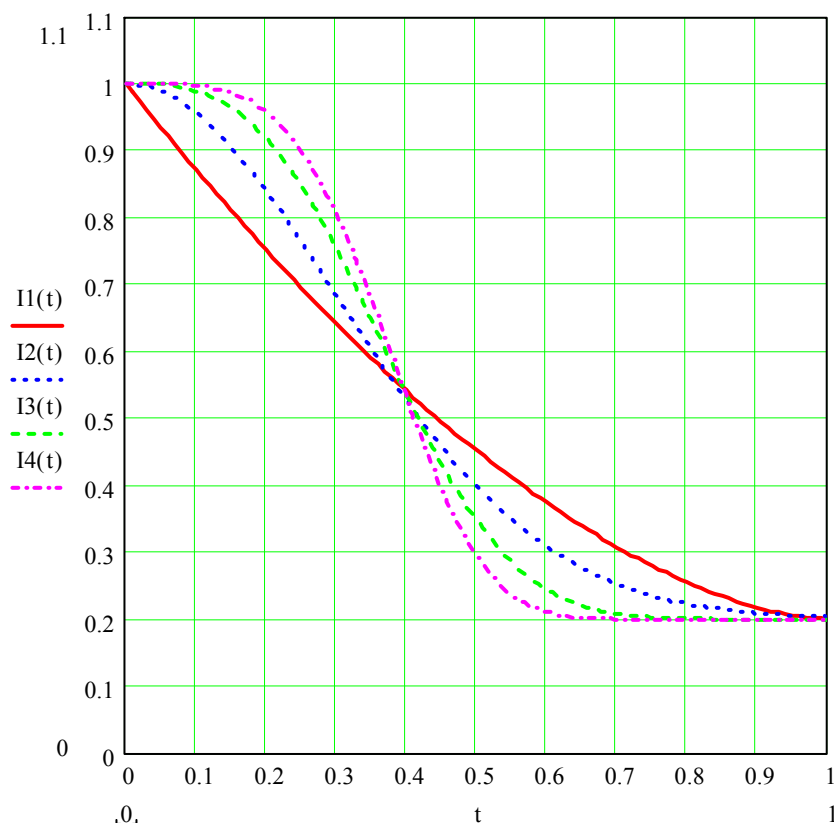


Рис 7. Аппроксимирующие зависимости графиков нагрузки по продолжительности степенной функцией  $I_1(t)$  и экспоненциальным зависимостям:  $I_2(t)$  –  $I_4(t)$  при разных  $\rho$  и  $\alpha$ .

Расчеты произведены по Mahtcad, программа расчета потерь энергии выполнена представлением графика нагрузки по продолжительности в виде плавно убывающей функции [7]. Вычисление коэффициента формы графика производится непосредственным интегрированием квадрата тока.

Результаты расчета графиков нагрузки по продолжительности в виде степенной функции(1)  $I(t)$  и экспоненциальных зависимостей  $k_{\phi}^2$  приведены в таблице.

Таблица. Результаты расчета  $k_{\phi}^2$ .

Вид аналитической зависимости	kз	$\lambda$	$I_{\min}$	$t_{\max}$	Масштабные параметры зависимости (3)		$k_{\phi}^2$
					$\alpha$	$\rho$	
Степенная	0.5	0.6	0.2	0	-	-	1.231
Экспоненциальная		-		0.05	2.362	2	1.320
		-		0.08	2.381	3	1.420
		-		0.15	2.417	4	1.447

Сопоставленные значения коэффициента формы семейства графиков представлением графика нагрузки по продолжительности в виде степенной функции и экспоненциальных зависимостей показывают, что, в зависимости от  $t_{\max}$ , коэффициенты аппроксимации  $\alpha$  и  $\rho$  графиков нагрузки принимают разные значения, а  $k_{\phi}^2$  меняется в пределах  $1.32 \div 1.447$ . Аппроксимация графиков нагрузки в виде степенной функции имеет отрицательные погрешности, оцениваемые 7-17 % .

## ВЫВОДЫ

1. Произведены оценки параметров бета – распределения для графиков нагрузки, использующие результаты измерений, которые показывают существенные отклонения параметров формы для разных фидеров.

2. Используя результаты оценки параметров бета – распределения, возможно установить значения параметров  $\eta$  и  $\gamma$  и добиться повышения точности моделирования вероятностных характеристик графиков электрических нагрузок.

3. Представлены графики нагрузки по продолжительности для различных значений  $T_{\max}$  непрерывной случайной величиной, подчиняющейся закону бета – распределения, и полученные известные зависимости имеют систематические погрешности.

4. Результаты предварительной оценки потерь энергии с использованием аппроксимирующих зависимостей графиков нагрузки по продолжительности, подчиняющихся закону экспоненциального распределения, показывают, что подбором параметров возможно добиться повышения точности моделирования расчета потерь электроэнергии.

---

1. *Клебанов Л.Д.* Вопросы методики определения и снижения потерь электрической энергии в сетях. Л: Изд-во ЛГУ, 1973, - 72 с.

2. *Хан Г., Шатира С.* Статистические модели в инженерных задачах. М., «Мир», 1969, 395 с.

3. *Л.П. Анисимов, Л.С. Левин, В.Г. Пекелис.* Методика расчета потерь энергии в действующих распределительных сетях. Электричество 1975, №4, с.27-30.

4. *Г.Е. Поспелов, Н.М. Сыч.* Потери мощности и энергии в электрических сетях. Под ред. Г.Е. Поспелова. М.: Энергоиздат, 1981. - 216 с.

5. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем. В.Э.Воротницкий, Ю.С.Железко, В.Н.Казанцев и др. М.: Энергоатомиздат, 1983. 368 с.

6. *А.Б.Баламетов* Методы расчета потерь мощности и энергии в электрических сетях энергосистем. - Баку: Елм, 2006, - 337 с.

7. Баламетов А.Б., Алиев Х.Т., Халилов Э.Д., Мамедов С.Г. Об оценке потерь энергии при вероятностном представлении графиков электрических нагрузок. Проблемы энергетики 2007 №1 с. 17-25.

## **ELEKTRİK ENERJİSİ İTKİLƏRİNİN HESABATI ÜÇÜN YÜK QRAFİKLƏRİNİN XARAKTERİSTİKALARININ MODELLEŞDİRİLMƏSİ**

**ƏLİYEV X.T.**

Paylayıcı elektrik şəbəkələrində elektrik enerjisi itkilərinin hesabı üçün yük qrafiklərinin xarakteristikalarından istifadə olunur. Elektrik enerjisi itkilərinin hesabı üçün elektrik yüklərinin qrafiklərinin kəsilməz funksiyalarla approksimasiyasına əsaslanan düsturlar geniş yayılmışdır. Bu məqalədə elektrik sayğaclarının ölçmələrinə əsaslanaraq yük qrafiklərinin ehtimal xarakteristikalarının təhlili məsələləri nəzərdən keçirilmişdir.

## **MODELLING OF SCHEDULES ELECTRIC LOADINGS CHARACTERISTICS FOR CALCULATIONS OF ENERGY LOSSES**

**ALIYEV Kh.T.**

At calculation of losses of energy in distributive electric networks production schedule characteristics are used. For calculation of losses of energy distribution was received by the formulas received on the basis of representation of schedules of electric loadings by continuous functions. In given article questions of the analysis of likelihood characteristics of schedules of electric loadings received by measurements on electronic counters are considered.