



УДК 620.92

**ПОТРЕБИТЕЛЬ - РЕГУЛЯТОР И ПРОДУКЦИЯ, КАК АККУМУЛЯТОР
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ
КОМБИНАТАХ****Кухарчук Александр Васильевич**

старший преподаватель

Пермский Национально Исследовательский Политехнический Университет

электротехнический факультет

кафедра микропроцессорных средств автоматизации

Пермь

kuharchuk@msa.pstu.ac.ru**Аннотация**

В настоящее время мировая энергетика активно внедряет технологии управления спросом на электрическую энергию и мощность. В статье на основании анализа электротехнологического оборудования предприятий целлюлозно-бумажной промышленности определено оборудование, для участия в управлении спросом на электрическую энергию и мощность без ущерба для основного технологического процесса. Сформулированы принципиальные подходы к реагированию на спрос в рамках существующих технологических процессов.

Ключевые слова: управление спросом; электрическая энергия и мощность, планирование производственных процессов, энергозатраты.

**CONSUMER REGULATOR AND PRODUCTS AS A BATTERY OF ELECTRIC
ENERGY AT PULP AND PAPER FACTORIES****Alexsandr V. Kukharchuk**

senior lecturer

Perm National Research Polytechnic University

Perm, Russia

kuharchuk@msa.pstu.ac.ru**ABSTRACT**

Currently, the world energy industry is actively introducing technologies to manage demand for electric energy and power. Based on the analysis of the electro-technological equipment of the pulp and paper industry enterprises, equipment was determined to participate in the management of demand for electric energy and power without prejudice to the main technological process. The principal approaches to responding to demand in the framework of existing technological processes are formulated.

Keywords: demand response, electric energy and power, production planning, energy consumption.

Введение

28 июля 2017 г. премьер-министр Российской Федерации Дмитрий Медведев утвердил программу развития цифровой экономики в России, цель которой – до 2030 г. выстроить системное развитие и внедрение цифровых технологий во всех областях жизни: экономике, социальной деятельности, государственном управлении, энергетике и других. Современные высокоскоростные средства обработки и передачи информации в рамках систем автоматизированного управления технологическими процессами позволяют осуществлять управление в реальном времени и оперативное принятие решений по дозировке управляющих воздействий с последующим автоматическим исполнением.

20 марта 2019 года было подписано Постановление Правительства №287 «О внесении изменений в акты Правительства Российской Федерации по вопросам функционирования агрегаторов управления спросом на электрическую энергию в Единой энергетической системе России, а также совершенствования механизма ценозависимого снижения потребления электрической энергии и оказания услуг по обеспечению системной надежности».

Суточные графики электрических складываются из графиков нагрузок отдельных потребителей, имеющих индивидуальные особенности. Плотность и равномерность графика нагрузки оказывает сильное влияние на электроэнергетические режимы энергообъединений. Возможность регулирования графиков электрических нагрузок потребителей дает возможность рационально распределять загрузку генерирующего оборудования, упрощает планирование ремонтных и профилактических работ на объектах электроэнергетической системы и т.д. Снижение нагрузки потребителя полностью эквивалентно увеличению загрузки энергоблоков, в том числе позволяет снизить финансовую нагрузку на предприятия за счет оптимального планирования электропотребления по тарифным зонам и снижения заявленной максимальной мощности.

Особенность рынка электроэнергии (одновременность производства и потребления) приводит к тому, что цена на электроэнергию определяется ценой самого «дорогого генератора». Потребители не могут влиять на цену, они лишь могут снизить потребление в часы пиковых нагрузок (максимальных цен). 20 июля 2016 г. утверждено Постановление Правительства РФ №699 «О внесении изменений в Правила оптового рынка электрической энергии и мощности», которое дает возможность потребителям управлять спросом на электроэнергию и влиять на рыночную цену электроэнергии. Участвующие в механизме ценозависимого снижения потребления потребители, по команде системного оператора в часы максимума потребления могут «замещать» мощности генераторов.

Потребитель-регулятор – это потребитель, в структуре которого имеется электро-технологическое оборудование, которое может работать в режиме регулирования графика нагрузки в соответствии с потребностями электроэнергетической системы и требованиям регулятора, либо заданию от автоматизированной системы управления технологическим процессом предприятия. Принятие Еврокомиссией Пакета по чистой энергии (Clean Energy Package) в ноябре 2016 г. отмечает начало широкомасштабного раскрытия потенциала управления спросом в Европе. В настоящее время в Европе задействовано около 20 ГВт мощности участвующей в управлении спросом, при этом Еврокомиссия оценивает потенциал мощности в 100 ГВт с перспективой роста до 160 ГВт в 2030 году [1]. Общий регулирующий эффект нагрузок потребителей по различным оценкам, может

составлять до 10-15% от величины пиковой нагрузки энергосистем [2, 3]. Начиная с 2010 г., методы управления спросом на электрическую энергию и мощность активно развивается на рынках электроэнергии и получили возможность конкурировать с производством электроэнергии. Программы управления спросом внедряются в США, Евросоюзе, Австралии, Новой Зеландии, Китае и других странах [4]. По предварительным оценкам потенциал управления спросом для ЕНЭС может составить 6-10 ГВт для первой ценовой зоны и 2-3 ГВт для второй ценовой зоны, суммарно до 13 ГВт [4].

Механизмы ценозависимого снижения потребления и реагирования на спрос так же могут повлиять на платежную дисциплину предприятий с большой энергоемкостью выпускаемой продукции [5].

В целлюлозно-бумажная промышленность потребляется значительное количество электрической энергии, вносящей вклад в себестоимость продукции, например, в энергоемкости производства целлюлозы электрическая энергия составляет около 12 % [6].

Целлюлозно-бумажные комбинаты имеют схожие технологические процессы. Различия в конечных продуктах не оказывает влияния на основную технологию изготовления бумаги. Потребляемая мощность бумажных комбинатов изменяется в зависимости от производственных процессов, в технологическом процессе задействованы множество электродвигателей и других устройств преобразования электрической энергии. Расход электрической энергии практически линейно зависит от выхода конечного продукта.

Цель исследования.

Актуальной задачей является разработка и применение методов идентификации и отбора электротехнологического оборудования целлюлозно-бумажных комбинатов имеющего возможность участия в механизмах управления мощностью и потреблением электрической энергией с учетом материалов и сырья, находящегося внутри технологического процесса. Потенциал электротехнологического оборудования для участия в управлении спросом требует систематизации. В работах отечественных и зарубежных исследований отсутствуют конкретные практические методы и критерии идентификации электротехнологического оборудования перспективного для участия в механизмах реагирования на спрос и ценозависимое снижение потребления с учетом существующей ситуации внутри технологического процесса, либо они имеют высокую для реализации сложность [6, 8, 9]. Появляется необходимость определения взаимосвязей производительности отдельных механизмов внутри технологического процесса друг на друга.

Материалы и методы.

Участие в реагировании на спрос, либо ценозависимом снижении потребления может потребовать многократного в течение суток снижения нагрузки, при этом необходимо, чтобы влияние на производительность было исключено, либо допускаться лишь тогда, когда это целесообразно с точки зрения экономического эффекта [10]. Следовательно, нагрузки для целей реагирования на спрос должны быть некритическими для производственного процесса. Например, работа бумагоделательных машин является основным процессом технологического цикла целлюлозно-бумажных комбинатов, нарушение которого недопустимо.

Следует учитывать, что на целлюлозно-бумажных комбинатах, как правило, отсутствует оборудование с возможностью непосредственного запасаания электрической энергии – накопители. Электрооборудование имеющее возможность автоматического управления производительностью, например, посредством применения преобразователя частоты и управлении технологическим процессом имеет особенности. Обычно, если электродвигатель работает под управлением частотного преобразователя, реализуются алгоритмы энергоэффективного управления. Следовательно, его практически

невозможно использовать в целях регулирования проса на электрическую энергию и мощность, не создавая проблем для производственного процесса, так как существующий режим характеризуется оптимальной нагрузкой. Потребление электрической энергии и мощности в системах механизм – асинхронных двигатель – преобразователь частоты хорошо изучено и сведено к минимуму.

Результаты и обсуждение.

На целлюлозно-бумажных комбинатах для анализа имеет смысл выделить основные группы процессов. Часть систем кондиционирования воздуха могут быть рассмотрены в отрыве от производственных процессов и иметь потенциал к регулированию мощности с учетом ограничений.

Насосы используемые для транспортировки массы внутри технологического процесса являются важной частью производства и жестко связаны с ним.

Существующие системы освещения не имеют, как правило, потенциала к участию в регулировании спроса на электрическую энергию и мощность, так как снижение уровней освещенности путем дискретного управления влияет на безопасность проводимых работ, а отсутствие соответствующей пускорегулирующей аппаратуры не позволяет выполнять диммирование источников света, например, в зависимости от естественной наружной освещенности.

Электродвигатели с длительным режимом работы могут использоваться в управлении спросом, если это позволяют технологические ограничения, при этом использование электродвигателей с повторно-кратковременными режимами работы может быть затруднительно, в связи с невозможностью согласования времени участия в реагировании на спрос и рабочим циклом.

Отбор оборудования для участия в регулировании спроса должно выполняться по следующим критериям: мощность нагрузки, наличие технической возможности регулирования производительности/мощности, способ регулирования, наличие строгих ограничений со стороны технологического процесса. Любые механизмы при наличии избыточной производительностью с последующей подачей сырья в накопители могут быть использованы для оптимального распределения спроса на электрическую энергию и мощность по времени суток в пределах оптимальных ценовых зон.

Ограничения со стороны технологического процесса могут быть определены путем непосредственных испытаний путем измерения минимальной и максимальной величины спроса. Значения максимального и минимального спроса позволяют определять имеющийся на текущий момент резерв мощности и при необходимости его использовать.

В концепции организации цифрового производства возникает возможность рассмотрения изготовленных запасов сырья и материалов, используемых при производстве конечного продукта, как накопителя электрической энергии, расходуемой в моменты необходимости снижения спроса на мощность и электрическую энергию. Наличие хранилищ (буфера) сырья и материалов по ходу технологического процесса является показателем потенциальной гибкости и возможности участия оборудования, работающего на хранилище в управлении спросом.

Оборудование имеющую избыточную производительность работающее на хранилища имеет определенные показатели, при этом в линейных технологических процессах обычно присутствует участок с наименьшей производительностью, производительность данного участка ограничивает возможности реагирования на спрос сверху. Производственный план фактически ограничивает возможности участия электротехнологического оборудования в процессе реагирования на спрос снизу.

Как правило, управление множеством оборудования технологического процесса может приводить к ошибкам, следовательно, желательно объединение оборудования в группе имеющие единый в группе ритм работы связывающий группу.

Выводы.

Использование сведений о материалах и сырье находящихся внутри производственного процесса позволяет считать их запасами электрической энергии и мощности. План изготовления запасов сырья и материалов в этом случае должен определяться временем необходимым для работы в режиме ограничения спроса на мощность и электрическую энергию от энергосистемы и их длительностью. Оценка возможных графиков производственных процессов выполняется с целью снижения затрат на электрическую энергию и мощность. Выбор оборудования, участвующего в регулировании без ущерба для технологического цикла возможен при наличии данных о технологическом процессе и опыта, позволяющего выявлять оборудование, наиболее подходящее к участию в регулировании. Сформированный с использованием статистических данных профиль по потреблению электроэнергии, определяет ожидаемый (базовый) график потребления электрической энергии и мощности относительно которого могут быть определен объем изменения спроса. Возможно, выполнение зонирования изготавливаемых запасов для внедрения математического аппарата автоматического управления, позволяющего организовать управление разгрузкой, загрузкой и производительностью технологических механизмов по производству конечной продукции, не вносящего изменений в последующий технологический процесс.

Управление нагрузкой возможно за счет планирования производства во времени, т.е. смещения пиковых нагрузок, снижения производительности, отключения нагрузки. Смещение работ по плановым остановам производства на часы максимальных нагрузок, либо часы с наибольшей стоимостью электрической энергии и мощности опираясь на прогноз цен на электрическую энергию и мощность позволяет оптимизировать затраты.

К сожалению, невозможно знать наверняка, какое влияние окажет управление спросом на электрическую энергию и мощности за счет рассмотренных в статье подходов, проверка выбранного для участия в реагировании на спрос электротехнологического оборудования должна выполняться опытным путем, с постепенным увеличением количества задействованного оборудования и определением допустимых режимов работы. Аналогично сложно предсказать влияние способ управления связанных с управления спросом отдельных единиц и группы электротехнологического оборудования на увеличение потребления электрической энергии во внепиковые часы и, в отдельных случаях, увеличение общего потребления электроэнергии. Такой рост потребления электрической энергии может быть оправдан с экономической точки зрения за счет меньшей стоимости электрической энергии во внепиковые часы нагрузки энергосистемы, однако в абсолютном выражении снижать энергетическую эффективность. Общее представление производственного процесса и влияние на его течение временных управляющих факторов с определением эффекта этого влияния возможно только при наличии значительного количества статистических данных и правильной их интерпретации. Данный факт имеет разногласия с основными положениями Федерального закона «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 г. N 261-ФЗ.

Список литературы

1. SEDC (Smart Energy Demand Coalition), «Explicit Demand Response in Europe. Mapping the Markets 2017». URL: <http://www.smarteu.eu/explicit-demand-response-in-europe-mapping-the-markets-2017> (дата обращения: 07.07.2019).
2. IEA (International Energy Agency), «Re-Powering Markets. Market design and regulation during the transition to low-carbon power systems», Second Edition, (March 2016). URL:

- <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/REPOWERINGMARKETS>. PDF (дата обращения: 26.04.2019).
3. Nadel S. «Demand response programs can reduce utilities' peak demand an average of 10%, complementing savings from energy efficiency programs». URL: <https://aceee.org/blog/2017/02/demand-response-programs-can-reduce> (дата обращения: 26.04.2019).
 4. Концепция функционирования агрегаторов распределенных энергетических ресурсов в составе Единой энергетической системы России. Агрегаторы управления спросом на электроэнергию. URL: http://so-ups.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/review/2017/dr_review17_01-02.pdf (дата обращения: 26.04.2019).
 5. Дзюба А.П., Соловьева И.А. Ценозависимое электропотребление как инструмент управления рисками неплатежей за электроэнергию промышленных предприятий // Стратегические решения и риск-менеджмент. 2019. Т. 10, № 1. С. 8–19.
 6. Соловьева И. А. Интеллектуальное ценозависимое управление затратами на электропотребление промышленного предприятия / И. А. Соловьева // Вестник УрФУ. Серия: Экономика и управление. – 2017. – № 1. – С. 27-45
 7. Лисиенко В. Г., Кириллова Т. С., Богословский Д. Н. Оценка энергоемкости основных производств целлюлозно-бумажной промышленности // Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2006. №1.
 8. Баев И.А., Соловьева И.А., Дзюба А.П. Актуальные задачи внедрения системы управления спросом на электропотребление // Вестник науки Сибири. 2015. № 4 (19). С. 116–129.
 9. Баев И.А., Соловьева И.А., Дзюба А.П. Эффективность управления затратами на покупку электроэнергии промышленным предприятием [Электронный ресурс] // Экономика, управление и инвестиции. – 2014. – № 2 (4). URL: <http://euui-journal.ru/24-43> (дата обращения: 26.04.2019).
 10. Об утверждении Правил оптового рынка электрической энергии и мощности и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам организации функционирования оптового рынка электрической энергии и мощности [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 27 дек. 2010 г. № 1172. – URL: www.government.consultant.ru (дата обращения: 26.04.2019).

Reference:

1. SEDC (Smart Energy Demand Coalition), «Explicit Demand Response in Europe. Mapping the Markets 2017». URL: <http://www.smartenergy.eu/explicit-demand-response-in-europe-mapping-the-markets-2017> (access date: 07.07.2019).
2. IEA (International Energy Agency), «Re-Powering Markets. Market design and regulation during the transition to low-carbon power systems», Second Edition, (March 2016). URL: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/REPOWERINGMARKETS>. PDF (дата обращения: 26.04.2019).
3. Nadel S. «Demand response programs can reduce utilities' peak demand an average of 10%, complementing savings from energy efficiency programs». URL: <https://aceee.org/blog/2017/02/demand-response-programs-can-reduce> (access date: 26.04.2019).
4. The concept of the functioning of aggregators of distributed energy resources as part of the Unified Energy System of Russia. Electricity Demand Management Aggregators. URL: http://so-ups.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/review/2017/dr_review17_01-02.pdf (access date: 26.04.2019) [in Russian].

5. Solov'eva I.A., Dziuba A.P. Indicators of the market environment in the forecasting of electricity consumption. Vestnik IuUrGU. Seriya «Ekonomika i menedzhment» (Bulletin of South Ural State University, Series "Economics and Management"), Vol. 7, N 3, PP. 47-57 [in Russian].
6. Solovyeva I.A. Intellectual Price-Dependent Cost Management of Electricity Consumption of Industrial Enterprises Bulletin of Ural Federal University. Series Economics and Management. 2017. Vol. 16. N 1. PP. 27-45 [in Russian].
7. Lisienko V. G., Kirillova T. S., Bogoslovskij D. N. Assessment of energy intensity of the main pulp and paper industry // News of universities. Forest magazine. 2006. N1 [in Russian].
8. Baev I.A., Solov'eva I.A., Dziuba A.P. Current problems of introduction of demand management system for power consumption in Russia. Siberian Journal of Science, N4 (19), PP. 116-129 [in Russian].
9. Baev I.A., Solov'eva I.A., Dziuba A.P. Cost management efficiency of the costs of electric power purchase by an industrial enterprise]. Ekonomika, upravlenie i investitsii, 2014, no. 2, iss. 4. URL: <http://euii-journal.ru/24-43> (access date: 26.04.2019) [in Russian].
10. Government Decree of the Russian Federation «On the approval of the rules for the wholesale electricity and capacity market and on amending certain acts of the government of the Russian Federation concerning wholesale electricity and capacity market organization» N. 1172 of December 27, 2010. URL: <http://www.government.consultant.ru> (access date: 26.04.2019) [in Russian].