

## ЭНЕРГЕТИКА, ТЕПЛО- И МАССООБМЕН

УДК 621.311

А. А. МИХАЛЕВИЧ

### ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ В НАН БЕЛАРУСИ

Институт энергетики НАН Беларуси

(Поступила в редакцию 20.11.2013)

К моменту распада Советского Союза БССР была одной из наиболее экономически развитых республик. В стране были созданы энергоемкие отрасли: машиностроение; металлургия, нефтепереработка, крупнотоннажная химия, производство удобрений и др. В 1990 г. удельное потребление первичных энергоресурсов без их учета в качестве сырья для нетопливной продукции составило около 6 т у. т. на человека, что было выше, чем во Франции или Великобритании. Ускоренными темпами развивалось электропотребление. За 15 лет (1975–1990 гг.) прирост удельного потребления электроэнергии составил 2,4 МВт·ч/чел. и превысил аналогичные показатели СССР и США (рис. 1) [1].

Изначально экономика БССР была ориентирована на атомную энергетику, однако принципиально важным является то обстоятельство, что отмеченный рост потребления обеспечивался не за счет развития собственных энергоисточников. По разным, в том числе и субъективным обстоятельствам, четыре крупные АЭС суммарной мощностью около 12000 МВт (Игналинская, Смоленская, Чернобыльская и Ровенская) были построены вокруг республики на расстоянии от 12 до 60 км от ее границы. Внутри республики мощность тепловых электростанций была почти в два раза меньше, но в 1983 г. началось сооружение Минской АТЭЦ (2 блока по 1000 МВт) и подготовлено проектное задание на сооружение Белорусской АЭС в Витебской области (район озера Селява). Катастрофа на Чернобыльской АЭС остановила эти проекты.

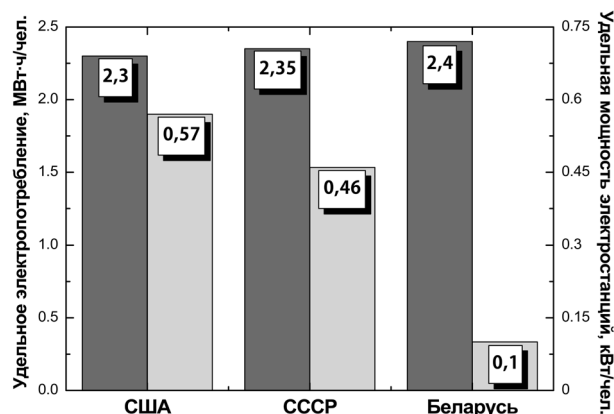


Рис. 1. Прирост удельного потребления электроэнергии и электрической мощности в БССР с 1975 по 1990 гг.: темный столбик – удельное электропотребление; серый столбик – удельная мощность электростанций

До 1991 г. в Академии наук БССР практически не проводилось исследований в области стратегии развития энергетики и энергопланирования. Данные направления разрабатывались в рамках всего Советского Союза, а главными организациями по этим проблемам были Институт энергетических исследований (Москва) и Сибирский энергетический институт (Иркутск) Академии наук СССР.

В то же время белорусские академические институты привлекались к выполнению конкретных энергетических проектов, имеющих стратегическое значение. Наиболее важные и ответственные проекты выполнялись в Институте ядерной энергетики АН БССР: создание передвижной АЭС (ПАЭС) и разработка

опытно-промышленной АЭС с реактором на быстрых нейтронах мощностью 300 МВт (БРИГ-300). Эти проекты являются уникальными в мировой ядерной энергетике. ПАЭС «Памир» на полуприцепах Минского автомобильного завода являлась по нескольким ключевым параметрам первой в мире: была полностью автономной (воздушное охлаждение обеспечивалось в широком диапазоне климатических условий), передвигалась по автомобильным дорогам и на железнодорожной платформе с остановленным, но расхолаживаемым реактором, управление осуществлялось с помощью ЭВМ (операторы выполняли наблюдательные функции) [2]. ОП АЭС БРИГ-300 разрабатывалась по одноконтурной схеме с газоохлаждаемым реактором в отличие от традиционных трехконтурных АЭС с охлаждением реактора жидкометаллическим теплоносителем. В проекте заложено время удвоения ядерного топлива 9–10 лет вместо 13–14 лет в проектах по традиционному направлению [3].

Было изготовлено два опытных образца ПАЭС «Памир» и проводились доводочные испытания первого образца, выполнен технический проект с практически полным экспериментальным обоснованием ОП АЭС БРИГ-300. Обе работы (А. К. Красин, В. Б. Нестеренко, В. П. Бубнов, Ж. А. Гребеньков, Л. И. Колыхан, Б. И. Ломашев, А. А. Михалевич, В. А. Наумов, Г. А. Шароваров, О. И. Ярошевич и др.) были прекращены после Чернобыльской катастрофы.

Ученые Института тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова АН БССР принимали участие в разработке космической ядерной энергетической установки (Н. В. Павлюкевич, Т. Л. Перельман, О. В. Дихтиевский).

Став независимым государством, Республика Беларусь столкнулась с первоочередной проблемой – обеспечение энергоресурсами отраслей экономики и социальной сферы. Особенно остро эта проблема была в электроэнергетике. Установленная мощность белорусских электростанций могла обеспечивать не более 80% потребностей в электроэнергии. Энергетический кризис в стране не наступил благодаря спаду в экономике. К 1995 г. общее потребление ТЭР в стране упало в 1,8 раза, электроэнергии и тепловой энергии – в 1,5 раза (рис. 2). С начала 90-х годов одна из важнейших задач академической и отраслевой науки – разработка стратегии развития энергетики и долгосрочного энергопланирования. В этом направлении проводились исследования в Институте проблем энергетики НАН Беларуси под руководством автора настоящей статьи и в Институте тепло- и массообмена под руководством О. Г. Мартыненко. Поводом для начала этих исследований послужила разработанная в 1992 г. Министерством энергетики, Госэкономпланом и Академией наук Беларуси «Программа развития энергетики и энергосбережения Республики Беларусь на период до 2010 года», которая была утверждена Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 29 октября 1992 г. № 654. В ее основу положены следующие принципы:

- приоритет социальных целей над экономическими или иными соображениями;
- упор на сбережение энергии;

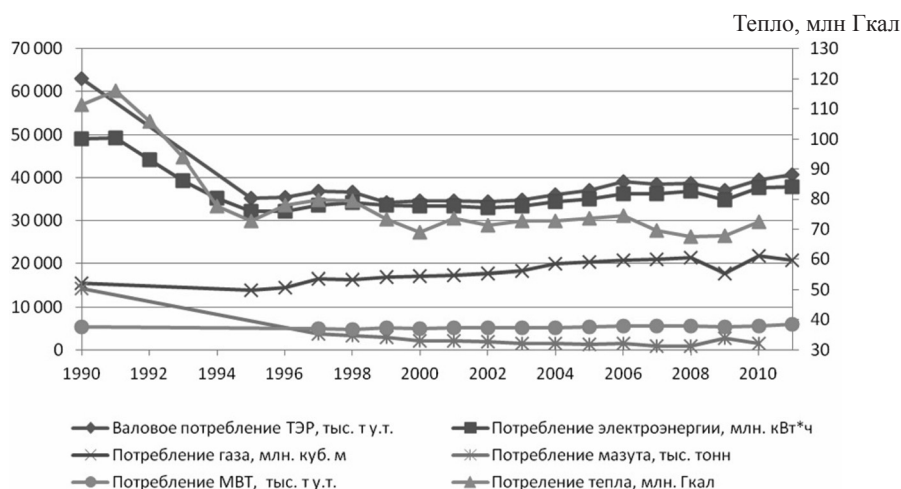


Рис. 2. Потребление топливно-энергетических ресурсов в Республике Беларусь

самокупаемость производства электроэнергии и самообеспеченность энергетическими мощностями;

максимально возможное продление срока службы существующего оборудования;

соблюдение требований защиты окружающей среды.

Программа основывалась на том, что наиболее значительные неиспользованные энергетические резервы имелись не в производстве, а в потреблении энергии. Для их реализации в программе предлагалось применить как рыночные, так и административные механизмы. С учетом экономически оправданного повышения эффективности производства программа определяла, что потребность как в электроэнергии, так и в топливе после 1995 г. будет возрастать и в 2010 г. превысит потребность 1990 г. примерно на 25%. При этом поступление энергии из отечественных источников (нефть, торф, возобновляемые источники энергии) возрастет лишь незначительно, а основная доля растущего спроса будет удовлетворена за счет увеличения импорта природного газа. Для обеспечения самокупаемости производства электроэнергии в программе предусматривалось создание в 1991–2010 гг. новых электроэнергетических мощностей в количестве 8800 МВт (включая ядерные установки 1000 МВт). Намечалось выведение из эксплуатации старых электростанций общей мощностью 2560 МВт (большой частью после 2000 г.).

Следующим шагом в области энергопланирования стала разработка в 1993–1994 гг. проекта Государственной программы развития атомной энергетики Республики Беларусь учеными АН Беларуси и специалистами Минэнерго.

Проект этой программы включал следующие разделы:

проведение комплекса работ по выбору площадок для строительства АЭС в Республике Беларусь;

выбор проекта АЭС;

обращение с топливом и радиоактивными отходами АЭС;

нормативно-правовое регулирование использования атомной энергии;

подготовка специалистов в области атомной энергетики и радиационной защиты;

использование научно-технического и промышленного потенциала Беларуси в развитии атомной энергетики;

экологическая безопасность АЭС;

атомная энергетика Беларуси в структуре топливно-энергетического комплекса;

организационное обеспечение работ по строительству АЭС;

формирование общественного мнения в поддержку развития атомной энергетики;

научно-исследовательские работы в обеспечение программы развития атомной энергетики;

международное сотрудничество;

организация финансирования.

Программа, по-существу, была одобрена на заседании Совета Министров Республики Беларусь, но по политическим соображениям не была обнародована. Тем не менее достаточно интенсивно начались подготовительные работы по выбору площадки, технико-экономическому обоснованию выбора блока АЭС, стратегии обращения с радиоактивными отходами и др. Функции головной организации в этих работах выполнял Институт проблем энергетики НАН Беларуси.

В 1994 г. произошло еще одно событие, повлиявшее на развитие методологии исследований в рассматриваемой области. В конце 1993 г. в Минск прибыла объединенная миссия Мирового банка, Американского агентства международного развития, Европейского банка реконструкции и развития и других международных организаций для подготовки основ стратегии деятельности топливно-энергетического комплекса Беларуси с учетом новых политических и экономических реалий в стране. Первый вариант отчета этой миссии был представлен в марте 1994 г., некоторые основные выводы миссии (в частности, о роли атомной энергетики) не согласовались с результатами исследований, проводимых в Беларуси. Эксперты Мирового банка предположили, что расхождение объяснялось различными методическими подходами и тогда министр энергетики В. В. Герасимов настоял на том, чтобы Мировой банк профинансировал проект освоения белорусскими специалистами современных методик энергопланирования, принятых на Западе. В рамках этого проекта в Республику Беларусь была поставлена вычислительная техника и про-

граммные комплексы, а группа белорусских специалистов прошла обучение и стажировку в Аргонской национальной лаборатории США и в других научных центрах. В дальнейшем сотрудники НАН Беларуси во главе с А. П. Якушевым принимали участие в ряде проектов МАГАТЭ по развитию методологии энергопланирования и совершенствования программных комплексов WASP, ENPEP, MESSAGE и др. Основным критерием выбора оптимального варианта в этих программах были минимальные издержки в энергосистеме.

С помощью данных программных комплексов проведены исследования по обоснованию «Основных направлений энергетической политики Республики Беларусь на период до 2010 г.», одобренных постановлением Кабинета Министров Республики Беларусь от 5.03.1996 г. № 168 и новой редакции этого документа на 2001–2005 гг. и на период до 2015 г. (одобрена Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 27.10.2000 г. № 1667) [4].

В редакции 2000 г. определены следующие основные показатели на 2015 г. по сравнению с 1999 г.:

рост ВВП на 214,4%;

снижение энергоемкости ВВП на 40–45%;

рост потребления природного газа от 19,35 до 73,9 млн т у. т.;

увеличение потребления мазута от 3,9 до 12,9 млн т у. т.;

рост потребления торфа, древесных отходов, ВИЭ и ВЭР от 1,78 до 8,8 млн т у. т.;

увеличение мощности электростанций от 7,8 до 8,6–9,4 млн кВт.

В документе изложены результаты некоторых исследований по необходимости и возможности развития атомной энергетики в Республике Беларусь. Отмечено, что определено пять конкурентных площадок для строительства АЭС, удовлетворяющих всем требованиям нормативных документов. В процессе исследований не выявлено никаких объективных факторов, препятствующих строительству АЭС. Далее в документе говорится:

*«Для оценки целесообразности развития атомной энергетики распоряжением Премьер-министра от 31 марта 1998г. № 88 была создана комиссия, в выводах которой сказано, что в течение ближайших 10 лет нецелесообразно начинать строительство атомной станции, но необходимо продолжить работы по подготовке к развитию атомной энергетики в Республике Беларусь.*

*В течение ближайших нескольких лет необходимо:*

*продолжение работы по изучению мирового опыта в атомной энергетике (в том числе захоронению радиоактивных отходов и выводу АЭС из эксплуатации);*

*завершение комплекса работ по выбору основного и резервного пунктов размещения АЭС;*

*проведение дальнейшего технико-экономического исследования структурных изменений в энергосистеме с учетом возможного развития атомной энергетики;*

*определение возможных источников и схем финансирования и оценка требуемых инвестиций;*

*завершение комплекса научно-исследовательских работ по безопасному развитию атомной энергетики;*

*выполнение обоснования инвестиций в строительство АЭС в Беларуси;*

*продолжение работы по информационному обеспечению населения по вопросам, связанным с энергетической политикой Беларуси;*

*для обеспечения возможного развития атомной энергетики, защиты населения с привлечением НАН Беларуси и МЧС разработать и внести в установленном порядке в Палату представителей Национального собрания Республики Беларусь проект Закона «Об использовании атомной энергии».*

*Сроки строительства АЭС должны определяться Правительством Республики Беларусь с учетом технических экологических, социальных и экономических предпосылок, а также выводов комиссии и необходимых проработок».*

Следует отметить, что комиссия под председательством первого вице-президента НАН Беларуси П. А. Витязя была составлена примерно на одну треть из специалистов в области энергетики и атомной энергетики, остальные – либо публично выступающие противники атомной энергетики, либо представители госорганов и общественных организаций. Все специалисты голосо-



вали против первого пункта выводов (не начинать строительство АЭС в течение 10 лет), поскольку он никак не вытекал из всего текста заключения комиссии, в котором, излагались в основном преимущества атомной энергетики для Республики Беларусь.

Если в энергетической стратегии 1992 г. главным критерием был приоритет социальных целей над экономическими и иными соображениями, то в последующих документах оптимальный вариант принимался исходя из минимальных затрат и в начале XXI в. стало ясно, что дальнейшее развитие ТЭК страны должно исходить из принципа энергетической безопасности. Термин «энергетическая безопасность» прочно вошел в обиход политиков, ученых и специалистов. Правда, как выяснилось при детальном рассмотрении, каждый понимал этот термин по-своему.

Раздел «энергетическая безопасность Республики Беларусь» впервые появился в 2003 г. в очередной редакции «Основных направлений энергетической политики Республики Беларусь на период до 2020 г.».

Однако в целях исторической справедливости следует отметить, что еще в 1994 г. руководство Института проблем энергетики АН Беларуси обратилось в Совет Министров Республики Беларусь (в те годы подобные обращения в Правительство напрямую были обычным явлением) с предложением о разработке Концепции и Программы энергетической безопасности республики. Совет Министров поручил рассмотреть это предложение Министерству энергетики и Министерству экономики, которые его официально поддержали. Однако никакого решения по этому вопросу принято не было.

Когда же в Беларуси было принято решение о разработке Концепции энергетической безопасности как главного документа, определяющего стратегию развития энергетики на долгосрочный период, то первостепенной проблемой стала разработка методологии оценки состояния энергетической безопасности.

Анализ экономической и энергетической безопасности государства относится к задачам больших социально-технично-экономических систем, характеризующихся разнообразием свойств, параметров и состояний, сложностью внутренних и внешних взаимосвязей, неопределенностью условий развития и т. д. Поэтому известные методы анализа технических систем в этом случае малопригодны. Для таких систем эффективно применение принципиально нового подхода к анализу экономической и энергетической безопасности – *индикативного анализа*, основанного на методах математической статистики. Такой подход был использован для оценки состояния энергетической безопасности Российской Федерации и ее регионов, а также Молдовы [5–7].

Индикативный анализ базируется на системе количественных оценок ситуации – *индикаторах*, характеризующих степень угроз энергетической безопасности. Условно эти угрозы по своему происхождению и сути могут быть разделены на четыре группы: экономические, социально-политические, техногенные и природные. Специфика заключается в том, что экономическая и энергетическая безопасность выражается через систему индикативных показателей, по величинам которых можно делать заключение о состоянии рассматриваемых систем по уровням безопасности, сопоставляя значения индикаторов заранее определенными *пороговыми уровнями*.

Классификация состояний энергетической безопасности по степени тяжести включает в себя три основных качественных состояния безопасности по каждому из индикаторов: *нормальное, предкритическое и критическое*.

Нормальным состоянием считается такое, при котором возможные угрозы безопасности в топливно-энергетической сфере могут быть нейтрализованы или компенсированы за счет внутренней устойчивости системы или других факторов.

Предкритическая зона характеризуется состоянием, когда угрозы безопасности начинают приобретать существенную значимость, с которой необходимо считаться. В случае непринятия мер по нейтрализации и ликвидации угроз возникает опасность развития дестабилизирующих факторов, влияющих на безопасность. Предкритическое состояние само по себе не означает необратимого ухудшения состояния в целом, но может означать значительное ухудшение по отдельным сферам. Однако последнее может быть преодолено принятием надлежащих мероприятий корректирующего характера. Введение предкритической зоны необходимо именно для того, чтобы вовремя заметить возникающие опасные тенденции в развитии ситуации и предотвратить

их нарастание. Поэтому на этой стадии главным образом применяются меры превентивного характера.

Критическая стадия характеризуется существенными негативными тенденциями и динамикой их развития, которые уже в начальной критической стадии ставят под угрозу устойчивое развитие. При попадании в нее нельзя ограничиться превентивными мерами, необходимы меры радикального характера. Такого рода мероприятия требуют значительных затрат и могут сопровождаться временным ухудшением качества жизни, пока система не достигнет устойчивого развития.

Основными этапами анализа энергетической безопасности являются:  
определение и классификации угроз энергетической безопасности;  
формирование совокупности индикативных показателей (индикаторов) энергетической безопасности и их пороговых уровней;  
определение основных направлений обеспечения энергетической безопасности;  
разработка конкретных мероприятий по ликвидации, нейтрализации и ослаблению действия угроз энергетической безопасности.

В Концепции энергетической безопасности и повышения энергетической независимости Республики Беларусь, утвержденной Указом Президента Республики Беларусь от 25.08.2005 г. № 399, было принято 11 индикаторов [8]:

1. Доля собственных энергоресурсов в балансе котельно-печного топлива государства, %;
2. Доля собственного производства в общем объеме потребления электрической энергии, %;
3. Доля потребления моторного топлива, обеспечиваемая за счет добычи нефти в стране, %;
4. Доля доминирующего энергоресурса (газа) в электроэнергетике республики, %;
5. Доля доминирующего энергоресурса (газа) в потреблении котельно-печного топлива, %;
6. Доля доминирующего поставщика энергоресурсов, %;
7. Доля электростанций, способных работать на двух и более взаимозаменяемых видах топлива, %;
8. Износ основных производственных фондов предприятий ТЭК, %;
9. Обеспечение запасами котельно-печного топлива (по газу и мазуту), сут.;
10. Отношение суммарной установленной мощности электростанций к максимальной фактической нагрузке в энергосистеме (резервирование), %;
11. Отношение инвестиций в предприятия ТЭК к стоимости их основных производственных фондов, %.

В 2003 г. четыре индикатора (4, 6, 9 и 11) находились в критической зоне, четыре (1, 2, 5 и 8) – в предкритической зоне и только три (3, 7, 10) – в нормальной зоне. В концепции поставлена задача достижения такого состояния, чтобы пять индикаторов (2, 3, 7, 8 и 10) оказались в нормальной зоне, остальные – в предкритической зоне [8].

Резкое изменение ситуации на энергетическом рынке (в первую очередь повышение цены на импортируемый природный газ) заставило в 2007 г. пересмотреть концепцию. В новой редакции, утвержденной Указом Президента Республики Беларусь от 17.09.2007 г., добавлен весьма важный индикатор – энергоемкость ВВП, кг у. т./дол. США ВВП по паритету покупательной способности, и поставлена задача снижения величины этого показателя по сравнению с 2005 г. на 30% к 2010 г., на 50% к 2015 г. и на 60% к 2020 г. Из других намеченных мероприятий по усилению энергетической безопасности отметим завершение строительства АЭС мощностью около 2000 МВт к 2020 г. (первый энергоблок – в 2017–2020 гг.), вовлечение в баланс древесного и прочих видов местного топлива, отходов производства, возобновляемых источников энергии не менее 6,7 млн т у. т., использование импорта электроэнергии в зависимости от экономической целесообразности.

В 2013 г. Президент Республики Беларусь поручил Национальной академии наук Беларуси совместно с заинтересованными организациями разработать новый вариант концепции на период до 2035 г. В этом варианте предполагается уточнить состав индикаторов и их пороговые уровни с учетом произошедших изменений как внутри страны, так и в мировой энергетике и определить динамику изменения значений этих индикаторов на прогнозируемый период.

Весьма перспективными являются более сложные математические методы оценки состояния энергетической безопасности: стохастический подход, учитывающий колебания основных факторов, влияющих на энергетическую безопасность (флуктуации в потреблении энергии, колебания спроса и цен на рынке топливно-энергетических ресурсов и др.), нелинейные динамические модели функционирования энергетических комплексов, позволяющие прогнозировать возможности появления неустойчивости, бифуркаций, детерминированного хаоса в системе, а также оценить возможные угрозы энергетической безопасности вследствие нестабильностей, обусловленных несбалансированностью энергопроизводства [9].

## Литература

1. Об использовании топливно-энергетических ресурсов в народном хозяйстве Беларуси. Мн., 1996.
2. История атомной энергетики Советского Союза и России / Под ред. В. А. Сидоренко. Вып. 5. История малой атомной энергетики. М., 2004.
3. *Нестеренко В. Б., Михалевич А. А., Тверковкин Б. Е.* Быстрые реакторы и теплообменные аппараты АЭС с диссоциирующим теплоносителем. Мн., 1978.
4. Основные направления энергетической политики Республики Беларусь на 2001–2005 гг. и на период до 2015 г. AdvokatBy.com.
5. *Воропай Н. И., Криворуцкий Л. Д., Руденко Ю. Н. и др.* // Энергетика и электрификация. 1995. № 3. С. 49–51.
6. *Воропай Н. И., Клименко С. М., Криворуцкий Л. Д., Славин Г. Б.* // Энергетическая геополитика. 1996. № 2. С. 15–16.
7. *Быкова Е. В.* Методы расчета и анализ показателей энергетической безопасности. Кишинев, 2005.
8. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь / Энергетика Беларуси: состояние, проблемы, перспективы. Мн., 2006.
9. *Быкова Е. В., Михалевич А. А., Постолатий В. М. и др.* Методические подходы к решению проблемы энергетической безопасности Молдовы и Беларуси. Кишинев, 2010.

*A. A. MIKHALEVICH*

## INVESTIGATIONS IN THE FIELD OF ENERGY STRATEGY IN NAS OF BELARUS

### Summary

The research and developing in the field of energy strategy and energy planning of the Republic of Belarus is considered. Up to resent years the methodology of energy planning at the national and local levels has been mainly based on economical criteria taking into account environmental restrictions. At present an energy security is playing more important role. The methodology of estimating of energy security level is presented.

There are four basic trends of strengthening of energy security: enhancing of energy independency, alternatives for fuel supply (diversification), upgrading of reliability of energy system, improving of energy efficiency (energy saving).

Some results of developing of the Concept of Energy Security of the Republic of Belarus are discussed.