

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕЖРЕГИОНАЛЬНОГО ЭНЕРГООБМЕНА С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ MESSAGE

Е.В. Федорова*, Т.Г. Зорина**

**Обнинский государственный технический университет атомной энергетики,
г. Обнинск*

***Белорусский государственный экономический университет, г. Минск*



Продemonстрированы результаты успешного применения программы MESSAGE для моделирования межрегионального энергообмена. MESSAGE является программным продуктом IASA и распространяется МАГАТЭ среди стран-участниц в качестве инструмента прогнозирования развития энергетических систем. Результатом работы программы является оптимальная стратегия развития рассматриваемой энергетической системы. Критерием оптимальности служит минимум приведенных затрат. В качестве тестовой задачи рассматривалась традиционно сложившаяся схема обмена топливом и энергетической продукцией между Россией и Беларусью: экспорт российского газа, нефти и электроэнергии в Беларусь и экспорт бензина в Россию. В качестве альтернативного энергетического источника для белорусской энергосистемы рассматривалась ядерная энергетика.

Энергетика является ключевым сектором экономики, и эффективность функционирования топливно-энергетического комплекса в значительной степени определяет успешность экономического развития страны. В последнее время при разработке национальных стратегий экономического развития подчеркивается необходимость обеспечения устойчивого развития, т.е. гармонизации социального, экономического и экологического аспектов жизнедеятельности. Необходимым условием устойчивого развития является, в частности, контролируемый уровень энергетической зависимости государства.

Особенно остро вопрос энергетической зависимости от внешних поставок углеводородного топлива и (или) электроэнергии стоит перед государствами, обладающими недостаточными собственными энергетическими ресурсами. Примером такого государства может служить Беларусь, для которой в силу сложившихся исторических связей основным поставщиком энергетических ресурсов является Россия.

Собственными энергоресурсами Беларусь обеспечена на 15-18%. Ежегодно в стране добывается 1,82 млн. т нефти, что составляет примерно одну пятую потребления. Месторождений природного газа в Беларуси нет. Есть два месторождения бурых углей, пригодных для промышленной добычи – их запасов хватит на 15 лет. Использование торфа в энергетике планируется сократить, т.к. будучи низкокачественным топливом, он является ценнейшим сырьем химической отрасли. Газ и нефть – основ-

© *Е.В. Федорова, Т.Г. Зорина, 2004*

ные виды топлива, используемые для выработки электрической и тепловой энергии – поставляются из России. Экспортируется также электроэнергия из России и Литвы.

Не претендуя на государственный уровень принятия решений, покажем на разработанном нами примере, что существует (и используется рядом стран при разработке национальных энергетических стратегий) программный инструмент, который позволяет, исходя из заложенных предпосылок, построить наиболее экономичным образом стратегию развития энергосистем независимых государств, учитывая их взаимное влияние.

Таким инструментом является компьютерная программа MESSAGE, распространяемая МАГАТЭ среди стран-участниц в качестве инструмента прогнозирования развития энергетических систем. В настоящей работе приведены результаты успешной попытки применения этой программы для моделирования энергообмена между Россией и Беларусью.

Программа MESSAGE (Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impacts) [1] разработана Международным институтом прикладного системного анализа (IIASA) для планирования и прогнозирования развития энергетических систем. Это мощный и гибкий инструмент, позволяющий сравнить альтернативные энерготехнологии и построить наиболее целесообразный сценарий развития энергосистемы. Критерием целесообразности служит минимум приведенных системных затрат. Для нахождения оптимального решения используется метод линейного программирования. Оптимизация осуществляется на всем рассматриваемом интервале прогнозирования.

Заложенная в программу методика описывает движение энергетических потоков от уровня добычи энергетических ресурсов через технологии, преобразующие ресурсы в энергетическую продукцию, до потребителя. Степень подробности описания включенных в расчетную схему энерготехнологий может варьироваться и определяется пользователем.

Как следует из названия программы, MESSAGE позволяет сравнить альтернативные сценарии развития энергетической системы с точки зрения воздействия на окружающую среду. Степень воздействия определяется суммарным количеством выбросов парниковых газов (или других отходов производства) входящими в расчетную схему энергетическими предприятиями.

В расчетной схеме для энергетического комплекса отдельного региона (страны) экспорт и импорт энергетических ресурсов и электроэнергии моделируется жестко заданными внешними связями. Такой подход вполне оправдан, когда рассматриваемый регион обладает собственными энергетическими ресурсами, а импорт и экспорт существенно ниже внутреннего потребления. Если это не так, модель должна отражать взаимосвязь энергетических систем региона-поставщика и региона-потребителя энергоресурсов.

MESSAGE позволяет смоделировать обмен энергоресурсами между регионами. Для этого создается объединенная расчетная схема, которая содержит схемы отдельных регионов и общую для рассматриваемых регионов область (Main Region), объединяющую внешние (импорт-экспорт) связи (рис. 1).

По уровню потребления энергетической продукции Республика Беларусь сопоставима с крупным российским экономическим регионом. Для сравнения в табл. 1 приведены балансы электроэнергии для России и Беларуси на базовый в нашем исследовании 2000 г. Россия полностью обеспечивает себя энергоресурсами и является крупнейшим поставщиком газа и одним из крупнейших поставщиков нефти на мировой рынок.

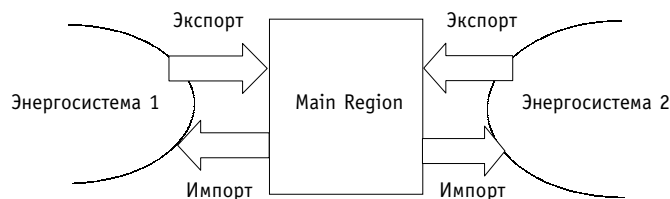


Рис. 1. Схема энергообмена между двумя энергосистемами

Баланс электроэнергии для России и Беларуси на 2000 год (млрд. кВт·ч)

Таблица 1

Позиции баланса	Производство	Потребление	Импорт	Экспорт
Россия	877.8	863.7	0	14.1
Беларусь	26.1	33.3	10	2.8

Если говорить о взаимном влиянии, очевидно, что при такой разнице в масштабах рассматриваемых энергосистем, в случае изменения условий энергообмена существенно большие изменения испытает энергосистема Беларуси. Поэтому в данной работе основное внимание уделено анализу белорусской энергосистемы.

Энергосистема России моделировалась на национальном уровне без учета специфических особенностей отдельных регионов и учета передачи энергоресурсов между регионами (газо- и нефтепроводов и линий электропередач). При формировании расчетной схемы использовалось очень обобщенное представление для предприятий по добыче энергоресурсов (угольных шахт, газовых и нефтяных месторождений) и конверсии (нефтеперерабатывающих предприятий, электростанций, ТЭЦ и котельных). Каждая из добывающих отраслей рассматривалась как один агрегированный источник органического топлива. Количество типов энергетических и перерабатывающих установок было уменьшено до приемлемого уровня.

Использованная в расчетах в качестве исходной структура производства электроэнергии российской энергосистемой в базовом 2000 г. показана на рис. 2.

В данном исследовании рассматривался умеренный (в среднем 2.5% в год) прогноз роста потребления электроэнергии в России (см. рис. 3).

Энергосистема Беларуси сформировалась как часть единой энергосистемы СССР и до 1991 г. была остродефицитной по мощности. В настоящее время из-за спада потребления электроэнергии белорусская энергосистема при установленной мощности ее электростанций в размере 7762 МВт является избыточной по мощности. Одна-

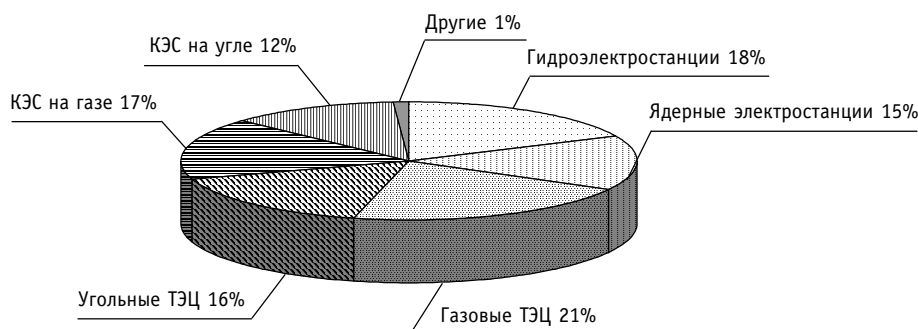


Рис. 2. Структура производства электроэнергии российской энергосистемой в базовом 2000 г.

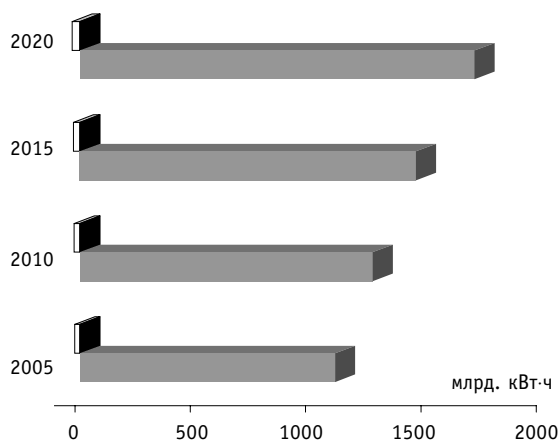


Рис.3. Прогноз потребления электроэнергии в России:
□ экспорт; ■ потребление

ко наличие в энергосистеме большого парка физически и морально устаревшего оборудования делает нерентабельным максимальное использование собственных мощностей. Более выгодным оказывается импорт электроэнергии из соседних государств - России и Литвы. До конца 2003 г. цена импортируемой электроэнергии равнялась 1,38 цент/кВт·ч. - примерно на уровне топливной составляющей себестоимости самой экономичной конденсационной электростанции, Лукомльской ГРЭС.

Белорусская энергосистема включает в себя 23 тепловые электростанции: 12 крупных, составляющих 95% всей установленной мощности, и 11 мелких ТЭЦ, каждая мощностью в несколько МВт, и являющихся, прежде всего, источниками теплоснабжения в тех городах, где они находятся. Помимо тепловых электростанций в энергосистеме имеется ряд небольших гидроэлектростанций общей мощностью 6,7 МВт. При моделировании энергосистемы Беларуси использовались индивидуальные технические характеристики составляющих энергосистему тепловых станций (см. рис. 4 [2]).

В качестве исходной информации для проведения расчетных исследований в данной работе использованы прогнозы потребности в электрической и тепловой энер-

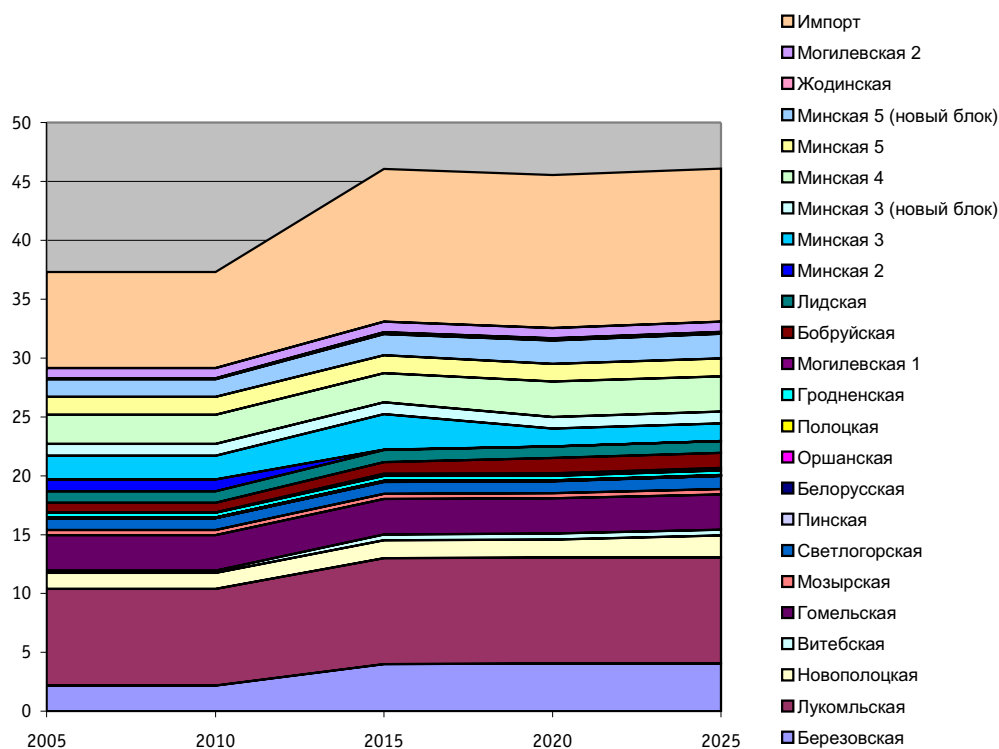


Рис. 4. Прогноз изменения структуры производства электроэнергии [2]

гии, приведенные в разработанном в 2003 г. топливно-энергетическом балансе страны на период до 2020 г. [3]. В соответствии с этим прогнозом потребление электроэнергии в республике вырастет до 41 млрд. кВт·ч к 2020 г. Импорт электроэнергии не превысит 4 млрд. кВт·ч (рис. 5).

В [3] также подчеркивается, что в перспективе до 2020 г. основным видом топлива для производства электроэнергии и тепла останется природный газ. Однако его доля должна быть снижена за счет увеличения потребления мазута, угля, дров и гидроэнергетических ресурсов. Заметим, что планируемое снижение импорта и одновременная замена части газа экологически менее приемлемыми видами топлива при скромном планируемом строительстве гидроэлектростанций (210 МВт к 2020 г.) приведет к ухудшению экологических показателей энергетики.

Газовый кризис, который переживала Беларусь с конца 2003 г. вплоть до подписания в начале июня 2004 г. новых соглашений между Газпромом и Белтрансгазом, показал, в частности, что при ограничении использования газа избыток мощностей не является резервом, обеспечивающим устойчивое функционирование белорусской энергосистемы.

Учитывая тот факт, что природные условия Беларуси не допускают достаточно масштабного использования возобновляемых источников энергии (энергия ветра, солнечная и гидроэнергетика), предполагалось, что планируемый рост энергопотребления будет обеспечиваться за счет строительства газовых и газо-мазутных ТЭЦ. В качестве альтернативы тепловым станциям на органическом топливе рассматривалось строительство ядерных энергоблоков.

Строительство ядерной энергетической установки оценивается в 1500-2500 \$ за киловатт установленной мощности. Белорусские специалисты считают, что использование одной из собственных строительных площадок [6] будет стоить примерно 1 млрд. \$. В данной работе рассмотрены оба предельных предположения относительно капитальных затрат на строительство ядерного энергоблока 1000 МВт установленной мощности: 2.5 млрд. \$ и 3.5 млрд. \$.

Для моделирования энергообмена между Россией и Беларусью с помощью программы MESSAGE была реализована расчетная схема, приведенная на рис. 6.

Как отмечалось выше, цель данной работы состоит в оценке изменения оптимальной структуры белорусской энергосистемы при возможных изменениях условий энергообмена. Под условиями энергообмена понимаются цены на энергоресурсы. Другими словами, результаты расчетов должны показать, как изменится оптимальное соотношение импортируемых энергоресурсов.

Часть нефти, поступающей из России, после нефтепереработки возвращается в виде моторного топлива. Построенные в Беларуси для нужд Советского Союза мощности по переработке нефти используются на 30-40%. Стоимость нефтепереработки на белорусских заводах почти в два раза ниже, чем на российских. В настоящем ис-

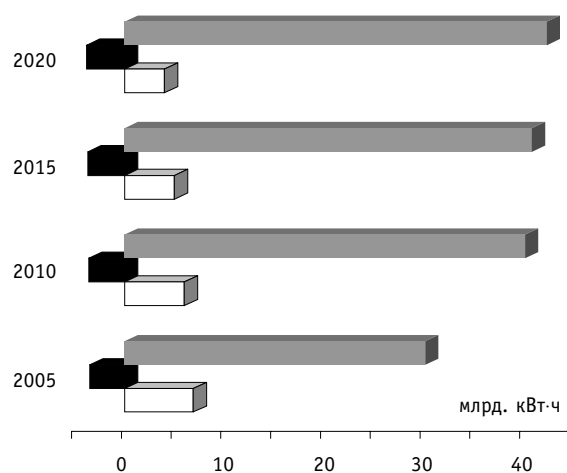


Рис. 5. Прогноз изменения баланса электроэнергии белорусской энергосистемы: ■ производство; ■ экспорт; □ импорт

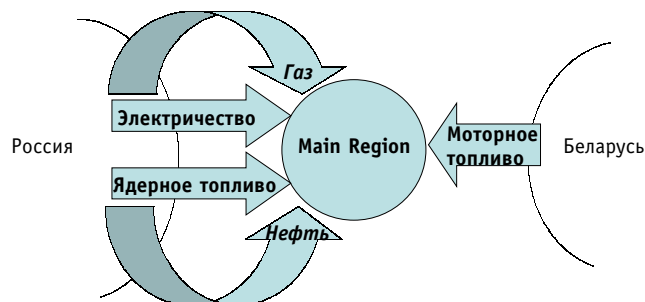


Рис. 6. Расчетная схема для моделирования энергообмена между Россией и Беларусью с помощью программы MESSAGE

следовании задан минимальный объем экспорта моторного топлива из Беларуси в Россию 250 тыс. т. Остальные показанные на схеме энергопотоки определяются в процессе поиска оптимального решения.

Данные по прогнозируемому росту цен на импорт нефти, газа и электроэнергии за рассматриваемый период прогнозирования приведены в табл. 2.

Таблица 2

Прогноз роста цен на импорт нефти, газа и электроэнергии

Год	Вид импорта		
	Газ, \$/тыс.м ³	Нефть, \$/баррель	Электричество, цент/кВт·ч
2000	30	20	1.38
2005	46.68 [8]	22	2.48 [9]
2015	50	26	2.5

Для анализа результатов расчетов удобнее представить структуру тепловых станций по видам потребляемого топлива. Исходная структура производства электроэнергии энергосистемой Беларуси по видам используемого тепловыми установками топлива приведена на рис. 7.

Чтобы продемонстрировать возможность моделирования межрегиональных энергетических связей с помощью программы MESSAGE, были проведены расчеты для трех вариантов стратегии развития белорусской энергосистемы. Предположение относительно необходимого уровня производства электроэнергии одинаково для всех ва-

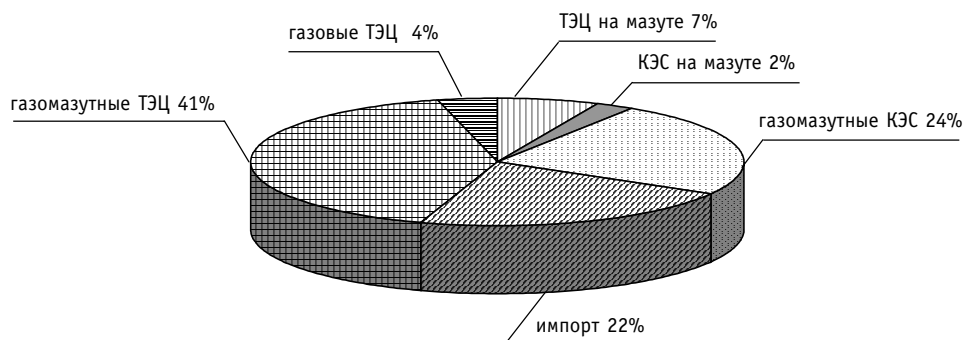


Рис. 7. Структура производства электроэнергии белорусской энергосистемой в базовом 2000 г. по видам топлива

риантов и соответствует официальному прогнозу роста потребления электроэнергии (см. рис. 5).

Вариант А предполагает развитие белорусской энергосистемы в соответствии с основными положениями, принятыми в разработанном в 2003 г. топливно-энергетическом балансе страны на период до 2020 г. [3]. В расчетах использованы предположения относительно снижения импорта электроэнергии и типов электростанций, которые планируется построить для компенсации мощностей выводимых из эксплуатации установок и покрытия роста потребления электроэнергии. Таким образом, структура производства электроэнергии складывалась из ограниченного импорта электроэнергии, существующих мощностей, пределы изменения которых ограничены сверху и снизу в соответствии с официальными данными, и новых мощностей двух типов: газовых и газомазутных ТЭЦ. Соотношение потребления топлива на газомазутных станциях жестко задано.

Оптимальная структура белорусской энергосистемы для варианта А, полученная в результате расчетов по программе MESSAGE, представлена на рис. 8. Как и в исходной структуре, к концу интервала прогнозирования наибольшее количество электроэнергии производится газомазутными ТЭЦ. Остальной прирост мощностей при плановом снижении импорта приходится на газовые ТЭЦ.

В вариантах Б и В стратегической альтернативой тепловым станциям являются АЭС.

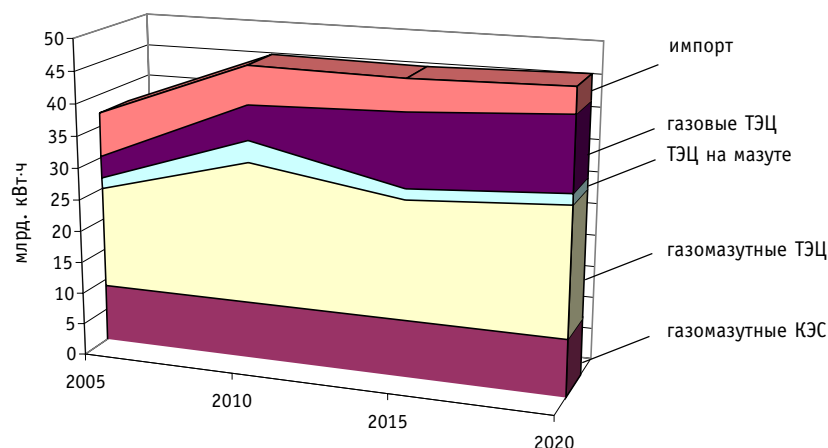


Рис. 8. Структура производства электроэнергии для варианта А

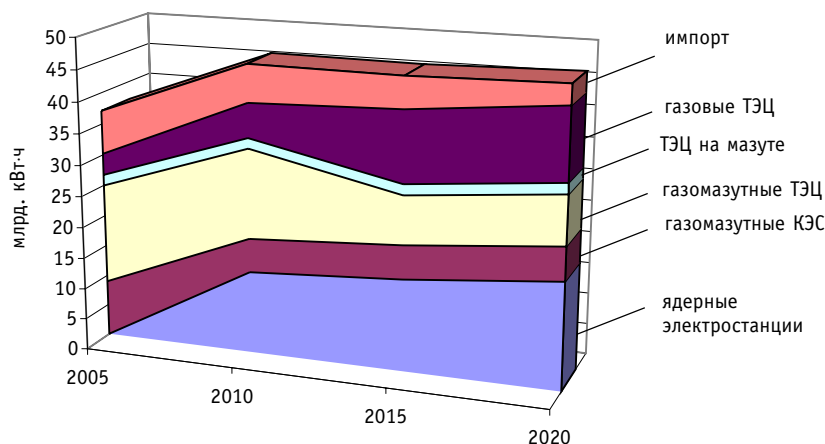


Рис. 9. Структура производства электроэнергии для варианта Б

Хотя при составлении перспективного плана развития ТЭК Беларуси атомная энергетика не рассматривалась [3], возможность строительства АЭС в обозримом будущем (3-5 лет) продолжает обсуждаться [9]. В расчетах предполагалось, что строительство ядерных энергоблоков может (если это экономически целесообразно) начаться с 2010 г.

Различие вариантов Б и В заключается в разных предположениях относительно затрат на строительство ядерного энергоблока: 3.5 млрд. \$ для варианта Б и 2.5 млрд. \$ для варианта В. Масштабы ввода АЭС, так же, как и новых тепловых электростанций, определяются программой.

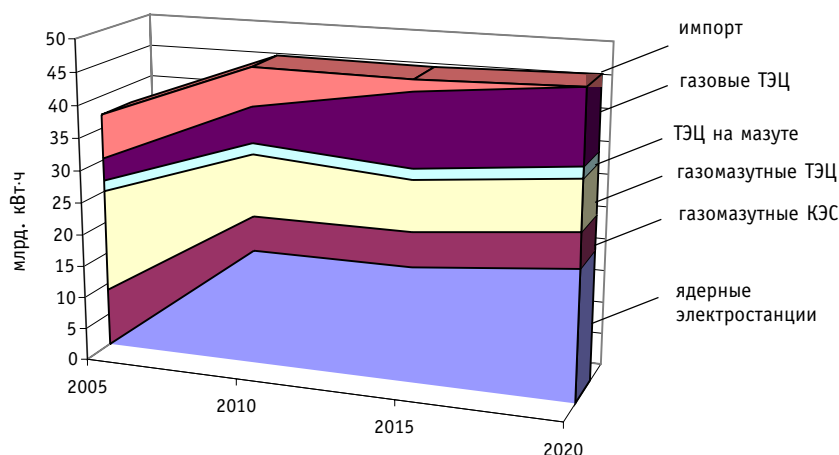


Рис. 10. Структура производства электроэнергии для варианта В

Диаграммы, приведенные на рис. 9 и 10, иллюстрируют полученные результаты расчетов для вариантов Б и В. Следует отметить, что возможности программы MESSAGE позволяют проследить поблочный ввод вновь построенных энергетических станций, но в нашей демонстрационной схеме эта возможность не реализована.

Из сравнения диаграмм на рис. 9 и 10 видно, что в принятых в расчетах предположениях ядерные энергоблоки оказываются экономически конкурентоспособными с новыми тепловыми станциями.

В структуре рассматриваемой энергетической системы АЭС замещают импорт электроэнергии и газомазутные ТЭЦ. Степень замещения зависит от размеров затрат на

строительство ядерных энергоблоков.

В случае, если цена ядерного энергоблока составляет 2.5 млрд. \$, атомная энергетика полностью замещает импорт электроэнергии к концу рассматриваемого интервала прогнозирования.

Очевидно, что изменение структуры энергосистемы означает перераспределение потоков потребляемых энергоресурсов.

Результаты расчетов, приведенные в виде диаграмм на

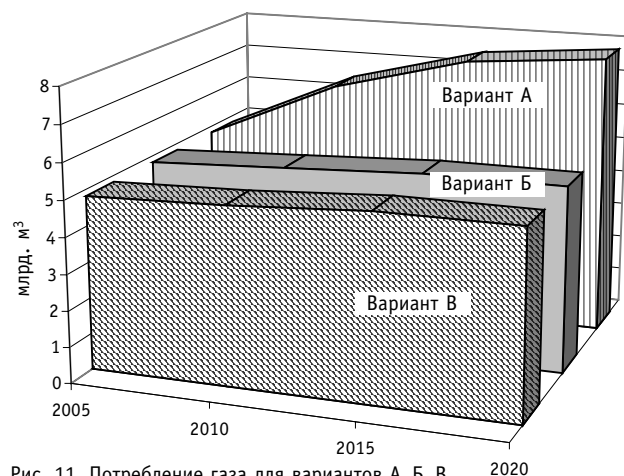


Рис. 11. Потребление газа для вариантов А, Б, В

рис. 11-13, показывают, какими именно изменениями в потреблении газа, нефти и импорта электроэнергии сопровождается ввод в энергосистему альтернативного источника электроэнергии – АЭС.

Как отмечалось выше, строительство ядерных энергоблоков позволяет отказаться от импорта электроэнергии к концу рассматриваемого периода прогнозирования (рис. 13). Экономически целесообразным оказывается также замещение импортируемого углеводородного топлива ядерной энергией (рис. 11, 12).

Полученные результаты расчетов по программе MESSAGE носят иллюстративный характер, однако они позволяют утверждать, что данный программный продукт может применяться для моделирования межрегионального энергообмена. Расширение расчетной схемы, уточнение исходных данных и более полное использование возможностей программы позволят получить результаты, которые могли бы быть одним из источников информации для лиц, принимающих решение.

Литература

1. MESSAGE User's Manual (Draft), IAEA, September 2002.
2. Зорина Т.Г. Прогнозирование развития белорусской энергетической системы. /Материалы международной научно-практической конференции «Теоретические и прикладные проблемы маркетинга», Иркутск, 2004.
3. Белый С.Б. Доклад на пленарном заседании VIII Белорусского энергетического и экологического конгресса 7.10.2003 г.
4. Общенациональное телевидение. http://www.ont.by/index.php?id_kontur=109.
5. «Белорусский рынок», №12(596), 29 марта - 5 апреля 2004, <http://www.br.minsk.by/index.php?article=21449>.
6. <http://www.br.minsk.by/index.php?article=8707>.
7. <http://www.rambler.ru/db/news/msg.html?mid=4686262&s=260000386>.
8. Belarus Today, 01.03.2004. <http://www.belarustoday.info/?pid=2408>.
9. СОЮЗ-ИНФО, информационное агентство союзного государства Беларуси и России, <http://www.sinfo.ru/ru/main/focus/news/detail.shtml?id=2626>.

Поступила в редакцию 29.07.2004

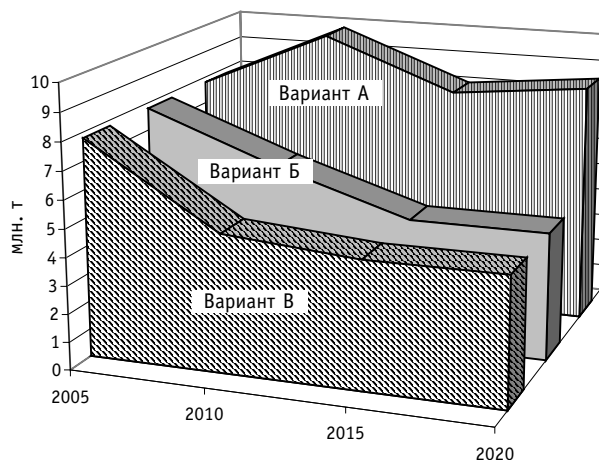


Рис. 12. Потребление нефти для вариантов А, Б, В

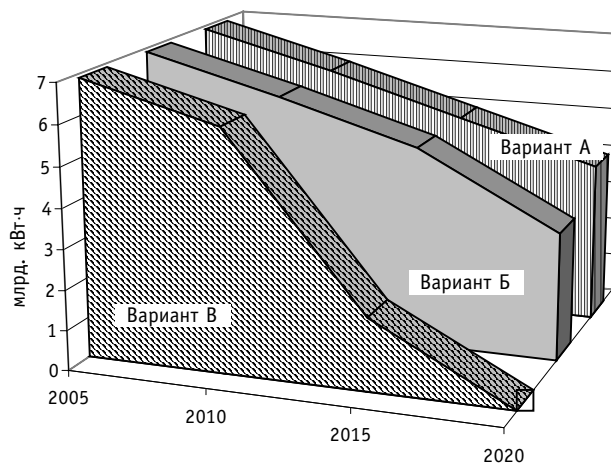


Рис. 13. Импорт электроэнергии для вариантов А, Б, В

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 620.9:519.7

Interregional Energy Exchange Modeling by Using MESSAGE Code \ E.V. Fedorova, T.G. Zorina; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2004. – 9 pages, 2 tables, 13 illustrations. – References, 9 titles.

MESSAGE successful application for interregional energy exchange modeling was demonstrated. MESSAGE is a IIASA program product which is distributed among the Member States as an energy systems prognosis tool. The simulation result is the optimum energy system strategy. The optimization criterion is minimum of total levelized system costs. The existing energy interchange scheme between Russia and Belarus was considered as a test problem. Russian gas, oil and electricity export to Belarus and Belarus motor fuel export to Russia was modeled. Nuclear energy was considered to be an alternative energy source for Belarus energy system.

УДК 621.039.58

Extension of Control Room Operator Information Support by the SPDS System Installation \ S.A. Andrushechko; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2004. – 11 pages, 4 illustrations. – References, 1 title.

The article is devoted to description of development and design of safety parameters display system (SPDS) for the 1, 2 units of Kola NPP with WWER-440 reactors. This system is based on advance representation of unit safety on the base of «Critical safety functions» (CSF). Accepted CSF for Kola units and degree of their severity while abnormal and accidental conditions, principles of CSF control for safety barriers destruction prevention are described. Algorithms of CSF calculations and man-computer interface and technical means of SPDS are also described.

УДК 621.039.53

Video-monitoring System of In-core Constructions for WWR-c Reactor \ O.Yu. Kochnov, N.D. Lukin; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2004. – 3 pages, 5 illustrations. – References, 2 titles.

The requirements of video-monitoring system for WWR-c reactor (Obninsk) was presented in this article. The short characteristics and structure scheme of this device was done. The results of video-monitoring process was shown. The conclusion about possibilities of using such equipment for additional purposes in the future was done.

УДК 621.039.532.21

Calculation of the Reactor Graphite Durability for RBMK-1000 Considering the Axial Irregularity of Energy Release \ V.I. Boiko, V.V. Shidlovskiy, V.N. Nesterov, I.V. Shamanin, A.V. Ratman; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2004. – 5 pages, 2 illustrations. – References, 3 titles.

The work given suggests the calculation of the reactor graphite durability for RBMK-1000 considering the axial irregularity of energy release. The paper covers the following aspects: procedure of the computation of the arrays of the product uranium-graphite reactor operational parameters; the volumetric heat intensity distribution considering the axial reactor core profiling; the methods of the calculation of the axial distribution of critical neutron fluence considering real equivalent radiation temperature of the graphite reactor and the values of neutron fluence (neutron energy higher than 180 keV) on the inside surface of the graphite block and average values.