



Herald of CEMI. 2013-2020
ISSN 2658--3887
4 URL - <http://cemi.jes.su>
2018 All right reserved
Issue 4 Volume . 2018

ISSN 2658-3887
Свидетельство о регистрации СМИ
Эл № 77-73557 от 05 октября 2018 г.

The transition from meeting the demand for electricity to its formation as a mechanism to reduce the price of electricity and costs of integrating renewable sources into the energy system.

I. Grachev

CEMI RAS

Russian Federation, Moscow, Nakhimovsky prospect 47

S. Nekrasov

CEMI RAS

Moscow, Nakhimovsky prospect 47

Abstract

The article shows that both the task of increasing the utilization factor of the installed capacity of thermal and nuclear power engineering and the development of renewable energy sources necessitate the transition to coordination of the power system and consumers' capabilities to regulate the load schedule by adapting consumption in accordance with the technological features of generation.

Keywords list (en): capacity utilization factor, renewable energy sources, electricity consumption schedule generation mechanisms, consumer and power system integration, power generation efficiency.

Date of publication: 03.02.2019

Acknowledgment:

Работа подготовлена по результатам исследования, поддержанного Российским фондом фундаментальных исследований (проект № 17-06-00304).

Citation link:

Grachev I., Nekrasov S. The transition from meeting the demand for electricity to its formation as a mechanism to reduce the price of electricity and costs of integrating renewable sources into the energy system. // Herald of CEMI. 2018. Issue 4 [Electronic resource]. Access for registered users. URL: <https://cemi.jes.su/s265838870000171-1-1/> (circulation date: 17.02.2020). DOI: 10.33276/S0000171-1-1

1 Снижение объемов промышленного производства, преимущественно обеспечивающего базовую нагрузку энергосистемы, и возрастание доли переменного во времени коммунально-бытового электропотребления, с одной стороны, и стремительный рост возобновляемых источников в мире [1], с другой стороны, обострили задачу необходимости согласования несоответствия графиков спроса и изменяющейся в зависимости от погодных факторов генерации. Можно выделить два подхода к ее решению. Первый – предполагает определение потребности экономики в энергии, а всю совокупность энергоснабжающих предприятий рассматривает как систему. И целью системы энергоснабжения является минимизация издержек для заданной экономикой производственной программы энергетики [2]. В рамках этого подхода происходит: увеличение доли пиковых источников, в том числе за счет изменения режимов работы части тепловых станций, развитие накопителей энергии [3], повышение требований к атомным энергоблокам в части участия в регулировании и расширения диапазона изменения графика выдачи мощности. Издержки содержания в энергосистеме пиковых электростанций в рыночной экономике не могут быть в полной степени покрыты увеличением цены электроэнергии в периоды максимального спроса на электроэнергию. Эта проблема подробно рассмотрена на примере Нового Южного Уэльса (Австралия), где отпуск электроэнергии в периоды прохождения энергосистемой максимума нагрузок по цене в 18 раз, превышающей среднегодовую, лишь частично покрывал 400-кратное различие в стоимости электроэнергии, вырабатываемой пиковыми источниками, обеспечивающих 10% пик нагрузки (10% top-power), и базовыми мощностями [4]. Поэтому на протяжении последнего времени достаточно закономерным является смещение предпочтений, отдаваемых развитию накопителей [5], вследствие уменьшения стоимости аккумулирования энергии на 70% в 2010-2017 гг. и прогноза ее дальнейшего снижения на 60% к 2030 г. [6] при отсутствии предпосылок уменьшения стоимости энергомашиностроительной продукции. Развитие систем аккумулирования энергии происходило на протяжении последнего десятилетия значительно более быстрыми темпами по сравнению с пиковой генерацией, несмотря на скачкообразной прирост добычи углеводородов на основе разработок сланцевого газа, снизившем стоимость электроэнергии газовых пиковых электростанций. В свою очередь требование перевода атомных энергоблоков из несения базовой нагрузки к участию в регулировании графика мощности ведет как к их усложнению и, соответственно не способствует повышению надежности функционирования отрасли, так и снижению коэффициента использования мощности (КИУМ), что увеличивает период окупаемости капиталовложений в атомную энергетику.

2 Альтернативный подход основывается на взаимоувязке возможностей энергосистемы и потребителей путем адаптации графика потребления в соответствии с технологическими особенностями генерации. Основы управления нагрузками потребителей в отечественной энергетике были заложены в 30-е годы прошлого столетия С.А. Кукель–Краевским, а позднее – И.М. Марковичем, И.А. Сыромятниковым и т.д. за многие десятилетия до начала стремительного развития возобновляемых источников. Только тогда она имела постановку никак не связанную с особенностями графика генерации ВИЭ и оставшуюся актуальной и сегодня для тепловых и атомных электростанций, а именно: минимизация удельных расходов топлива, достижения максимального народнохозяйственного эффекта капитальных затрат в

электроэнергетику путем максимизации КИУМ энергосистемы. В результате КИУМ в советской энергосистеме был значительно выше, чем в большинстве развитых стран и в 1,2 раза превосходил сегодняшние значения энергосистемы России (0,559 в 1985 г. и 0,463 в 2014 г.), что позволяло более эффективно использовать ресурсы в электроэнергетике – одной из самых капиталоемких отраслей экономики [7]. Успехи в формировании графика спроса, обеспечивающего минимизацию издержек генерации, существенно снизили потребность в пиковых источниках энергии и системах аккумулирования энергии, которые в XX веке реализовывались преимущественно на основе ГАЭС. Поэтому гидроаккумулирование не получило широкого распространения: на территории России функционирует всего одна ГАЭС, которая находится в Московской области и не привязана к регулированию работы определенной АЭС.

3 В качестве иллюстрации оптимизации энергоснабжения в результате использования возможностей потребителя можно привести разработанный в Министерстве черной металлургии СССР механизм, позволяющий при неизменной (или даже увеличивающейся) установленной мощности электроприемников целенаправленно снижать электропотребление в период прохождения максимума нагрузки (при этом суммарная мощность совокупности электроприемников могла увеличиваться). Для энергосистемы определяющим выступает не суммарная установленная мощность совокупности электроприемников потребителя, а заявленная мощность – фактическое потребление в период прохождения максимума нагрузки. Так, например, на трубном заводе «Лентрубсталь» в 1985 г. суммарная мощность электроприемников составляла 33 МВт. Однако за счет мероприятий по координации интересов энергосистемы и технологических процессов потребителя во время максимума нагрузки потребление электроэнергии не превышало 3,3 МВт. В результате увеличения потребления в период дневного и ночного снижения нагрузки более заявленной мощности обеспечивалось время использования заявленной мощности более 8760 часов в году [8].

4 Первым этапом решения рассматриваемой проблемы являлась корректировка технологических процессов, согласованное изменение графика рабочего времени, перенос времени обеденных перерывов и т.д. Вторым – реализация проектных решений, обеспечивающих разгрузку существующего электроемкого оборудования на один-два часа в сутки. Третьим – разработка нового оборудования, позволяющего увеличивать период снижения электропотребления без ущерба для основного технологического процесса. Если первый этап реализовывался достаточно быстро, то второй и, особенно, третий требовал долгосрочного целеполагания и определял направление технологического развития в отрасли. В результате за счет снижения потребления в период прохождения максимума нагрузки металлургические предприятия принимали на себя функцию регуляторов энергосистемы и обеспечивали фактическое использование заявленной мощности до 12 400 часов в год.

5 Следует отметить, что если для системы электростанций задачей является обеспечение экзогенной для нее производственной программы, эти наработки не востребованы, повышение КИУМ не входит в первоочередные задачи развития отечественной энергетики, и по настоящее время даже в условиях пренебрежимо малого развития возобновляемых источников в России он продолжает снижаться. Об этом свидетельствуют значения коэффициента использования установленной мощности в самый холодный первый квартал года, когда потребление электроэнергии в ЕЭС России максимально (Таблица).

6 **Таблица Показатели производства электроэнергии за первый квартал и мощности ЕЭС в 2012-2017 гг.**

Год	КИУМ ЕЭС	Производство электроэнергии, млрд кВт·ч	Мощность ЕЭС, МВт
2017	56%	287 101	237 455

2016	56%	284 658	235 312
2015	56%	281 361	232 795
2014	57%	280 433	227 547
2013	59%	286 100	223 330
2012	62%	291 800	219 614

7 Приведем данные для ОЭС Беларуси оценки влияния низкой эффективности использования генерирующих мощностей на издержки энергоснабжения потребителей (годовой объем выработки преимущественно на основе тепловых электростанций ~ 30 млрд кВт·ч, что не превышает 3% объема генерации в России). В работе [9] обосновано, что годовой эффект повышения эффективности использования мощностей путем выравнивания графика нагрузки составляет 71 млн долл. США в год, из которых только 45 млн долл. может быть отнесено на инвестиционную составляющую. Затраты, которые не являются инвестиционной составляющей обусловлены большим удельным расходом топлива в отличных от номинальных режимах с частичной загрузкой; запусками и остановами не только нового, но и ранее эксплуатируемого оборудования, что в свою очередь негативно влияет на ресурс и аварийность энергоблоков; вызывает рост объема ремонтных работ, увеличение доли постоянных затрат на обслуживание электростанций и т.д. Эти сопоставимые с инвестиционной составляющей затраты являются прямыми потерями. То есть мы имеем дело с мультипликативным эффектом снижения эффективности энергетики, когда на каждый рубль, вложенный в опережающий потребление рост энергетических мощностей, требуется оплатить примерно такой же объем дополнительных не подающихся монетизации прямых потерь, обусловленных технологическими особенностями отрасли. Величина этих издержек не может быть определена в полной мере, и как утверждают авторы [9], не исключено наличие еще не обчисленных составляющих. Еще в меньшей степени поддается учету их явно неположительное влияние на динамику электропотребления.

8 Таким образом, в зависимости от того подразумевается ли взаимоувязка возможностей потребителя и энергосистемы для оптимизации энергоснабжения возможны различные подходы решения вопроса согласования графика нагрузки и режимов работы генерирующих мощностей:

- формулировка производственной программы для энергосистемы, предусматривающей выдачу мощности по графику задаваемому потребителем;

- не удовлетворения спроса, а его формирование в наибольшей степени приближенного к возможностям генерации путем комплекса реализуемых у потребителя мероприятий.

9 По сути следование второму подходу является возвращением потребителя в неразрывную технологическую цепочку «производство-потребление топливно-энергетических ресурсов (ТЭР)». Именно такой подход был положен в основу развития советской энергетической науки, изучающей закономерности, явления, процессы, средства преобразования, распределения и использования всех видов энергии и энергетических ресурсов [10].

10 В части регулирования нагрузок этот подход обеспечивал оптимизацию эффективности использования установленных мощностей путем стимулирования увеличения потребления в периоды спада спроса, приходящегося преимущественно на ночное время, и минимизации потребления в заранее известное время прохождения максимума нагрузки. При появлении в энергосистеме распределенной генерации (установок, подключенных к шинам распределительной подстанции, в т.ч. на стороне нагрузки, и оснащенной автоматикой для обеспечения синхронной работы с энергосистемой, отключения от энергосистемы и поддержания автономной работы), как зависящей от природных условий, так и позволяющей изменять мощность требуется изменение алгоритма управления. Целесообразным является

введение управляющего параметра, изменяющегося во времени и позволяющего корректировать потребление и генерацию регулируемых источников, в зависимости от нагрузки в локальной зоне энергосистемы. Изменение должно происходить не только во времени, но и при переходе от зоны действия одной понизительной подстанции к другой. В результате оптимизации энергоснабжения совокупности потребителей в условиях наличия источников распределенной генерации возникнут предпосылки для формирования отдельных интеллектуальных микросетей (smart microgrid) в зоне действия каждой понизительной подстанции. На первоначальном этапе функцию такого управляющего параметра может выполнять плавающая цена электроэнергии. Заметим, что в условиях хорошо предсказуемой динамикой изменения как спроса, так и генерации, введение изменяющейся во времени цены электроэнергии было избыточным требованием. Переменные цены создадут мотивацию потребителей к переносу нагрузок на периоды низкой цены электроэнергии. Микросети на основе плавающей стоимости энергии способны эффективнее регулировать потребление электроэнергии, чем потребитель, принимающий решение о выборе режимов работы электроприемников на основании применяемых в настоящее время зонных тарифов. Поэтому более перспективным подходом к регулированию графика нагрузки является не фиксирование нескольких ступеней стоимости электроэнергии и установка многозонных приборов учета, а управление режимами электротехнических комплексов и систем потребителей на основе плавающей стоимости электроэнергии.

11 Возможность обработки информации в реальном режиме времени и выработки алгоритмов, позволяющих оптимизировать энергоснабжение в пределах каждой микросети, обеспечат блокчейн технологии. По истечению определенных интервалов времени, например суток, на их основе будут проводиться финансовые взаиморасчеты между всеми участниками.

12 В перспективе по мере развития системы сбора и обработки информации для координации характера потребления с возможностями генерации и загруженностью линий электропередач целесообразно введение не скалярного, каковым является цена электроэнергии, а векторного управляющего параметра. Он должен содержать не только мгновенную информацию об издержках генерации и сетевой инфраструктуры по передаче электроэнергии, но и совокупность значений от каждого подключённого к сети электроприемника и генератора о величинах издержек в результате изменения на различных временных интервалах потребления или выработки электроэнергии.

13 Данный механизм будет способствовать как снижению издержек функционирования существующих тепловых и атомных электростанций в результате обеспечения их работы в оптимальных режимах, так и формированию совокупности потребителей, способных корректировать свой профиль потребления исходя из возможностей генерации, значительную долю в которой в перспективе займут ВИЭ.

14 В 2010-2017 гг. доля солнечной и ветровой генерации в России увеличилась до 0,1% в общем объеме производства электроэнергии. Пока это значение не достигнет 7-10 %, задача повышения загрузки существующих мощностей, а не приведение потребления в соответствие к стохастическому графику возобновляемых источников является наиболее актуальной. Требования, предъявляемые к потребителям для максимизации КИУМ сегодняшних мощностей и для приема энергии от ВИЭ имеют одинаковую природу. Поэтому развитие энергетики с активной ролью потребителя обеспечит повышение загрузки существующих мощностей, а по мере развития ВИЭ их интеграцию в энергосистему с минимальными издержками.

References:

1. Nizhegorodtsev R.M., Ratner S.V. Tendentsii razvitiya promyshlenno osvoennykh tekhnologij vozobnovlyaemoj ehnergetiki: problema resursnykh ogranichenij // Teploehnergetika. 2016, №3, s.43-53.
2. Chernavskij S.Ya. Uspekhi i neudachi reformirovaniya rossijskoj ehnergetiki / Otkrytyj seminar URAN INP "Ehkonomicheskie problemy ehnergeticheskogo kompleksa" / M. URAN INP. 2015, 75 s.
3. International Renewable Energy Agency, Adapting market design to high shares of variable renewable energy, 2017, 168 p.
4. Tony Vassallo. Bottling Electricity: The Need for Energy Storage. Delta Electricity Chair in Sustainable Energy Development School of Chemical & Biomolecular Engineering University of Sydney. AIE Sydney Branch. April 4 2011, URL: <http://aie.org.au/Content/NavigationMenu/Events/PastEvents/>
5. Energy Storage – a cheaper and Cleaner Alternative to Natural Gas-Fired Peakers // URL: https://www.ice-energy.com/wp-content/uploads/2016/04/cesa_peaker_vs_storage_2010_06_16.pdf
6. New Energy Outlook. Bloomberg New Energy Finance. 2017. // URL: <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/>
7. Grachyov I.D., Nekrasov S. A. Vzaimouvyazka interesov potrebitelej i proizvoditelej ehnergii kak vektor razvitiya otechestvennoj ehnergetiki // Natsional'nye interesy. Priority i bezopasnost'. 2015, № 38, s. 2-9.
8. Avdeev V.A., Kudrin B.I., Yakimov A. E. Informatsionnyj bank "Chermetehlektro". - M.: Ehlektrika, 1995.- 400 s. // URL: <http://www.kudrinbi.ru/public/10000/index.htm>
9. Zabello E. P., Gurtovtsev A.L. Ehlektricheskaya nagruzka ehnergosistemy. Vyravnivanie grafika. // Novosti ehlektrotekhniki. №5, №6, 2008.
10. Melent'ev L.A. Ocherki istorii otechestvennoj ehnergetiki / M.: Nauka, 1987. 278 s.

Переход от удовлетворения спроса на электроэнергию к его формированию как механизм снижения стоимости электроэнергии и издержек интеграции возобновляемых источников в энергосистему

Грачев И. Д.

*Центральный экономико-математический институт РАН
Российская Федерация, Москва, Нахимовский проспект 47*

Некрасов С. А.

*Центральный экономико-математический институт РАН
Москва, нахимовский проспект 47*

Аннотация

В статье показано, что как задача повышения коэффициента использования установленной мощности тепловой и атомной энергетики, так и развитие возобновляемых источников энергии обуславливают необходимость перехода к координации возможностей энергосистемы и потребителей по регулированию графика нагрузки за счет адаптации потребления в соответствии с технологическими особенностями генерации.

Ключевые слова: коэффициент использования установленной мощности, возобновляемые источники энергии, механизмы формирования графика потребления электроэнергии, интеграция потребителя и энергосистемы, эффективность использования генерирующих мощностей.

Дата публикации: 03.02.2019

Ссылка для цитирования:

Грачев И. Д. , Некрасов С. А. Переход от удовлетворения спроса на электроэнергию к его формированию как механизм снижения стоимости электроэнергии и издержек интеграции возобновляемых источников в энергосистему // Вестник ЦЭМИ РАН. 2018. Выпуск 4 [Электронный ресурс]. Доступ для зарегистрированных пользователей. URL: <https://cemi.jes.su/s265838870000171-1-1/> (дата обращения: 17.02.2020). DOI: 10.33276/S0000171-1-1