

УДК 338:620.9

ОДИН ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ПРИ ДОЛГОСРОЧНОМ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ РЕГИОНА*

Е.В. ГАЛЬПЕРОВА,
кандидат технических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник отдела
взаимосвязей энергетики и экономики
E-mail: galper@isem.sei.irk.ru

Д.Ю. КОНОНОВ,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник отдела
взаимосвязей энергетики и экономики
E-mail: dima@isem.sei.irk.ru

**Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева
Сибирского отделения РАН**

Статья посвящена проблеме учета неопределенности исходной информации при долгосрочном прогнозировании потребности в энергоресурсах. Долгосрочные прогнозы возможной динамики спроса на энергоносители являются необходимыми и первоочередными этапами разработки программ и стратегий развития энергетики и экономики страны и регионов и служат важными ориентирами для принятия инвестиционных решений в топливно-энергетическом комплексе. Усложнение взаимосвязей экономики и топливно-энергетического комплекса, изменение методов управления, переход к рыночным отношениям, повышение роли ценового фактора ведут к росту неопределенности будущего развития страны и территорий и неоднозначности перспективного спроса на энергоресурсы.

В работе описывается разработанный модельно-программный комплекс, состоящий из семейс-

тва имитационных стохастических статических моделей (МИСС) укрупненных групп потребителей для разных регионов страны, который позволяет оценить влияние неоднозначности, используемой при долгосрочном прогнозировании информации, на перспективные показатели энергоснабжения региона. Особенностью входящих в комплекс моделей является совместное использование методов оптимизации и статистических испытаний (метод Монте-Карло), первый из которых используется для выбора рациональной структуры топливоснабжения потребителей, второй – для учета неопределенности будущих условий. Кроме того, особенности подхода позволяют задавать перспективные технико-экономические, ценовые и др. показатели в виде интервалов возможных значений с разной степенью вероятности их реализации в этих интервалах.

В статье приводятся результаты экспериментальных расчетов для некоторых укрупненных регионов Российской Федерации в предполагаемых условиях топливоснабжения в 2020 г., а также рассматривались интервальная (полная) неопределен-

* Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 13-0600303).

ность исходных данных, нормальное распределение вероятности внутри интервала неопределенности и детерминированные (однозначные) значения. Показано влияние вероятности реализации показателей внутри интервалов на изменение эффективных объемов спроса на газ для новых электростанций и крупных котельных и на неопределенность стоимости производства электрической и тепловой энергии. Представляется, что учет фактора неопределенности исходной информации при определении прогнозных объемов энергопотребления должен способствовать повышению обоснованности долгосрочных прогнозов развития топливно-энергетического комплекса страны и регионов.

Ключевые слова: регион, региональный, энергопотребление, долгосрочное прогнозирование, спрос, цена, неопределенность

Долгосрочные прогнозы возможной динамики потребности в энергоносителях являются необходимым и первоочередным этапом разработки программ и стратегий развития энергетики и экономики страны и регионов и служат важным ориентиром для принятия инвестиционных решений в топливно-энергетическом комплексе. Совершенствованием существующих и созданием новых методов и моделей для исследования и прогнозирования энергопотребления занимаются многие специалисты и организации [1, 4, 10–14, 19, 20].

Эффективные уровни потребления того или иного энергоносителя формируются под влиянием множества факторов (существующие технологии, возможности энергосбережения и замещения одного энергоносителя другим, финансовое состояние предприятий и т.д.), однако при прочих равных условиях главным являются ценовые условия в регионе. Прогнозирование цен на энергоносители – отдельная сложная и важная задача, некоторые возможные пути ее решения представлены в [3, 7, 8, 15, 18].

Усложнение взаимосвязей экономики и топливно-энергетического комплекса, изменение методов управления, переход к рыночным отношениям, повышение роли ценового фактора ведут к росту неопределенности будущего развития страны и территорий, к неоднозначности перспективного спроса на энергоресурсы. В этой связи все большую актуальность приобретает проблема учета влияния неопределенности исходной информации при определении прогнозных объемов энергопотребления. Разработанные ранее методы учета неоднозначности исходной информации и принятия решений в условиях неопределенности не потеряли своего

значения и в настоящее время [2, 6, 16, 17], однако принципиально меняющиеся условия функционирования экономики и энергетики, возникающие новые проблемы и задачи требуют развития существующих методических подходов.

В Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения РАН в рамках разрабатываемого подхода к повышению обоснованности долгосрочных прогнозов топливно-энергетического комплекса [9] уделяется большое внимание оценке влияния неопределенности в исходных данных на величину прогнозного диапазона регионального потребления энергоносителей. Особенности подхода позволяют задавать перспективные технико-экономические, ценовые и др. показатели в виде интервалов возможных значений с разной степенью вероятности их реализации в этих интервалах. Это дает возможность оценить влияние на перспективные показатели энергоснабжения региона (объемы поставок разных видов топлива, цены на энергоносители и т.д.) – и не только на широту диапазона значений используемых данных, но и на характер неопределенности в соответствии с представлениями эксперта.

Методический инструментарий для оценки эффективности вариантов топливоснабжения регионов в условиях неопределенности. В общем случае задача исследования состоит в определении наиболее эффективного варианта топливоснабжения региона для удовлетворения заданного перспективного спроса на продукцию потребителей в ожидаемых условиях развития экономики (изменение цен, технико-экономических показателей, ограничений на поставки того или иного вида топлива и др.). Для ее решения создан модельно-программный комплекс, состоящий из семейства МИСС¹ укрупненных групп потребителей для разных регионов страны (рис. 1).

Особенностью входящих в комплекс моделей является совместное использование методов оптимизации и статистических испытаний (метод Монте-Карло). Первый метод – для выбора рациональной структуры топливоснабжения потре-

¹ МИСС (от англ. *Multilingual Integrated System for Simulation*) – многоязыковая система программирования для IBM-совместимых персональных ЭВМ, ориентированная, прежде всего на имитацию, но пригодная и в качестве универсального инструмента, облегчающего создание сложных (в частности, диалоговых) многокомпонентных программных комплексов с собственными базами данных.

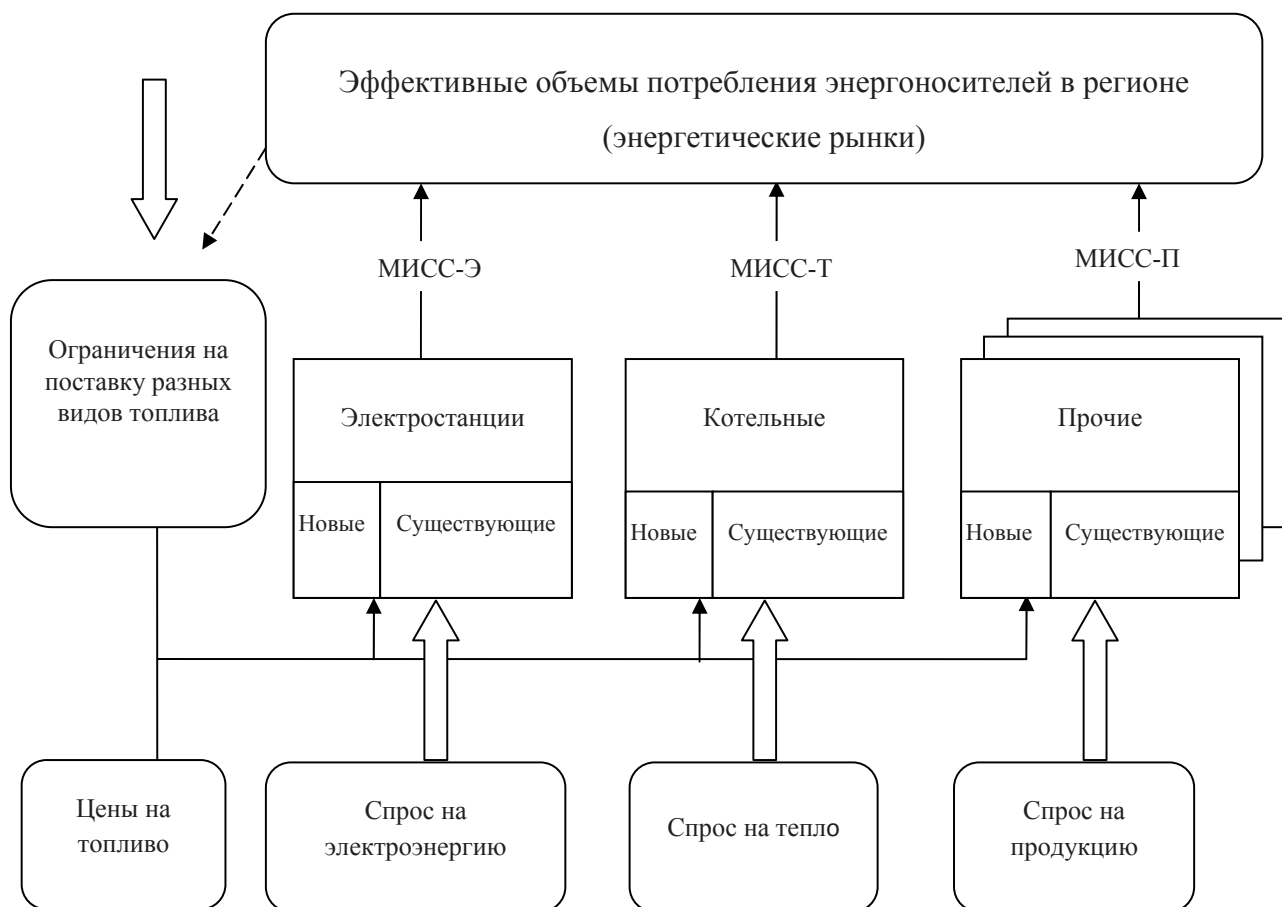


Рис. 1. Модельно-программный комплекс МИСС для оценки эффективности вариантов топливоснабжения регионов в условиях неопределенности

лей, второй – для учета неопределенности будущих условий. Еще одной специфической чертой моделей является задание исходных технико-экономических, ценовых и других показателей и ограничений в виде интервалов их возможных значений. Характер распределения вероятности значений этих показателей внутри диапазона неопределенности оценивается и задается экспертно [5].

В настоящее время реализованы модели МИСС-Э и МИСС-Т². Основными искомыми переменными в них являются мощности разного типа электростанций или котельных, годовая выработка электроэнергии или тепла, потребление разных видов топлива. При этом учитываются ограничения (верхняя и нижняя границы) на возможный ввод мощности каждой категории установок, а также на поставку отдельных видов топлива в регион. Заданная потребность в электро- и теплоэнергии должна быть удовлетворена наиболее эффективным спосо-

бом на основе конкуренции разных видов топлива и энергоисточников. Критерием экономической эффективности в моделях служит минимальная цена производства продукции потребителями топлива.

Для определения перспективного спроса на разные виды топлива новых электростанций и крупных котельных в соответствии с методом Монте-Карло проводится серия из нескольких сотен модельных экспериментов в рамках предполагаемых в регионе условий топливоснабжения. Каждый эксперимент представляет собой генерацию возможных к реализации неопределенных исходных данных в соответствии с их вероятностными характеристиками.

Результаты исследования. В качестве примера далее приводятся результаты экспериментальных расчетов влияния неопределенности исходных данных на некоторые перспективные показатели энергоснабжения отдельных укрупненных регионов России (в предполагаемых условиях 2020 г.). Авторами исследовалась величина неопределенности эффективных объемов спроса на газ (при

² МИСС-Электроэнергия, МИСС-Теплоэнергия

Прогноз цен на топливо по отдельным регионам России в 2020 г.

Регион	Уголь энергетический, долл. / т.у.т.	Газ природный, долл. / 1 000 м ³
Европейская часть	79–93	140–185
Восточная Сибирь	37–51	100–140
Дальний Восток (южная часть)	65–82	135–200

Примечание. Здесь и далее цены приведены в долларах (2012 г.). Тонна условного топлива (т.у.т.) – 29,35 Дж/кг (7 000 ккал/кг).

Источник: [7].

конкуренции с углем) и цены производства электрической энергии новыми электростанциями и тепловой энергии новыми крупными котельными, а также рассматривались интервальная (полная) неопределенность исходных данных, нормальное распределение вероятности внутри интервала неопределенности и детерминированные (однозначные) значения.

Принятые в расчетах диапазоны цены на топливо представлены в таблице.

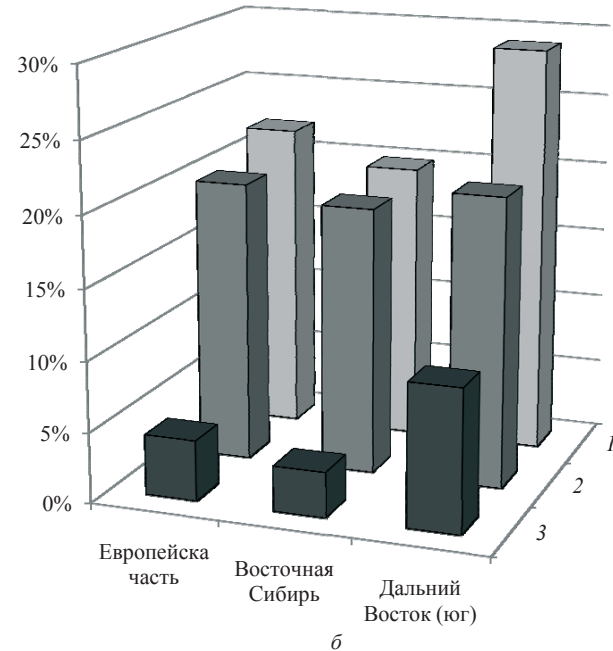
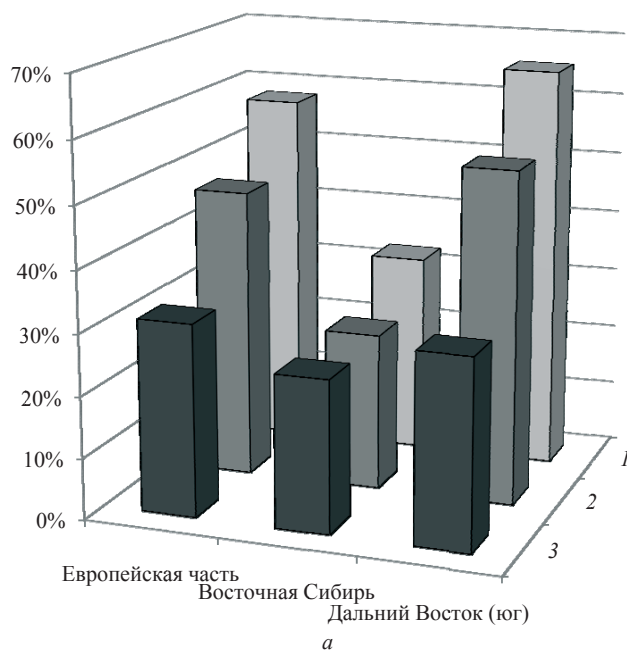
Анализ полученных результатов показал, что большая величина неопределенности перспектив-

ного спроса на газ характерна для электростанций. С ростом цены в исходном диапазоне значений эффективные объемы потребления газа снижаются от 25–30% при детерминированном задании исходной информации до 58–65% в условиях полной неопределенности. При этом из представленных регионов больше всех реагирует на эти условия южная часть Дальнего Востока (наибольший диапазон прогнозных значений цен на топливо) (рис. 2).

Снижение спроса на газ свидетельствует об изменении структуры топливоснабжения потребителей в сторону увеличения эффективности потребления угля для удовлетворения заданной потребности в продукции потребителей.

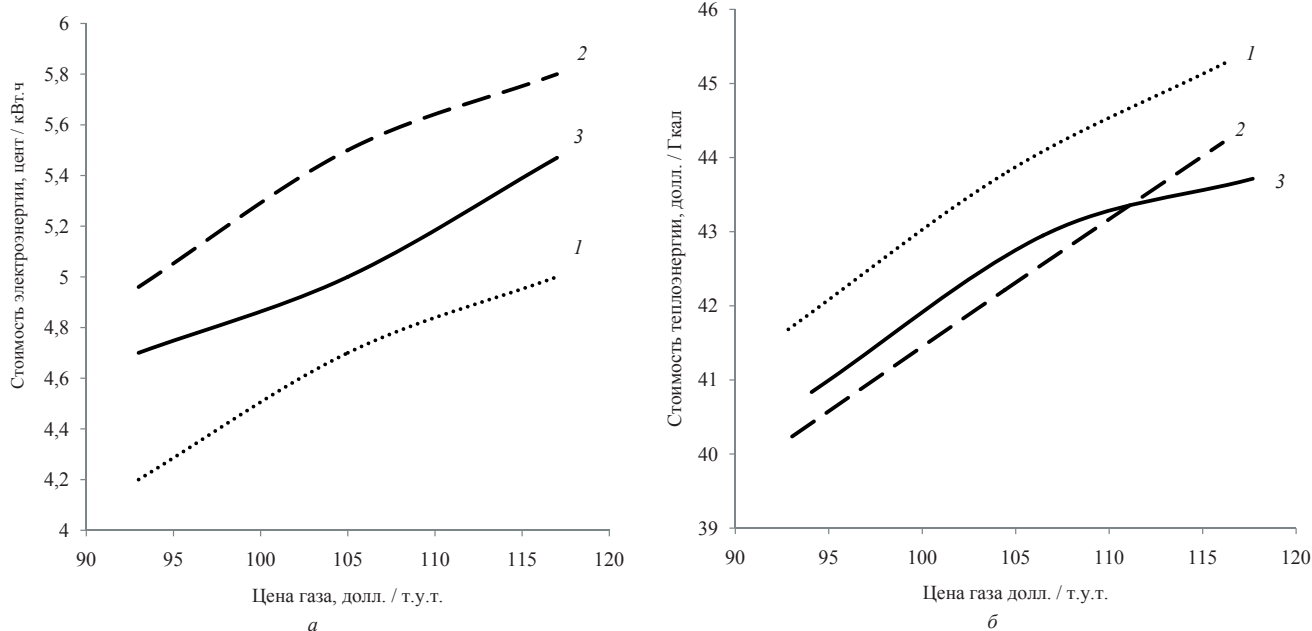
Неопределенность в объемах и видах используемого топлива обуславливает возможный диапазон прогнозной стоимости производства энергии. Данные, представленные на рис. 3, показывают, что разная вероятность в условиях топливоснабжения в Восточной Сибири может изменить стоимость производства электроэнергии на 16–19% и тепла на котельных на 7–10%.

Таким образом, проведенное исследование показало зависимость перспективных условий энергоснабжения региона от неоднозначности ис-



Источник: расчеты авторов.

Рис. 2. Изменение объемов эффективного спроса на газ на новых электростанциях и крупных котельных в отдельных регионах России в зависимости от характера неопределенности исходных данных для предполагаемых условий в 2020 г.: а – электростанции; б – котельные; 1 – полная неопределенность; 2 – нормальное распределение; 3 – детерминированное решение.



Источник: [7] и расчеты авторов.

Рис. 3. Изменение средней стоимости производства электроэнергии на новых парогазовых установках, а также теплотенергии на новых крупных котельных в Восточной Сибири в зависимости от цены газа и характера неопределенности исходных данных для предполагаемых условий в 2020 г.
а – парогазовые установки; *б* – крупные котельные; *1* – полная неопределенность; *2* – нормальное распределение; *3* – детерминированное решение

пользуемой при долгосрочном прогнозировании информации. Различная вероятность реализации исходных данных внутри принимаемых интервалов их возможных значений оказывает заметное влияние на величину неопределенности эффективных объемов спроса на разные виды топлива и диапазон изменения стоимости производства тепла и электроэнергии. Причем сила этого влияния различается по регионам.

Несмотря на то, что полученные оценки требуют дальнейшего исследования и анализа, учет фактора неопределенности исходной информации при определении прогнозных объемов энергопотребления должен способствовать повышению обоснованности долгосрочных прогнозов развития топливно-энергетического комплекса страны и регионов.

Список литературы

1. Антонов Н., Лукина Е. Методические подходы к прогнозированию электропотребления // Энергорынок. 2013. № 9. С. 32–39
2. Беляев Л.С. Решение сложных оптимизационных задач в условиях неопределенности. Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1978. 128 с.

3. Волконский В.А., Кузовкин А.И. О регулировании цен на энергоресурсы // Проблемы прогнозирования. 2014. № 2. С. 18–32.
4. Гальперова Е.В., Кононов Ю.Д., Мазурова О.В. Прогнозирование спроса на энергоносители в регионе с учетом их стоимости // Регион. 2008. № 3. С. 207–219.
5. Гальперова Е.В., Кононов Д.Ю., Тыртышный В.Н. Комплекс моделей для долгосрочного прогнозирования конъюнктуры региональных энергетических рынков // Труды XIX Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Ч. I. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2014. С. 14–21.
6. Ермаков С.М. Метод Монте-Карло и смежные вопросы. М.: Наука, 1975. 472 с.
7. Кононов Ю.Д. Анализ и прогноз возможной динамики цен на топливо на мировых и российских рынках. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2013. 30 с.
8. Кононов Ю.Д., Кононов Д.Ю. Долгосрочное прогнозирование динамики цен на российских энергетических рынках // Проблемы прогнозирования. 2005. № 6. С. 53–59.
9. Кононов Ю.Д. Поэтапный подход к повышению обоснованности долгосрочных прогнозов

развития ТЭК и к оценке стратегических угроз // Известия РАН. Сер. Энергетика. 2014. № 2. С. 61–68.

10. Куленов Н. С., Хасенов Ж.Х. Прогнозирование энергопотребления. Алма-Ата: Наука, 1980. 138 с.

11. Магалимов И.В. Методика прогнозирования потребности в энергоресурсах в отраслях народного хозяйства // Теплоэнергетика. 2002. № 10. С. 73–77.

12. Малахов В.А. Подходы к прогнозированию спроса на электроэнергию в России // Проблемы прогнозирования. 2009. № 2. С. 57–62.

13. Медведева Е.А. Технологические уклады и энергопотребление. Иркутск: СЭИ СО РАН, 1994. 250 с.

14. Медведева Е.А., Никитин В.М. Энергопотребление и уровень жизни. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1991. 137 с.

15. Польшгалов А.С., Порохова Н.В., Саакян Ю.З. Модель предельных цен инфраструктурных отраслей // Проблемы прогнозирования. 2012. № 5. С. 61–71.

16. Подковальников С.В. Нечеткая платежная матрица для обоснования решений в энергетике в условиях неопределенности // Известия РАН. Сер. Энергетика. 2001. № 4. С. 164–173.

17. Райфа Х. Анализ решений: введение в проблему выбора в условиях неопределенности. М.: Наука, 1977. 418 с.

18. Синяк Ю.В., Куликов А.П. Два подхода к оценке перспективных цен на нефть и газ и потенциальной природной ренты в России // Проблемы прогнозирования. 2005. № 5. С. 96–120.

19. Успенская И.Г. Современные проблемы прогнозирования энергопотребления региона (на примере Республики Коми) // Проблемы прогнозирования. 2009. № 5. С. 120–133.

20. Филиппов С.П. Прогнозирование энергопотребления с использованием комплекса адаптивных имитационных моделей // Известия РАН. Сер. Энергетика. 2010. № 4. С. 41–55.

Regional economics: theory and practice

ISSN 2311-8733 (Online)

ISSN 2073-1477 (Print)

Region's energy resources

A SINGLE APPROACH TO THE EVALUATION OF THE IMPACT OF INPUT DATA UNCERTAINTY IN LONG-TERM REGIONAL ENERGY SUPPLY FORECASTING

Elena V. GAL'PEROVA,
Dmitrii Yu. KONONOV

Abstract

Importance The paper studies the topical issue of considering input data uncertainty in the long-term forecasting of energy resources demand. The long-term forecasts of possible dynamics in energy demand are a necessary and primary stage in developing programs and strategies of energy development of the country's economy and the regions, and they also serve as an important benchmark for investment decisions in the fuel and energy complex.

Objectives The complication of economy and the fuel and energy complex relationships, the change of management methods, transition to market economy, and the increasing role of the price factor lead to the growth of uncertainty of the future development of the countries and territories and, it also generates the implications of the demand for future energy resources.

Methods In our study, we describe the developed model and software equipment and the procedure for its application, which consists of a family of simulation stochastic and statistical models (SSSM) of larger groups of consumers for different regions of the country, which allows to assess the effects of ambiguity used in the long-term forecasting of information on perspective indicators of energy supply of a region. The specifics of complex models imply the joint usage of methods of optimization and statistical tests (the Monte Carlo method). The optimization method is used to select the rational structures of fuel supply to consumers. The statistical test (the Monte Carlo method) is used for accounting of uncertainty of future conditions. In addition, the particulars of approach allow setting the prospective technical and economic, pricing and other indicators in the form of intervals of possible values with various degree of probability of their implementation within these intervals.

Results The article presents the results of experimental calculations for some of the larger regions of the Russian Federation in the anticipated conditions of fuel supply in 2020, and also considers the interval (complete) uncertainty of the source data. We discuss the normal distribution of probability within the interval of uncertainty and deterministic (unambiguous) values. We also demonstrate the impact of probability of the indicators implementation inside of the intervals at the change of the effective volumes of gas demand for new power plants and large boilers, and also at the uncertainty of the cost of electrical and thermal production.

Conclusions and Relevance We point out that taking into account the factor of uncertainty of source information in determining the prognosis values of energy consumption must facilitate enhancing of the feasibility of long-term projections for the development of fuel and energy complex of the country and regions.

Keywords: region, regional power consumption, long-term forecasting, demand, price, uncertainty

References

1. Antonov N., Lukina E. Metodicheskie podkhody k prognozirovaniyu elektropotrebleniya [Methodological approaches to electricity consumption forecasting]. *Energorynok = Energy market*, 2013, no. 9, pp. 32–39.
2. Belyaev L.S. *Reshenie slozhnykh optimizatsionnykh zadach v usloviyakh neopredelennosti* [The solution of complex optimization problems under uncertainty]. Novosibirsk, Nauka, Siberia Branch Publ., 1978, 128 p.
3. Volkonskii V.A., Kuzovkin A.I. O regulirovanii tsen na energoresursy [Price regulation for power resources]. *Problemy prognozirovaniya = Problems of forecasting*, 2014, no. 2, pp. 18–32.
4. Gal'perova E.V., Kononov Yu.D., Mazurova O.V. Prognozirovanie sprosa na energonositeli v regione s uchetom ikh stoimosti [Forecasting of the demand for energy resources in the region taking into account their cost]. *Region*, 2008, no. 3, pp. 207–219.
5. Gal'perova E.V., Kononov D.Yu., Tyrtshyni V.N. [A model system for long-term forecasting of regional energy markets]. *Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii* [Proc. Sci. Conf. "Information and mathematics technologies in science and management"]. Irkutsk, Melentiev Energy Systems Institute, Siberian Branch of RAS Publ., 2014, vol. 1, pp. 14–21.
6. Ermakov S.M. *Metod Monte-Karlo i smezhnyye voprosy* [The Monte Carlo method and related matters]. Moscow, Nauka Publ., 1975, 472 p.
7. Kononov Yu.D. *Analiz i prognoz vozmozhnoi dinamiki tsen na toplivo na mirovykh i rossiiskikh rynkakh* [An analysis and forecast of the possible dynamics of fuel prices in the global and Russian markets]. Irkutsk, Melentiev Energy Systems Institute, Siberian Branch of RAS Publ., 2013, 30 p.
8. Kononov Yu.D., Kononov D.Yu. Dolgosrochnoe prognozirovanie dinamiki tsen na rossiiskikh energeticheskikh rynkakh [A long-term forecasting of price movement in the Russian energy markets]. *Problemy prognozirovaniya = Problems of forecasting*, 2005, no. 6, pp. 53–59.
9. Kononov Yu.D. Poetapnyi podkhod k povysheniyu obosnovannosti dolgosrochnykh prognozov razvitiya TEK i k otsenke strategicheskikh ugroz [A step-by-step approach to the substantiation of the long-term forecasts of fuel and energy complex development and to the strategic threats assessment]. *Izvestiya RAN. Seriya Energetika = Bulletin of RAS. Energy Series*, 2014, no. 2, pp. 61–68.
10. Kulenov N.S., Khasenov Zh.Kh. *Prognozirovanie energopotrebleniya* [Forecasting of energy consumption]. Alma-Ata, Nauka Publ., 1980, 138 p.
11. Magalimov I.V. Metodika prognozirovaniya potrebnosti v energoresursakh v otraslyakh narodnogo khozyaistva [A method of demand forecasting for energy resources in the national economy sectors]. *Teploenergetika = Thermal engineering*, 2002, no. 10, pp. 73–77.
12. Malakhov V.A. Podkhody k prognozirovaniyu sprosa na elektroenergiyu v Rossii [Approaches to forecasting the electric power demand in Russia]. *Problemy prognozirovaniya = Problems of forecasting*, 2009, no. 2, pp. 57–62.
13. Medvedeva E.A. *Tekhnologicheskie układy i energopotreblenie* [Technological modes and power consumption]. Irkutsk, Melentiev Energy Systems Institute, Siberian Branch of RAS Publ., 1994, 250 p.
14. Medvedeva E.A., Nikitin V.M. *Energopotreblenie i uroven' zhizni* [Power consumption and the standard of living]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1991, 137 p.
15. Polygalov A.S., Porokhova N.V., Saakyan Yu.Z. Model' predel'nykh tsen infrastrukturykh otraslei [A model of marginal prices in infrastructure

sectors]. *Problemy prognozirovaniya = Problems of forecasting*, 2012, no. 5, pp. 61–71.

16. Podkoyal'nikov S.V. Nechetkaya platezhnaya matritsa dlya obosnovaniya reshenii v energetike v usloviyakh neopredelennosti [A fuzzy payment matrix for supporting decisions in the power sector under uncertainty]. *Izvestiya RAN. Seriya Energetika = Bulletin of RAS. Energy Series*, 2001, no. 4, pp. 164–173.

17. Raifa H. *Analiz reshenii: vvedenie v problemu vybora v usloviyakh neopredelennosti* [Decision Analysis: Introductory Lectures on Choices under Uncertainty]. Moscow, Nauka Publ., 1977, 418 p.

18. Sinyak Yu.V., Kulikov A.P. Dva podkhoda k otsenke perspektivnykh tsen na neft' i gaz i potentsial'noi prirodnoi renty v Rossii [Two approaches to the evaluation of anticipated oil and gas prices and the potential natural rent in Russia]. *Problemy prognozirovaniya = Problems of forecasting*, 2005, no. 5, pp. 96–120.

19. Uspenskaya I.G. *Sovremennye problemy prognozirovaniya energopotrebleniya regiona (na primere Respubliki Komi)* [Modern problems of forecasting of regional power consumption (the Komi Republic case

study)]. *Problemy prognozirovaniya = Problems of forecasting*, 2009, no. 5, pp. 120–133.

20. Filippov S.P. *Prognozirovanie energopotrebleniya s ispol'zovaniem kompleksa adaptivnykh imitatsionnykh modelei* [Power consumption forecasting using a complex of adaptive simulation models]. *Izvestiya RAN. Seriya Energetika = Bulletin of RAS. Energy Series*, 2010, no. 4, pp. 41–55.

Elena V. GAL'PEROVA

Melentiev Energy Systems Institute, Siberian Branch of RAS, Irkutsk, Russian Federation
galper@isem.sei.irk.ru

Dmitrii Yu. KONONOV

Melentiev Energy Systems Institute, Siberian Branch of RAS, Irkutsk, Russian Federation
dima@isem.sei.irk.ru

Acknowledgments

The article is supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 13-0600303).