

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАЛОЙ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ДЛЯ ТЕПЛОФИКАЦИИ

А.С. Курский

Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов «ВНИИНМ», г. Москва



Обосновывается целесообразность и значимость развития малой атомной энергетики. Приводятся технико-экономические показатели современной реакторной установки, предназначенной для региональной энергетики. Показана эффективность использования корпусных кипящих реакторов в режимах эксплуатации атомной ТЭЦ и атомной парогазовой установки.

Ключевые слова: АЭС, корпусной кипящий реактор, теплоснабжение, когенерация.
Key words: NPP, vessel-type boiling water reactor, heat supply, cogeneration.

ВВЕДЕНИЕ

Малая атомная энергетика прошла сложный путь обоснования и внедрения в практику. В течение более чем полувекового развития атомной отрасли важными аспектами региональной атомной энергетики являются

- доказательство их безусловной безопасности;
- потенциальная возможность обеспечения меньших выбросов радиоактивных веществ при авариях по сравнению с АЭС большой мощности [1];
- экономическая эффективность.

По мнению многих специалистов снижение мощности на типовых блоках с сохранением технологической схемы и компоновочных решений увеличивает стоимость 1 кВтЧч произведенной продукции до некоего предела, после которого сооружение АЭС малой мощности нерентабельно. «Оценка эффективности инвестиций показала, что новое строительство АЭС эффективно только при стоимости $1\text{кВт} \leq \$2500$ и сроке строительства не более 5 лет» [2].

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

КОНЦЕПЦИЯ РЕАКТОРА МАЛОЙ МОЩНОСТИ ПОВЫШЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

До 80-х гг. XX в. энергетические реакторы малой мощности первого и второго поколений представлялись исключительно начальным этапом 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 экономически могли бы конкурировать со станци-

© А.С. Курский, 2013

ями на традиционном топливе в выработке тепла [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), защищенность 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 и их размещения ближе к потребителям ее 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 от потребителей продукции.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗВИТИЯ АТОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Экономическая целесообразность и социальная значимость использования атомных станций в современной региональной энергетике представляются актуальными по следующим причинам:

- 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 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 управляемому рынку теплообеспечения регионов и к экономическим стимулам, фиксирующим приоритет теплофикации. 27 июля 2010 г. В России был принят Федеральный закон 190-ФЗ «О теплоснабжении». Согласно статье 3 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 энергетики 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 себестоимость 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 на 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.

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

Из таблицы 1 следует, что коэффициент теплоотдачи при пленочной конденсации насыщенных паров превышает аналогичный параметр при охлаждении воды (режим котельной) и более чем на два порядка выше, чем при охлаждении перегретого пара.

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

- строительством и эксплуатацией с 1974 г. Билибинской АТЭЦ,
- 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 кипящим реактором электрической мощностью до 65МВт.

- 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 60-120МВт(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.

Таблица 2

Технико-экономические показатели АТЭЦ с энергоблоком ВК-100

Режим работы	Электрическая мощность, МВт	Выработка электроэнергии, млн. кВт·ч/год	Выработка тепла, тыс. Гкал/год	Увеличение доходов по сравнению с конденсационным режимом*	КПД, %
Конденсационный режим	120	870	—	1	33
Режим с выработкой 80 Гкал/ч тепла	105	788	416	1,24	55
Режим с выработкой 120 Гкал/ч тепла	100	708	624	1,38	68
Режим с выработкой 150 Гкал/ч тепла	90	640	810	1,5	74
Режим пиковой выработки тепла 200 Гкал/ч	80				80

* В качестве расчетных значений приняты цены отпускных тарифов в Ульяновской обл. в 2012г. на электроэнергию и тепло от прототипного энергоблока ВК-50.

В таблице 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.

Из табл. 2 видно, 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 – 2030г.г. 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 теплопроводу (КТП) котельные и мелкие ТЭЦ.



Рис.1. Агрегатированная 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 двумя установками ВК-100. Для четырехблочных АТЭЦ рынки сбыта тепловой энергии ограничиваются численностью населения до 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 численностью населения 400 тыс. человек при среднем значении удельного теплотребления 2410 ккал/ч на человека были получены следующие значения предельных капиталовложений:

- 3000 \$/кВт при отпуске 80 Гкал/ч тепла от энергоблока ВК-100;
- 2250 – 2650 \$/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 \$/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 αАТЭЦ до единицы.

В конце 90-х гг. XX в. 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°C снижается до 90°C, 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.

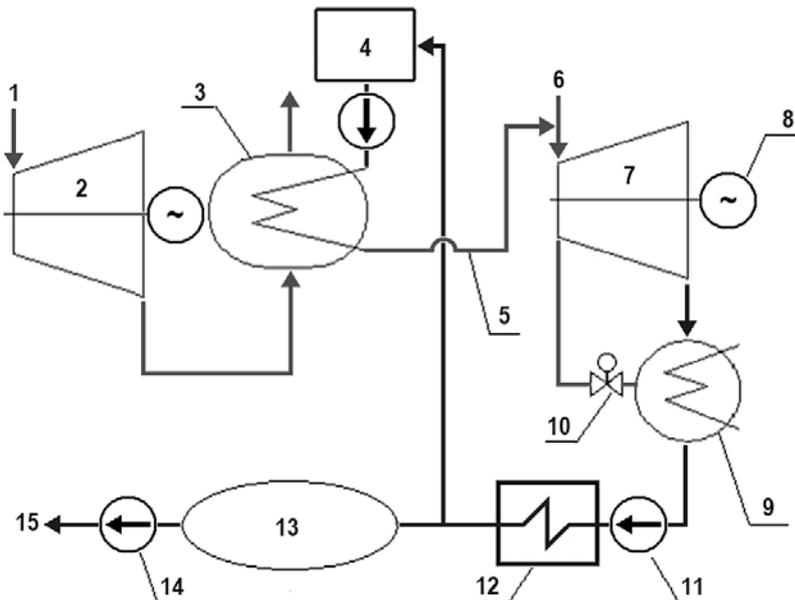


Рис.2. Принципиальная схема атомной парогазовой установки: 1 – природный газ; 2 – газотурбинная установка; 3 – котел-утилизатор; 4 – ионообменный фильтр; 5 – перегретый пар; 6 – насыщенный пар от реактора; 7 – турбина реакторной установки; 8 – генератор; 9 – конденсатор турбины; 10 – быстродействующая 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°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 компонентов

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 при возможных взрывах природного газа размещения парогазовой надстройки вне АТЭС на расстоянии 1 км. При этом потери давления, температуры и КПД составляют соответственно 0,03 МПа, 10°C и 0,04% (абс.), а стоимость трубопроводов ~1% стоимости газотурбинной установки.

ВЫВОДЫ

1. Атомная теплофикация – потенциальный для России рынок энергетики.
2. Энергоснабжение наиболее эффективно при комбинированной выработке тепла и электроэнергии от атомных энергоисточников.
3. Для большинства городов страны целесообразно сооружение атомных ТЭС с энергоблоками, вырабатывающими до 200 Гкал/ч тепла.
4. Использование одноконтурных установок с прямой генерацией пара для работы атомных станций малой мощности в режиме атомных ТЭС и атомных парогазовых установок представляется эффективным.

Литература

1. Мишина М. Мирный атом: новые возможности и давние угрозы // Деловое обозрение. 2011. №7 (163).
2. Нигматулин Б.И. Электроэнергетика России. Мифы и реальность. URL: <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. I. Т. II. М. Энергоатомиздат. 1984.
5. Projected Cost of Generating Electricity 2010 Edition. Paris: OECD/IEA, 2010. P. 15.

6. Энергетика России 2030: целевое издание/ Под общей редакцией 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. Шарпов В.И. Отечественная теплофикация: проблемы современного этапа // Сантехника. Отопление. Конденционирование. 2006. №4. С.13.
9. Макарова А.С., Хоршев А.А., Урванцева Л.В. и др. Комплексное исследование эффективности и масштабов развития теплофикации // 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. Макаров А.А., Веселов Ф.В., Волкова Е.А. и др. Методические основы разработки перспектив развития электроэнергетики. М.: Московская типография, 2007. №6. С.24.
13. Кузнецов Ю.Н., Митяев Ю.И., Глазков О.М. и др. Технический проект реакторной установки ВК-300 // Годовой отчет НИКИЭТ 2004г. М.: МГУП. 2005. С. 25-26.
14. Кузнецов Ю.Н. Ещеркин В.М., Шмелев В.Е. и др. Применение парогазовых надстроек для продления срока службы, повышения безопасности и улучшения экономики действующих реакторов ВВЭР-440 // Сборник докладов VII Международной конференции по ядерной технике. 1999. Токио. ICONЕ-7053.

Поступила в редакцию 07.03.2013

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.039.51.17

Constants base for calculations of fast reactors. The path to the modern state of the problems of the further development. \ Nikolaev M.N.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scool. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2013. – 12 pages, 1 illustration. – References, 14 titles.

Briefly described the history of the development of a constant ensure neutron-physical calculations of fast reactors. Impairments in the current state are noted and tasks for further development are formulated.

УДК 519.87:621.039.5

There can be a nuclear power to competitive energy in the free market? \ Klimenko A.V.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scool. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2013. – 12 pages, 7 illustrations. – References, 20 titles.

Modern nuclear power installations are noncompetitive at interest rates of economy above 10 %/year in the free market of energy. However, it does not mean, that the nuclear power in general is noncompetitive and, especially, unprofitable. That the nuclear power had the future, it is necessary to reconsider system of designing of nuclear power installations and a nuclear fuel cycle.

УДК 621.181.29

Research of possibility of using thermal energy accumulators on the nuclear power plant at regulation of frequency of current in the power network \ Bazhanov V.V., Loshchakov I.I., Shchuklinov A.P.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scool. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2013. – 8 pages, 5 illustrations. – References, 4 titles.

The results of research proving possibility of using a system of accumulation of thermal energy in the nuclear power plant with the VVER reactor for ensuring variable power of a turbogenerator with the participation of the nuclear power plant in regulation of frequency of current in a power network are given in this article. Research is conducted in relation to one of possible versions of the project of the power unit of the nuclear power plant with the VVER reactor of the rated power of 1200 MW and system of accumulation of thermal energy with insignificant deviations in the thermal scheme, power and a design of system of rather published data of the project.

УДК 621.039.57-58

Efficiency of low-power nuclear engineering for heat production \ Kursky A.S.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scool. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2013. – 8 pages, 3 tables, 2 illustrations. – References, 14 titles.

The paper presents the usefulness and importance of the development of small nuclear energy. The technical and economic performance of modern reactor are given. This reactor facility is designed for regional energy. The efficiency of vessel-type boiling water reactors in operation of nuclear cogeneration plants and nuclear power combined cycle plants is shown.

УДК 621.039.564

Study of the functioning of the gas phase electrochemical oxygen sensor with a solid oxygenated electrolyte under conditions which emulate process of hydrogen regeneration of circulation loops of perspective reactors with heavy liquid metal coolants \ Ivanov I.I., Storozhenko A.N., Ulyanov V.V., Teplyakov Yu.A., Shelemet'ev V.M., Sadovnichy R.P.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scool. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2013. – 6 pages, 1 table, 6 illustrations. – References, 4 titles.

The theoretical model which describes the dependence of voltage of the gas phase electrochemical oxygen sensor with a solid oxygenated electrolyte on partial pressure of hydrogen in mixture «argon – hydrogen – water vapor» has been considered. This model has been proved in experiments with gas phase electrochemical oxygen sensor with a solid