

УДК 621.311:65.035

DOI: 10.20535/1810-0546.2016.1.61736

В.Ф. Находов, А.И. Замулко, Мохаммад Аль Шарари, Д.А. Мединцева
Национальный технический университет Украины "КПИ", Киев, Украина

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ СПРОСА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ МОЩНОСТЬ НА НЕРАВНОМЕРНОСТЬ СУТОЧНЫХ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Background. The article is devoted to consideration of ways to assess the impact of consumer demand on electric power to the uneven load of the power system.

Objective. The main objective is the justification of the method choice to solve this problem, obtaining the most objective and meaningful assessment of the nature and extent of influence of groups of electrical consumers on configuration of daily graphs of the energy system load.

Methods. The methods of mathematical statistics, correlation and analysis of variance are used.

Results. The known methods of assessing the impact of consumer demand on power on the unevenness of the electric load of the power system are analyzed. A method for the determination of the coefficients of the influence of consumer groups is proposed, which allows us to objectively assess individual character and the degree of influence of these power groups for the non-uniformity of daily graphs of the power system load.

Conclusions. The utilization of the proposed method for the determination of the consumer influence coefficients on the configuration of the power system load graphs, will allow us to solve the problem of boundaries determination and daily tariff zone duration more reasonable, as well as the establishment of the necessary level of interest rates differentiated by the time electricity tariffs.

Keywords: graphs of the electrical load; irregularity of daily graphs; groups of consumers; consumers' performance influence on the uneven load.

Введение

Независимо от модели рынка электрической энергии оптимизация затрат на производство, передачу и распределение электрической энергии является одной из актуальных задач отрасли. Существенное влияние на решение данной задачи оказывает существующая неравномерность спроса потребителей на электрическую энергию и мощность [1, 2].

Неравномерность спроса потребителей на электрическую энергию проявляется в течение суток, недели, месяца, года и визуально может быть представлена в виде соответствующих графиков нагрузки энергосистемы. При этом следует отметить, что наиболее сильное влияние на надежность и эффективность работы энергетической системы оказывает суточная неравномерность ее электрической нагрузки [1, 3, 4].

Проблема неравномерности спроса на электроэнергию в энергосистеме традиционно решается тремя основными путями: созданием в энергосистеме оптимальной структуры генерирующих мощностей, использованием потоков с соседними энергосистемами и привлечением потребителей к выравниванию графиков нагрузки энергосистемы за счет административных (ограничивающих) и экономических (стимулирующих) мер [1, 4, 5].

Достаточно очевидно, что наименее затратным, наиболее быстрым и вполне реальным путем решения указанной проблемы является привлечение потребителей электроэнергии к выравниванию графиков нагрузки энергосистемы, что подтверждает, в частности, и зарубежный опыт [6].

Первым шагом на пути решения поставленной задачи должна стать оценка характера и степени влияния изменения спроса потребителей на электрическую мощность на неравномерность суточных графиков электрической нагрузки (СГЭН) энергосистемы.

Постановка задачи

Целью данного исследования является выбор способа определения характера и степени влияния групп потребителей электроэнергии на неравномерность суточных графиков электрической нагрузки энергосистемы.

Материал и результаты исследования

Характер и степень влияния изменения спроса групп потребителей на электрическую мощность на неравномерность СГЭН энергосистемы можно оценить, анализируя фактические графики нагрузки энергосистемы и соот-

ветствующих групп потребителей, зафиксированные в режимные дни.

На рис. 1 и 2 представлены графики электрической нагрузки энергосистемы, зафиксированные в летние и зимние режимные дни 2012, 2013 и 2014 гг.

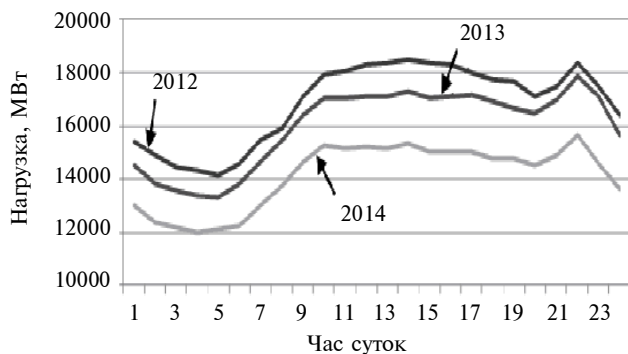


Рис. 1. Суточные графики электрической нагрузки энергосистемы в летние режимные дни 2012, 2013 и 2014 гг. [7]

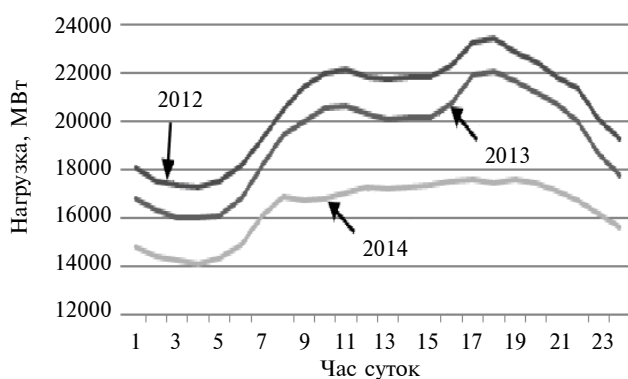


Рис. 2. Суточные графики электрической нагрузки энергосистемы в зимние режимные дни 2012, 2013 и 2014 гг. [7]

Анализируя рис. 1 и 2, даже визуально можно заметить, что суточные графики нагрузки энергосистемы в 2012 и 2013 гг. как в летние, так и в зимние режимные дни практически одинаковы по конфигурации и незначительно отличаются по уровню средней мощности. Поэтому в данной статье в дальнейшем рассматриваются графики нагрузки 2012 и 2014 гг., которые заметно отличаются между собой как по форме (особенно в зимние режимные сутки), так и по уровню нагрузки.

При этом нужно отметить, что в зимний режимный день 2014 года в связи с острodefицитным балансом мощности проводились мероприятия по принудительному ограничению потребления электрической мощности в энергосистеме. Кроме этого, температура окружающей среды в режимные дни зимних периодов

2012 и 2014 гг. составляла соответственно 3,4 и -10°C [7]. С другой стороны, в данной постановке задачи оценки характера и степени влияния изменения спроса потребителей на электрическую мощность на неравномерность СГЭН энергосистемы влияние этих факторов было одинаковым на все группы.

Суточные графики электрической нагрузки потребителей, отнесенных к промышленной группе и другим потребителям (в состав которых входит население), зафиксированные в те же летние и зимние режимные дни 2014 года, представлены на рис. 3 и 4.

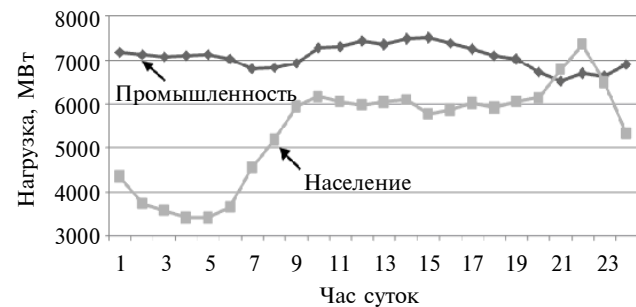


Рис. 3. Суточные графики электрической нагрузки потребителей, отнесенных к промышленной группе и другим потребителям (в состав которых входит население), в летний режимный день 2014 года [7]

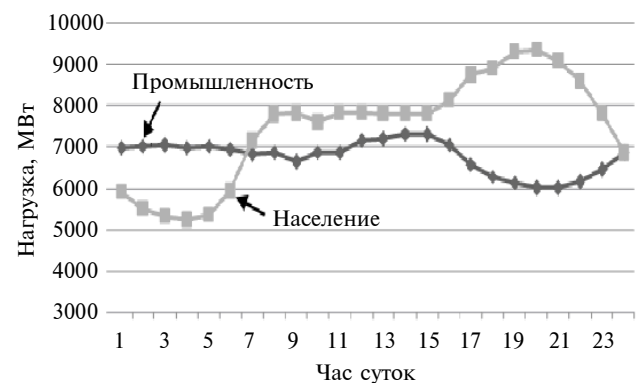


Рис. 4. Суточные графики электрической нагрузки потребителей, отнесенных к промышленной группе и другим потребителям (в состав которых входит население), в зимний режимный день 2014 года [7]

На первом этапе проведения оценки одним из признаков влияния спроса на электрическую мощность той или иной группы потребителей на неравномерность нагрузки энергосистемы может служить подобие конфигурации соответствующих суточных графиков. Причем степень подобия конфигурации этих графиков можно оценивать количественно.

С этой целью зафиксированные в каждый (например, j -й) час суток значения электрической нагрузки энергосистемы ($P_{c,j}$) и каждой (например, i -й) группы потребителей ($P_{n,i}$) необходимо рассматривать как элементы соответствующих статистических выборок, каждая из которых содержит 24 элемента. Для каждой из таких выборок могут быть определены их основные статистические характеристики: среднее значение электрической нагрузки (P_{cp}) и дисперсия (D) почасовых значений нагрузки относительно ее средней величины.

Количественной оценкой степени подобия конфигурации рассматриваемых графиков нагрузки могут служить знак и величина соот-

ветствующего коэффициента парной корреляции (R) [8]:

$$R = \frac{1}{N-1} \frac{\sum_{j=1}^N (P_{c,j} - P_{cp,c})(P_{n,i,j} - P_{cp,n,i})}{\sigma_c \cdot \sigma_{n,i}} \quad (1)$$

Как было сказано выше, с использованием зависимости (1) могут быть определены численные значения коэффициентов парной корреляции между графиками нагрузки энергосистемы и соответствующими графиками изменения спроса на мощность всех рассматриваемых групп потребителей. Результаты расчета этих коэффициентов корреляции приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Результаты оценки степени влияния характера спроса на электрическую мощность основных групп потребителей на неравномерность СГЭН энергосистемы для летних режимных дней

Дата	Название группы потребителей	P_{cp} , МВт	Корреляция, %	$K_{вклада}$, %	$K_{вл}$, %	$K_{инд.вл.}$, %
20.06.2012	Промышленность	8344	26,9	42	6	11,43
	Сельское хозяйство	421	1,1	1,8	0,25	0,47
	Транспорт	964	64,6	5,7	3,4	6,68
	Строительство	79	85,3	0,5	1	2,13
	Ком. потребители	756	86,6	5,1	3,9	7,88
	Население	6286	95,7	44	83	91,9
18.06.2014	Промышленность	7064	15,8	49,9	3,57	2,08
	Сельское хозяйство	313	-29,19	2,2	-0,9	-2,06
	Транспорт	730	58,9	5,16	2,68	5,3
	Строительство	62	83,8	0,43	1,2	2,47
	Ком. потребители	562	93,86	3,97	4,7	9,56
	Население	5401	95,49	38,2	88,7	91,11

Таблица 2. Результаты оценки степени влияния характера спроса на электрическую мощность основных групп потребителей на неравномерность СГЭН ОЭС Украины для зимних режимных дней.

Дата	Название группы потребителей	P_{cp} , МВт	Корреляция, %	$K_{вклада}$, %	$K_{вл}$, %	$K_{инд.вл.}$, %
19.12.2012	Промышленность	8238	38,5	42	7,6	11,4
	Сельское хозяйство	398	14,2	1,8	0,25	0,47
	Транспорт	1032	71,4	5,7	3,4	6,68
	Строительство	110	80,5	0,5	1	2,13
	Ком. потребители	994	94,6	5,1	3,9	7,88
	Население	8497	96,3	44	83	91,9
17.12.2014	Промышленность	6768	-32,2	41,3	-9,4	-31
	Сельское хозяйство	328	37,6	2,0	1,04	2,1
	Транспорт	851	73,7	5,2	4,4	8,89
	Строительство	85	81,2	0,05	1,26	2,6
	Ком. потребители	861	93,3	5,26	5,02	10,2
	Население	7468	93,9	45,6	97,6	87,2

Как известно, близкие к нулю значения коэффициента парной корреляции свидетельствуют о полном отсутствии статистической взаимосвязи между случайными величинами (то есть об отсутствии статистической связи между соответствующими графиками нагрузки). Достаточно же близкие к 1 значения коэффициента корреляции являются признаком наличия такой взаимосвязи. Причем положительные значения этого коэффициента свидетельствуют о том, что графики нагрузки изменяются во времени практически синхронно, а отрицательные – о том, что соответствующие графики являются “зеркальными”.

Таким образом, если судить по величине и знаку указанных в табл. 1 и 2 значений коэффициентов корреляции, то следует предположить, что наибольшее (причем отрицательное) влияние на неравномерность суточных графиков нагрузки энергосистемы оказывают коммунальные потребители и население. Однако вызывает сомнение, что характер спроса на мощность обеих этих групп потребителей одинаково сильно влияет на неравномерность нагрузки энергосистемы, поскольку их “вклад” в среднюю величину этой нагрузки существенно различен.

Такой “вклад” можно оценивать с помощью дополнительного коэффициента, который имеет соответствующее название (коэффициент вклада) и определяется простым соотношением:

$$K_{\text{вкл.}i} = \frac{P_{\text{ср.н.}i}}{P_{\text{ср.с}}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{ср.с}}$ и $P_{\text{ср.н.}i}$ – средняя мощность энергосистемы и некоторой (i -й) группы потребителей.

Для всех рассматриваемых групп потребителей численные значения коэффициентов вклада, определенные на основании зависимости (2), также приведены в табл. 1 и 2. В частности, для зимнего режимного графика 2014 года “вклад” коммунальных потребителей в среднюю нагрузку энергосистемы составлял немногим более 5 %, притом что “вклад” средней мощности, потребляемой населением, был равен почти 46 %.

Принимая во внимание эти значения коэффициентов вклада, вполне логично предположить, что характер спроса на мощность группы потребителей “Население” гораздо

сильнее влияет на неравномерность нагрузки энергосистемы, чем мощность, потребляемая коммунальными потребителями.

Следовательно, можно сделать вывод, что коэффициенты парной корреляции между графиками нагрузки энергосистемы и отдельных групп потребителей сами по себе не могут служить объективной количественной оценкой степени влияния изменения спроса на мощность этих потребителей на неравномерность нагрузки энергосистемы.

При этом необходимо помнить также, что численные значения коэффициента корреляции между какими-либо двумя случайными величинами дают представление лишь о степени “синхронности” изменения во времени этих величин, но никак не позволяют судить о наличии причинно-следственной связи между ними, то есть о влиянии одной из этих величин на другую.

Кроме того, даже при совместном использовании для этой цели коэффициентов корреляции и коэффициентов вклада групп потребителей в среднюю нагрузку энергосистемы нельзя ожидать, что произведение указанных двух коэффициентов будет правильно отражать реальное соотношение между степенью влияния отдельных групп на конфигурацию суточных графиков нагрузки энергосистемы.

С другой стороны, как уже было сказано, любой график электрической нагрузки можно рассматривать как выборку значений соответствующей случайной величины. При этом с точки зрения математической статистики неравномерность этой случайной величины характеризует дисперсия ее значений. Следовательно, степень неравномерности суточных графиков электрической нагрузки энергосистемы также можно оценивать по величине дисперсии ее почасовой мощности.

Тогда с учетом такого статического подхода к анализу графиков нагрузки характер и степень влияния изменения спроса групп потребителей на неравномерность электрической нагрузки энергосистемы можно оценивать с помощью так называемого коэффициента влияния ($K_{\text{вл}}$) [9]:

$$K_{\text{вл.}i} = \frac{D_{n.i} + \sum_{k=1}^c \text{cov}(P_{n.i} \cdot P_{n.k})}{D_c} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где $D_{n.i}$ и D_c – соответственно дисперсия графика электрической нагрузки i -й группы

потребителей и энергосистемы; C – количество неповторяющихся попарных ковариаций между значениями почасовой нагрузки i -й группы потребителей и величинами почасовой нагрузки каждой из всех остальных групп потребителей, которые рассматриваются одновременно.

В свою очередь, каждая из используемых в формуле (3) ковариаций (например, некоторая k -я ковариация) рассчитывается по формуле

$$\text{cov}_k(P_{n,i} \cdot P_{n,k}) = \frac{1}{N-1} \times \sum_{j=1}^N (P_{n,i,j} - P_{\text{ср},n,i}) \cdot (P_{n,k,j} - P_{\text{ср},n,k}), \quad (4)$$

где $P_{n,i,j}$ и $P_{n,k,j}$ – спрос на электрическую мощность в j -й час режимных суток соответственно i и k -й групп потребителей; $P_{\text{ср},n,i}$ и $P_{\text{ср},n,k}$ – среднее значение электрической нагрузки соответственно i и k -й группы потребителей за режимные сутки; N – количество значений электрической мощности в каждой из выборок ($N = 24$).

Численные значения коэффициентов влияния, определенные с использованием зависимостей (3) и (4), позволяют судить о том, какую часть (в процентах) полной дисперсии суточного графика электрической нагрузки энергосистемы создает график спроса на мощность той или иной группы потребителей. Причем положительная величина коэффициента влияния свидетельствует о том, что характер спроса на мощность соответствующей группы потребителей вносит определенный вклад в увеличение дисперсии (то есть неравномерности) графика нагрузки энергосистемы, а отрицательный коэффициент влияния является признаком того, что изменение спроса на мощность некоторой группы потребителей снижает неравномерность нагрузки энергосистемы.

Так, например, изменение спроса на мощность группы “Промышленность” почти на 10 % снижало неравномерность графика нагрузки энергосистемы для зимнего режимного дня 2014 года. В то время как неравномерность потребления энергии группой “Население” формировало почти 98 % дисперсии того же суточного графика нагрузки энергосистемы.

Алгебраическая сумма значений коэффициентов влияния всех групп потребителей, рассматриваемых одновременно, равна 100 %. Это является подтверждением того, что характер спроса на мощность этих групп потребителей действительно определяет полную дисперсию соответствующего графика электрической нагрузки энергосистемы, то есть его неравномерность.

Таким образом, можно утверждать, что совокупность указанных коэффициентов влияния, определенных на основании данных того или иного режимного дня для всех одновременно анализируемых групп потребителей, позволяет вполне объективно количественно оценивать характер и степень влияния изменения их спроса на мощность на неравномерность суточной нагрузки энергосистемы.

Однако используемые при этом зависимости (3) и (4) наталкивают на мысль о том, что численные значения отдельно взятых коэффициентов влияния не совсем правильно отражают “индивидуальное” влияние характера спроса на мощность той или иной группы потребителей на конфигурацию суточных графиков электрической нагрузки энергосистемы. Такое предположение основано на том, что в уравнении (3) присутствует сумма ковариаций между графиками нагрузки практически всех одновременно рассматриваемых групп потребителей.

Следовательно, можно сделать вывод, что коэффициенты влияния, рассчитанные с использованием формул (3) и (4), не характеризуют “индивидуальный вклад” изменения спроса на мощность некоторой группы в неравномерность графика нагрузки энергосистемы. Определенные таким образом коэффициенты влияния скорее позволяют оценивать “совместный вклад” данной группы в формирование графика нагрузки энергосистемы, создаваемый в результате взаимодействия ее графиков потребления мощности с графиками нагрузки всех других групп потребителей, анализируемых одновременно.

Исходя из этого вывода, вполне логично предположить также, что численные значения коэффициентов влияния в определенной степени зависят от состава одновременно рассматриваемых групп потребителей. Более того, значения коэффициентов влияния, определенные для одной и той же группы, могут существенно отличаться друг от друга не

только в случае изменения конфигурации графиков нагрузки самой анализируемой группы потребителей, но также и при изменении характера спроса на мощность других групп. Причем определить, что именно и в какой степени послужило причиной изменения численных значений коэффициентов влияния, не представляется возможным. Подтверждением тому являются приведенные в табл. 1 и 2 значения коэффициентов влияния, вычисленные для одних и тех же групп потребителей по данным режимных дней 2012 и 2014 гг. (особенно для зимних режимных дней).

Таким образом, можно сказать, что коэффициенты влияния, определяемые на основании зависимостей (3) и (4), нельзя считать однозначной и достаточно стабильной оценкой влияния изменения спроса на мощность какой-либо отдельно взятой группы потребителей на неравномерность суточных графиков нагрузки энергосистемы. К тому же такие коэффициенты, вычисленные на основании результатов проведения соответствующих режимных дней, по указанным причинам отражают ситуацию, уже сложившуюся в прошлом. Поэтому определяемые таким образом коэффициенты влияния далеко не всегда могут служить основанием для прогнозирования изменения в будущем неравномерности графиков нагрузки энергосистемы в результате ожидаемого изменения характера спроса на мощность той или иной отдельно взятой группы потребителей.

С другой стороны, для принятия обоснованных решений в области управления спросом потребителей на электрическую мощность прежде всего необходимо объективно оценивать именно "индивидуальное" влияние отдельных потребителей или их групп на неравномерность графиков нагрузки энергосистемы. Кроме того, необходимо также иметь возможность с достаточной достоверностью моделировать изменения конфигурации суточных графиков нагрузки энергосистемы, ожидаемые в будущем в связи с прогнозируемым изменением режимов потребления электрической мощности.

С этой целью авторами данной статьи предлагается использовать несколько иной, отличающийся от традиционного, подход к определению упомянутых выше коэффициентов влияния. Такие модифицированные коэффициенты влияния в соответствии с их главной особенностью могут быть названы

коэффициентами индивидуального влияния изменения спроса потребителей на мощность на неравномерность нагрузки энергосистемы.

Численное значение такого коэффициента для какой-либо группы потребителей можно определить весьма простым способом: путем "исключения" влияния изменения спроса на мощность данной группы на конфигурацию суточного графика нагрузки энергосистемы. Для этого реальный график потребления электрической мощности рассматриваемой группой в течение соответствующего режимного дня необходимо заместить "идеальным" графиком, не оказывающим никакого влияния на неравномерность нагрузки энергосистемы. У такого "идеального" графика все часовые значения нагрузки одинаковы и равны средней мощности данной группы потребителей, соответствующей фактическому суточному графику ее нагрузки.

При таком замещении реального графика спроса на мощность какой-либо группы потребителей "идеальным" конфигурация и, следовательно, дисперсия суточного графика нагрузки энергосистемы для соответствующего режимного дня изменятся, а ее средняя нагрузка останется неизменной.

Конфигурация "нового", измененного в результате указанного "замещения" графика нагрузки энергосистемы моделируется путем сложения почасовых значений электрической мощности всех одновременно рассматриваемых групп потребителей. Для измененного графика определяется "новая" величина дисперсии ($D_{изм.}$) почасовых нагрузок энергосистемы относительно их среднего значения.

При этом коэффициент индивидуального влияния изменения спроса на мощность анализируемой (i -й) группы потребителей на неравномерность нагрузки энергосистемы ($K_{вл.инд.i}$, %) вычисляется по формуле

$$K_{вл.инд.i} = \frac{(D_{изм.i} - D_{факт.i})}{D_{факт.i}} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где $D_{факт.i}$ – дисперсия реального графика нагрузки i -й группы потребителей в соответствующий режимный день.

Численные значения коэффициентов индивидуального влияния, определенные с использованием зависимости (5) для всех рассматриваемых групп потребителей, приведены в табл. 1 и 2.

Знак и величина этих коэффициентов определяют, в какую сторону и насколько (в процентах) могла бы измениться дисперсия соответствующего суточного графика нагрузки энергосистемы, если бы на его неравномерность не оказывал влияния реальный характер спроса на мощность той или иной группы потребителей.

Так, например, при исключении влияния на неравномерность нагрузки энергосистемы группы промышленных потребителей дисперсия суточного графика нагрузки энергосистемы в зимний режимный день 2014 года увеличилась бы на 31 %, а отсутствие влияния группы потребителей “Население” привело бы к снижению неравномерности этого же графика на 87 %.

Таким образом, становится очевидным, что реальное влияние изменения спроса на мощность промышленных потребителей зимой 2014 года способствовало снижению неравномерности (то есть дисперсии) нагрузки энергосистемы на 31 %, а группа потребителей “Население” увеличивала эту дисперсию на 87 %.

При этом полученные с использованием зависимости (5) численные значения указанных коэффициентов более объективно отражают “чистое”, “индивидуальное” влияние на неравномерность суточных графиков нагрузки энергосистемы каждой из рассматриваемых групп потребителей. Кроме того, определяя таким образом коэффициенты влияния, можно оценивать и моделировать ожидаемое в будущем изменение неравномерности нагрузки энергосистемы в связи с прогнозируемым изменением режима потребления электрической мощности какой-либо отдельно взятой группой при неизменном влиянии на конфигурацию графиков нагрузки энергосистемы всех остальных групп потребителей.

Список литературы

1. *Определение первоочередных направлений совершенствования дифференцированных тарифов на электрическую энергию* / В.Ф. Находов, А.И. Замулко, Аль Шарари Мохаммад, Ю.Н. Исаенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 1 (78). – С. 24–32. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/55785>
2. *Маляренко В.А., Шербак И.Е.* Анализ производства и потребления электроэнергии в объединенной энергосистеме Украины // Ползуновский вестник. – 2013. – № 4 (2). – С. 125–130. – Режим доступа: <http://new.elib.altstu.ru/journal/show/103091>
3. *Гущина Е.В.* Повышение энергоэффективности путем регулирования режимов энергопотребления // Молодежь и наука: Сб. мат. VI Всерос. научно-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых [Электронный ресурс]. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2011. – Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2010/section13.html>

Выводы

Коэффициенты парной корреляции между графиками нагрузки энергосистемы и отдельных групп потребителей ни сами по себе, ни совместно с коэффициентами вклада этих групп в среднюю мощность энергосистемы не могут служить объективной количественной оценкой степени влияния изменения спроса на мощность соответствующих потребителей на неравномерность нагрузки энергосистемы.

Традиционные коэффициенты влияния несколько искаженно отражают характер и степень влияния изменения спроса на мощность той или иной группы потребителей на неравномерность графика нагрузки энергосистемы, поскольку при их определении учитывается также совокупное влияние всех остальных одновременно анализируемых групп. То есть такие коэффициенты не позволяют достаточно объективно оценивать “индивидуальный” вклад каждой группы потребителей в неравномерность нагрузки энергосистемы.

Для принятия обоснованных решений в области управления спросом потребителей на электрическую мощность более целесообразным представляется использование предлагаемых авторами данной статьи коэффициентов индивидуального влияния изменения спроса потребителей на мощность на неравномерность суточных графиков нагрузки энергосистемы.

На основе объективной оценки характера и степени индивидуального влияния групп потребителей в дальнейшем могут быть получены обоснованные решения задач определения длительности и границ тарифных зон суток, а также установлен необходимый уровень ставок дифференцированных по времени тарифов на электроэнергию.

4. *Малярєнко В.А., Нечмоглод І.Е., Колотило І.Д.* Неравномерность графика нагрузки энергосистемы и способы ее выравнивания // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. – № 5 (87). – С. 19–22. – Режим доступа: <http://eprints.kname.edu.ua/25319/1/61-66.pdf>
5. *Гуртовцев А.Л., Забелло Е.П.* Электрическая нагрузка энергосистемы. Выравнивание графика // Новости электротехники. – 2008. – № 5 (53). – С. 108–114. – Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2008/53/19.php>
6. *Гительман Л.Д., Ратников Б.Е., Кожевников М.В.* Управление спросом на электроэнергию: адаптация зарубежного опыта в России // Эффективное антикризисное управление. – 2013. – № 1. – С. 84–89. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.17747/2078-8886-2013-1-84-89>
7. *Річний огляд діяльності Держенергонагляду України за 2012, 2013 та 2014 роки [Електронний ресурс].* – ДП “Національна енергетична компанія УКРЕНЕРГО”. – Режим доступу: <http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/pages/ua/onelectricityinspectorate.aspx>
8. *Гайдадин А.Н., Ефремова С.А., Бакумова Н.Н.* Применение корреляционного анализа в технологических расчетах: Метод. указ. – Волгоград: РИОРПК “Политехник”, 2008. – 16 с. – Режим доступа: <http://lit.vstu.ru/ucheba/Methodiki/korr.pdf>
9. *Находов В.Ф., Замулко А.І.* Визначення впливу споживачів на нерівномірність електричного навантаження енергетичної системи // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 1998. – № 3. – С. 19–21 с.

References

1. V.F. Nahodov *et al.* “Definition of priority directions of the improvement of differentiated electricity tariffs”, *Vostochno-Evropejskij Zhurnal Peredovyh Tehnologij*, no. 1 (78), pp. 24–32, 2015 (in Russian). Available: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/55785>
2. V.A. Malyarenko and I.E. Shcherbak, “Analysis of production and consumption of electricity in the integrated power system of Ukraine”, *Polzunovskiy Vestnik*, 2013, no. 4 (2), pp. 125–130 (in Russian). Available: <http://new.elib.altstu.ru/journal/show/103091>
3. E.V. Gushina, “Energy efficiency improvement by adjusting power modes”, in *Proc. VI All-Russian Sci. Tech. Conf. of Students, Graduate Students and Young Scientists*, Krasnoyarsk, Siberian Federal Univ., 2011 [Online] (in Russian). Available: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2010/section13.html>
4. V.A. Malyarenko *et al.* “The unevenness of energy system load graph and ways of its aligning”, *Jenergoberezhnie. Jenergetika. Jenergoaudit*, no. 5 (87), pp. 19–22, 2011 (in Russian). Available: <http://eprints.kname.edu.ua/25319/1/61-66.pdf>
5. A.L. Gurtovtsev and E.P. Zabello, “Electric power system load. Graph aligning”, *Novosti Elektrotehniki*, no. 5 (53), pp. 108–114, 2008 (in Russian). Available: <http://www.news.elteh.ru/arh/2008/53/19.php>
6. L.D. Gitelman *et al.* “The management of demand for electric energy: adaptation of foreign experience in Russia”, *Effektivnoe Antikrizisnoe Upravlenie*, no. 1, pp. 84–89, 2013 (in Russian). Available: <http://dx.doi.org/10.17747/2078-8886-2013-1-84-89>
7. Annual review of the activities of State Power Inspectorate of Ukraine for 2012, 2013 and 2014 (in Ukrainian) [Online]. Available: <http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/pages/ua/onelectricityinspectorate.aspx>
8. A.N. Gaydadin *et al.*, *Application of Correlation Analysis in Technological Calculations*. Volgograd, Russia: RIO PKK “Polytechnic”, 2008, 16 p. (in Russian). Available: <http://lit.vstu.ru/ucheba/Methodiki/korr.pdf>
9. V.F. Nahodov and A.I. Zamulko, “Determining the influence of consumers on uneven load of energy system”, *Naukovi Visti NTUU KPI*, no. 3, pp. 19–21, 1998 (in Ukrainian).

В.Ф. Находов, А.І. Замулко, Мохаммад Аль Шарарі, Д.А. Медінцева

ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІНИ ПОПИТУ СПОЖИВАЧІВ НА ЕЛЕКТРИЧНУ ПОТУЖНІСТЬ НА НЕРІВНОМІРНІСТЬ ДОБОВИХ ГРАФІКІВ НАВАНТАЖЕННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

Проблематика. Стаття присвячена розгляду способів оцінки впливу попиту споживачів на електричну потужність на нерівномірність навантаження енергосистеми.

Мета дослідження. Обґрунтування вибору способу розв’язання зазначеної задачі, який давав би змогу отримувати найбільш об’єктивну та обґрунтовану оцінку характеру і ступеня впливу груп споживачів електроенергії на конфігурацію добових графіків навантаження енергетичної системи.

Методика реалізації. Використано методи математичної статистики, кореляційного і дисперсійного аналізу.

Результати дослідження. Проаналізовано відомі способи оцінки впливу попиту споживачів на потужність на нерівномірність електричного навантаження енергосистеми. Запропоновано спосіб визначення коефіцієнтів впливу груп споживачів, що дає можливість об’єктивно оцінювати індивідуальний характер і ступінь впливу цих електроенергетичних груп на нерівномірність добових графіків навантаження енергетичної системи.

Висновки. Використання запропонованого способу визначення коефіцієнтів впливу споживачів на конфігурацію графіків навантаження енергосистеми дасть змогу більш обґрунтовано розв’язувати задачі визначення меж і тривалості тарифних зон доби, а також встановлення необхідного рівня ставок диференційованих за часом тарифів на електроенергію.

Ключові слова: графіки електричного навантаження; нерівномірність добових графіків; групи споживачів електроенергії; показники впливу споживачів на нерівномірність навантаження.

В.Ф. Находов, А.И. Замулко, Мохаммад Аль Шарари, Д.А. Мединцева

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ СПРОСА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ МОЩНОСТЬ НА НЕРАВНОМЕРНОСТЬ СУТОЧНЫХ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Проблематика. Статья посвящена рассмотрению способов оценки влияния спроса потребителей на электрическую мощность на неравномерность нагрузки энергосистемы.

Цель исследования. Обоснование выбора способа решения указанной задачи, позволяющего получать наиболее объективную и обоснованную оценку характера и степени влияния групп потребителей электроэнергии на конфигурацию суточных графиков нагрузки энергетической системы.

Методика реализации. Используются методы математической статистики, корреляционного и дисперсионного анализа.

Результаты исследования. Проанализированы известные способы оценки влияния спроса потребителей на мощность на неравномерность электрической нагрузки энергосистемы. Предложен способ определения коэффициентов влияния групп потребителей, позволяющий объективно оценивать индивидуальный характер и степень влияния этих электроэнергетических групп на неравномерность суточных графиков нагрузки энергетической системы.

Выводы. Использование предложенного способа определения коэффициентов влияния потребителей на конфигурацию графиков нагрузки энергосистемы позволит более обоснованно решать задачи определения границ и длительности тарифных зон суток, а также установления необходимого уровня ставок дифференцированных по времени тарифов на электроэнергию.

Ключевые слова: графики электрической нагрузки; неравномерность суточных графиков; группы потребителей электроэнергии; показатели влияния потребителей на неравномерность нагрузки.

Рекомендована Радою
Институту енергозбереження
та енергоменеджменту
НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції
22 грудня 2015 року