

УДК 330.4:338.242.44 (519.3)

МОДЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКЕ НА ДОЛГОСРОЧНУЮ ПЕРСПЕКТИВУ

Д.Л. Андрианов, д. физ.-мат. наук, проф., зав. кафедрой информационных систем и математических методов в экономике

Электронный адрес: andrianov@econ.psu.ru

М.Ю. Кулаков, к. экон. наук, доц. кафедры информационных систем и математических методов в экономике

Электронный адрес: kulakov@econ.psu.ru

Д.О. Науменко, асп. кафедры информационных систем и математических методов в экономике

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Электронный адрес: naumenko@prognoz.ru

В статье рассмотрены задачи прогнозирования потребления электроэнергии на макроуровне. Приведен краткий обзор отечественных и зарубежных разработок, описана информационная база. Представлены основные результаты разработки комплекса моделей прогнозирования потребления электроэнергии в Китайской Народной Республике в долгосрочном периоде, а также методы и подходы, использованные при создании комплекса. Приведены схемы моделей и их входящие и результирующие показатели.

Ключевые слова: прогнозирование потребления электроэнергии; долгосрочный период; модели; подходы и методы прогнозирования; комплекс моделей; Китайская Народная Республика.

Введение

Электроэнергия является одним из наиболее значимых продуктов промежуточного потребления страны и составляет весомую долю в затратах практически всех отраслей экономики. Возможности импорта электроэнергии по сравнению с объемами внутреннего спроса весьма малы, и это касается не только России, но и других стран, в том числе Китая. Поэтому дефицит электроэнергии в отдельных регионах и тем более в стране в целом неизбежно выступает наиболее жестким и явным ограничителем экономического роста [13].

Прогнозные долгосрочные оценки динамики электропотребления в развивающихся странах приобретают особую актуальность, так как являются важнейшим неотъемлемым элементом планов по долгосрочному развитию электроэнергетики и основой сбалансированного роста различных секторов экономики в будущем.

Масштабно проводимые реформы в сфере электроэнергетики КНР предъявляют новые требования к качеству прогнозов, обязательными из которых являются

моделирование сценарных и интегральных долгосрочных прогнозов, а также анализ последствий изменения различных параметров государственной политики и мировой экономики.

Внедрение вышеуказанных критериев качества прогнозирования может быть реализовано за счет разработки модельных комплексов, необходимость в которых неоднократно подчеркивалась многими авторами [3, 12, 14].

Среди отечественных разработок моделей долгосрочного потребления электроэнергии следует выделить модели Института систем энергетики им. Мелентьева Сибирского отделения РАН, Института энергетических исследований РАН, ОАО «Институт «Энергосетьпроект» [14, 17]. Из зарубежных разработок можно назвать известную французскую модель MEDEE [21], модели PRIMES [27], VLEEM [28, 30], получившие распространение в странах Западной Европы, американские модели NEMS [17, 26], PURHAPS, INRAD, ISTUM, ORIM [14, 29], канадскую CREECEM [14] и др. Некоторые прикладные вопросы разработки

инструментальных средств моделирования и прогнозирования рассмотрены в трудах сотрудников ЗАО «ПРОГНОЗ» [1, 2, 5, 7, 10, 11, 15, 16, 20].

Между тем существующие методы долгосрочного прогнозирования потребления электроэнергии и модели, построенные на их основе, применяются недостаточно комплексно, что нередко приводит к значительным ошибкам в прогнозах.

Для решения вышеуказанных проблем авторами была поставлена цель – разработать комплекс моделей долгосрочного прогнозирования электропотребления КНР, произвести сценарные расчеты развития КНР и получить интегральные прогнозы потребления электроэнергии.

Для достижения поставленной цели потребовалось решение следующих задач: разработка моделей, интеграция их в единый комплекс, построение хранилища данных статистической информации на основе аналитического комплекса «Прогноз-5» [19], интеграция комплекса моделей с хранилищем данных с последующим сценарным расчетом прогнозов долгосрочного электропотребления КНР.

Для решения данных задач были использованы официальные данные Национального бюро статистики КНР,

размещенные на открытом интернет-ресурсе бюро [31] за период с 1990 по 2010 г., отечественные и зарубежные литературные источники, а также аналитический комплекс «Прогноз-5» для обработки результатов исследования и расчета долгосрочных прогнозов электропотребления экономики КНР.

Описание модельного комплекса

Для описания модельного комплекса сгруппируем описанные в литературе модели [29] и представим классификацию моделей прогнозирования электропотребления по подходу к моделированию или степени агрегации модели:

– агрегированные модели, или модели «сверху-вниз» (известные в зарубежной литературе как *top-down models*), обычно определяющие спрос на электроэнергию через агрегированные экономические показатели;

– декомпозированные модели, или «снизу-вверх» (*bottom-up models*), основаны на подробном описании технологий, используемых для потребления электроэнергии;

– смешанные модели, сочетающие в себе элементы обоих вышеперечисленных типов моделей.

Табл. 1 дает представление о методах и подходах долгосрочного прогнозирования потребления электроэнергии [29].

Таблица 1

Методы и подходы к прогнозированию потребления электроэнергии в долгосрочном периоде

Подход	Методы
Агрегированный	Эконометрические методы, модели общего экономического равновесия, методы линейного программирования
Декомпозированный	Методы линейного и нелинейного программирования, методы многоцелевой оптимизации, межотраслевые балансы, методы системной динамики
Смешанный	Методы линейного и нелинейного программирования (в том числе целочисленное программирование), эконометрические методы

Авторами статьи разработан комплекс моделей прогнозирования электропотребления для Института исследования экономики при Государственной электроэнергетической корпорации Китая, включающий в себя следующие модели с условными названиями,

предложенными авторами: «модель электроемкости экономики», «модель электропотребления секторов экономики» и «модель регионального электропотребления».

Схематично взаимодействие моделей в комплексе представлено на рис. 1.

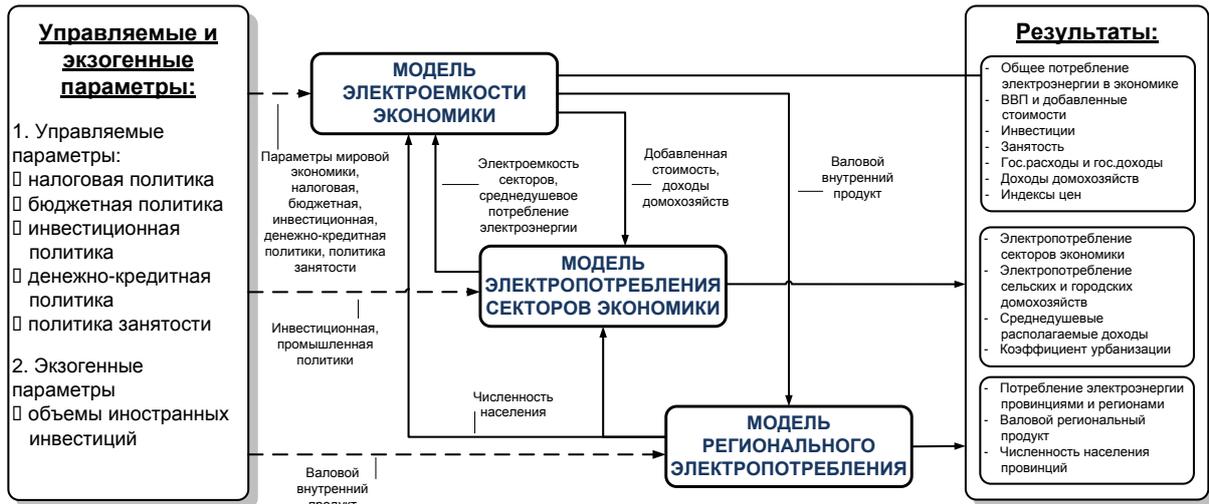


Рис. 1. Схема взаимодействия комплекса моделей

Между моделями существуют тесные взаимосвязи, которые осуществляют логическое, информационное и алгоритмическое единство. Комплекс моделей включает в себя около 300 уравнений, из них треть – эконометрического, остальные – балансового типов. Каждая модель отражает свой аспект потребления электроэнергии в экономике Китая. Ниже представлено краткое описание каждой из моделей.

Модель электроемкости экономики

Модель электроемкости экономики предназначена для прогнозирования потребления электроэнергии в Китае при помощи метода прямого счета с использованием укрупненной структуры ключевых компонент, которые рассчитываются с использованием эконометрических методов, гармонично вписанных в систему уравнений модели.

Необходимо отметить, что метод прямого счета и его модификации получили наибольшее распространение в прогнозных оценках энергопотребления (в т. ч. электропотребления) [9, 13, 18]. В нем используется информация об укрупненных удельных нормах или обобщенных показателях расхода электроэнергии, а также плановые или прогнозные данные об объемах производства или развития отраслей народного хозяйства [4]. Поскольку достоверность прогнозов объемов производства и изменения удельных норм на отдаленную перспективу всегда остается недостаточно высокой, результаты расчетов электропотребления на перспективу обычно приводят в виде диапазона уровней (например,

максимальный, средний и минимальный), или сценариев [4]. Точность метода прямого счета увеличивается в сочетании с эконометрическим подходом, что используется в зарубежных моделях, например в системе моделей, состоящей из макроэкономической имитационной модели SLT, модели энергопотребления MEDEE и оптимизационной модели энергетики EFOM [17].

Модель электроемкости экономики представляет собой систему уравнений, отражающих взаимосвязи между реальным сектором, государственным сектором и домохозяйствами. Укрупненная схема модели электроемкости приведена на рис. 2.

Основными входящими группами показателей являются: налоговая политика (НДС, налог на бизнес), бюджетная политика (дефицит бюджета), денежно-кредитная политика (ставки по депозитам юридических лиц), параметры мировой экономики (иностраные инвестиции), прочие параметры модели (доли занятых в секторах экономики, доли инвестиций в сектора экономики, нормы амортизации основного капитала в секторах экономики).

Ключевыми результирующими показателями являются потребление электроэнергии в КНР, объем ВВП и составляющих его добавленных стоимостей секторов экономики, а также его электроемкость, инвестиции в основной капитал, численность занятых по секторам и доходы домохозяйств.

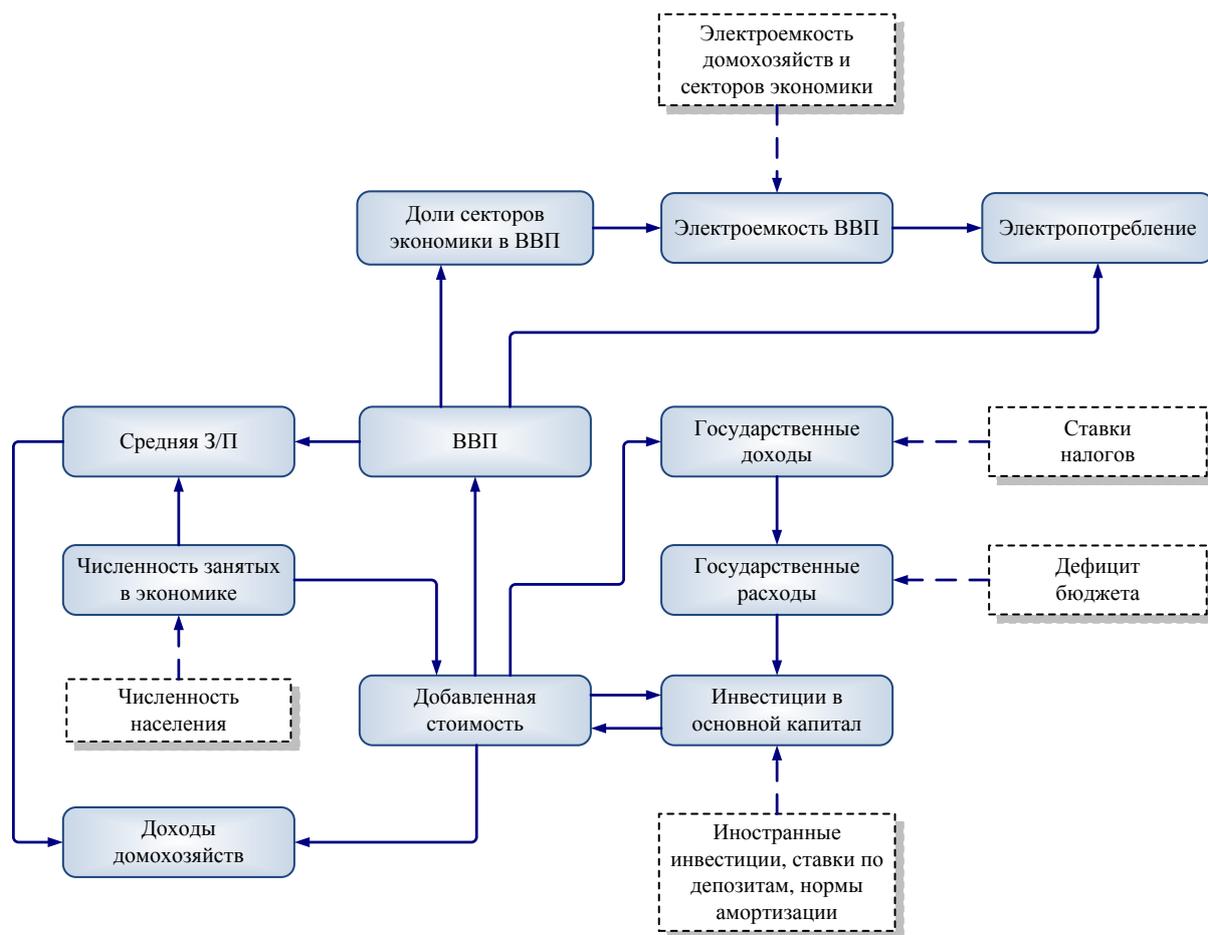


Рис. 2. Укрупненная схема модели электроемкости экономики

Модель электропотребления секторов экономики

Модель электропотребления секторов экономики построена по принципу, который уходит корнями в метод конечного использования, однако в данной модели потребители электроэнергии представлены в укрупненном виде, т.е. агрегированы до уровня секторов экономики и домохозяйств.

Сам по себе метод конечного использования исходит из предпосылки, что спрос на электроэнергию является производным спросом. Т.е. электроэнергия рассматривается не сама по себе, а в связи с источниками ее потребления [23].

Несомненным преимуществом метода конечного использования является его способность учитывать вопросы изменения технологий и энергоэффективности в явном виде, что позволяет отслеживать изменения сквозь всю модель и анализировать влияние на величину общего спроса [23]. Также важно отметить относительную простоту идентифицируемости уравнений модели, которые в большинстве случаев представляют

собой простые уравнения балансового типа. Однако, с другой стороны, подобная детализация требует значительных массивов данных.

Как уже отмечалось выше, электроэнергия потребляется на определенные нужды. Эта особенность учитывается в моделях при помощи удельных единиц потребления электроэнергии. Таким образом, по своей природе метод конечного использования включает в себя в явном виде те взаимосвязи, которые в эконометрических моделях учитываются имплицитно. Примером таких взаимосвязей могут служить изменения эффективности техники, количества приборов, интенсивности их использования и т.п. [23].

Метод конечного использования является одним из направлений более широкого типа моделей, построенных по принципу «снизу-вверх», известных в зарубежной литературе как *bottom-up models*.

Модель электропотребления секторов экономики представляет собой систему уравнений, описывающих динамику потребления электроэнергии в секторах

экономики. Для упрощения модели отрасли также объединены в три основные группы: сельское хозяйство, промышленность и сфера услуг. Схема взаимовлияния показателей модели электропотребления секторов экономики приведена на рис. 3. Подобную структуру имеют модели, описанные в ряде работ зарубежных авторов [22, 25].

Основными входящими группами показателей являются величины добавленных стоимостей секторов, объемы инвестиций в

инфраструктуру строительной отрасли, площади строительства, отражающие экономическую активность в экономике, а также численность и доходы населения, играющие основную роль в моделировании электропотребления сектора домохозяйств.

Ключевыми результирующими показателями модели являются объемы потребляемой электроэнергии в секторах экономики, сельским и городским населением Китая, а также величины их электроемкостей.

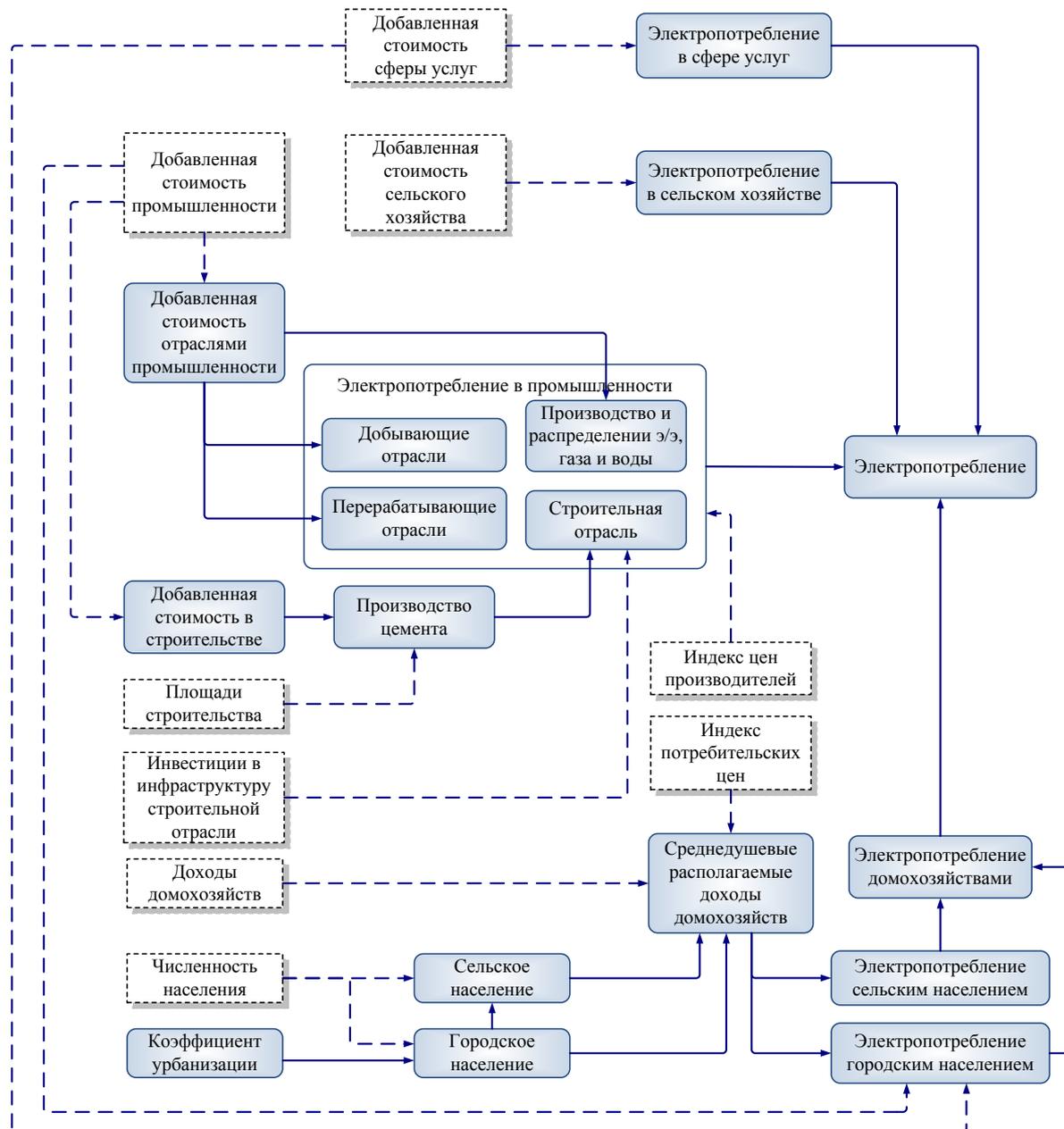


Рис. 3. Укрупненная схема модели электропотребления секторов экономики

Модель регионального электропотребления

Модель регионального электропотребления предназначена для прогнозирования потребления электроэнергии в провинциях Китая, которые затем агрегируются до макроуровня. Хотя в основе региональных прогнозов заложены похожие методики моделирования процесса потребления электроэнергии, данная модель позволяет взглянуть на рассматриваемый процесс со стороны провинций Китая, позволяя рассмотреть изучаемый процесс еще с одной точки зрения.

Организация двухуровневого (страна – провинции) процесса прогнозирования потребления на электроэнергию, предполагающего дополнение макропрогнозов с помощью данных провинций Китая является важной задачей для повышения качества прогнозов [6,8].

Модель представляет собой систему уравнений, описывающих динамику потребления электроэнергии в провинциях Китая, объединенных затем в шесть регионов, агрегирующих далее электропотребление до национального уровня. Схема взаимовлияния показателей модели регионального электропотребления приведена на рис. 4.

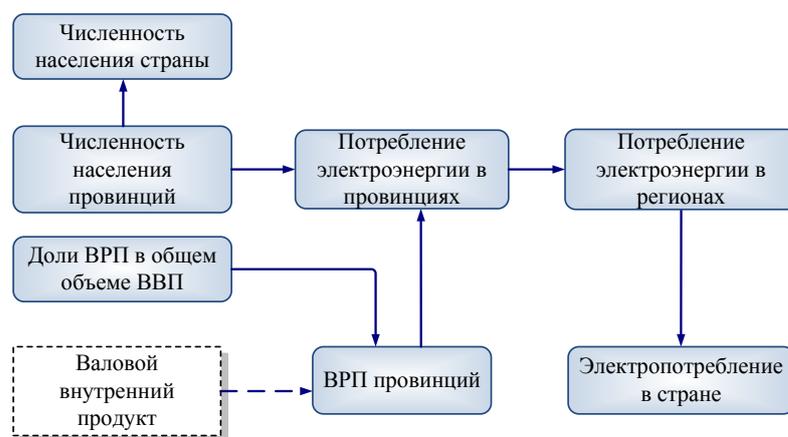


Рис. 4. Укрупненная схема модели регионального электропотребления

Основным входящим показателем является объем валового внутреннего продукта страны, который дезагрегируется на объемы ВРП, согласно экстраполированным долям провинций, нормированным на прогнозном периоде для соблюдения целостности данных. Допустимость подобной методики обоснована отсутствием резких скачков в динамике долей ВРП в ВВП и достаточной прогностической силой описывающих их уравнений. Использование долей регионов и их экстраполяция или прогнозирование являются часто используемым подходом в подобных задачах [6, 23].

Помимо объемов валового регионального продукта в модели также учтен демографический фактор в виде численности населения провинций, который прогнозируется с помощью трендов, преимущественно полиномиальных (четвертой степени) и линейных. Данные методики являются широко распространенными в мировой практике, тем более что для показателей численности населения накоплены более длинные фактические данные.

Величина потребления электроэнергии в провинциях рассчитывается с помощью произведения численности населения на

душевой показатель электропотребления, который моделируется с помощью ВРП на душу населения. Подобную методику можно встретить в исследованиях ключевых факторов электропотребления [24].

Ключевыми результирующими показателями данной модели являются объемы потребленной электроэнергии провинциями Китая.

Таким образом, данная модель также гармонично сочетает в себе метод прямого счета и эконометрический инструментарий. Это позволяет применительно к ней сократить количество входящих переменных до всего лишь одного фактора – ВВП, несмотря на обилие расчетов, обусловленное количеством провинций Китая.

Заключение

Описанный модельный комплекс прогнозирования потребления электроэнергии Китая позволяет получать долгосрочные прогнозы искомого показателя. В сочетании со сценарным подходом и методикой построения интегральных прогнозов данный модельный комплекс представляет собой эффективный инструментарий, способный повысить качество

прогнозов и принимаемых на уровне государственной политики решений.

Описанные в данной работе подходы и программные разработки на основе

Список литературы

1. Андрианов Д.Л., Селянин А.О., Ситников Д.В. Система поддержки принятия решений «Прогнозирование социально-экономического развития регионов» // Методология регионального прогнозирования: Тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. М., 2002. С. 55-57.
2. Андрианов Д.Л., Селянин А.О. Принципы формирования информационной системы социально-экономического развития субъектов Российской Федерации // Региональная экономика: теория и практика. 2006. №5. С. 26-29.
3. Анисимов А.Н. Эконометрический анализ развития КНР / АН СССР. М.: Наука, 1991. 104 с.
4. Белобров В., Калибердин А., Тепленичев А., Эдельман В. Прогнозирование нагрузок в электрических сетях: анализ отечественного опыта // Энергорынок. 2007. № 5 (42). С. 45-51.
5. Беляев М.С. Информационно-аналитическая система мониторинга, анализа и прогнозирования макроэкономических показателей // Актуальные проблемы взаимодействия реального и финансового секторов экономики: сб. науч. ст. / Перм. гос. ун-т, Пермь, 2006. С. 55-58.
6. Веселов Ф.В., Волкова Е.А., Макарова А.С., Терентьев Ю.Г. Среднесрочное прогнозирование развития электроэнергетики в рыночных условиях // Пятые Мелентьевские теоретические чтения. М., 2004. С. 6-18.
7. Ивлиев С.В. Некоторые проблемы идентификации линейных регрессионных моделей экономических процессов // Экономическая кибернетика: математические и инструментальные методы анализа, прогнозирования и управления: сб. ст. / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2002. С. 67.
8. Институт энергетических исследований РАН – Результаты исследований. URL: http://www.esco-ecosys.ru/2005_10/art67.pdf (дата обращения: 30.08.2011).
9. Куленов Н.С. Электрификация жилищ (методы и модели прогнозирования). Алма-Ата: Наука, 1984. 184 с.
10. Кулаков М.Ю. Макроэкономическая модель Российской Федерации // Экономическая кибернетика: методы и средства эффективного управления (к 30-летию кафедры экономической кибернетики): сб. ст. Пермь, 2000. С. 260-266.
11. Кулаков М.Ю. Применение сценарного подхода к прогнозированию
- аналитического комплекса «Прогноз-5» могут быть применены для прогнозирования потребления электроэнергии других экономик мира.
- макроэкономических показателей // Экономическая кибернетика: математические и инструментальные методы анализа, прогнозирования и управления: сб. ст./ Перм. гос. ун-т. Пермь, 2002. С. 111-115.
12. Малахов В.А. Подходы к прогнозированию спроса на электроэнергию в России // Проблемы прогнозирования. 2009. № 2. С. 57-62.
13. Методология разработки перспектив развития электроэнергетики. URL: <http://www.eriras.ru/institute-publications/13/19> (дата обращения: 31.08.2011).
14. Методы и модели прогнозных взаимосвязей энергетики и экономики / Ю.Д. Кононов, Е.В. Гальперова, Д.Ю. Кононов и др. Новосибирск: Наука, 2009. 178 с.
15. Селянин А.О., Андрианов Д.Л. Информационно-аналитическая система мониторинга, анализа и прогнозирования социально-экономического развития субъекта Российской Федерации // Региональные и муниципальные проекты электронной России: тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. М., 2002. С. 27-31.
16. Селянин А.О. К вопросу о прогнозировании основных показателей социально-экономического развития // Труды Всерос. конференции молодых ученых и студентов «Экономика и управление: актуальные проблемы и поиск путей решения» / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2001. С. 84.
17. Системные исследования в энергетике: Ретроспектива научных направлений СЭИ–ИСЭМ / отв. ред. Н.И. Воропай. Новосибирск: Наука, 2010. 686 с.
18. Современные проблемы электрификации быта / отв. ред. Ю.М. Коган. М.: Наука, 1987. 133 с.
19. Свидетельство Российского агентства по патентам и товарным знакам № 2005610980 от 22.04.2005 об официальной регистрации программы для ЭВМ «Аналитический комплекс “Прогноз-5” (АК “Прогноз-5”)).
20. Шульц Д.Н., Нилова Е.В. Программный комплекс моделирования и прогнозирования экономики Китая // Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ-2007): матер. VI Междунар. науч.-практ. конференции, Томск: Изд-во Томского гос. ун-та, 2007. С. 130.
21. Cheatue B., Lapillone B. The MEDEE Approach: Analysis and Long-Term Forecasting of Final Energy Demand of Country. France, 1978. 93 p.

22. *Load Forecast*. – Technical Document, – Energy Vision 2020. – United States. 1994. Vol. 2. URL: http://www.tva.gov/environment/reports/energyvision2020/ev2020_vol2td5.pdf (дата обращения: 30.08.2011).

23. *Northern York Region Electricity Supply Study Submission to the Ontario Energy Board*. - Exhibit B: Load Forecast & CDM Options Northern York Region. Canada, 2005. 144 p.

24. *Regional Balkans Infrastructure Study and Generation Investment Study*. Vol. 2: Electricity Demand Forecast. Final Report. 2004. 49 p.

25. *The 4th Basic Plan of Long Term Electricity Supply & Demand (2008 – 2022)*. Ministry of Knowledge. Korea. 2004. 100 p.

26. *The National Energy Modeling System: an overview 2009*. – Energy Information Administration, Office of Integrated Analysis and Forecasting, U.S. Department of Energy. 2009. URL: [http://www.eia.gov/oiiaf/aeo/overview/pdf/0581\(2009\).pdf](http://www.eia.gov/oiiaf/aeo/overview/pdf/0581(2009).pdf) (дата обращения: 01.09.2011).

27. *The PRIMES Energy System Model Summary Description*. – National Technical University of Athens. – European Commission Joule-III Programme. URL: <http://www.e3mlab.ntua.gr/manuals/PRIMsd.pdf> (дата обращения: 01.09.2011).

28. *VLEEM – Very Long Term Energy Environmental Modelling*. Final Report. 2002. 66 p.

29. *Wei, Y-M., Wu, G., Fan, Y. and Liu, L-C.* (2006) Progress in energy complex system modelling and analysis // *International Journal of Global Energy Issues*. Vol. 25, Nr. 1/2. P.109–128.

30. URL: <http://www.vleem.org/PDF/annex1-demanded-model.pdf> (дата обращения: 01.09.2011).

31. URL: <http://www.stats.gov.cn/english/statisticaldata/index.htm> (дата обращения: 01.09.2011).