

издается с января 2001 г.

Главный редактор
журнала

канд. техн. наук
СЕРГЕЕВ С. А.

Заместитель

главного редактора

канд. техн. наук
БИРЮЛИН В. И.

Члены редакционной
коллегии

АВЕРБУХ М. А.
АРТЮХОВ И. И.
ГАШИМОВ А. М.
ЕМЕЛЬЯНОВ С. Г.
ЕРОШЕНКО Г. П.
ЗЮЗИН А. В.
КОБЕЛЕВ Н. С.
КРИВОВ Ю. Н.
КУВШИНОВ Г. Е.
ЛУПИКОВ В. С.
МИЛЫХ В. И.
ОРЛОВ П. С.
ПЕРЕДЕЛЬСКИЙ Г. И.
ПОДЧУКАЕВ В. А.
СЕРЕБРОВСКИЙ В. И.
СИВЯКОВ Б. К.
СМОЛЕНЦЕВ Н. И.
СМОЛОВИК С. В.
СОШИНОВ А. Г.
ТИМОШЕНКО А. В.
ТУРОВ В. Е.
ФИЛОНОВИЧ А. В.
ХАРЕЧКО Ю. В.

Ответственный
секретарь

ГОРЛОВ А. Н.

За достоверность информации
рекламы ответственность несут
авторы и рекламодатели.

При использовании материалов
журнала (в любой форме) ссылка на
журнал «Электрика» обязательна.

Адрес редакции:

07076, Москва,
Троимынский пер., 4
эл. (499) 269-49-96
факс (499) 269-52-97
e-mail:

lektrika-jurnal@yandex.ru

admin@nait.ru

skol@nait.ru

www.nait.ru

ООО «Наука и технологии»,
011

ВНИМАНИЕ!

Уважаемый читатель, Вы получили номер журнала с голограммой на первой стороне обложки. Это означает, что этот экземпляр журнала является оригинальным, выпущенным научно-техническим издательством ООО «Наука и технологии». Если голограмма отсутствует, экземпляр журнала — контрафактный. В этом случае убедительная просьба сообщить в издательство, в какой фирме был приобретен этот экземпляр журнала, по телефону (495) 223-09-10, факсу (499) 164-47-74 или e-mail: market@nait.ru.

Благодарим за сотрудничество.

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ХОЗЯЙСТВО: ПРОБЛЕМЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Бирюлин В.И., Хорошилов Н.В., Ларин О.М., Горлов, А. Н., Димитров Л. В.

Выявление основных факторов, влияющих на процессы функционирования системы мониторинга и управления энергопотреблением в зданиях и сооружениях 2

Шевченко В.В. Перспективная оценка совершенствования энергетической системы Украины 10

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Харечко Ю.В. Анализ понятий, характеризующих квалификацию лиц, эксплуатирующих электрические установки и электрическое оборудование . . . 16

Суворова И.А. Использование критерия минимума дисконтированных издержек для выбора напряжения питания элемента системы электроснабжения 26

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИКИ

Станевко В.Н. Резонансный узел в квазирезонансном инверторе преобразователя напряжения 29

НОВОЕ: ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ

Хошмухамедов И.М., Косарева-Володько О.В. Системы эксплуатации и методы повышения эксплуатационной надежности электросилового оборудования 34

Семенов В.В., Шайбеков А.Ф. Управление асинхронизированным синхронным генератором 36

ИНФОРМАЦИОННОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВА

Басманов В.Г. Разработка и создание функциональной модели системы управления электропотреблением коммунально-бытовых потребителей в городе с населением до 1 млн человек 38

Дерендяева Л.В. Математическая модель несинусоидального режима в точке общего присоединения 42

Русинов Н.А. Моделирование электропривода с системой стабилизации скорости двигателя постоянного тока независимого возбуждения 44

Четвертый этап метода выбора связан с добавлением нового мероприятия в подмножество приоритетных мероприятий RP и проверки превышения выделенного объема V финансирования мероприятий от суммарной стоимости всех выбранных мероприятий.

Таким образом, новизна разработанного метода выбора множества приоритетных мероприятий связана, во-первых, с применением правил нечеткого логического вывода, вычислением нечетких и количественных весов мероприятий на основе дифференцирования первичных факторов по смысловым группам. Во-вторых, новизна метода определяется введением и вычислением комбинированного показателя эффективности мероприятия (его ранга), что в целом позволяет сформировать множество приоритетных мероприятий по изменению состояния энергопотребления на объекте при ограниченном объеме финансирования.

После проведения ранжирования в соответствующих группах переходим непосредственно к работе алгоритма (рис. 5).

При начальной загрузке программного продукта пользователь должен выполнить настройку файлов, содержащих показания лимитных значений, нормирующие данные, группы мероприятий. Далее пользователь вводит показатели текущего месяца, которые добавляются в аккумулирующую базу значений. Производится сравнение текущих показателей с лимитными значениями, затем выполняется проверка на превышение значений нормы. Проводится сравнительный анализ фактических значений со значениями предыдущего месяца и аналогичного периода предшествующего года.

Пользователю выводится соответствующее сообщение в случае превышения значений по норме или лимитам. Если показатели укладываются во все ограничения, то пользователю предлагается выбрать группу беззатратных мероприятий. В противном случае пользователь должен выбрать мероприятие из другой группы, соответствующей превышению.

Перспективная оценка совершенствования энергетической системы Украины

В.В. Шевченко, канд. техн. наук, доцент

НТУ «Харьковский политехнический институт», Украина

Введение

Главные взаимосвязанные аспекты в области энергетики, которые составляют не только национальную проблему Украины, но являются и общемировой проблемой — это обеспечение спроса на долгосрочные устойчивые источники энергии и обеспечение при этом экологической безопасности. Вопросы развития энергетики неразрывно связаны с общемировыми, глобальными проблемами, такими, как изменение климата, обеспечение устойчивого развития экономики, сокращение уровня бедности и обеспечение нормальной жизнедеятельности населения.

К настоящему времени в мире накоплен значительный опыт исследования будущего мировой энергетики. Исследования и составление прогнозов в этой сфере ведутся с 70-х г.

20-го в. с использованием как методов математического моделирования, так и качественных сценарных подходов [1–3]. При этом ведущие мировые организации энергетического профиля рассматривают и предлагают решения перспективного развития энергетики с учетом собственного видения энергетического развития мира, собственных интересов национального, технико-экономического и географического плана. Решая эту задачу, МЭА (Международное энергетическое агентство), Организация стран-экспортеров нефти (ОПЕК), Организация стран экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), Объединение БРИК (страны-участницы Бразилия, Россия, Индия и Китай) и т.д. опираются на собственное понимание сегодняшнего состояния энергетики и ее будущности на ближайшую и продолжительную перспек-

тиву. Но целесообразно рассмотреть и определить единый комплексный подход к глобальным энерго-эколого-экономическим путям устойчивого развития энергетики и направления, по которым должны идти технические исследования.

Проблема исследования будущего мировой энергетики состоит в том, что необходимо учитывать разноплановый, сложный комплекс факторов — возможные направления и приоритеты развития мировой экономики и промышленности, технологические, ресурсные и экологические возможности, энергетические, политические, демографические и социокультурные проблемы, а также необходимость учета взаимного влияния всех указанных факторов друг на друга. Необходимо также сочетать количественный и качественный анализ технических и экономических факторов.

Анализ технологических процессов показывает, что мировая энергетика стоит на пороге энергетической революции, [2], содержанием которой является переход от индустриальной энергетики к постиндустриальной. Индустриальная энергетика основана на сжигании ископаемого топлива, транспортируемого на большие расстояния, и на потреблении больших объемов энергии при сравнительно слабом управлении энергетическими потоками («силовая энергетика»). Постиндустриальная энергетика основана на энергии возобновляемых источников энергии (а также атомной энергетике), децентрализации источников выработки энергии, эффективном использовании сравнительно небольших потоков энергии типа мини- и микро-ГЭС [6].

То есть основные направления современной энергетической революции заключаются в повсеместном внедрении технологий энергосбережения, интеграции энергетики в техносферу, изучении, совершенствовании и внедрении возобновляемых источников энергии (ВИЭ), децентрализации энергетики, определении мест источников малой мощности в общей структуре выработки электроэнергии.

Для решения этих задач наиболее целесообразно применять комплексный подход, т.е. вести непрерывный учет и оценку возможного совместного развития вышеперечисленных направлений.

Результаты исследований

Развитие энергетики и прогноз ее развития интересует не только энергетические компании, он интересует всех. Первоочередными факторами при этом являются экономические механизмы, регулирующие мировые энергетические рынки, причем не так важны цифры, как лежащее в их основе понимание проблем добычи и потребления энергоресурсов. Важно понимать ведущую роль, которую могут играть рынки и глубоко продуманная политика в решении двойственной проблемы: как удовлетворить энергетические потребности нарастающего количества населения и как это сделать безопасно и устойчиво. Современную экономику энергетической отрасли продолжают формировать такие тенденции, как индустриализация, урбанизация и автоматизация. Эти тенденции связаны с:

- увеличением объема потребляемой энергии и ростом потребительского спроса,
- повышением эффективности добычи и потребления энергии,
- растущей диверсификацией источников энергии.

Мировая энергетика включает в себя следующие направления исследований:

- оценку энергетической загруженности и обеспечение устойчивого развития промышленного (потребительского) потенциала XXI в.;
- определение стратегических направлений развития инновационной и экологически ориентированной энергетики будущего;
- современные способы перспективных оценок мировых энергетических ресурсов, энергетической инфраструктуры, энергетических рынков, корпоративной структуры энергетики, международного энергетического сотрудничества.

Анализ мировых запасов топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) и моделирование динамики спроса и предложения, структуры топливно-энергетического баланса позволяет считать, что мировая энергетика до 2030 г. останется преимущественно топливной, в частности углеводородной. Скорее всего, к основным генерирующим источниками следует отнести и атомные станции. Цены, направления экономического развития (рост и сокращение доли промышленного сектора), а также энергетиче-

ская политика энергосбережения играют очень важную роль в распространении новых технологий и в определении объема энергоресурсов, необходимого для поддержания непрерывного экономического роста.

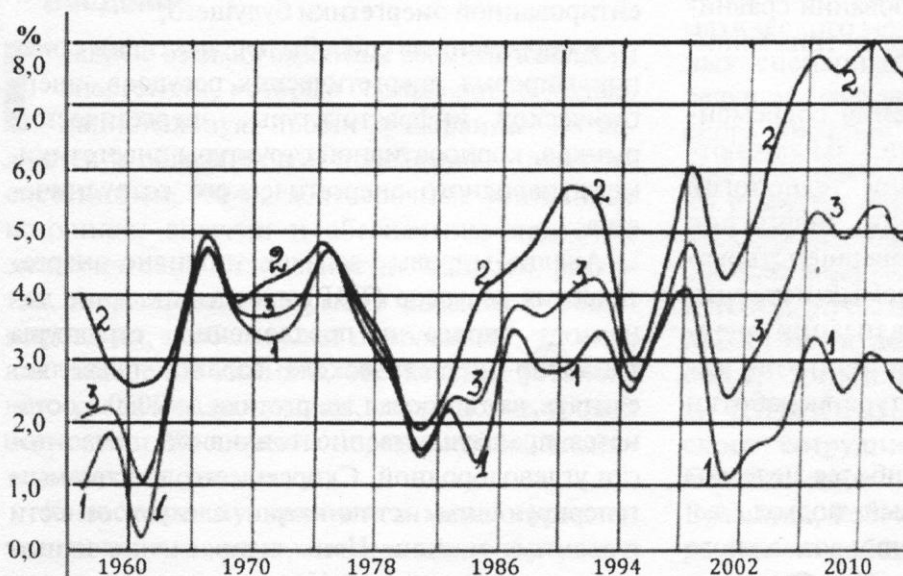
При этом мировая экономика в течение последних лет демонстрирует достаточно высокие темпы экономического роста, несмотря на сохраняющийся с 2002 г. рост цен на нефть и другие топливно-энергетические ресурсы. Среднегодовая цена нефти (в ценах 2005 г.) в 1985—2002 гг. сократилась по сравнению с предыдущим периодом на 60%, но в последние десять лет увеличилась почти в полтора раза (см. рисунок). Рост энергетических издержек и стоимости импорта энергоносителей не затормозили экономический рост в мире, и среди важнейших причин этого феномена — рост спроса на товары обрабатывающей промышленности ведущих развитых стран и Китая со стороны экспортеров энергоносителей, получивших значительные финансовые ресурсы для развития. В настоящее время существует исключительно высокая неопределенность относительно дальнейшего развития многих направлений энергетики [5].

Каждый регион мира уникален в плане перспектив энергетического развития. Баланс сил на энергетической карте мира меняется. Мы считаем, что основной рост энергопотребления обеспечат страны, не входящие в Организацию экономического сотрудничества и развития (ОЭСР). Изменяются направления и объемы

межрегиональной торговли энергоресурсами за счет существенного увеличения оборота поставок, прежде всего в Тихом и Индийском океанах.

Критическая оценка существующих взглядов является неотъемлемой частью выработки самостоятельной, национальной позиции по этому вопросу. В настоящее время в мире происходит пересмотр базовых представлений о долгосрочном развитии энергетики и формирование новой модели. Ожидается, что в новой модели необходимо учитывать существенно усиливающуюся роль развивающихся стран в спросе на энергию, что приведет к его опережающему росту — гораздо большему, чем считалось ранее, и менее подверженному циклическим колебаниям. То есть в ближайшем будущем основные изменения в мировой энергетике будут геополитическими. Развивающиеся страны станут крупнейшими импортерами всех видов ТЭР, при этом их зависимость от импорта будет выше уровня развитых стран. Растет весомость решения вопроса транспорта электроэнергии. В этом вопросе основные риски мировой энергетики будут связаны с борьбой между государствами за доступ к энергетическим ресурсам, нестабильностью и вооруженными конфликтами на Ближнем Востоке и в Центральной Азии, угрозой (пиратством) при транспортировке топлива морскими путями.

Энергетика, как никакая другая отрасль общемировой промышленности, требует на ны-



Темпы прироста мировой экономики, 1960—2010 гг., %:

1 — развитые страны; 2 — развивающиеся страны; 3 — мировые тенденции развития

нешнем этапе объединения усилий всего человечества для решения возникших проблем и определения стратегии развития. Главная задача — предотвращение экологического кризиса. Поэтому можно считать, что основным направлением развития энергетики, при выборе впоследствии любых направлений технических решений, следует принять то направление, которое сможет опираться на технологии и источники, не добавляющие энергию в биооболочку Земли. Поэтому растет роль не-

традиционных источников энергии, энергии от возобновляемых источников. Экологический фактор также требует вести учет неизбежного роста эмиссии CO₂ и усиления лоббирования интересов стран при принятии международных соглашений в данной области.

Тепловая, атомная и термоядерная энергетики являются «добавляющими» источниками энергии — добавляющими тепло к солнечной энергии. Они способны вызвать тепловой перегрев окружающей среды с вытекающими отсюда глобальными экологическими последствиями, поэтому ограничение производства «добавляющей» энергии неизбежно уже в достаточно недалеком будущем. По предварительным расчетам предельно допустимая величина вырабатываемой на Земле в течение года энергии не должна превышать 3—5% от энергии, передаваемой на Землю Солнцем. Увеличение на несколько градусов температуры нижних слоев атмосферы может привести к таянию ледников в Гренландии и Антарктиде и затоплению части суши, на которой проживает сейчас почти четвертая часть населения.

Как считают специалисты и эксперты энергообеспечения, органическое топливо уже к 2020 г. может удовлетворить запросы мировой энергетики лишь частично. На XI международном форуме по энергетическим проблемам XXI в. (Москва, 1987 г.) отмечалось, что дальнейшее экстенсивное развитие энергетики невозможно, ибо это связано с ограниченностью энергетических ресурсов, неравномерностью их распределения в мире, огромной капиталоемкостью топливно-энергетического комплекса, все возрастающим воздействием его на окружающую среду. Суммарная мощность всех электростанций мира (1,5 млрд кВт) уже соизмерима с мощностью многих явлений природы. Так, средняя мощность воздушных течений на планете составляет 25—35 млрд кВт, ураганов — 30—40 млрд кВт, а суммарная мощность приливов — 2—4 млрд кВт. Осталось только научиться забирать и использовать эту энергию. К тому же следует отметить существенные неблагоприятные воздействия на окружающую среду (атмосферу, водные объекты, земельные ресурсы) крупной гидроэнергетики, тепловых и атомных станций [5, 6].

Перспективы использования атомной энергии ограничены, так как, с одной стороны, запасы урана будут исчерпаны уже к концу этого

столетия, а с другой, вопросы экологической опасности эксплуатации АЭС и хранения обработанного ядерного топлива по-прежнему являются очень актуальными. Тепловое загрязнение водоемов, опасность радиоактивного заражения создает трудноразрешимые проблемы не для одного поколения людей. Только стала сглаживаться память о Чернобыльской аварии, как авария на АЭС Фукусима-1 вновь заставила пересмотреть энергетическую политику стран и видение долгосрочного развития энергетики. Многочисленные перспективные планы по строительству АЭС по всему миру становятся более сдержанными. Трагические события в Японии, произошедшие весной 2011 г., поставили перед мировым сообществом вопрос о целесообразности строительства АЭС с позиции их надежности и безопасности. И все-таки стратегия развития атомной энергетики Украины, России, Китая и других стран в первой половине XXI в. предусматривает существенный рост доли АЭС в балансе их электроэнергетики с увеличением производства электроэнергии к 2020 г. более чем в два раза. И если в мае 2012 г. Япония полностью остановила реакторы АЭС, то в настоящее время в Китае функционируют 13 реакторов, идет строительство еще 27 реакторов — почти половина всего количества реакторов, строящихся по всему миру. Планируется строительство еще 50 реакторов, а 110 находятся на стадии проекта. Только Китай заявил, что он временно приостановит процесс утверждения строительства новых реакторов в целях безопасности. Ни у одной другой страны нет стратегии, которая хотя бы отдаленно напоминала китайскую [7].

Многие страны не могут отказаться от атомной энергетики. Во Франции на 58 блоках АЭС вырабатывается около 80% энергии. Поэтому на трагедию Фукусимы Франция отреагировала усилением требований безопасности на 80 ядерных объектах АЭС, провела стресс-тесты на атомных электростанциях и по результатам удостоверилась в их надежности, что гарантирует безопасность эксплуатации. Германия и Швейцария готовятся закрыть свои АЭС, но другие европейские страны, если и отказываются от строительства новых реакторов, стараются растянуть срок службы уже существующих. Россия решила продлить до 45 лет срок службы 11 одноконтурных атомных реакторов из поколения, к которому принадлежал 4-й

энергоблок Чернобыльской АЭС. (Ранее предполагалось, что эксплуатацию таких реакторов следует прекращать через 30 лет). Правда, в литературных источниках указывается, что старые реакторы подверглись модификации и теперь отвечают международным нормам безопасности [7, 8].

Гидроэлектростанции, как традиционные возобновляющиеся источники энергии, отличаются рядом важных преимуществ (эксплуатационная экономичность, высокая маневренность, комплексность использования водохранилища, создание инфраструктуры и т.д.). Однако гидроэнергетические ресурсы даже при полном их использовании не могут удовлетворить будущие потребности в электроэнергии, к тому же ГЭС отрицательно воздействует на природную среду, особенно на земельные ресурсы. Но гидроэнергетика имеет будущее — необходимость регулировать выработку электроэнергии в соответствии с изменяющимися графиками суточной, сезонной и т.д. нагрузки привела к тому, что в энергетической программе Украины по перспективному развитию гидроэнергетики предусмотрено строительство гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС). Также планируется значительное увеличение выработки электроэнергии на мини- и микро-ГЭС. Мы считаем, что такое направление целесообразно и для других стран [6].

Для Украины оценка безопасности ядерных технологий особенно важна, т. к. последствия Чернобыльской аварии до сих пор являются определяющими в формировании отношения к вопросу оценки возможности использования энергии атома для получения электроэнергии. Необходимо внедрение современных методов оценки надежности, обеспечение надежности технических систем. Кроме того, принятый в Украине способ хранения отработанного ядерного топлива, система СХОЯТ, до сегодняшнего дня оценивается неоднозначно с точки зрения экологической безопасности.

В целом в мире существенно возрос интерес к газовой отрасли и развитию возобновляемой энергетики. Для Украины, с учетом географического положения и климатических условий, в некоторой степени интерес может представлять только ветроэнергетика и, вероятно, со временем, использование энергии биомассы. Но энергетика этого вида может решать проблемы только локального, автономного плана.

События международной жизни вносят коррективы в современную ситуацию в мировой энергетике, которая характеризуется обострением противоречий между основными партнерами на международных энергетических рынках. Практика взаимоотношений между производителями и потребителями энергоресурсов, сложившаяся в последней четверти 20 в., уходит в прошлое. Все хуже работают существующие механизмы регулирования мирового энергетического рынка, все очевиднее становится обострение конкуренции между потребителями, что стало особенно заметно при появлении в мировой экономике таких мощных стран, как Китай и Индия. Лидером роста индустриальной энергетики, безусловно, является Китай. За 2000—2010 гг. потребление энергии в стране возросло в 2,15 раза, в том числе угля — в 2,15 раза, нефти — в 1,8 раза, природного газа — в 3,3 раза, электроэнергии — в 2,75 раза. В развивающихся странах в целом за 2000-е гг. потребление энергии выросло на 66%, в то время как в развитых странах — только на 5%.

Важнейшая стратегия развития энергетики — это политика энергосбережения. Особенно актуальна эта проблема для стран СНГ и Восточной Европы, где особенно важно расширение контактов, установление информационного обмена, соответствие общемировым стандартам, внедрение эффективных технологий. В настоящее время существует пессимистичная и оптимистичная программы развития мировой энергетики до 2020 г. (таблица, [5]).

Выводы

1. Направления развития мировой энергетики определяются наложением двух процессов — быстрого роста индустриальной энергетики в развивающихся странах и постепенного перехода развитых стран к постиндустриальной энергетике.

2. Оценка факторов, влияющих на перспективные направления развития энергетики, должна вестись в системном контексте. Системность выбора направления развития отличается от прочих способов выбора и оценки тем, что она выражает интегральные свойства явлений и их множества.

3. Необходима критическая оценка существующих взглядов на долгосрочное развитие энергетики и формирование новой модели, которая является неотъемлемой частью выработ-

Сводка данных по максимальному и минимальному вариантам прогноза мировой энергетики

Общие данные	Прогноз на 2020 г.		
	Фактические данные за 1990 г.	Максим. вариант	Миним. (экологич.) вариант
Численность населения, млрд чел	5292	8092	8092
Экономический рост			
Валовой внутренний продукт, трлн дол. США	21,0	64,7	55,7
Валовой внутренний продукт на одного жителя, дол. США	3972	8001	6884
Потребности в первичных энергетических ресурсах:			
суммарные, млн т. у. т.	12593	24610	16120
удельные, т. у. т./чел	2374	3060	1988
Потребности в электроэнергии, млрд кВт-ч	11608	23000*	23000*
Энергоемкость экономики, кг у. т. /дол.	0,55	0,41*	0,41*
Структура мирового энергетического баланса, % к итогу:			
Уголь, нефть	26,3	5,7	18,9
	31,0		25,7
Природный газ, атомная энергия, гидроэнергия	12,9	5,8	21,3
возобновляемые источники энергии		12,4	
Потребности в первичных энергетических ресурсах по регионам, млн т. у. т.			
Северная Америка	3095	3494	2615
Латинская Америка	825	3190	1869
Западная Европа	2091	2594	1886
Центральная и Восточная Европа	418	515	379
Ближний Восток и Северная Африка	453	1853	1131
Африка южнее пустыни Сахары	380	1829	869
Тихоокеанский регион**	2635 (1358)	6989 (3328)	4273 (2528)
Южная Азия	637	2648	1287
Выбросы в атмосферу:			
Сера, млн т	64,6	98,1	42,8
Азот, млн т	24,0	37,9	20,9
Углерод, млн т	5,9	11,5	6,3

*По среднему варианту.

**Включая страны Азии с плановой экономикой (данные по этой группе стран приведены в скобках).

ки самостоятельной, национальной позиции по вопросу.

4. Заметное снижение энергоемкости промышленного производства происходит в странах с переходной экономикой (Китай, Индия) преимущественно за счет роста доходов, а также благодаря структурной перестройке экономики и снижению доли тяжелой энергоемкой промышленности, по мере расширения сферы услуг, применения энергосберегающих технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевченко В.В. Проблемы и основные направления развития электроэнергетики в Украине // Энергетика та електрифікація. 2007. № 7 (287). С. 11—16.

2. Баталов А.Г., Салимов В.Н. Баланс интересов. О проблеме дефицита высокоманевренных регулирующих мощностей в ОЭС Украины. Энергетическая политика Украины. 2004. № 6. С. 54—57.

3. Кузьмин В.В. Энергетика Украины в третьем тысячелетии — пути преодоления кризиса и задачи научных исследований // Региональный европейский форум WEC «Киев-2000», доклады, Киев. 2000. С. 135—140.

4. Белл Д. Грядущее постиндустриальное общество. Опыт социального прогнозирования. М.: Academia, 2004. 944 с.

5. Макаров А.А. Мировая энергетика и Евразийское энергетическое пространство. М.: «Энергоатомиздат», 1997. 280 с.

6. Ландау Ю.А. Роль ГАЭС в новых условиях развития электроэнергетики Украины // Энергетическая политика Украины. 2005. № 11. С. 82—86.

7. Дубцова И. Развитие АЭС: мнения разделились // Энергетическая политика Украины. 2005. № 9. С. 24—27.

8. Шевченко В.В., Лизан И.Я., Шевченко С.Е. Атомная энергетика: способы и проблемы хранения отработанного ядерного топлива // Системи обробки інформації. Зб. наукових праць. Харківський університет повітряних сил. Вип. 9 (67), 2007. С. 147—153.