

С.М. САВИЦКИЙ

ВЫРАВНИВАНИЕ ГРАФИКА ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОАККУМУЛЯТОРОВ

В данной статье обсуждается использование комбинированной системы производства тепловой энергии автоматизированными узлами электронагрева (потребителями-регуляторами). Предложено внедрение автоматизированных систем управления электрической нагрузкой в системах электро и теплоснабжения административных зданий. Использование систем аккумуляционного электронагрева, которыми являются потребители-регуляторы, позволяет обеспечить выравнивание графика энергетической нагрузки в системе электроснабжения административных зданий. Проведенная оценка общего эффекта от выравнивания графика электрической нагрузки энергосистемы дает ответ об экономической целесообразности внедрения комбинированных систем теплоснабжения.

Ключевые слова: потребитель-регулятор, график электрической нагрузки, энергоэффективность, система электроснабжения, стоимость электроэнергии, теплоснабжения.

Введение. Рациональное использование энергоресурсов в топливно-энергетическом комплексе предполагает использование энергосберегающих технологий и экономичный режим работы оборудования на всех стадиях процесса: от производства электроэнергии до ее потребления электроприемниками. Повышение эффективности работы технической системы, включающей производство, передачу, распределение и потребление электрической энергии, уменьшения потерь на каждом этапе технологического процесса в этой системе на основе уплотнения графика электрической нагрузки и повышение качества электрической энергии является актуальной проблемой для всех стран мира. Современное состояние электрохозяйства бытового и промышленного сектора характеризуется использованием большого количества устройств. Такая ситуация привела к увеличению комфортности жизни человека, с одной стороны, а с другой – к критическому увеличению нагрузки на элементы системы электроснабжения, значительной неравномерности графиков электрической нагрузки, повышение сложности поддержания динамического баланса между потреблением и генерацией электрической энергии, снижение качества электрической энергии в распределенных сетях электроснабжения.

Постановка проблемы. Отставание темпов роста цен на электрическую энергию от цен на природный газ и нефть создает условия для использования электрической энергии вместо природного газа и мазута в системах промышленного и бытового тепло [1, 2]. Себестоимость атомной энергии в мире в три раза ниже, чем энергия, получаемая из нефти, и вдвое меньше чем по газу. Самая низкая себестоимость в электроэнергии, вырабатываемой атомными электростанциями составляет около 50% и в перспективе будет расти.

В распоряжении Кабинета Министров от 17 декабря 2008 №1567-р "О программах повышения энергоэффективности и уменьшения потребления энергоресурсов" предусмотрена необходимость уменьшения энергоемкости валового внутреннего продукта и потребления энергоресурсов, в том числе уменьшение потребления газа и использования

электроэнергии для отопления и горячего водоснабжения [3, 4]. Потери активной мощности в распределительных сетях промышленного и бытового сектора является одним из проблемных вопросов современной энергетики. Система электроснабжения промышленного и бытового сектора является динамичной структурой, в которой важную роль играют вопросы управления графиком нагрузки и улучшения его параметров. Оптимизация режимов работы производства электрической энергии за счет увеличения потребления электроэнергии в часы «ночного провала» обуславливает необходимость заменять газовый нагрев системы аккумуляционного электронагрева, которые являются потребителями-регуляторами, при этом позволил существенно снизить объемы потребления природного газа на нужды отопления.

Важность и эффективность управления спросом посредством использования тарифов реального времени было показано, что небольшое смещение в пике потребления приводит к весомым сбережениям и позволяет избежать новых пиковых электростанций [5, 6]. К методам управления электропотребления относятся методы, ведущие к изменению формы графика активной нагрузки, за счет подключения дополнительных электроприемников в часы минимум нагрузки. За счет этого среднее за период нагрузка возрастает, а максимум ии остается неизменным. Тем самым целостность графика растет, а неравномерность уменьшается [7]. Управление нагрузкой электрической энергии может быть выполнено наиболее эффективно путем использования потребителей-регуляторов. При этом существенное влияние осуществляется и на повышение надежности электроснабжения, поскольку максимальная нагрузка частично переносится в часы резерва мощности энергосистемы. Потребители регуляторы позволяют использовать многотарифные счетчики электрической энергии что дает возможность выравнивать графики электрических нагрузок для уменьшения электропотребления во времена максимума нагрузки. Методы и меры по управлению графика электрической нагрузки потребления электрической энергии за счет использования потребителей-регуляторов позволяет уменьшить пики нагрузки в

енергосистеме.

Дослідженнями встановлено пряму залежність між вирівнюванням графіка електричного навантаження за фазними проводами системи електропостачання та технологічними втратами на вищих рівнях системи електропостачання тільки для побутового сектору [8]. Наведені показники, що характеризують функціональну ефективність діючої системи електропостачання і проаналізовані тенденції їх динаміки в залежності від ефективності регулювання графіка навантаження [9, 10]. Приведені методи розроблені для побутових споживачів, які при впровадженні на практиці показали високу ефективність щодо зменшення втрат електричної енергії у відповідних системах електропостачання. Тому доцільно проаналізувати техніко-економічний ефект від впровадження споживача-регулятора для керування графіка навантаження в системі електропостачання адміністративних будівель.

Методы исследования. Учитывая технологические особенности производства электроэнергии и тепла, технико-экономическое обоснование развития электроснабжающих и теплоснабжающих систем должно основываться на информации о количестве потребляемой электроэнергии и тепла, и на изменения их потребления во времени. Такую информацию содержат перспективные графики нагрузки отдельных потребителей и суммарные графики нагрузки.

Основной характеристикой, определяющей режим работы энергосистемы, является суточный график нагрузки энергосистемы, в том числе график максимального рабочего дня, который характеризуется наибольшей суточной нагрузкой энергосистемы, график среднего рабочего дня и график минимального дня, характеризуемый наименьшей нагрузкой. Форма суточного графика нагрузки энергосистемы определяется характером и продолжительностью работы потребителей электроэнергии (рис. 1).

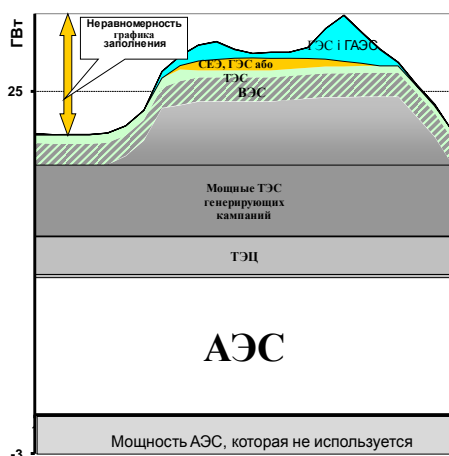


Рис. 1 – Покрытие суточного графика нагрузки энергосистемы

Многолетний опыт эксплуатации электрогенерирующего оборудования электростанций показал, что покрытие базовой части суточного

графика нагрузки наиболее экономично обеспечивать за счет: АЭС, работающих главным образом в базовой части графика нагрузки энергосистемы из-за затруднений регулирования их мощности; ТЭЦ, работающих максимально экономично тогда, когда их электрическая мощность соответствует тепловому потреблению, ГЭС, использование мощности которых не должно превышать возможности минимального пропуска воды, необходимого по санитарным требованиям и условиям судоходства. При этом покрытие пиковой части суточного графика нагрузки, как правило, обеспечивается за счет агрегатов ГЭС и ГАЭС (если их мощность достаточна), допускающих частые включения и отключения, а также быстрые изменения загрузки.

Для обеспечения наиболее экономичной работы электросистемы в пиковых частях суточного графика нагрузки необходимо иметь достаточные маневренные мощности, создание которых требует повышенных капиталовложений. Безусловно, для работы электросистемы при пиковой нагрузке больше всего подходят ГЭС и ГАЭС, т.к. рабочая мощность их легко изменяется в широких пределах. Однако мощностей ГЭС и ГАЭС на Украине не достаточно. Поэтому, из-за неравномерности режима электропотребления, а следовательно, и производства электроэнергии, украинская электросистема вынуждена нести значительные дополнительные расходы. При этом для покрытия пиковых нагрузок используются отдельные энергоблоки ТЭС, имеющие достаточно высокие удельные расходы топлива на плановые пуски энергоблоков мощностью 300 и 800 МВт в зависимости от длительности простоя (табл. 1). Из приведенных данных следует, что чем меньше длительность простоя энергоблоков, тем меньше расход топлива на пуск. При уменьшении времени простоя блоков 300 и 800 МВт до 6-10 часов по сравнению с их пуском из холодного состояния расходы топлива уменьшаются соответственно на 42, 35 и 54%.

Таблица 1 – Расходы топлива на плановые пуски энергоблоков

Длительность простоя, ч.	Расходы топлива на пуск, т.	
	300 МВт	800 МВт
Холодное состояние	173,7	599,3
50-60	158,7	448,1
30-35	141,1	433,1
15-20	136,4	430,0
6-10	100,3	276,1

Поскольку электросистема несет значительные дополнительные расходы, вызываемые неравномерностью графика электрической нагрузки, а следовательно, и производства электроэнергии, одним из весьма перспективных путей экономии топливно-энергетических ресурсов, расходуемых на выработку электроэнергии, является привлечение потребителей-регуляторов к выравниванию графика нагрузки энергосистемы. Потребители-регуляторы снижают

свои нагрузки в часы пиковых нагрузок энергосистемы и переносят их во внепиковые зоны. Особенно выгодными являются мощные потребители-регуляторы, принадлежащие к базовой нагрузке электросистемы. За счет привлечения таких потребителей на период пиковых нагрузок, продолжающихся около 6 часов в сутки, можно отказаться от использования для покрытия пиковых нагрузок от 200 до 500 МВт генерирующих мощностей ТЭС с удельными расходами топлива, близкими к средним по ТЭС Минтопливэнерго Украины – 373 т.у.т/кВт·час. Для получения такой экономии энергоресурсов электропотребители должны быть заинтересованы в регулировании (выравнивании) графика нагрузки путем снижения электропотребления в часы пиковых нагрузок энергосистемы и его переноса во внепиковые зоны, что достигается применением тарифов на электроэнергию, дифференцированных по зонам суток, и установкой у электропотребителей многотарифных электросчетчиков.

Оптовый рынок электроэнергии Украины и, соответственно потребители электрической энергии, оплачивая чрезвычайно высокие закупочные цены теплоэлектростанций, фактически субсидируют их. Здесь просматриваются сразу два негативных момента. Первый – высокие тарифы ТЭЦ увеличивают и без того высокий тариф на ОРЭ. Второй негативный момент – теплоэлектростанции, имеющие преобладающее право реализовать свою электроэнергию в энергорынок, фактически сокращают рынок сбыта для атомных и тепловых электростанций, которые могли бы производить этот объем электроэнергии по значительно меньшей цене. Тогда как АЭС и ТЭС страдают от недогрузки своих мощностей. Особенно сложное положение складывается с загрузкой как тепловых, так и атомных электростанций в ночное время суток летом.

Эффективным способом решения проблемы централизованного отопления является правильная организация теплоснабжения с комбинированной системой выработки электроэнергии и теплоты, которая дает дополнительные преимущества, т.к. создает возможность маневра мощностями при пиковых нагрузках. Переход на автономные системы отопления зданий на базе теплоаккумуляторов способствует растущая разница стоимости 1 Гкал тепловой энергии, полученной от газовых котельных и 1 Гкал тепловой энергии, полученной от электродвигателей с теплоаккумуляторами на основе ночных тарифов на электроэнергию (тарифов на электроэнергию, дифференцированных по зонам суток для промышленных и приравненных к ним потребителей). На рис. 2 показано, что рост ночных тарифов будет значительно замедлен по отношению к росту цен природного газа и, соответственно, к росту тарифов на тепло. Необходимость сбыта в энергосистему электроэнергии от неманевренных базовых атомных станций еще многие десятилетия будет удерживать ночные тарифы на электроэнергию в Украине от роста, поощряя потребителей к потреблению электроэнергии в ночные часы.

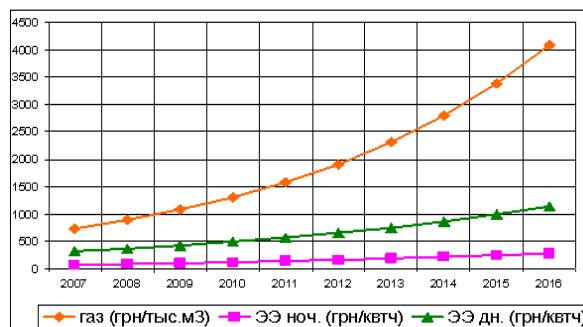


Рис. 2 - Рост ночных тарифов

На рисунке 3 показана разница в стоимости 1 Гкал тепла, полученного от использования газа и ночной электроэнергии. Из рисунка видно, что эта разница растет в пользу ночного отопления с каждым годом. Если в 2008 году разница в стоимости 1 Гкал составляет около 100 грн., то в 2016 году эта разница составит уже более 750 грн. Фактически, только переход на автономное отопление бюджетных зданий на основе теплоаккумуляторов позволяет снизить платежи за теплоснабжение, в среднем, в 3-4 раза в интервале десяти следующих лет.

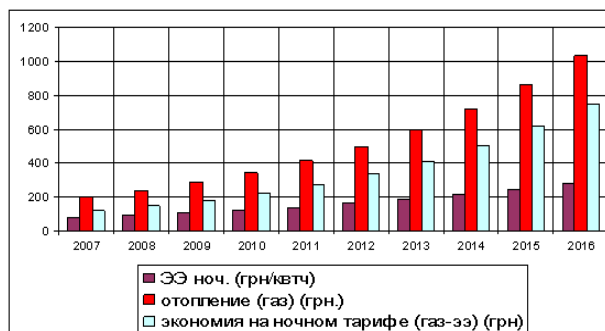


Рис. 3 - Разница стоимости 1 Гкал тепла

Выравнивания графика нагрузки энергосистемы за счет потребителей-регуляторов позволяет получить весомую альтернативу эксплуатации блоков тепловых электрических станций в маневренных режимах для поддержки баланса мощностей в электроэнергетической системе. Потребители-регуляторы делят условно на две группы:

- потребители-регуляторы, которые являются частью энергосистемы и реализуют совмещенную функцию производства – потребления электроэнергии (аккумулирующие электростанции);

- потребители-регуляторы, которые используют электроэнергию в собственных целях (технологии кабельного электротеплоаккумуляционного обогрева, автоматизированные системы нагрева воды электроэнергией).

Достоинством аккумулирующих электростанций является потребление электроэнергии в часы минимальной нагрузки и обеспечение энергией в часы максимальной нагрузки энергосистемы. За счет этого достигается уменьшение ночного провала, снижается неравномерность ГЭН, отпадает необходимость

разгрузки или остановки крупных энергоблоков электростанций.

К потребителям-регуляторам относятся установки нагрева воды на горячее водоснабжение и теплоснабжение электроэнергией с накопительными емкостями и возможностью использования электроэнергии в период провала нагрузки энергосистемы. При переходе от централизованного водо- и теплоснабжения на установки нагрева воды электроэнергией, их суммарная максимальная мощность нагрева в ночной период может достигать 600-700 МВт, тогда как мощность ГАЭС колеблется от 500 до 1000 МВ.

В системах электроснабжения в основном применяют двухтрансформаторные подстанции, мощность которых выбирается исходя из следующих условий. В случае аварии один трансформатор, с учетом допустимой перегрузки, должен обеспечить нагрузку всех потребителей (в таком случае на время можно отключить электроприемники III категории). Поэтому трансформаторные подстанции систем электроснабжения городов имеют завышенные установленные мощности. Среднесуточная загрузка городских трансформаторных подстанций и сетей не превышает 40%, а резерв установленной мощности в городских электрических сетях, с учетом допустимой нагрузки трансформаторов, превышает 50-60%.

Выводы. Таким образом, эффективным способом выравнивания сетевой нагрузки может оказаться использование избытка электрической энергии для организации централизованного горячего водоснабжения и теплоснабжения жилых, административных зданий. При этом потребители, использующие электроустановки для нагрева воды могут стать для энергосистемы потребителями-регуляторами, запасующими энергию во внепиковые часы потребления электрической энергии и использующие ее в часы максимума нагрузки, тем самым выравнивая графика потребления электроэнергии в энергосистеме.

Для того чтобы перейти на электроэнергию, используя резерв установленной мощности, необходимо регулировать мощность нагрева в зависимости от загруженности электрической сети. Т.е. для использования резервной мощности трансформатора, нагрузка должна быть управляемой и иметь возможность отключения и включения. Таким требованиям может отвечать нагрузка, которая способна аккумулировать электроэнергию во время провала нагрузок, а затем в нужный момент раздавать ее потребителям. К такой установки можно отнести тепловые аккумуляторы, которые в ночное время накапливают энергию, а в дневное она раздается

потребителям.

Список литературы: 1. Оновлення "Енергетичної стратегії України на період до 2030 р". – Затв. розпорядженням КМУ № 1071 від 24.07.2013, 2013. 2. Проект «Енергетичної Стратегії України на період до 2035 року» – Київ, 2014. – Режим доступу: <http://www.niss.gov.ua>. – Дата звертання : 20 січня 2016. 3. Проект "Плану розвитку ОЕС України на наступні десять років" – Укренерго. – Режим доступу: <http://www.ukrenergo.energy.gov.ua> – Дата звертання : 24 січня 2016. 4. Актуалізація Енергетичної стратегії України. – Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2014. – Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua>. – Дата звертання : 6 лютого 2016. 5. Правила Оптового ринку електроенергії України (Правила ринку). Додаток 2 до Договору між членами Оптового ринку електроенергії. – Затв. Радою Оптового ринку електроенергії України 02.10.1997р, 1997. 6. Про засади функціонування ринку електричної енергії України. – Верховна Рада України; Закон від 24.10.2013 № 663-VII, 2013. 7. Проект Закону про внесення змін до Закону України "Про засади функціонування ринку електричної енергії України" щодо виконання вимог Договору про заснування Енергетичного Співтовариства. – Верховна Рада України; №2199а від 30.06.2015, 2015. – Режим доступу: <http://w1.c1.rada.gov.ua>. – Дата звертання : 9 лютого 2016. 8. Денисюк С. П. Аналіз впливу нерівномірності споживання електроенергії / С. П. Денисюк, Т. М. Базюк // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. – Т. 4, № 8 (64). – С. 9–13.

Bibliography (transliterated): 1. *Onovlennja "Energetychnoi" strategii' Ukrainy na period do 2030 r* (2013). *Zatv. rozporjadzhennjam KМУ no1071 vid 24.07.2013* [Update "Energy Strategy of Ukraine till 2030"] 2. *Proekt «Energetychnoi' Strategii' Ukrainy na period do 2035 roku»* (2014). Kyiv, 41 [The "Energy Strategy of Ukraine till 2035"]. Available at: <http://www.niss.gov.ua> (accessed 20.01.2016) 3. *Proekt "Planu rozvytku OES Ukrainy na nastupni desjat' rokov"*. Ukrenergo. [The "Plan of UES of Ukraine for the next ten years" – Ukrenergo] Available at: <http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/> (accessed 24.01.2016) 4. *Aktualizacija Energetychnoi' strategii' Ukrainy* (2014). *Ministerstvo eneretyky ta vugil'noi' promyslovosti Ukrainy*. [Updating of the Energy Strategy of Ukraine. – The Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine] Available at: <http://mpe.kmu.gov.ua>. (accessed 06.02.2016) 5. *Pravyla Optovogo rynku elektroenerгии' Ukrainy (Pravyla rynku). Dodatok 2 do Dogovoru mizh chlenamy Optovogo rynku elektroenerгии' (1997)*. *Zatv. Radoju Optovogo rynku elektroenerгии' Ukrainy 02.10.1997 r*. [Rules of the Wholesale Electricity Market of Ukraine (Regulations). Annex 2 to the Agreement between members of the Wholesale Electricity Market]. 6. *Pro zasady funkcionuvannja rynku elektrychnoi' energii' Ukrainy* (2013). *Verhovna Rada Ukrainy; Zakon vid 24.10.2013 no 663-VII*. [On the Principles of operation electricity market of Ukraine. – Verkhovna Rada of Ukraine; Act of 24.10.2013 number 663-VII, 2013] 7. *Proekt Zakonu pro vnesennja zmin do Zakonu Ukrainy "Pro zasady funkcionuvannja rynku elektrychnoi' energii' Ukrainy" shhodo vykonannja vymog Dogovoru pro zasnuvannja Energetychnogo Spivtovarystva* (2015). *Verhovna Rada Ukrainy; no2199a vid 30.06.2015*. [Draft Law on Amendments to the Law of Ukraine "On principles of functioning electricity market of Ukraine" to meet the requirements of the Treaty establishing the Energy Community. – Verkhovna Rada of Ukraine; no2199a on 06/30/2015] Available at: <http://w1.c1.rada.gov.ua> (accessed 09.02.2016) 8. Denysuk S. P., Bazyuk T. M. Analysis of irregular electricity consumption [Analysis of the impact of uneven power consumption]. *Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies*, 4/8 (64), 9–13. Available at: <http://journals.urau.ua>.

Поступила (received) 05.02.2016

Савицький Сергій Михайлович – асистент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», тел.: (050) 281-38-38; e-mail: savitskiy.s@ukr.net.

Savitsky Sergey Muchaulovuch. – assistant, National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", tel.: (050) 281-38-38; e mail: savitskiy.s@ukr.net.