

УДК 621.039.57-58

Корпусные кипящие реакторы для атомной теплофикации

А.С. Курский

ОАО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара», г. Москва, Российская Федерация
E-mail: kurskiy.aleksandr@rambler.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: Существующие методы обеспечения безопасности за счет локализации течей теплоносителя в герметичном оборудовании не обеспечивают безопасность установок с легководными реакторами: образование гремучей смеси приводит к разрушению оборудования и выбросу радиоактивных веществ в окружающую среду.

Материалы и методы: Основной объем информации получен методом эмпирического исследования, по результатам опытно-экспериментальных исследований разработаны новые конструктивные решения и технологические схемы.

Результаты: Представлены результаты исследований радиолитических процессов корпусного кипящего реактора ВК-50 с естественной циркуляцией теплоносителя. Описаны особенности работы систем каталитического сжигания водорода в условиях повышенной влажности парогазовой смеси при авариях.

Выводы: Использование полученных результатов направлено на усовершенствование установок с корпусными кипящими реакторами.

Ключевые слова: корпусной кипящий реактор, теплоснабжение, когенерация.

Boiling tank type reactors for nuclear district heating

A.S. Kursky

High-Technology Research Institute of Inorganic Materials, «HTRIM», Moscow, Russian Federation
E-mail: kurskiy.aleksandr@rambler.ru

Abstract

Background: The existing techniques of ensuring security by localizing coolant leaks in sealed equipment do not make light-water reactors secure enough as the formation of explosive mixtures leads to equipment destruction and radioactive releases into the environment.

Materials and methods: Most of the information was obtained by empirical research. New design solutions and technological schemes have been developed based on the results of pilot studies.

Results: The article is devoted to the radiolytic processes in the VK-50 reactor. VK-50 is a tank type boiling water reactor with natural coolant circulation. The paper describes the emergency operation peculiarities of hydrogen catalytic combustion systems under steam-gas mixture humidity conditions.

Conclusions: The obtained results can be applied to the improvement of tank type boiling reactor plants.

Key words: tank type boiling water reactor, heat supply, cogeneration.

Введение. Малая атомная энергетика прошла сложный путь обоснования и внедрения в практику. В течение более 50 лет развития атомной отрасли важнейшими аспектами региональной атомной энергетике являются:

1) доказательство их безусловной безопасности;

2) потенциальная возможность обеспечения меньших выбросов радиоактивных веществ при авариях, по сравнению с АЭС большой мощности [1];

3) экономическая эффективность.

По мнению многих специалистов, снижение мощности на типовых блоках с сохранением технологической схемы и компоновочных решений увеличивает стоимость 1 кВт·ч произведенной продукции до некоего предела, после которого сооружение АЭС малой мощности нерентабельно. Оценка эффективности инвестиций показала, что новое строительство АЭС эффек-

тивно только при стоимости 1 кВт \leq \$2500 и сроке строительства не более 5 лет [2].

Поэтому возможность внедрения реакторных установок в региональную энергетiku определяется надежностью и эффективностью их использования в других «неэлектрических» отраслях экономики.

Концепция реактора малой мощности повышенной безопасности. До 80-х годов XX века энергетические реакторы малой мощности первого и второго поколений строились исключительно как первоначальный этап в развитии «большой» атомной энергетики.

После аварии на АЭС «Три Майл Айленд» во многих промышленно развитых странах, таких как Швеция, США, Япония, ФРГ, Франция, Канада, Швейцария, а также в СССР активно развернулись разработки ядерных энергетических установок малой мощности и повышенной безопасности, которые экономиче-

ски могли бы конкурировать в выработке тепла со станциями на традиционном топливе [3].

В рамках «концепции реактора повышенной безопасности» рассматривались следующие привлекательные свойства реакторов малой мощности [4]:

- использование внутренних свойств безопасности в конструкции оборудования и защитных барьеров: гравитация (естественная циркуляция теплоносителя при отводе тепла), защищенности от взрывов «гремучей» смеси при использовании воды в качестве теплоносителя;

- расхолаживание активной зоны без участия эксплуатационного персонала во всех режимах;

- изготовление с помощью заводских модулей;

- разбиение мощности на несколько блоков как возможность уменьшения зоны планирования защитных мер за пределами площадки атомных станций;

- размещение ближе к потребителям продукции при исключении возможности проникновения радиоактивности за пределы защитных барьеров и к потребителю тепла;

- более быстрое строительство и постепенное наращивание мощностей;

- разнообразие и гибкость неэлектрических применений, включая когенерацию – одновременную выработку электроэнергии и тепла от отборов турбины.

Однако авария на Чернобыльской АЭС не позволила осуществить конструкторские разработки и заставила на 10–15 лет отказаться от планов сооружения атомных теплофикационных установок вблизи потребителей продукции.

Актуальность развития атомного теплоснабжения. Экономическая целесообразность и социальная значимость использования атомных станций в современной региональной энергетике представляются актуальными в силу следующих причин:

- более 40 % органического топлива в России затрачивается на отопление;

- ожидается рост внутренних цен на углеводородное топливо [5];

- прогнозируется увеличение объема централизованного производства тепла к 2030 г. с 1400 млн Гкал до 2060 млн Гкал [6];

- необходимость замены выбывающих из эксплуатации тепловых электростанций;

- улучшение экологической ситуации в городах страны;

- значительное количество территории в северных и восточных областях России с населением до 10 млн человек не обеспечены энергией от централизованных источников, и единственная рациональная возможность их энергообеспечения – это децентрализованные

источники тепловой и электрической энергии, работающие в режиме когенерации.

Интерес к атомному теплоснабжению всегда определялся государственным отношением к отопительным системам регионов: при централизованном управлении энергетикой интерес возрастал, при децентрализации – полностью исчезал.

И в России, и в развитых странах Европы (Дания, Германия и др.) в настоящее время планируется модернизация теплофикационных систем на основе крупных когенерирующих мощностей. Например, Федеральное правительство Германии предполагает увеличить в ближайшие годы комбинированную выработку электричества и теплоты в 2,4 раза [7]. Для практической реализации этих планов были приняты закон о содействии развитию когенерирующих мощностей и закон об экологическом налоге. Предусмотрено освобождение от экологического налога электроэнергии, произведенной на ТЭЦ, и взимание такого налога (0,02 \$/кВт·ч) на электроэнергию от конденсационных электростанций. Показательно, что название одной из важнейших тем проекта по развитию теплоснабжения, одобренного Европейским Союзом, – «централизация вместо децентрализации» [8].

В ситуации кризиса теплоснабжения, неоправданных ожиданий потепления климата и прогнозируемого роста внутрироссийских цен на органическое топливо наша страна также демонстрирует тенденцию к управлению рынку теплообеспечения регионов и экономическим стимулам, фиксирующим приоритет теплофикации. 27 июля 2010 г. в России был принят Федеральный закон 190-ФЗ «О теплоснабжении». Согласно статье 3 этого закона, главной задачей теплофикации страны становится «обеспечение приоритетного использования комбинированной выработки электрической и тепловой энергии для организации теплоснабжения».

Большая часть тепловой энергии (до 85%) и почти половина электроэнергии производятся в России их комбинированной выработкой на теплоэлектроцентралях. Сектор региональной когенерационной энергетике в настоящее время и в перспективе является самым большим и развивающимся сектором Единой энергетической системы страны. Повышение эффективности отечественной теплофикации направлено на применение более окупаемых, более экономичных и экологически чистых когенерационных теплоисточников в системах централизованного отопления городов.

По оценкам специалистов ИНЭИ РАН, с учетом результатов международных исследований планируемая плата за выбросы CO₂ приведет к серьезному изменению структуры мощностей ТЭЦ на газе и угле [9]. С учетом больших удельных выбросов CO₂ себестои-

мость вырабатываемой продукции на парогазовых и газотурбинных установках будет значительно выше, чем в настоящее время. Поэтому сооружение ядерных энергоблоков позволит существенным образом уменьшить объемы вредных выбросов в атмосферу городов, а вопрос замещения выводимых из эксплуатации теплофикационных турбин атомными теплоэлектроцентралями (АТЭЦ) становится актуальным, несмотря на негативное общественное отношение к атомной энергетике после аварии на АЭС «Фукусима-1».

Эффективность атомной когенерации.

Отбор пара на теплофикацию на атомных установках позволяет увеличить производство товарной продукции более чем в полтора раза по сравнению с чисто «электрическим» режимом работы, не прибегая к дорогостоящим работам, связанным с повышением КПД. Более эффективное использование ядерного топлива на АТЭЦ осуществляется без повышения параметров пара до сверхкритических.

Преимуществом когенерации над выработкой электроэнергии является тот факт, что КПД при работе по теплофикационному циклу можно поднять до 75 % и более. В атомной энергетике это более чем актуально при КПД современных АЭС, значительно уступающем эффективности энергоблоков на органическом топливе. Коэффициент теплоотдачи при пленочной конденсации насыщенных паров превышает аналогичный параметр при охлаждении воды (режим котельной) и более чем на 2 порядка выше, чем при охлаждении перегретого пара (табл. 1).

Таблица 1. Коэффициенты теплоотдачи в промышленных теплообменных устройствах

Вид теплоотдачи	Вт / (м ² ·град)	Ккал / (м ² ·ч·град)
При охлаждении: – перегретого пара – воды	23,2 – 116 232 – 11600	20 – 100 200 – 10000
При пленочной конденсации водяных (насыщенных) паров	4640 – 17400	4000 – 15000

Поэтому наиболее эффективно использование режима когенерации на атомных станциях с турбинами насыщенного пара. Актуальность развития атомной теплофикации на базе одноконтурных установок с турбинами насыщенного пара была подтверждена рядом осуществленных проектов:

– строительством и эксплуатацией с 1974 г. Билибинской АТЭЦ с канальными кипящими реакторами ЭГП-6;

– переводом в 1979 г. в режим АТЭЦ реакторной установки ВК-50 – прототипной установки для внедрения корпусных кипящих реакторов, которая эксплуатируется в Ульяновской области с 1965 г.: энергоблок с водяным кипя-

щим реактором электрической мощностью до 65 МВт;

– разработкой по заказу Минатома РФ для крупных областных центров проекта реакторной установки ВК-300 максимальной электрической мощностью в конденсационном режиме 250 МВт(э) и пиковой теплофикационной нагрузкой до 400 Гкал/час [10].

Обоснование эффективности внедрения в региональную атомную энергетику АТЭЦ с реакторами ВК-100. Население большинства городов России не превышает 700 тысяч человек. Эти города обеспечены централизованным теплоснабжением от ТЭЦ, на которых установлены более 200 турбин мощностью 60–120 МВт(э). Турбоагрегаты данного мощностного ряда составляют основу рынка теплоснабжения страны. Для внедрения АТЭЦ в теплофикационные системы этих городов предприятиями «Росатома» (ОАО «ГНЦ НИИАР», ОАО «НИКИЭТ, ОАО ОКБ «Гидропресс») была разработана концепция атомных ТЭЦ с реакторными установками ВК-100.

В табл. 2 приведены основные расчетные технико-экономические характеристики АТЭЦ с корпусными кипящими реакторами ВК-100 тепловой мощностью 360 МВт [11]: электрическая мощность в названии установки соответствует оптимальному режиму по выработке тепла (выделено в таблице); 2/3 от пиковой нагрузки обеспечивают гарантированный отпуск тепла от энергоблоков АТЭЦ в случае аварийного останова реактора.

Таблица 2. Технико-экономические показатели АТЭЦ с энергоблоком ВК-100

Режим работы	Электрическая мощность, МВт	Увеличение доходов по сравнению с конденсационным режимом*	КПД, %
Конденсационный режим	120	1	33
Режим с выработкой 80 Гкал/ч тепла	105	1,24	55
Режим с выработкой 120 Гкал/ч тепла	100	1,38	68
Режим с выработкой 150 Гкал/ч тепла	90	1,5	74
Режим пиковой выработки тепла 200 Гкал/час	80		80

Примечание: * – в качестве расчетных значений приняты цены отпускных тарифов в Ульяновской области 2012 г. на электроэнергию и тепло от прототипного энергоблока ВК-50.

Анализ полученных данных (табл. 2) показывает, что с увеличением теплофикационной нагрузки энергоблока ВК-100 значительно возрастает его КПД и доходная часть от реализации продукции.

Совместно с институтом энергетических исследований Российской Академии наук (ИНЭИ РАН) были проведены исследования по

изучению рынков сбыта атомной ТЭЦ с реакторными установками ВК-100 на перспективу до 2020–2030 гг. Для выполнения таких работ в ИНЭИ РАН разработана методика, позволяющая определить на долгосрочную перспективу целесообразность развития теплофикации с различными типами энергоблоков [12].

Новые источники теплоснабжения городов, согласно расчетной методике, планируется рассматривать при комбинированной схеме теплоснабжения, приведенной на рис. 1. Эта схема предполагает, что для крупных ТЭЦ и АТЭЦ, таких как ГТУ-100, Т-115-300, ПГУ 450 (две ГТУ-150 + Т-150) и ВК-100, только половина необходимого для потребителей тепла будет производиться на этих ТЭЦ ($\alpha_{ТЭЦ} = 0,5$). От этих станций тепло будет передаваться по мощному магистральному теплопроводу до главного теплового пункта (ГТП), а далее – по транзитным трубопроводам до тепловых пунктов (ТПП). ТПП будут размещаться взамен выводимых ТЭЦ средней мощности, обслуживавших несколько жилых кварталов. Остальную половину необходимого тепла будут производить подключаемые к квартальному тепловому пункту (КТП) котельные и мелкие ТЭЦ.

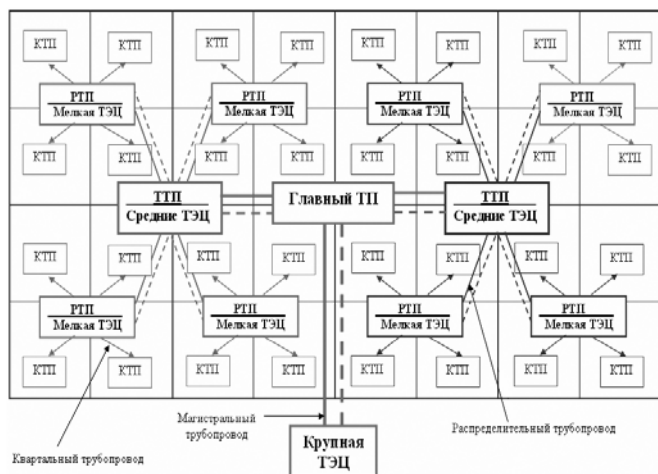


Рис. 1. Агрегативная схема подключения тепла от ТЭЦ малой, средней и крупной мощности

Для Северных районов и Восточной Сибири целесообразен полный перевод энергообеспечения городов на атомную ТЭЦ. В этом случае пиковая нагрузка будет обеспечиваться от пиковых водогрейных котелов (ПВК) или турбонасосных установок (ТНУ), расположенных на самой АТЭЦ.

Исходя из промышленной нагрузки и теплотребления жилой застройки были определены наименьшая и максимальная численность населения городов для сооружения многоблочных АТЭЦ с РУ ВК-100. Города с численностью 100–250 тысяч человек могут рассматриваться в качестве потенциальных потребителей энергопродукции от АТЭЦ с 2 установками ВК-100. Для 4 блочных АТЭЦ рынки сбыта тепловой энергии ограничиваются численностью населения

450 тыс. человек ($\alpha_{ТЭЦ} = 1$), а при работе совместно с ТЭЦ на органическом топливе ($\alpha_{АТЭЦ} = 0,5$) – до 700 тыс. человек.

Были определены предельные экономические показатели, при которых сооружение АТЭЦ с энергоблоками ВК-100 эффективно. Для города с населением 400 тыс. человек при среднем значении удельного теплотребления 2410 ккал/ч чел. были получены следующие значения предельных капиталовложений:

– 3000 дол/кВт при отпуске 80 Гкал/ч тепла от энергоблока ВК-100;

– 2250–2650 дол/кВт при отпуске 150 Гкал/ч тепла от энергоблока ВК-100.

Полученные значения коррелируют с показателями удельных капитальных вложений АТЭЦ с реакторами ВК-300 (2700–2800 дол/кВт) [13]: меньшая единичная мощность, по сравнению с ВК-300, «компенсируется» исключением в конструкции РУ ВК-100 защитной бетонной оболочки турбинного зала.

В результате проведенного расчетного анализа систем теплоснабжения установлено, что возможна реализация более 100 энергоблоков при сооружении атомных ТЭЦ с реакторами ВК-100 в период 2020–2030 гг.

Разработка технологии комбинированного цикла АТЭЦ с газовой турбиной. Кроме реализации регионального атомного теплоснабжения на базе АТЭЦ, возможно экономически эффективное использование реакторов в составе атомной парогазовой установки. Этот вариант позволяет поднять $\alpha_{АТЭЦ}$ до «1».

В конце 90-х годов XX века Министерством по атомной энергии обсуждалась концепция использования атомных парогазовых установок (АПГУ) для продления срока службы реакторных установок ВВЭР-440 и увеличения их КПД до 48 % и более. Эта идея рассматривалась в связи с аналогичными концепциями за рубежом (фирма «Battelle»). В качестве демонстрационной АПГУ предполагалась РУ ВК-50 с газотурбинной надстройкой [14].

Значительное увеличение КПД на АПГУ возможно за счет повышения параметров насыщенного пара, идущего на турбину: его смешения с более высокопотенциальным паром от постороннего источника. Для этого используется пар котлов-утилизаторов. В котле-утилизаторе температура уходящих газов от газовой турбины (ГТУ) с 535 °С снижается до 90 °С, производится генерация и перегрев водяного пара, который подается в контур теплоносителя. В качестве ГТУ была рассмотрена турбина V.94.3 фирмы Siemens. Аналог данной турбины в отечественном турбостроении – ГТУ-50.

Принципиальная схема работы РУ ВК-50 с ГТУ представлена на рис. 2.

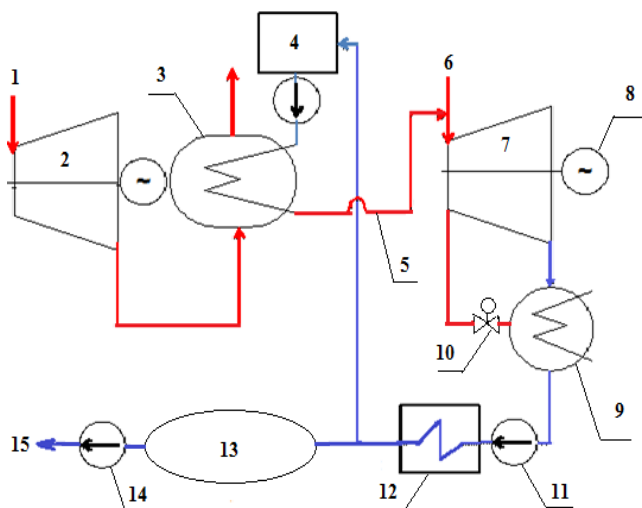


Рис. 2. Принципиальная схема атомной парогазовой установки: 1 – природный газ; 2 – газотурбинная установка; 3 – котел-утилизатор; 4 – монообменный фильтр; 5 – перегретый пар; 6 – насыщенный пар от реактора; 7 – турбина реакторной установки; 8 – генератор; 9 – конденсатор турбины; 10 – быстродействующая редуцирующая установка (БРУ); 11 – конденсатный насос; 12 – система регенеративного подогрева; 13 – деаэрактор; 14 – питательный насос; 15 – подачи питательной воды в реактор

Перегретый пар смешивается с паром из реактора, в результате чего перегрев пара на турбину составляет $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ (700 ккал/кг).

При переводе ВК-50 в режим АПГУ КПД повышается в конденсационном (электрическом) режиме на 8 %, а общая электрическая мощность станции – с 64 до 112 МВт.

Дополнительным достоинством является возможность проведения ремонта поочередно на реакторной части и газотурбинной части АПГУ без прекращения производства энергопродукции.

В концепции реакторной установки ВК-100 рассмотрен вариант АПГУ с газотурбинной установкой ГТЭ-110. Результаты расчетов параметров АПГУ приведены в табл. 3.

Таблица 3. Сравнительная характеристика параметров атомной парогазовой установки и ее составляющих элементов

Параметр	АПГУ	ВК-100	ГТЭ-110
Давление пара перед турбиной, МПа	8,0	7,0	–
Электрическая мощность в конденсационном режиме, МВт	250	120	110
Максимальная выработка тепла, Гкал/ч	350	200	137
Электрическая мощность в «пиковом» теплофикационном режиме, МВт	175	80	75

Реализация данной концепции на реакторных установках типа ВК-100 может способствовать массовому внедрению в региональную энергетику атомных установок с высокими термодинамическими показателями. Из-за отсутствия нормативной базы по безопасности взаимного расположения атомных и газовых энергоисточников данная концепция не была

реализована на ВК-50. Однако предварительные оценки показали безопасность размещения парогазовой надстройки вне АТЭЦ на расстоянии 1 км при возможных взрывах природного газа. При этом потери давления, температуры и КПД составляют соответственно $0,03\text{ МПа}$, $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $0,04\text{ \%}$ (абс.), а стоимость трубопроводов – $\sim 1\text{ \%}$ стоимости газотурбинной установки.

Заключение

Атомная теплофикация – потенциальный для России рынок энергетики.

Энергоснабжение наиболее эффективно при комбинированной выработке тепла и электроэнергии от атомных энергоисточников.

Для большинства городов страны целесообразно сооружение атомных ТЭЦ с энергоблоками, вырабатывающими до 200 Гкал/ч тепла.

Эффективным является использование одноконтурных установок с прямой генерацией пара для работы атомных станций малой мощности в режиме атомных ТЭЦ и атомных парогазовых установок.

Список литературы

1. Мишина М. Мирный атом: новые возможности и давние угрозы // Деловое обозрение. – 2011. – № 7(163).
2. Нигматулин Б.И. Электроэнергетика России. Мифы и реальность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid/301>
3. Исаев А.Н. Перспективы развития ядерной энергетики – реакторы средней и малой мощности // Атомная техника за рубежом. – 2007. – № 2. – С. 7.
4. Труды семинара стран-членов СЭВ «Атомное теплоснабжение». Т.1. Т.И. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
5. Projected Cost of Generating Electricity 2010 Edition. – Paris: OECD/IEA, 2010. – P. 15.
6. Энергетика России 2030: целевое издание / под ред. Б.Ф. Вайнзихера. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. – С. 41.
7. Шнайдер Х. Доклад на Общероссийском совещании по проблемам теплоснабжения // Новости теплоснабжения. – 2003. – № 7. – С. 16.
8. Шаратов В.И. Отечественная теплофикация: проблемы современного этапа // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. – 2006. – № 4. – С. 13.
9. Комплексное исследование эффективности и масштабов развития теплофикации / А.С. Макарова, А.А. Хоршев, Л.В. Урванцева и др. // Электрические станции. – 2010. – № 8. – С. 8–9.
10. Габараев Б.А., Кузнецов Ю.Н., Роменков А.А. Атомная теплофикация – перспективы и решения // Атомная энергия. – 2007. – Т. 103, вып. 1. – С. 36–40.
11. Курский А.С., Калыгин В.В., Семидоцкий И.И. Перспективы атомной теплофикации в России // Теплоэнергетика. – 2012. – № 5. – С. 4.
12. Методические основы разработки перспектив развития электроэнергетики / А.А. Макаров, Ф.В. Веселов, Е.А. Волкова и др. – М.: Московская типография, 2007. – № 6. – С. 24.
13. Технический проект реакторной установки ВК-300 / Ю.Н. Кузнецов, Ю.И. Митяев, О.М. Глазков и др. // Годовой отчет НИКИЭТ 2004 г. – М.: МГУП, 2005. – С. 25–26.
14. Применение парогазовых надстроек для продления срока службы, повышения безопасности и улучшения экономики действующих реакторов ВВЭР-440 / Ю.Н. Кузнецов, В.М. Ещеркин, В.Е. Шмелев и др. // Сборник докл. VII Междунар. конф. по ядерной технике. – Токио, 1999. ICONE-7053.

References

1. Mishina, M. Mirnyy atom: novye vozmozhnosti i davnie ugrozy [Atoms for Peace: new opportunities and long-standing threats]. *Delovoe obozrenie*, 2011, issue 7 (163).
2. Nigmatulin, B.I. *Elektroenergetika Rossii. Mify i real'nost'* [Electric power industry of Russia. Myths and Realities]. Available at: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid/301>
3. Isaev, A. Perspektivy razvitiya yadernoy energetiki – reaktory sredney i maloy moshchnosti [Prospects of development of medium and low power nuclear reactors]. *Atomnaya tekhnika za rubezhom*, 2007, issue 2, p. 7.
4. *Trudy seminara stran-chlenov SEV «Atomnoe teplosnabzhenie»* [Seminar proceedings of the Council for Mutual Economic Assistance «Nuclear heat»]. Moscow, Energoatomizdat, 1984, vol. I, vol. II.
5. Projected Cost of Generating Electricity 2010 Edition. Paris, OECD/IEA, 2010, p. 15.
6. Vaynzikher, B.F. *Energetika Rossii 2030: tselevoye izdanie* [Russian Power Engineering 2030: Targeted Edition]. Moscow, Al'pina Biznes Buks, 2008, p. 41.
7. Shnayder, Kh. Doklad na Obshcherossiyskom soveshchaniy po problemam teplosnabzheniya [Report at the All-Russian Meeting on Heat Supply Problems]. *Novosti teplosnabzheniya*, 2003, issue 7, p. 16.
8. Sharapov, V.I. Otechestvennaya teplofikatsiya: problemy sovremennogo etapa [Domestic heat supply: current problems]. *Santekhnika. Otoplenie. Konditsionirovanie*, 2006, issue 4, p. 13.
9. Makarova, A.S., Khorshev, A.A., Urvantseva, L.V. Kompleksnoe issledovanie effektivnosti i masshtabov razvitiya teplofikatsii [A comprehensive study of effectiveness and scale of district heating development]. *Elektricheskie stantsii*, 2010, issue 8, pp. 8–9.
10. Gabaraev, B.A., Kuznetsov, Yu.N., Romenkov, A.A. Atomnaya teplofikatsiya – perspektivy i resheniya [Nuclear district heating – prospects and solutions]. *Atomnaya energiya*, 2007, vol. 103, issue 1, pp. 36–40.
11. Kurskiy, A.S., Kalygin, V.V., Semidotskiy I.I. Perspektivy atomnoy teplofikatsii v Rossii [Prospects of nuclear district heating in Russia]. *Teploenergetika*, 2012, issue 5, pp. 345–351.
12. Makarov A.A., Veselov F.V., Volkova E.A. *Metodicheskie osnovy razrabotki perspektiv razvitiya elektroenergetiki* [Basic methods of electric power engineering development]. Moscow, Moskovskaya tipografiya, 2007, issue 6, p. 24.
13. Kuznetsov, Yu.N., Mityaev, Yu.I., Glazkov, O.M. Tekhnicheskiy proekt reaktornoy ustanovki VK-300 [Technical design of the VK-300]. *Godovoy otchet NIKIET 2004 g.* [NIKIET Annual Report, 2004]. Moscow, MGUP, 2005, pp. 25–26.
14. Kuznetsov, Yu.N., Eshcherkin, V.M., Shmelev, V.E. Primenenie parogazovykh nadstroek dlya prodleniya sroka sluzhby, povysheniya bezopasnosti i uluchsheniya ekonomiki deystvuyushchikh reaktorov VVER-440 [Applying steam and gas build-ups to extending life cycles, increasing safety and improving economic parameters of VVER-440 operating reactors] *Sbornik dokladov 7 Mezhdunarodnoy konferentsii po yadernoy tekhnike* [Proceedings of the 7th International Conference on Nuclear Engineering]. Tokyo, 1999, ICONE-7053.

Курский Александр Семенович,

ОАО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара»,

кандидат технических наук, соискатель, главный инженер,

e-mail: kurskiy.aleksandr@rambler.ru