



ПРИКЛАДНЫЕ НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ

УДК 621.311:65.035

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.55785

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРВООЧЕРЕДНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ ТАРИФОВ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ

Находов Владимир Федорович, кандидат технических наук, доцент
Кафедра электроснабжения, Институт энергосбережения и энергоменеджмента,
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
ул. Борщаговская, 115, г. Киев, Украина, 03056
E-mail: nakhodov@ukr.net

Замулко Анатолий Игоревич, кандидат технических наук, доцент
Кафедра электроснабжения, Институт энергосбережения и энергоменеджмента,
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
ул. Борщаговская, 115, г. Киев, Украина, 03056
E-mail: zai_71@ukr.net

Мохаммад Аль Шарари
Аспирант, кафедра электроснабжения, Институт энергосбережения и энергоменеджмента,
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
ул. Борщаговская, 115, г. Киев, Украина, 03056
E-mail: mr_sharari@yahoo.com

Исаенко Юрий Николаевич
Кафедра электроснабжения, Институт энергосбережения и энергоменеджмента,
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
ул. Борщаговская, 115, г. Киев, Украина, 03056
E-mail: deleted.1992@mail.ru

Розглянуто діючі в Україні та Йорданії тарифи на електроенергію. Проаналізовано вплив основних груп споживачів на конфігурацію добових графіків навантаження енергосистеми, а також результати багаторічного використання в Україні диференційованих за часом тарифів. Обґрунтовано необхідність, визначено першочергові напрямки вдосконалення та подальшого розвитку існуючих в Україні та Йорданії диференційованих тарифів на електроенергію.

Ключові слова: графіки електричного навантаження, управління попитом, диференційовані тарифи на електроенергію.

Рассмотрены действующие в Украине и Иордании тарифы на электроэнергию. Проанализировано влияние основных групп потребителей на конфигурацию суточных графиков нагрузки энергосистемы, а также результаты многолетнего использования в Украине дифференцированных по времени тарифов. Обоснована необходимость, определены первоочередные направления совершенствования и дальнейшего развития существующих в Украине и Иордании дифференцированных тарифов на электроэнергию.

Ключевые слова: графики электрической нагрузки, управление спросом, дифференцированные тарифы на электроэнергию.

1. Введение

Спрос потребителей на электрическую мощность в энергетических системах Украины и Иорда-

нии очень неравномерен, особенно в течение суток. Необходимость покрытия неравномерного спроса на мощность существенно усложняет управление режимами производства электроэнергии, снижает

экономичность функционирования энергосистемы, а также негативно сказывается на надежности и качестве электроснабжения потребителей.

Значительного улучшения режимов работы генерирующего оборудования можно достичь путем выравнивания суточных графиков нагрузки энергосистемы, в частности, привлекая для решения данной задачи потребителей электроэнергии.

Одним из наиболее действенных рыночных средств управления спросом потребителей на мощность является использование для этой цели дифференцированных по времени тарифов на электроэнергию.

Анализ конфигурации режимных графиков нагрузки энергетической системы Украины за период с 1994 по 2014 год позволяет утверждать, что действующие на сегодняшний день дифференцированные по зонам суток тарифы уже исчерпали свои возможности с точки зрения действенного экономического стимулирования потребителей к дальнейшему изменению характера их спроса на электрическую мощность. К тому же, использование этих тарифов уже не способствует привлечению новых потребителей или их групп к участию в выравнивании суточных графиков нагрузки энергосистемы.

Для создания возможности эффективного управления спросом потребителей на электрическую мощность существующие в Украине и Иордании дифференцированные по времени тарифы требуют скорейшего совершенствования и дальнейшего развития.

Периодические незначительные изменения действующих в Украине дифференцированных тарифов нельзя считать достаточно обоснованными и носящими целенаправленный, системный характер.

Очевидно, что разработка и постепенная реализация четкой, взвешенной стратегии управления спросом потребителей на электрическую мощность, необходимость и актуальность которого не вызывает сомнений, прежде всего требует выявления и обоснования первоочередных направлений совершенствования существующих дифференцированных по времени тарифов на электроэнергию, чему и посвящена данная статья.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Характерной особенностью работы любой электроэнергетической системы является строгое соответствие объемов производства электрической энергии ее потреблению. Надежная энергосистема должна непрерывно обеспечивать баланс спроса и предложения на электроэнергию путем оперативного покрытия графика нагрузки соответствующей выработкой электроэнергии на генерирующих источниках с гарантированной поставкой ее в узлы

потребления. В случае нарушения этого принципа в энергосистеме изменяются частота сети переменного тока и расчетные уровни напряжения, что может привести к массовым отключениям потребителей или выходу из строя генерирующего, передающего и распределительного оборудования и электроустановок потребителей [1].

Потребители электрической энергии в силу специфики своей деятельности и соответственно электропотребления создают неравномерную электрическую нагрузку энергосистемы. Поэтому неравномерность электрической нагрузки является характерной проблемой энергосистемы любой страны.

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.

Необходимость покрытия неравномерной нагрузки неизбежно связана со значительными дополнительными расходами на обеспечение требуемого уровня надежности электроснабжения и качества электрической энергии. Поэтому для любой энергетической системы желательным, а зачастую и крайне необходимым является решение задачи выравнивания графиков ее электрической нагрузки [2].

Подтверждением тому, что решение данной задачи всегда было и остается весьма актуальным, в частности для энергосистемы Украины, являются результаты исследований, проводимых как авторами данной статьи [3], так и другими учеными [4].

Покрытие неравномерного спроса на электроэнергию в энергосистеме традиционно осуществляется тремя основными путями: созданием в энергосистеме оптимальной структуры генерирующих мощностей, за счет перетоков с соседними энергосистемами и привлечением потребителей к выравниванию графиков нагрузки энергосистемы с использованием административных (ограничивающих) и экономических (стимулирующих) методов управления спросом на электрическую мощность [5].

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

Однако использование возможностей потребителей электроэнергии регулировать свой спрос на электрическую мощность для выравнивания графиков нагрузки энергосистемы становится реальным

только при условии наличия экономической заинтересованности в этом самих потребителей.

Предпосылкой к созданию программ управления спросом (ПУС) стал всемирный энергетический кризис 1973 года, повлекший за собой рост цен и дефицит первичных ресурсов, а, следовательно, и повышение цен на электроэнергию [7]. ПУС предполагают привлечение инвестиций, для повышения энергоэффективности, а также формирование политики, основанной на финансовых стимулах (скидки на энергоэффективное оборудование или применение дифференцированных тарифов на электроэнергию), целью которой является убедить потребителя снизить собственную потребность в электроэнергии [8].

Мировым лидером в области применения экономических методов управления спросом потребителей на электрическую мощность являются США. Большое количество американских ПУС — это программы управления нагрузкой (load management), основанные на применении динамических (дифференцированных по времени) тарифов.

Дифференцированные тарифы активно применяются и в европейских странах. В Бельгии, Дании и Франции введенные еще в 1982–1986 годах системы тарифов стимулировали снижение нагрузки в период зимнего максимума за счет действия льготных тарифов в остальное время года. Среди азиатских стран наиболее успешно занимается управлением спросом потребителей на электрическую мощность Таиланд [7].

В Иордании с целью привлечения потребителей к выравниванию графиков нагрузки энергосистемы также используются дифференцированные по времени тарифы на электроэнергию [9].

Все большее внимание в последнее время уделяется разработке систем дифференцированных по времени тарифов для бытовых потребителей, управление спросом на мощность которых следует считать перспективным направлением дальнейшего выравнивания графиков электрической нагрузки энергосистемы [10].

Таким образом, публикации других авторов в целом подтверждают мнение авторов данной статьи о важности и актуальности проблемы выравнивания графиков нагрузки энергосистемы, о необходимости привлечения для решения данной задачи потребителей электрической энергии, а также о роли дифференцированных по времени тарифов для достижения этой цели.

Однако в рассмотренных публикациях отсутствует оценка достигнутых результатов управления спросом потребителей на электрическую мощность с помощью существующих дифференцированных тарифов, в частности, в Украине и Иордании, а также рекомендации относительно путей совершенствования и дальнейшего развития этих тарифов.

Кроме того, анализируя зарубежные публикации в данной области, необходимо обратить внимание на то, что задача формирования системы дифференцированных по времени тарифов, особенно с практической точки зрения, в значительной степени является уникальной для той страны, в которой такая система создается. Поэтому простое, механическое применение имеющегося в других странах опыта построения и использования системы дифференцированных тарифов для управления спросом потребителей на электрическую мощность, как правило, оказывается неэффективным или невозможным.

3. Цели та задачи исследования

Целью работы является обоснование необходимости и определение первоочередных направлений совершенствования и дальнейшего развития существующих в Украине и Иордании дифференцированных по времени тарифов на электроэнергию.

Для достижения данной цели были поставлены такие задачи:

- ➔ оценка неравномерности электрической нагрузки энергосистем Украины и Иордании, обоснование актуальности решения задачи ее выравнивания;
- ➔ анализ применяемых способов покрытия неравномерной нагрузки энергосистемы, обоснование необходимости и приоритетности привлечения потребителей электроэнергии к решению данной задачи;
- ➔ анализ действующих в Украине и Иордании дифференцированных по времени тарифов на электроэнергию как средств экономического управления спросом потребителей на электрическую мощность;
- ➔ оценка влияния характера спроса на электрическую мощность основных групп потребителей на конфигурацию суточных графиков нагрузки энергосистемы.

4. Материалы и методы исследования необходимости управления спросом потребителей на мощность на основе определения расчетных коэффициентов и анализа дисперсии режимных графиков нагрузки энергосистемы и основных групп потребителей

Оценка неравномерности электрической нагрузки энергосистем Украины и Иордании осуществлялась на основании суточных графиков нагрузки, зафиксированных в режимные дни 2012 и 2013 годов. В качестве основных показателей, использованных для последующего анализа, были определены коэффициенты неравномерности графиков нагрузки ($K_{н}$), а также число часов использования максимальной мощности энергосистемы (T_{\max}).

Применяемые способы покрытия неравномерной нагрузки, их последствия, а также возможные пути повышения надежности и экономичности функционирования украинской энергосистемы рассмотрены на основании результатов предыдущих исследований авторов данной статьи.

Приведенный анализ действующих в Украине и Иордании дифференцированных по времени тарифов на электроэнергию как средства экономического управления спросом потребителей на электрическую мощность базируется на результатах предыдущих исследований авторов данной статьи, а также на данных, полученных на основании ежегодных отчетов Центральной энергетической компании Иордании.

Оценка влияние характера спроса на электрическую мощность основных групп потребителей на конфигурацию суточных графиков нагрузки энергосистемы осуществлялась на основании анализа их дисперсии, путем определения так называемых коэффициентов влияния, рассчитанных для суточных графиков нагрузки энергосистемы и групп потребителей, зафиксированных в режимные дни 2012 и 2013 годов.

5. Результаты исследования дифференцированных по времени тарифов на электроэнергию как средства привлечения потребителей к выравниванию графиков нагрузки энергосистемы

5.1. Оценка неравномерности электрической нагрузки энергосистем Украины и Иордании.

В разных странах в зависимости от климатических и социально-экономических условий графики электрической нагрузки энергосистемы имеют особенности. Так на рис. 1 и 2 представлены летние и зимние суточные графики нагрузки объединенных энергетических систем (ОЭС) Украины [11] и Иордании [12].

Глядя на рис. 1 и 2 даже визуально можно заметить, что суточное потребление электроэнергии в обеих энергосистемах, как в летнее, так и в зимнее время, имеет весьма неравномерный характер.

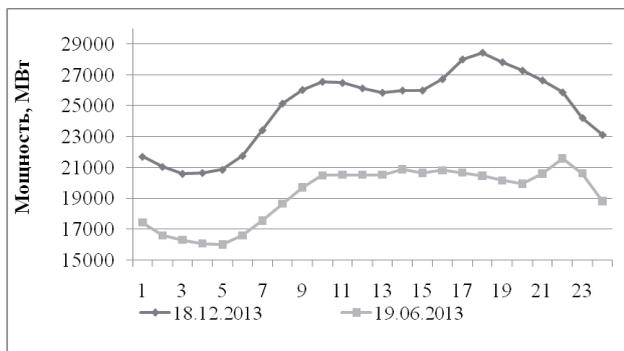


Рис. 1. Суточные графики электрической нагрузки ОЭС Украины

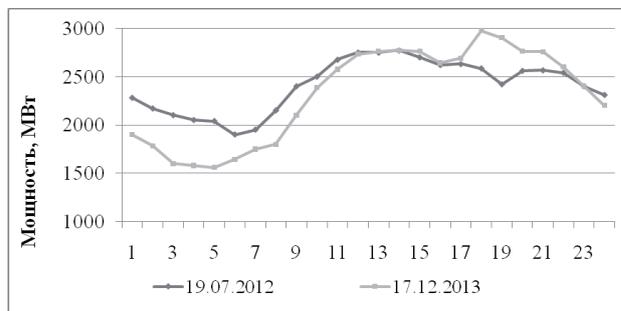


Рис. 2. Суточные графики электрической нагрузки ОЭС Иордании

Однако также не менее заметно, что уровень электрической нагрузки (средней, максимальной, минимальной) украинской и иорданской энергосистем отличаются между собой практически на порядок. Поэтому очевидно, что для сравнения степени неравномерности спроса потребителей на электроэнергию в Украине и Иордании только визуальной оценки не достаточно.

Как известно, для количественной оценки степени неравномерности суточных графиков электрической нагрузки (СГЭН) традиционно используется система расчетных показателей, в частности, таких как:

- ➔ коэффициент неравномерности графика нагрузки (K_n) — отношение минимальной мощности к максимальной;
- ➔ число часов использования максимальной мощности (T_{\max}) — отношение потребляемой энергии к максимальной мощности.

Исходные данные и результаты расчета указанных показателей, полученные на основании графиков нагрузки, приведенных на рис. 1 и 2, указаны в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные и результаты расчета показателей неравномерности СГЭН ОЭС Украины и Иордании

Дата режимного дня	$W_{\text{сут.}}$, МВт.ч	$P_{\text{макс.}}$, МВт	$P_{\text{сред.}}$, МВт	$P_{\text{мин.}}$, МВт	K_n	$T_{\text{макс}}$
Украина						
19.06.2013	462019	21572	19250,79	16011	0,74	21,41
18.12.2013	596247	28435	24843,63	20597	0,72	20,96
Иордания						
19.07.2012	57813	2770	2408,87	1900	0,685	20,87
17.12.2013	55620	2975	2317,5	1500	0,524	18,69

Данные, приведенные в табл. 1, свидетельствуют о том, что показатели неравномерности СГЭН ОЭС Украины и Иордании имеют достаточно близкие по величине числовые значения. Особенно это заметно для летнего периода.

Таким образом, можно утверждать, что спрос потребителей на электрическую энергию в течение суток, как в Украине, так и в Иордании, имеет весьма неравномерный характер. Причем степень этой неравномерности примерно одинакова. Следовательно, проблема покрытия неравномерной электрической нагрузки практически в равной степени является актуальной для энергетических систем обеих указанных стран и требует наискорейшего решения.

5.2. Применяемые способы покрытия неравномерной нагрузки энергосистемы. Эффективность покрытия неравномерного спроса на электроэнергию зависит в первую очередь от состава генерирующего оборудования энергосистемы и его маневренных возможностей [1].

Как известно, доля маневренных мощностей в генерирующей части ОЭС Украины крайне незначительна. Поэтому покрытие изменяющейся части СГЭН ОЭС Украины осуществляется в основном с помощью тепловых электрических станций (ТЭС) генерирующих компаний. В то время как наиболее эффективная работа тепловых электростанций в энергосистеме достигается при их работе практически с постоянной мощностью в базисной части графика нагрузки.

Работа оборудования ТЭС с переменной нагрузкой, частые остановки и пуски таких энергоблоков приводят к снижению их к.п.д., пережогу топлива, ускоренному износу оборудования, аварийным ситуациям и повышению себестоимости электроэнергии. Негативные последствия использования энергоблоков ТЭС в неэкономичных режимах в условиях ОЭС Украины усугубляются еще и тем, что ее генерирующая часть крайне изношена, а сжигаемое топливо далеко не всегда является достаточно качественным [3, 4].

Таким образом, очевидным путем повышения надежности и экономичности функционирования украинской энергосистемы, является модернизация и постепенная замена существующего генерирующего оборудования, в том числе и в направлении создания необходимых маневренных мощностей. С другой стороны не менее очевидно, что такой путь требует огромных материальных затрат и длительного времени. В то время как проблема покрытия неравномерного спроса потребителей на электрическую мощность требует наискорейшего решения.

Изложенное выше позволяет утверждать, что наименее затратным, наиболее быстрым и реальным на сегодняшний день путем решения указанной проблемы для украинской энергетики следует считать привлечение потребителей электроэнергии к выравниванию графиков нагрузки энергосистемы. Причем в современных рыночных условиях для достижения этой цели несомненное преимущество должны иметь не административные (ограничива-

ющие), а экономические (стимулирующие) методы управления спросом на мощность [3, 13].

5.3. Действующие в Украине и Иордании дифференцированные по времени тарифы на электроэнергию. В Иордании с целью регулирования спроса потребителей на электрическую мощность и энергию (в том числе и для выравнивания СГЭН) как для распределяющих энергокомпаний, так и для конечных потребителей, установлены соответствующие тарифы на электроэнергию [9]. В стране действуют как одноставочные, так и двухставочные тарифы с основной платой за электрическую мощность, потребляемую в часы максимальной нагрузки энергосистемы.

В частности, двухставочные тарифы установлены для всех распределяющих энергокомпаний, а также для средних и крупных промышленных предприятий. Во всех действующих двухставочных тарифах плата за электрическую энергию дифференцирована по двум зонам суток: дневной и ночной. При этом стоимость электроэнергии в ночное время для средних и крупных промышленных предприятий в среднем составляет 75...80 % ее стоимости для дневного периода суток.

Для бытовых потребителей используются одноставочные ступенчатые тарифы, которые устанавливают семь различных цен на электроэнергию в зависимости от объема ежемесячного ее потребления. Подобные одноставочные ступенчатые тарифы, но всего с двумя ступенями, установлены для коммерческих абонентов, банков, предприятий мобильной связи, а также для мелких промышленных предприятий.

Для всех остальных потребителей электроэнергии (сельское хозяйство, предприятия водоснабжения, пресса и телевидение, уличное освещение, армия, морской транспорт) используются простые одноставочные тарифы.

Во всех одноставочных тарифах, используемых для указанных групп потребителей, плата за электрическую энергию не дифференцирована по зонам суток или каким-либо другим периодам времени [9].

Таким образом, можно сказать, что действующие в Иордании тарифы на электроэнергию в той или иной степени стимулируют крупных и средних промышленных потребителей к переносу своего спроса на электроэнергию с дневного на ночное время суток, а также к уменьшению спроса на электрическую мощность в периоды пиковой (максимальной) нагрузки энергосистемы. Однако, поскольку в стране не осуществляется мониторинг изменения конфигурации СГЭН, сделать какой-либо вывод относительно эффективности влияния используемых двухставочных, дифференцированных по времени тарифов на изменение спроса крупных и средних промышленных потребителей на электрическую мощность не представляется возможным.

Что касается всех остальных групп потребителей, то установленные для них тарифы являются стимулом к уменьшению спроса на электроэнергию и никак не способствуют выравниванию суточных графиков электрической нагрузки энергосистемы.

В Украине дифференцированные по времени тарифы на электроэнергию действуют с 1995 года. Эти тарифы определяют разную цену электрической энергии в зависимости от зоны суток с различной по уровню нагрузкой энергосистемы (пиковой, полупиковой или ночной).

Количество потребителей, которые первоначально перешли на использование дифференцированных тарифов, не превышало одной тысячи. Тем не менее, анализ характерных СГЭН ОЭС Украины в течение 1990–2003 годов свидетельствует, что в этот период произошло заметное выравнивание суточных графиков ее нагрузки. Начиная с 2003 года, конфигурация СГЭН украинской энергосистемы существенно изменилась: на них практически отсутствует утренний максимум нагрузки. Эта особенность СГЭН характерна для энергосистемы Украины и в настоящее время [14].

Однако, начиная с 2003 года, дальнейших заметных изменений конфигурации СГЭН украинской энергосистемы не происходило. Практическую неизменность конфигурации СГЭН ОЭС Украины, в том числе и графиков суммарного отпуска электроэнергии потребителям, в течение последних 12 лет подтверждают количественные показатели, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов основных характеристик СГЭН ОЭС Украины в режимные дни 2007–2011 годов

Дата	P_{\max} , МВт	$P_{\text{сред}}$, МВт	P_{\min} , МВт	$K_{\text{ц}}$, %
Зимние режимные дни 2007–2011 годов				
19.12.2007	22276	20101	17468	78,4
17.12.2008	20177	17852	14931	74,0
16.12.2009	22522	19816	16500	73,3
15.12.2010	22712	20084	16944	74,6
21.12.2011	22069	19306	16080	72,9
Летние режимные дни 2007–2011 годов				
20.06.2007	17934	16527	14397	80,3
18.06.2008	18257	16766	14545	79,7
17.06.2009	15427	14260	12247	79,4
16.06.2010	17566	16063	13803	78,6
15.06.2011	17317	15746	13271	76,6

Таким образом, можно утверждать, что, несмотря на систематическое увеличение в Украине количества потребителей, использующих дифференцированные тарифы на электроэнергию, эти тарифы на сегодняшний день исчерпали свои воз-

можности с точки зрения эффективного стимулирования потребителей к заметным изменениям характера их спроса на электрическую мощность. К тому же, дальнейшее применение в Украине действующих дифференцированных тарифов не способствует к привлечению новых, достаточно мощных потребителей к участию в выравнивании суточных графиков нагрузки энергосистемы [14].

Такой результат использования в Украине дифференцированных по времени тарифов на электроэнергию является вполне закономерным, поскольку в течение 20 лет их применения эти тарифы оставались практически неизменными, в то время как в стране произошли существенные изменения в структуре потребления электроэнергии, в режимах ее производства. К тому же, следует добавить, что в Украине практически не осуществляется мониторинг и анализ результатов использования дифференцированных тарифов.

Исходя из сказанного, следует признать, что действующие в Украине дифференцированные тарифы на электроэнергию уже не соответствуют современным условиям ее производства и потребления.

Однако на сегодняшний день эти тарифы в Украине являются единственным рыночным средством управления спросом потребителей на электрическую мощность. Поэтому принципиально важным условием создания реальных возможностей для действенного экономического стимулирования потребителей к участию в дальнейшем выравнивании СГЭН ОЭС Украины является наискорейшее совершенствование и дальнейшее развитие существующих дифференцированных тарифов на электрическую энергию.

Одним из важных направлений развития действующих в Украине дифференцированных тарифов на электроэнергию является осуществление систематического анализа соответствия установленных границ тарифных периодов достижению необходимых результатов дальнейшего выравнивания суточных графиков нагрузки энергосистемы, а также совершенствование методов определения требуемой длительности и границ тарифных зон суток.

Не менее важным условием целенаправленного развития украинских дифференцированных тарифов должно стать создание системы мониторинга результативности использования этих тарифов, то есть, достаточности создаваемого ими уровня экономической заинтересованности для реального привлечения потребителей электроэнергии к участию в выравнивании СГЭН энергосистемы. Иными словами, в совершенствовании и дальнейшем развитии нуждаются также методы и методики установления необходимого уровня цен на электрическую энергию для соответствующих зон суток.

Однако для того, чтобы совершенствование действующих дифференцированных тарифов на электроэнергию носило целенаправленный характер и способствовало повышению их результативности, прежде всего, надо определить, на каких потребителей должно быть направлено их воздействие. Для ответа на этот вопрос необходимо проанализировать, какое влияние оказывает характер спроса на электрическую мощность разных групп потребителей на конфигурацию СГЭН энергосистемы.

5.4. Оценка влияния характера спроса на электрическую мощность основных групп потребителей на конфигурацию суточных графиков нагрузки энергосистемы. Характер и степень влияния изменения спроса потребителей на электрическую мощность на СГЭН энергосистемы можно определить, анализируя одновременно фактические графики нагрузки энергосистемы и соответствующих групп потребителей, зафиксированные в режимные дни.

С этой целью почасовые значения электрической нагрузки энергосистемы ($P_{c,j}$) и каждой группы потребителей ($P_{п,j}$), взятые из режимных графиков, необходимо рассматривать как соответствующие статистические выборки, 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.

Количественная оценка характера и степени влияния изменения спроса на электрическую мощность той или иной группы потребителей на неравномерность (дисперсию) СГЭН энергосистемы может быть получена путем определения численного значения соответствующего коэффициента влияния [15].

Коэффициент влияния какой-либо (i -й) группы потребителей на неравномерность электрической нагрузки энергосистемы ($K_{вл,i}$) определяется по формуле:

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

где $D_{п,i}$ 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 анализируются одновременно.

В свою очередь, каждая из используемых в формуле (1) ковариаций (например, некоторая k -я ковариация) рассчитывается по формуле:

$$\text{cov}_k(P_{п,i} \cdot P_{п,k}) = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{j=1}^N (P_{п,Vj} - P_{ср.п.V}) \cdot (P_{п,k,j} - P_{ср.п.k}), \quad (2)$$

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

В табл. 3 приведены рассчитанные с использование зависимостей (1 и 2) коэффициенты влияния изменения спроса на электрическую мощность основных групп потребителей на неравномерность СГЭН ОЭС Украины, определенные на основании летних и зимних режимных графиков 2012 и 2013 года.

Таблица 3

Результаты расчета коэффициентов влияния (в %) изменения спроса на электрическую мощность основных групп потребителей на неравномерность СГЭН ОЭС Украины

Дата	Промышленность	Транспорт	Коммунальные потребители	Население и др. непромышленные потребители
Режимные замеры 2012 года				
20.06.	4,80	2,28	3,04	70,30
19.12.	5,99	2,60	3,05	65,03
Режимные замеры 2013 года				
19.06.	3,52	2,42	3,07	71,83
18.12.	5,18	2,64	3,13	67,21

Приведенные в табл. 3 данные свидетельствуют о том, что характер спроса на электрическую мощность всех групп потребителей в той или иной степени является причиной неравномерности СГЭН ОЭС Украины. Однако подавляющую часть дисперсии СГЭН энергосистемы (65...70 %) формирует неравномерный спрос на мощность такой группы потребителей как население. Действующие же в Украине дифференцированные по времени тарифы на электроэнергию, в основном, ориентированы на управление спросом на электрическую мощность других групп потребителей, в первую очередь, промышленных. В то время как каждая из этих групп потребителей, включая и промышленность, на сегодняшний день оказывает весьма слабое влияние на неравномерность СГЭН энергосистемы (не более 2...7 % их полной дисперсии).

6. Обсуждение результатов исследования дифференцированных по времени тарифов на электроэнергию как средства привлечения потребителей к выравниванию графиков нагрузки энергосистемы

Результаты анализа неравномерности суточных графиков электрической нагрузки энергосистем Украины и Иордании свидетельствуют о том, что задача выравнивания указанных графиков нагрузки в равной степени является актуальной для энергетических систем обеих стран и требует наискорейшего решения.

Рассмотрение применяемых способов покрытия неравномерной нагрузки позволяет утверждать, что наименее затратным, наиболее быстрым и реальным на сегодняшний день путем выравнивания графиков нагрузки энергосистемы следует считать привлечение потребителей электроэнергии к решению данной задачи. Причем в современных рыночных условиях для достижения этой цели несомненное преимущество должны иметь не административные (ограничивающие), а экономические (стимулирующие) методы управления спросом на мощность.

На основании анализа результатов использования действующих в Украине дифференцированных тарифов на электроэнергию можно утверждать, что на сегодняшний день они исчерпали свои возможности с точки зрения эффективного стимулирования потребителей к изменению характера их спроса на электрическую мощность и уже не соответствуют современным условиям ее производства и потребления. Применяемые в Иордании дифференцированные по времени тарифы также не способствуют эффективному выравниванию СГЭН ОЭС. Поэтому, как украинские, так и иорданские дифференцированные тарифы на электроэнергию требуют наискорейшего совершенствования и дальнейшего развития.

Результаты оценки влияния характера спроса на электрическую мощность основных групп потребителей на конфигурацию графиков нагрузки энергосистемы свидетельствуют о том, что все рассматриваемые группы потребителей в той или иной степени является причиной неравномерности СГЭН ОЭС Украины. В тоже время, подавляющую часть дисперсии СГЭН энергосистемы формирует неравномерный спрос на мощность населения.

То же самое относится и к энергосистеме Иордании, где доля потребления электроэнергии бытовыми потребителями превышает 40 %.

7. Выводы

1. Одним из наиболее действенных средств экономического управления спросом потребителей на электрическую мощность являются дифференцированные по времени тарифы на электроэнергию.

2. Действующие в Украине и Иордании дифференцированные тарифы на электроэнергию требуют наискорейшего совершенствования и дальнейшего развития.

3. Одними из основных направлений развития действующих в Украине и Иордании дифференцированных тарифов на электроэнергию является создание системы мониторинга и анализа эффективности их воздействия на потребителей, совершенствование методов определения требуемой длительности и границ тарифных зон суток, а также методик установления необходимого уровня цен на электрическую энергию для соответствующих периодов времени.

4. Совершенствование и дальнейшее развитие украинских и иорданских дифференцированных по времени тарифов на электроэнергию должно быть направлено на существенное усиление их воздействия на бытовых потребителей с целью более эффективного их привлечения к выравниванию СГЭН ОЭС.

Литература

1. Гуртовцев, А. Электрическая нагрузка энергосистемы, выравнивание графика [Текст] / А. Гуртовцев, Е. Забелло // Новости электротехники. — 2008. — № 5(53). — Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2008/53/19.php>
2. Vera, S. Do distribution companies loose money with an electricity flexible tariff?: A review of the Chilean case [Text] / S. Vera, F. Bernal, E. Sauma // Energy. — 2013. — Vol. 55. — P. 295–303. doi: 10.1016/j.energy.2013.03.024
3. Праховник, А. В. Пути компенсации нерегулируемой мощности новых атомных энергоблоков [Текст] / А. В. Праховник, В. Ф. Находов, А. И. Замулко // Энергетическая политика Украины. — 2005. — № 3. — С. 58–64.
4. Маляренко, В. А. Анализ производства и потребления электроэнергии в объединенной энергосистеме Украины [Текст] / В. А. Маляренко, И. Е. Щербак // Ползуновский вестник. — 2013. — № 4(2). — С. 125–130. — Режим доступа: <http://new.elib.altstu.ru/journal/show/103091>
5. Маляренко, В. А. Неравномерность графика нагрузки энергосистемы и способы ее выравнивания [Электронный ресурс] / В. А. Маляренко, И. Е. Нечмоглод, И. Д. Колотило // Сучасні проблеми світлотехніки та електроенергетики. — Харьков, 2011. — Режим доступа: <http://eprints.kname.edu.ua/30007/1/49.pdf>

6. Torriti, J. Price-based demand side management: Assessing the impacts of time-of-use tariffs on residential electricity demand and peak shifting in Northern Italy [Text] / J. Torriti // Energy. — 2012. — Vol. 44, Issue 1. — P. 576–583. doi: 10.1016/j.energy.2012.05.043
7. Гительман, Л. Д. Управление спросом на энергию: адаптация зарубежного опыта в России [Текст] / Л. Д. Гительман, Б. Е. Ратников, М. В. Кожевников // Эффективное антикризисное управление. — 2013. — Режим доступа: http://www.info.e-c-m.ru/magazine/76/eau_76_207.htm
8. Yang, L. Electricity time-of-use tariff with consumer behavior consideration [Text] / L. Yang, C. Dong, C. L. J. Wan, C. T. Ng // International Journal of Production Economics. — 2013. — Vol. 146, Issue 2. — P. 402–410. doi: 10.1016/j.ijpe.2013.03.006
9. Аль Шарари, М. Энергетика Иордании: современное состояние и перспективы развития [Текст] / М. Аль Шарари, В. Ф. Находов, Ю. Н. Исаенко // Энергетика: економіка, технології, екологія. — 2014. — № 4. — С. 83–91.
10. Wang, K. Time of Use Tariff Design for Domestic Customers from Flat Rate by Model-based Clustering [Text] / K. Wang, M. Zhang, Z. Wang, R. Li, F. Li, H. Wu // Energy Procedia. — 2014. — Vol. 61. — P. 652–655. doi: 10.1016/j.egypro.2014.11.935
11. Річний огляд діяльності Держенергонадляду України за 2013 та 2014 роки [Електронний ресурс]. — Державне підприємство Національна енергетична компанія УКРЕНЕРГО. — Режим доступу: <http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/pages/ua/onelectricityinspectorate.aspx>
12. Ежегодный отчет Центральной энергокомпании Иордании за 2013 год [Электронный ресурс] // CENTRAL ELECTRICITY GENERATING Co. — Режим доступа: <http://www.cegco.com.jo/?q=en>
13. Праховник, А. В. Актуальні питання управління попитом на електричну енергію та потужність [Текст] / А. В. Праховник, В. Ф. Находов, А. І. Замулко [та ін.] // Проблеми розвитку енергетики. Погляд громадськості. — Київ, 2010. — № 7. — С. 191–193.
14. Находов, В. Ф. Аналіз результатів використання в Україні диференційованих за періодами часу тарифів на електричну енергію [Текст] / В. Ф. Находов, А. І. Замулко, Т. В. Яроцька // Електропанорама. — 2011. — № 5. — С. 26–27.
15. Находов, В. Ф. Визначення впливу споживачів на нерівномірність електричного навантаження енергетичної системи [Текст] / В. Ф. Находов, А. І. Замулко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 1998. — № 3. — С. 19–21.

Abstract. The paper deals with solving the urgent problem of leveling the daily electric load curves of power systems.

Daily load curves of power systems in Ukraine and Jordan were analyzed. It was shown that uneven consumer demand for electric power is equally characteristic of power systems in both countries, and the least expensive and most feasible solution to this problem is involving electricity consumers in leveling the power system load curves.

The influence of major consumer groups on the configuration of the power system daily load curves was analyzed. It was proved that the main reason for the uneven power system load is uneven demand for power of such consumer group as the population.

Electricity tariffs in Ukraine and Jordan as one of the most effective tools of economic management of consumer demand for electric power were considered, the results of long-term use of time-differentiated tariffs in Ukraine were examined. It was shown that differentiated electricity tariffs in both countries need urgent improvement and further development.

Priority areas for improvement and further development of time-differentiated electricity tariffs in Ukraine and Jordan were defined.

The research results and findings will contribute to the development and gradual implementation of targeted, balanced management strategy of consumer demand for electric power.

Keywords: electric load curves, demand management, differentiated electricity tariffs.