

## **ПИКОВЫЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА РАСПРЕДЕЛЕННОГО ГЕНЕРИРОВАНИЯ**

**Канд. техн. наук КОНСТАНТИНОВА С. В.**

*Белорусский национальный технический университет*

Мировые энергетические кризисы 70-х гг. прошлого столетия (1973, 1979 гг.) показали, что человечество вступило в эпоху дорогой энергии. Все большее значение во всем мире начало уделяться энергосбережению путем вовлечения в энергетический баланс стран возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Глобальный системный кризис в первом десятилетии нового столетия показал, что в недалеком будущем максимальные дивиденды будут иметь страны, в энергетическом балансе которых ВИЭ и нетрадиционные источники энергии составляют наибольший процент и которые добились минимального расхода топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на единицу внутреннего валового продукта (ВВП). Поэтому нельзя оставлять без научной оценки любые предложения изобретателей, народных умельцев, без проверки любых направлений поиска новых источников энергетических ресурсов, энергосбережения как в области технологий, так и в сфере управления.

Топливо-энергетический комплекс любой страны состоит из двух фундаментальных составляющих: топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) и энергетической системы, обеспечивающей электрической и тепловой энергией все хозяйственные секторы страны.

Наличие, а также доступ к ТЭР во многом определяют концепцию построения энергетической системы конкретной страны. На рис. 1 [1] представлена зависимость стран Европейского союза от импорта ТЭР. Как видно из рисунка, шестнадцать стран ЕС обеспечены собственными ТЭР меньше чем на 50 %, т. е. энергетическая безопасность ЕС находится на очень низком уровне.

По данным Департамента по энергоэффективности за 2008 г., собственными энергетическими ресурсами Республика Беларусь обеспечена приблизительно на 18,3 % [1], т. е. на уровне таких стран, как Ирландия, Испания, Италия, Португалия. Дефицит энергоресурсов на 95 % покрывается природным газом, который импортируется из России.

По данным Международной финансовой корпорации (IFC), изменение энергоемкости ВВП Беларуси с 1990 по 2010 г. в сравнении с другими странами представлено на рис. 2 [1].

Энергоемкость продукции Беларуси в настоящее время находится на уровне России и Украины, в два раза выше, чем в Польше, и в 2,6 раза выше, чем в Германии.

Польша, Германия, Австрия (рис. 1) в разной степени зависят от импорта ТЭР, но они добились наибольшего снижения затрат на единицу валового продукта, таким образом в настоящее время Беларуси предоставляется

благоприятная возможность использовать опыт других стран при движении по пути обеспечения своей энергетической безопасности.

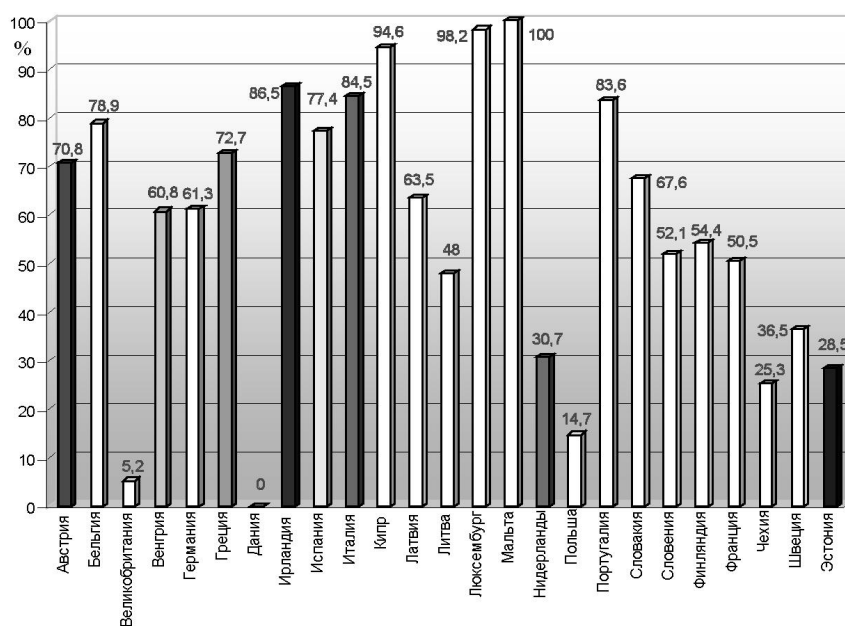


Рис. 1. Зависимость стран ЕС от импорта ТЭР в 2004 г., % от годового потребления

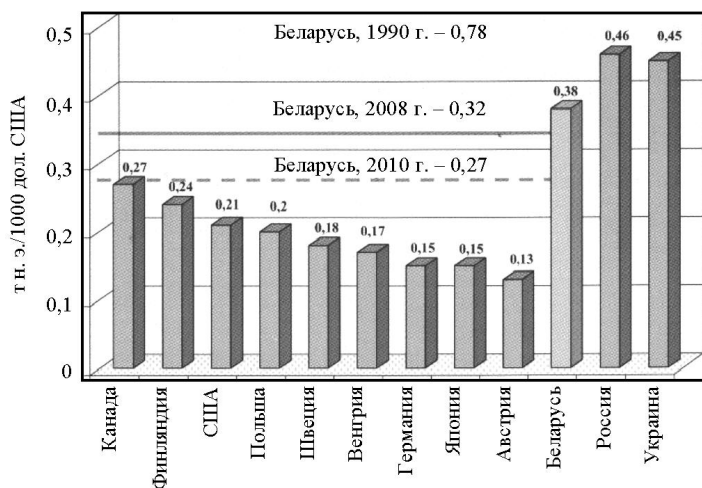


Рис. 2. Показатели энергоёмкости ВВП Беларуси (в 1990, 2008, 2010 гг.) и в странах мира в 2006 г. (по данным Международного энергетического агентства)

**Энергетические системы. Достоинства и недостатки.** Развитие товарного производства, рост урбанизации привели к резкому увеличению потребления электрической и тепловой энергии. Потребности удовлетворялись централизованным производством энергии на ТЭЦ, тепловых электрических станциях типа КЭС или ГЭС и котельных большой мощности. Это, естественно, привело к созданию энергетических систем, мощность которых непрерывно увеличивается.

Энергетическая система представляет собой совокупность источников электрической энергии (электрических станций), источников тепловой энергии (ТЭЦ, больших котельных), электрических и тепловых сетей, связанных в одно целое общностью режима и непрерывностью процесса производства и распределения электрической и тепловой энергии [2].

Электрическая энергия является наиболее дорогой, но и наиболее универсальной энергией. Практике понадобился небольшой промежуток времени, чтобы определить принципиальные свойства электрической энергии:

- простоту ее дробления и суммирования, т. е. возможность отбора мощности необходимой величины от источника большой мощности и объединения работы многих малых источников электрической энергии в один большой;
- ее универсальность, т. е. возможность получения электрической энергии с использованием самых разных первичных энергоресурсов и ее несложного преобразования в другие виды энергии в зависимости от необходимости;
- простоту преобразования ее параметров – напряжения, тока, частоты;
- удобство передачи на большие расстояния.

Спрос на электроэнергию непрерывно увеличивается с внедрением новейших технологий в производственные процессы. Основным недостатком электрической энергии является невозможность ее накопления в больших объемах, чтобы использовать в нужное для социума время. Балансы производства и потребления электрической энергии находятся всегда в равновесии. Производственная и жизненная активность человека в течение суток изменяется, что приводит к изменению величины потребляемой, а следовательно, и вырабатываемой энергетической системой электрической энергии. Длительная практика эксплуатации энергосистем позволила создать обобщенный суточный график электрических нагрузок практически любой большой энергетической системы. Этот график может содержать рекомендации по наиболее эффективному использованию различных типов электрических станций (ТЭЦ, КЭС, ГЭС) в покрытии нагрузок. Обобщенный график электрических активных нагрузок для большой энергетической системы изображен на рис. 3 [2].

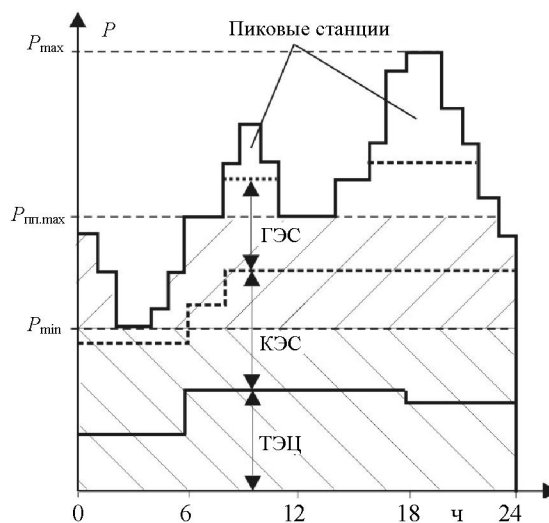


Рис. 3. Суточный график активных электрических нагрузок энергосистемы с указанием примерного участия в покрытии его различными типами электростанций

График характеризуется минимальной нагрузкой в ночное время и максимальной нагрузкой во время наибольшей активной деятельности человека. На графике выделяют три основные временные зоны нагрузок: зону минимальных нагрузок (базовое потребление электрической энергии), зону средней (полупиковой) нагрузки, зона максимальной (пиковой) нагрузки.

Зона минимальных нагрузок (базовое потребление электрической энергии) по величине мощности совпадает с ночным минимумом мощности (ночным провалом) и занимает площадь графика между осью абсцисс и линией мощности  $P_{\min}$ . Эту мощность система должна выдавать круглосуточно.

Зона средней (полупиковой) нагрузки  $P_{\text{пп}}$  охватывает мощности между линией минимальной мощности  $P_{\min}$  и линией максимального значения полупиковой мощности  $P_{\text{пп.макс}}$  ( $P_{\min} \leq P_{\text{пп}} \leq P_{\text{пп.макс}}$ ).

Зона максимальной (пиковой) нагрузки  $P_{\text{п}}$  охватывает мощности между линией  $P_{\text{пп.макс}}$  и максимальной мощностью системы  $P_{\text{макс}}$  ( $P_{\text{пп.макс}} \leq P_{\text{п}} \leq P_{\text{макс}}$ ).

Теплоэлектростанции целесообразно использовать в зоне базового потребления электрической энергии и нагружать их электрической мощностью в соответствии с их тепловыми графиками нагрузок, т. е. количеством пара, необходимого для теплоснабжения промышленности и городов. Этим достигаются полное обеспечение теплофикационных потребителей и наиболее экономичная выработка электроэнергии. В случае необходимости, если электрической мощности других станций системы в какой-то период времени недостаточно, теплоэлектростанции могут нести и некоторую дополнительную нагрузку в конденсационном режиме, что, однако, снижает их КПД.

Остальная часть электрических нагрузок системы покрывается за счет конденсационных станций и гидроэлектростанций, если они имеются в системе.

Нагрузку гидроэлектростанций определяют с учетом регулирования стока рек. Работа их особенно эффективна при прохождении полупиковой и пиковых зон графика нагрузок. Большое значение имеют простота и малое время пуска гидрогенераторов (с полным набором нагрузки в течение 1–2 мин). Поэтому их используют в первую очередь в качестве пиковых станций, работающих в часы наибольших нагрузок системы, особенно в периоды, когда они не обеспечены водой для длительной работы на полную мощность. Если имеются запасы воды, то ГЭС максимально используют для покрытия нагрузок полупиковой зоны. Этим обеспечиваются наиболее благоприятные условия для работы тепловых электростанций (минимальные изменения режимов работы турбогенераторов). Если в системе имеются небольшие мощности ГЭС или гидроэлектростанции отсутствуют, то в качестве пиковых станций применяют тепловые электростанции. В этом случае эффективность использования энергоресурсов существенно снижается.

Объединение электростанций на параллельную работу значительно увеличивает общую надежность электроснабжения потребителей. При ава-

рии и отключении одной из станций системы ее нагрузка перераспределяется между другими станциями системы. При этом за счет загрузки до номинальной мощности или даже за счет большой кратковременной перегрузки оставшихся в работе станций обеспечивается бесперебойное питание всех или наиболее ответственных потребителей отключенной станции.

Основными достоинствами энергетической системы являются:

- увеличение надежности электро- и теплоснабжения потребителей;
- наличие общей резервной электрической мощности, которая должна составлять около 10 % мощности агрегатов системы, но не менее мощности самого крупного агрегата, установленного на станциях системы;
- возможность максимально эффективно организовать работу каждой электростанции системы;
- снижение потерь электрической энергии в сетях за счет минимизации перетоков мощности в нормальном режиме работы системы;
- уменьшение расхода топлива и удешевление стоимости энергии;
- упрощение прохождения пиковых нагрузок системы.

Основными недостатками энергетических систем можно назвать:

- тот факт, что отсутствие в энергосистеме гидроэлектростанций, обеспечивающих покрытие пиковых нагрузок, существенно снижает экономическую эффективность энергетической системы;
- продолжительное время, необходимое для включения турбогенератора на параллельную работу с сетью с холодного состояния турбины;
- необходимость постоянного наличия в системе горячего резерва мощности;
- то, что включение резервной мощности в работу вызывает увеличение перетоков мощности в магистральных ЛЭП системы, так как резервная мощность находится в одной точке системы, что приводит к увеличению потерь электроэнергии в сетях.

**Энергетическая система Беларуси.** Энергетическая система Беларуси характеризуется высоким уровнем централизации. Основу ее составляют 13 относительно крупных электростанций, на которых вырабатывается около 95 % общего объема производства электрической энергии в стране. Среди этих электростанций три обеспечивают около 60 % общего объема электрической энергии, а пять – свыше 70 %, т. е. уровень централизации очень высокий и намного превышает уровень централизации в странах Евросоюза [3].

Структура энергопотребления в республике такова, что в среднем по промышленности в расходной части энергобаланса доминирует тепловая составляющая, величина которой оценивается примерно в 64 %. Незначительная часть энергии топлива преобразуется непосредственно в механическую энергию, и в этом случае электроэнергетическая составляющая имеет величину порядка 36 % [4].

На рис. 4 приведен типичный график активной электрической нагрузки энергосистемы Беларуси в 2007 г. [5].

По структуре график ничем не отличается от обобщенного графика нагрузки большой энергетической системы, представленного на рис. 3. График имеет три основные временные зоны нагрузок: зону минимальных нагрузок (базовое потребление электрической энергии)  $P_{\min}$ , зону средней

(полупиковой) нагрузки с максимальной мощностью  $P_{п.макс}$ , зону максимальной (пиковой) нагрузки с максимальной мощностью  $P_{п.макс}$ .

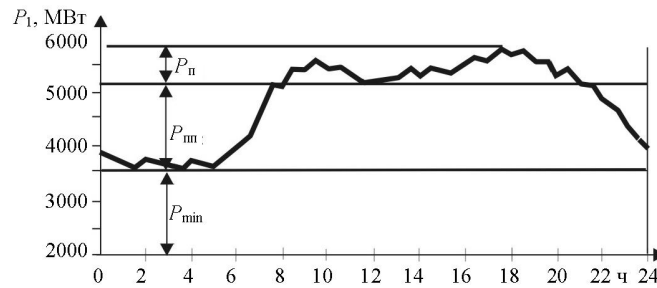


Рис. 4. Типовой суточный график нагрузки энергетической системы Беларуси в 2007 г. в отопительный период:  $P_{min} = 3500$  МВт;  $P_{п.макс} = 1680$  МВт;  $P_{п.макс} = 660$  МВт

Особенностью энергетической системы Беларуси является отсутствие в ней гидроэлектростанций, которые могут эффективно решать проблему переменной части графика нагрузок энергосистемы (рис. 3).

Поэтому в Белорусской энергосистеме в полупиковой и пиковой зонах графика нагрузки работают КЭС, а также практикуется разгрузка энергоблоков в пределах регулировочного диапазона нагрузок (до 60 % от номинальной мощности), остановка паротурбинных блоков мощностью до 320 МВт или перевод их в режим горячего вращающегося резерва. Это приводит к тому, что [6]:

- часть электростанций и агрегатов работают с малым числом часов использования своей установленной мощности, т. е. в неэффективных режимах (происходит «замораживание» ресурсов и их моральное устаревание);
- качество отпускаемой потребителям электрической и тепловой энергии снижается в ущерб потребителям;
- потери энергии из-за работы энергетического оборудования в неоптимальных режимах и необходимость включения неэкономичных агрегатов (для покрытия пиков нагрузки при отсутствии маневренных мощностей) увеличиваются;
- эффективность теплофикации (при прохождении ночных провалов нагрузки) снижается;
- частые пуски и остановки основного и вспомогательного оборудования электростанций приводят к пережогам топлива, ускоренному техническому износу оборудования.

Например, для турбоблоков мощностью 300 МВт каждый цикл пуска из «холодного» состояния требует дополнительного расхода топлива порядка 100 т у. т., а для блоков 150–200 МВт – около 70 т у. т. [5].

В [5, 6 и др.] придается огромное значение выравниванию графиков нагрузки как одному из средств для повышения эффективности работы энергосистемы и энергосбережения. В то же время обосновывается, что выравнивание графика нагрузки не может быть самопроизвольным процессом,

а требует целенаправленных мероприятий с соответствующим материальным и финансовым обеспечением как производителей, так и потребителей электрической энергии.

Анализ баланса мощностей Белорусской энергосистемы и проблем регулирования суточного графика нагрузок, проведенный специалистами РУП «ОДУ», показывает необходимость обеспечения величины вращающегося резерва к 2018 г. до 1 ГВт, а также проведения интенсивных мероприятий по выравниванию графика нагрузок, включая создание центрального автоматического регулятора частоты и активной мощности, что позволит обеспечить автоматическое регулирование генераций электростанций и минимизировать отклонения балансов электрической мощности [7]. В работе представлены объективная картина настоящего момента и прогноз на перспективу (до 2018 г.) баланса мощности Белорусской энергосистемы, сделаны выводы о необходимых мероприятиях для покрытия графика нагрузки. Важным названо строительство ГАЭС мощностью порядка 1 ГВт на прием и 900 МВт – на выдачу. К сожалению, в работе не затронуты вопросы модернизации электрических сетей и линий электропередачи, обеспечивающих надежное функционирование Белорусской энергосистемы при выполнении этих мероприятий.

Не затрагивая все достоинства и недостатки повышенной централизации Белорусской энергосистемы, остановимся на процессах прохождения часов максимума суточных нагрузок системы.

**Анализ графиков электрических нагрузок энергетической системы и отдельных предприятий.** Суммарный график электрических нагрузок энергетической системы Беларуси (рис. 4) состоит из совокупности типовых графиков отдельных потребителей (рис. 5, 6). Из рисунков видно, что наибольшей неравномерностью отличаются графики нагрузок коммунальных потребителей (за исключением насосных установок водоснабжения и водоотведения). Неравномерность же графиков нагрузок промышленных предприятий обуславливается только количеством смен их работы (рис. 6).

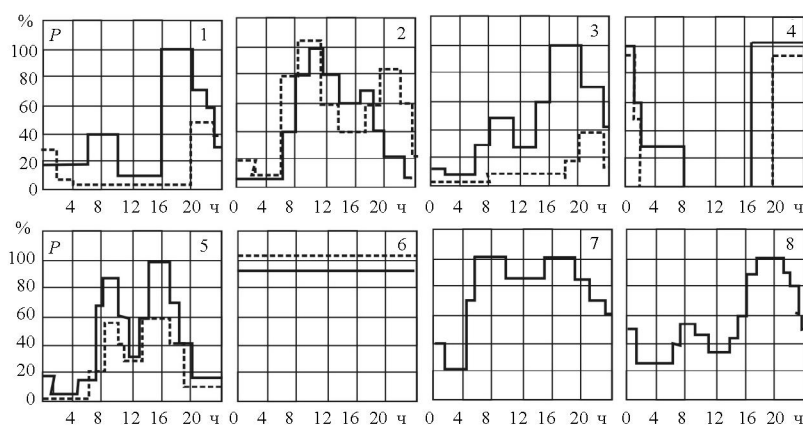


Рис. 5. Типовые суточные графики нагрузок коммунальных электропотребителей: 1 – электроосвещение жилых домов; 2 – мелкие бытовые электроприборы; 3 – электроосвещение общественных зданий; 4 – наружное электроосвещение; 5 – бытовые электродвигатели малой мощности; 6 – насосные установки водопровода и канализации; 7 – городской электрифицированный транспорт (трамвай, троллейбус); 8 – сводный график для города с населением 20–250 тыс. жителей, учитывающий нагрузки графиков 1–7

Беларусь является энергоэффективной страной (площадь – менее 500 тысяч км<sup>2</sup>) и географически находится в одном часовом поясе. С ростом по-

требления электроэнергии для бытовых нужд доля коммунальных нагрузок в суммарном графике будет увеличиваться, что повлечет за собой рост пиковых нагрузок. Использование рычага тарификации на отпуск электрической энергии в нормальных условиях развития страны не приведет к значительным положительным результатам, как это происходит и в настоящее время. Любые организационные мероприятия по выравниванию графиков нагрузки энергетической системы прямо или косвенно ведут к снижению комфорта, жизненных удобств человека и обязательно натолкнутся на сложности биологической и психологической перестройки его организма.

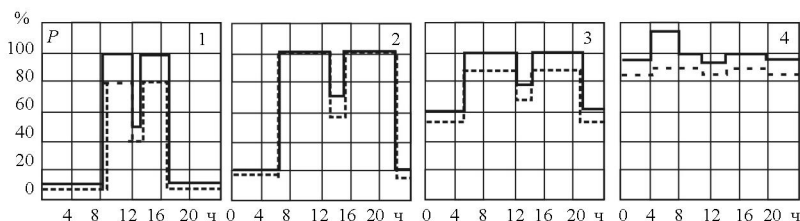


Рис. 6. Типовые суточные графики нагрузок промышленного электропотребления:  
 1 – при односменной работе; 2 – при двухсменной работе; 3 – при 2,5-сменной работе;  
 4 – при трехсменной работе

**Распределенное генерирование энергии.** Принципиальное решение эффективного использования ТЭР при наличии возрастающих пиковых нагрузок энергетической системы, по нашему мнению, находится в плоскости эффективного развития пиковых электромеханических систем распределенного генерирования электрической и тепловой энергии. Решение проблемы требует серьезных научных разработок в области как первичных приводных двигателей, так и генерирующих устройств, внедрения новейших разработок в технологии когенерации и тригенерации энергии, интенсивного развития биоэнергетики как топливного ресурса для минисистем, а также ветро-, минигидро- и солнечной энергетики. Следует отметить, что решение проблемы уже находится в стадии практического осуществления во всех странах. Значительное внимание уделяется использованию газотурбинных и газопоршневых установок.

В настоящее время в Беларуси установленная мощность блочных станций на основе газопоршневых и газотурбинных установок превышает 100 МВт. Вся эта мощность работает практически в базовом режиме. При переводе работы блочных станций в пиковый режим себестоимость вырабатываемой энергии на них увеличится в три-четыре раза. Омертвляются капитальные вложения. Кроме того, со стороны энергетической системы к установкам предъявляются серьезные претензии по вопросам устойчивости (перегружаемости). При возникновении аварийного режима в системе может произойти лавинное отключение блочных электростанций из-за остановки первичного двигателя или отключения генераторов, предусмотренных на установках защит. Такая ситуация может повлечь за собой разрастания аварии с отягчающими последствиями [8], так как горячий резерв мощности ТЭС может быть использован в течение 15 мин, а холодный ре-



зверв – за время до 12 ч [7]. Поэтому внедрение в Беларуси ГПУ и ГТУ с использованием традиционного генератора следует рассматривать как первый шаг к изменению структуры энергетической системы.

#### ВЫВОД

Современный уровень теоретических, конструкторских разработок, технологий и промышленного производства энергооборудования для создания комплексов распределенного генерирования энергии, непрерывные поиски более эффективных решений позволяют констатировать, что проблема пиковых нагрузок энергетических систем может быть решена с использованием концепции распределенного генерирования электрической энергии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. К о р о т и н с к и й, В. А. Перспективы развития возобновляемой энергетики в Беларуси / В. А. Коротинский, К. Э. Гаркуша // Энергосбережение: практикум. – 2009. – № 11.
2. Б а п т и д а н о в, Л. Н. Электрооборудование электрических станций и подстанций: в 2 т. / Л. Н. Баптиданов, В. И. Тарасов. – М.; Л.: Государственное энергетическое из-во, 1960. – Т. 1.
3. П а д а л к о, Л. П. Повышение энергетической безопасности страны / Л. П. Падалко // Главный энергетик. – 2010. – № 3.
4. Р о м а н ю к, В. Н. Теплотехнологические системы преобразования вещества как база для интенсивного энергосбережения / В. Н. Романюк // Главный энергетик. – 2008. – № 2.
5. Г у р т о в ц е в, А. Выравнивание графика электрической нагрузки энергосистемы / А. Гуртовцев, Е. Забелло // Энергетика и ТЭК. – 2008. – № 7/8.
6. П о с п е л о в а, Т. Стратегический потенциал ресурсо- и энергосбережения / Т. Поспелова, Г. Кузьмич // Энергетика и ТЭК. – 2008. – № 7/8.
7. К о р о т к е в и ч, А. Баланс мощностей Белорусской энергосистемы и проблема регулирования суточного графика нагрузок / А. Короткевич, О. Фомина // Энергетика и ТЭК. – 2008. – № 4.
8. К а л е н т и о н о к, Е. В. Газопоршневые энергоустановки – перспективы и трудности внедрения и эксплуатации / Е. В. Калентионок, Ю. Д. Филипчик // Главный энергетик. – 2010. – № 11.

Представлена кафедрой электропривода  
и автоматизации промышленных установок  
и технологических комплексов

Поступила 18.01.2011