

КОСМИЧЕСКАЯ ЯЭУ НА ОСНОВЕ РЕАКТОРА НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ SAFE С НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ ТЕРМОЭМИССИОННЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

В.И. Ярыгин, Г.Э. Лазаренко, М.К. Овчаренко, А.П. Пышко, Д.Г. Лазаренко

ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, г. Обнинск



Рассматривается возможность использования низкотемпературных термоэмиссионных преобразователей (ТЭП) с температурой эмиттеров $T_E \leq 1700$ К в составе космической ЯЭУ на основе быстрого реактора типа SAFE (Safe Affordable Fission Engine) с тепловой мощностью 300 кВт, предназначенной для долгоресурсной работы в составе лунной базы. Приведены результаты системной оптимизации некоторых узлов и оборудования ЯЭУ, расчетные оценки массогабаритных характеристик ЯЭУ и уточнен сценарий жизненного цикла установки.

Ключевые слова: низкотемпературная термоэмиссия, реактор на быстрых нейтронах, тепловая труба, ЯЭУ космического назначения.

Key words: low-temperature thermionics, fast reactor, heat pipe, space NPS.

Ядерная энергетическая установка SAFE-300-ТЭП предназначена для эксплуатации в составе лунной базы в качестве основного источника энергоснабжения. Ее основной отличительной особенностью является использование реактора на быстрых нейтронах типа SAFE-300 [1,2,3] в сочетании с теплотрубной (ТТ) системой теплоотвода из активной зоны и низкотемпературным термоэмиссионным преобразователем (ТЭП), размещенным в зоне конденсации ТТ. Концепция ЯЭУ SAFE-300-ТЭП изложена в [4].

В статье приведены результаты работы по развитию концепции SAFE-300-ТЭП с целью улучшения характеристик и описания сценария лунной миссии спускаемого космического аппарата с такой ЯЭУ.

ТРЕБОВАНИЯ К КОСМИЧЕСКОЙ ЯЭУ

Установка SAFE-300-ТЭП в составе лунной базы так же, как и в случае использования других систем преобразования энергии, должна удовлетворять исходным данным, представленным в табл. 1 [4], составленной по рекомендациям [5, 6]. Дополнительным требованием является совместимость с универсальным транспортным средством, обеспечивающим перемещение ЯЭУ на рабочую позицию, и

Таблица 1

Исходные данные для разработки ЯЭУ SAFE-300-ТЭП [4]

Параметр	Величина
Удаленность ЯЭУ от технологических и обитаемых модулей лунной базы, м	Порядка 100
Требования по захоронению ЯЭУ после завершения эксплуатации	Специальных нет, можно оставить на месте работы
Ресурс, лет	Не менее 5
Электрическая мощность, поставляемая потребителю, кВт	До 30
Масса ЯЭУ и ее коммуникаций, кг	До 2000
Габариты, м	Диаметр менее 4,5; длина менее 12
Допускаемая мощность поглощенной дозы γ -радиации на расстоянии ~ 100 м, крэд/год	20 (для роботизированной миссии)
Допускаемая плотность нейтронного потока (n/cm^2) на расстоянии ~ 100 м, $n/cm^2 \cdot год$	$2 \cdot 10^{12}$ (для роботизированной миссии)
Биологическая доза за двухнедельное пребывание на базе, сЗв	10

возможность использования лунного реголита для формирования общей и локальной защит от ионизирующего излучения реактора.

ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ

Проектные решения текущего этапа исследований являются логическим развитием концепции [4], созданной с учетом предложений, обсуждаемых в работах американских специалистов [1], совместных и других публикациях российских специалистов [2, 3, 7–12]. Физико-технические основы процесса низкотемпературного термоэмиссионного преобразования энергии, позволяющего создать ТЭП с электрическим к.п.д. порядка 15–17%, изложены в работах [13,14].

Основные направления развития концепции направлены на увеличение и максимальное использование местных материалов для обеспечения радиационной защиты лунной базы. Для увеличения гибкости энергетического комплекса предлагается придать самоходному шасси функции универсального транспортного средства, а все радиационно-чувствительные элементы ЯЭУ, такие как блок управления, вынести за защитный вал лунного реголита, который защитит их от излучения реактора.

Универсальное транспортное средство несет на себе два отделяемых блока ЯЭУ – реакторный блок и блок управления с резервным аккумулятором и преобразователем типа *DC-AC*, соединенных между собой силовым кабелем и кабелем телеметрии. Задача универсального транспортного средства – установка реакторного блока внутри искусственного кратера на поверхности Луны, обеспечение электроэнергией от собственных аккумуляторов операций по разворачиванию ЯЭУ, размотка кабеля и доставка блока управления в радиационно безопасную зону вне кратера размещения ЯЭУ, где к нему дистанционно подключаются потребители лунной базы. Кроме того, при помощи универсального транспортного средства осуществляется обваловка кратера, а также энергообеспечение ЯЭУ на этапе вывода ее на энергетический режим (путем использования аккумуляторов транспортного средства). В дальнейшем универсальное транспортное средство используется для транспортных и разведывательных операций с периодической подзарядкой аккумуляторов от блока управления ЯЭУ.

Задача максимального использования местных материалов для организации защиты от ионизирующих излучений радиационно-чувствительных элементов и обеспечения приемлемых дозовых нагрузок в районе лунной базы решена размещением ЯЭУ в специально созданном и спрофилированном кратере с полным отказом от специальных локальных и общей защит. Для обеспечения приемлемых условий работы приводы органов регулирования вынесены на штангах со складывающимися тягами приводов на расстояние около 4 м от активной зоны и заглублены в лунный реголит на глубину около 1 м.

КОНСТРУКЦИЯ ЯЭУ

Внешний вид ЯЭУ SAFE-300-ТЭП представлен на рис. 1. ЯЭУ содержит реакторный блок с теплотрубной системой охлаждения, передающей тепло к низкотемпературным термоэмиссионным преобразователям, от которых непреобразованное тепло отводится среднетемпературными тепловыми трубами к конусообразному радиатору-излучателю, размещенному на верхней крышке реактора. В центральной части радиатора-излучателя возможно размещение балластного электронагревателя с излучателем, подключаемого к клеммам реактора-преобразователя в режиме холостого хода или для обеспечения пониженного потребления электроэнергии потребителями. Реакторный блок опирается на опорное кольцо, служащее основанием ЯЭУ SAFE-300-ТЭП.



Рис. 1. Внешний вид (а) и схема размещения (б) ЯЭУ SAFE-300-ТЭП на универсальном транспортном средстве: 1 – реактор; 2 – холодильник-излучатель; 3 – балластный излучатель; 4 – ТЭП; 5 – опорное кольцо со стойками; 6 – силовой кабель и жгут телеметрии; 7 – приводы органов регулирования; 8 – штанги тяг приводов

В отличие от ранее представленной концепции [4] приводы органов регулирования размещены на самораскладывающихся штангах, снабжены винтовыми ножами на внешней поверхности и управляемой муфтой, что обеспечивает после раскладывания режим забуривания в лунный реголит с питанием от аккумуляторов универсального транспортного средства. После заглубления приводов муфта переключает приводы на основной режим – управление положением органов регулирования (поворотных цилиндров) относительно активной зоны. Предлагаемое проектное решение позволяет отказаться от использования локальной защиты от ионизирующего излучения радиационно-чувствительных элементов-обмоток электродвигателей.

В соответствии с [3], реакторный блок SAFE-300 состоит из 289 стержневых ТВЭЛ и 101 Mo-Li тепловых труб. Внешний диаметр стержневых твэлов и тепловых труб составляет 1,27 см. Внутренний диаметр стержневого твэла – 1,1 см. Поперечный размер шестигранной активной зоны (А3) реактора – 25,46 см, ее высота – 42 см. Обогащение по урану-235 составляет 97%.

На рисунке 2 приведены схемы поперечного и продольного сечений реакторного блока SAFE-300, в табл. 2 – его основные характеристики [3]. Реакторный

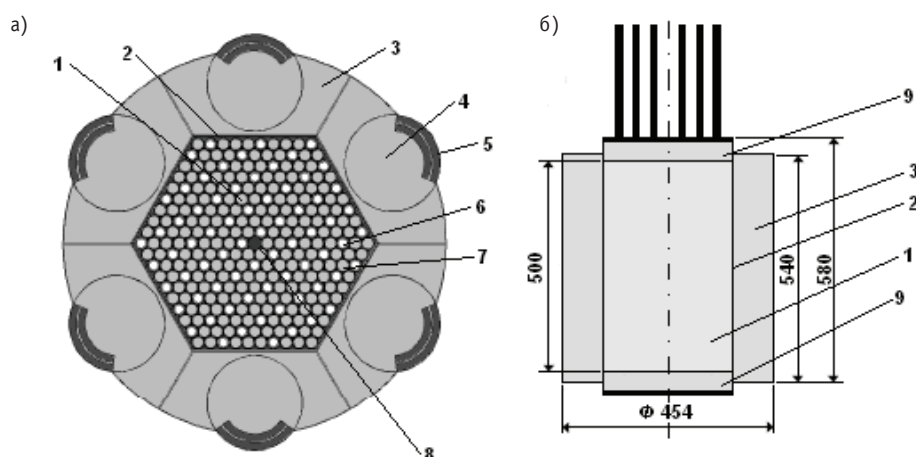


Рис. 2. Схемы поперечного сечения в рабочем состоянии с максимальным $k_{эфф}$ (а) и продольного сечения (б) реакторного блока SAFE-300 [3]: 1 – активная зона реактора; 2 – корпус активной зоны; 3 – боковой отражатель; 4 – рабочие органы СУЗ поворотного типа; 5 – поглощающая вставка из B_4C (80% V^{10}); 6 – ТВЭЛ; 7 – Mo-Li тепловая труба; 8 – стержень ядерной безопасности

блок SAFE-300 с боковым отражателем из оксида бериллия без органов регулирования (ОР) имеет $k_{эфф} = 1,0266$. При введении в боковой отражатель шести ОР поворотного типа с поглощающей вставкой из карбида бора 80%-ного обогащения по V^{10} $k_{эфф}$ уменьшается на $\sim 2,6\%$ $k_{эфф}$.

Активная зона окружена отражателем с размещенными в его толще органами регулирования реактивности барабанного типа и закрыта по торцам легкой защитой. В верхней части реактора сквозь защиту пропущены Mo-Li ТТ, в зонах конденсации которых размещены эмиттеры ТЭП. Коллекторы охлаждаются при температуре 830 К среднетемпературными трубами Перкинса, ориентированными под углом 15° к горизонту. На верхней образующей труб Перкинса расположены излучающие панели трапецеидальной формы, выполняющие также функции противометеоритной защиты. Излучающие панели формируют излучатель в форме усеченного конуса для сброса необработанного тепла. Диаметр большего основания конуса излучателя – 4,3 м, что позволяет разместить ЯЭУ под обтекателем ракетносителя тяжелого класса «Delta IV Heavy». В центре излучателя расположен балластный излучатель, являющийся омической нагрузкой ТЭП при снижении электрической мощности потребителя. Результаты оценки масс узлов комплекса SAFE-300-ТЭП с транспортным средством приведены в табл. 3. Полная масса комплекса составляет 1312 кг.

РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА

Конфигурация радиационной защиты определялась исходя из ограничений по радиационному воздействию на оборудование и персонал лунной базы (табл. 2).

Незащищенный реактор SAFE-300-ТЭП, расположенный на плоской поверхности Луны и работающий на тепловой мощности 300 кВт, создает на расстоянии 100 м следующую радиационную обстановку: флюенс нейтронов (эквивалент, равный 1 МэВ) – $2 \cdot 10^{14}$ н/(см²·год), поглощенная доза фотонов – 150 крад/год. Биологическая доза на этом расстоянии равна $3,9 \cdot 10^4$ Зв/год. Вклад в нее нейтронов и фотонов составляет $3,74 \cdot 10^4$ и $1,64 \cdot 10^3$ Зв/год соответственно. Следовательно, должны быть приняты меры для снижения потоков ионизирующих излучений от реактора.

Таблица 2

Основные характеристики реакторного блока SAFE-300

Параметр	Величина
Активная зона содержит	
- твэлы, шт.	289
- тепловые трубы, шт.	101
- стержень ядерной безопасности, шт.	1
Размер «под ключ» активной зоны, см	25,46
Высота активной зоны, см	42,0
Корпус активной зоны	
- толщина, мм	2,0
- высота, см	50,0
- материал	Mo
Боковой отражатель	
- наружный диаметр, см	48,0
- высота, см	45,0
- материал	BeO
Торцевые отражатели (нижний и верхний)	
- высота, см	4,0
- материал	BeO
Характерные размеры твэла	
- наружный диаметр чехла, мм	12,69
- длина чехла, см	50,0
- толщина чехла, мм	0,76
- материал	Mo
Топливо	
- материал	UO ₂
- обогащение по U ²³⁵ , %	97,0
- загрузка активной зоны, кг	117,25
Стержень ядерной безопасности	
- поглощающий материал	B ₄ C (80% B ¹⁰)
- диаметр по чехлу из Mo, мм	24,0
- диаметр B ₄ C, мм	23,0
Тепловые трубы	
- материал	Mo
- толщина, мм	0,76
- полная длина, см	100,0
Мощность тепловая, кВт	300
Мощность электрическая, кВт	30
Параметры тока на клеммах:	
- вид тока	Постоянный
- напряжение, В	120
- сила тока, А	250

Таблица 3

Массовая сводка ЯЭУ SAFE-300-ТЭП

Оборудование	Масса, кг
Реакторный блок	394,0
Система обеспечения теплового режима	156,0
ТЭП	42,0
Блок управления ЯЭУ	200,0
Универсальное транспортное средство	520,0

Защита лунной базы обеспечивается посредством размещения ЯЭУ в искусственном кратере, созданном при столкновении разгонного модуля космического аппарата с поверхностью Луны (рис. 3). Предполагается, что на кромке кратера, противоположной направлению прилета разгонного модуля, при столкновении с лунным реголитом образуется вал высотой не менее 2 м, обеспечивающий теневую защиту лунной базы (рис.3б). Он необходим для снижения вклада в радиационную обстановку излучения, рассеянного на кромках и видимой с лунной базы части поверхности кратера.

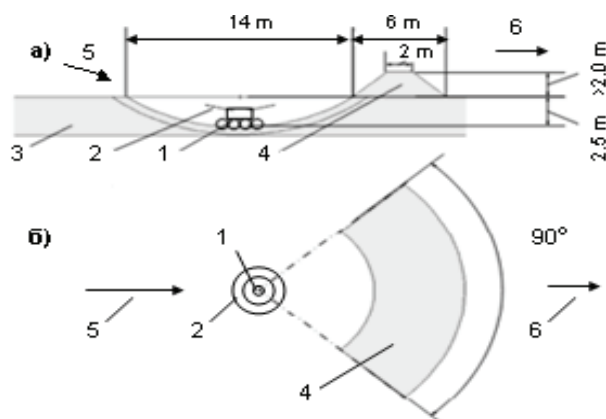


Рис. 3. Габариты радиационной защиты из лунного реголита: а) сечение, профиль; б) вид сверху: 1 – SAFE-300-ТЭП; 2 – радиатор; 3 – поверхность Луны; 4 – вал в окрестности кратера; 5 – траектория полета разгонного модуля; 6 – направление на лунную базу

Расчеты переноса нейтронного и гамма-излучений выполнялись по кодам MCNP [15] с использованием библиотеки констант ENDF/B-VI [16] и РАПИД [17] с групповыми константами БНАБ [18].

Конфигурация защиты, приведенная на рис. 3, обеспечивает допустимые уровни излучений на оборудовании лунной базы и биологическую дозу при двухнедельном пребывании персонала на лунной базе, расположенной в 100 м от реакторного блока. Расчетные оценки ожидаемых технических характеристик установки SAFE-300-ТЭП для лунной базы приведены в табл. 4.

Таблица 4

Радиационная обстановка вокруг ЯЭУ SAFE-300-ТЭП

Характеристика	Величина
Радиационный фактор на расстоянии 100 м от реактора за пять лет:	
- флюенс нейтронов, н/см ²	1·10 ¹¹
- поглощенная доза фотонов, рад	10
Доза за посадку или взлет	
- при остановленном реакторе, мкЗв	20
- при работающем реакторе, сЗв	1,5
Доза при двухнедельной миссии, сЗв	10

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА УСТАНОВКИ SAFE-300-ТЭП

Для моделирования сценария транспортировки установки SAFE-300-ТЭП на Луну, ее перемещения и размещения на лунной поверхности были использованы данные лунных миссий «Apollo».

Для установки SAFE-300-ТЭП предполагается осуществить сценарий, в котором роботизированная миссия по доставке установки на поверхность Луны в районе Южного полюса будет включать в себя следующие этапы.

- Монтаж ЯЭУ SAFE-300- ТЭП на универсальном транспортном средстве.
- Вывод 3-модульного комплекса (SAFE-300-ТЭП + посадочный модуль + разгонный модуль) ракетным носителем тяжелого класса типа «Delta IV Heavy» на низкую радиационно безопасную околоземную орбиту.
- Сброс обтекателя ракетного носителя и перевод комплекса на траекторию полета к Луне включением двигательной установки разгонного модуля. Коррекция траектории для выхода на промежуточную высокоширотную окололунную орбиту.
- Перевод комплекса на полярную окололунную орбиту включением двигательной установки разгонного модуля.
- Выбор площадки для размещения SAFE-300-ТЭП.
- Отделение разгонного модуля и его сброс на площадку, выбранную для размещения SAFE-300-ТЭП. Формирование на площадке заготовки искусственного кратера для последующего радиационно безопасного размещения в нем SAFE-300-ТЭП. Установка пассивных посадочных маяков.
- Доставка SAFE-300-ТЭП посадочным модулем на поверхность Луны вблизи падения разгонного модуля (рис. 4а). После посадки и осмотра местности с посадочного модуля выполняется его перелет с SAFE-300-ТЭП в кольцевую зону с центром в точке падения разгонного модуля с внутренним и внешним радиусами ~80 и ~120 м соответственно.
- Разворачивание аппарели, освобождение фиксаторов и съезд универсального транспортного средства с SAFE-300-ТЭП с посадочного модуля (рис. 4б). Источник питания – аккумуляторы универсального транспортного средства.
- Перемещение ЯЭУ SAFE-300-ТЭП в кратер от падения разгонного модуля (рис. 4в). При перемещении разматываются силовой кабель и кабель телеметрии.
- Расчистка площадки для ЯЭУ SAFE-300-ТЭП при помощи отвала универсального транспортного средства.
- Развертывание штанг с приводами ОР. Заглубление приводов в реголит.

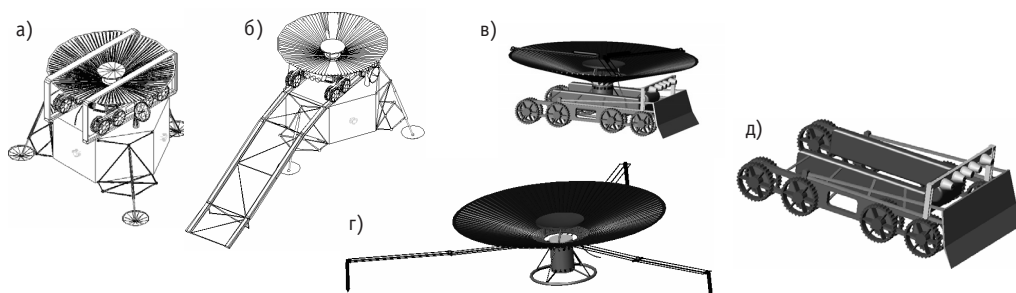


Рис. 4. Этапы установки SAFE-300-ТЭП на поверхности Луны: а) посадочный модуль на Луне; б) развертывание аппарели, сход универсального транспортного средства с ЯЭУ SAFE-300-ТЭП с посадочного модуля; в) перемещение установки в радиационное укрытие; г) установка ЯЭУ SAFE-300-ТЭП на поверхность Луны в кратере; д) обваловка кратера

- Отстыковка ЯЭУ SAFE-300-ТЭП от универсального транспортного средства (рис. 4г) и вывод его за пределы кратера с раскладкой силового кабеля и кабеля телеметрии.
- Отстыковка блока автоматического управления ЯЭУ SAFE-300-ТЭП от универсального транспортного средства.
- Обваловка кратера при помощи отвала универсального транспортного средства (рис. 4д).
- Проведение предпусковых процедур, пуск реактора и вывод SAFE-300-ТЭП на номинальный уровень электрической мощности. Отбор мощности потребителями осуществляется на разъемах, размещенных на блоке автоматического управления ЯЭУ SAFE-300- ТЭП.
- По исчерпанию рабочего ресурса реактор SAFE-300-ТЭП переводится в глубоко подкритическое состояние без оборудования специального хранилища. Альтернатива – удаление с Луны посадочным модулем. Погрузка реактора на посадочный модуль осуществляется универсальным транспортным средством.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные проектные решения намечают основные направления создания ЯЭУ прямого преобразования энергии SAFE-300-ТЭП с выходной электрической мощностью ~30 кВт для энергообеспечения лунной базы. Выполненная конструкторская работа опирается на зарубежный экспериментальный опыт по созданию Mo-Li тепловых труб в диапазоне возможного изменения температуры зоны конденсации 1400 – 1500 К, теплового макета модуля реакторного блока типа SAFE и собственно макета установки SAFE-300, сценарий лунных миссий «Apollo», а также отечественный опыт в области низкотемпературных термоэмиссионных преобразователей и концептуальных исследований низкотемпературных ЯЭУ, что положительно характеризует возможность перехода работ в данной области к стадиям НИОКР и ОКР.

Литература

1. *Poston D. I.* The Heatpipe-Operated Mars Exploration Reactor (HOMER)/Proceedings of the STAIF-2001 (Albuquerque, New Mexico, USA, 2001). – P. 797.
2. *Adams B. T., Houts M. G., Poston D. I. et al.* The Feasibility of Near-Term Low-Cost Space Nuclear Power/Proceedings of the STAIF-1999 (Albuquerque, New Mexico, USA, 1999). – P. 1189.
3. *Забудько А.Н., Ярыгин В.И., Овчаренко М.К. и др.* Концептуальная разработка космической ядерной энергетической установки с реактором типа SAFE-300 и термоэлектрическими преобразователями энергии/Тр. Международного конгресса по усовершенствованным ядерным энергетическим установкам (ICAPP03), Кордоба, Испания, 2003. – С. 314
4. *Зродников А.В., Ярыгин В.И., Лазаренко Г.Э. и др.* Низкотемпературная термоэмиссия в космических ядерных энергетических установках с быстрым реактором типа SAFE/Тр. Международного конгресса по усовершенствованным ядерным энергетическим установкам (ICAPP07), Сан-Диего, Калифорния, США, 2007. – С. 89.
5. *Ярыгин В.И.* Термоэлектричество и термоэмиссия в космических ядерных энергетических установках прямого преобразования. Современное состояние и перспективы/Тр. Международной конференции «Космическая ядерная конференция 2005» (Сан-Диего, Калифорния, США, 2005). Докл. №1117.
6. *Mendell W. W.* Lunar Bases and Space Activities of the 21st Century. – Houston, USA: The Lunar and Planetary Institute, 1986. – 304 p.
7. *Ярыгин В. И., Сидельников В.Н., Миронов В.С.* Выбор вида преобразования энергии для инициативы НАСА по космическим ядерным энергетическим системам – недооцененные возможности термоэмиссии/Тр. II Международной конференции по инженерным проблемам преобразования энергии (2nd IECSEC2004), Альбукерк, Нью-Мехико, США, 2004. Докл. № AIAA-2004-5586.

8. *Neal C., Shearer C., Taylor J. et al.* Space Resources Investigation by LEAG (Lunar Exploration Analysis Group)/Proceedings of Conference on Lunar Exploration, League City, Texas, USA, 2005. – P. 1211-1234
9. *Ярыгин В.И., Ионкин В.И., Купцов Г.А. и др.* Космические термоэмиссионные ЯЭУ нового поколения с вынесенными из активной зоны реактора электрогенерирующими системами/Тр. Международной конференции по энергодвигательным технологиям, Хантсвилл, Алабама, США, 2000. Докл. №AIAA-2000-5358.
10. *Овчаренко М.К., Забудько А.Н., Лазаренко Г.Э. и др.* Концепция долгоресурсной ЯЭУ «Эльбрус-400/200» с эффективными низкотемпературными термоэмиссионными преобразователями, вынесенными из активной зоны/Тр. Международной конференции «Космическая ядерная энергетика 2005», Сан-Диего, Калифорния, США, 2005. Докл. №1118.
11. *Зродников А.В., Забудько А.Н., Дубинин А.А. и др.* Взгляд на космическую ядерную энергетику: 50 лет назад, 50 лет вперед/Тр. Международной конференции «Космическая ядерная энергетика 2005», Сан-Диего, Калифорния, США, 2005. Докл. №1116.
12. *Briesmeister J.* MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4B// LA-12625-M, 1997.
13. *Ярыгин Д.В., Миронов В.С., Соловьев Н.П. и др.* Термоэмиссионный преобразователь с высокими выходными электрическими характеристиками на основе металл-кислородной структуры на коллекторе//Атомная энергия. – 2000. – Т. 89. – Вып. 1. – С. 39-48.
14. *Ярыгин В.И., Сидельников В.Н., Касиков И. И. и др.* Экспериментальное изучение возможности образования конденсата возбужденных состояний вещества (ридберговской материи)// Письма в ЖЭТФ. – 2003. – Т. 77. – Вып. 6. – С. 330 – 334.
15. *Rose P. F.* ENDF-201, ENDF/B-VI Summary Documentation // Brookhaven National Laboratory, 1991, BNL-NCS-17541
16. *Pyshko A.P., Dubinin A.A., Levchenko V.M. et al.* New Capabilities of RAPID-Code for Calculation of Reactor Radiation Functionals on the Spacecraft Subsystems/Proceedings of the RP&S Topical Meeting, Falmouth, Massachusetts, USA, 1996. – P. 241.
17. *Абагян Л.П., Базазянц Н.О., Николаев М.Н. и др.* Групповые константы для расчета реакторов и защиты. – М.: Энергоиздат, 1981. – 276 с.
18. *Cowing K.* A Closer Look at NASA's New Exploration Architecture // SpaceRef.com, October 9, 2005, <http://www.spaceref.com/news/viewnews.html?id=1069>

Поступила в редакцию 15.09.2011

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.039.516.2.232

About the Xenon Oscillations Boundary in the Reactor with Nonhomogeneous Axial Load \A.M. Zagrebayev, V.A. Nasonova; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 8 pages, 5 illustrations. – References, 5 titles.

The results of modeling for estimation the xenon oscillations boundary in the reactor with nonhomogeneous axial load are given.

УДК 621.039.526: 621.039.59

One-group Fission Cross Sections for Plutonium and Minor Actinides in Neutron Spectra of Fast Reactor Cooled with Lead-208 or Lead-Bismuth \G.L. Khorasanov, A.I. Blokhin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 5 pages, 3 tables. – References, 8 titles.

One-group fission cross sections of isotopes of plutonium and minor actinides- Np-237, Am-241, 243 and Cm-246 – in neutron spectra of fast reactor RBEC-M cooled with Pb-Bi or Pb-208 are calculated on the basis of 28 group system ABBN. As a result of replacement of Pb-Bi coolant over Pb-208 coolant, the mean energy of neutrons increases on 6.4% and 6.1% in the core and lateral blanket, respectively. Under such neutron spectra hardening, the one-group fission cross section increases on 6% for Pu-240 and on 10% for Am-241.

УДК 621.039.526: 621.362

Space Nuclear Power System Based on SAFE Fast Reactor with Low-temperature Thermionic Converters \V.I. Yarygin, G.E. Lazarenko, M.K. Ovcharenko, A.P. Pyshko, D.G. Lazarenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 9 pages, 4 tables, 4 illustrations. – References, 18 titles.

The possibility of low-temperature thermionic converters (emitter temperature $T_e \leq 1700$ K) appliance for space nuclear power system (SNPS) based on fast SAFE (Safe Affordable Fission Engine) reactor with thermal power of 300 kW for long-term operation as a part of the lunar base have been discussed.

The results of systematic optimization for SNPS parts and equipment and the calculations for mass-dimensional characteristics are presented and also the life cycle of SNPS is specified.

УДК 621.039.534.3

Oxygen and Hydrogen Control Systems Used in Gas Circuits and NPP Containment Vessels \P.N. Martynov, M.E. Chernov, A.N. Storozhenko, V.M. Shelemetev, R.P. Sadovnichy; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 6 pages, 3 tables, 6 illustrations. – References, 5 titles.

Increased reliability and safety of the operation of one-piece reactors and installations using Pb-Bi and Pb as coolant require the development and improvement of the systems able to diagnose the state of the coolant and detect at early stages the possibility of accident situations. The main controlled parameters are the oxygen activity in the coolant and the concentration of oxygen and hydrogen in the gas phase circuit. The most promising devices enabling control of these parameters are the solid electrolyte sensors made of ceramic oxide, which allow measurement to be taken in the continuous mode under conditions of high temperatures, pressures, velocities of the environment and thermal shocks.

УДК 621.039.534.6

The Combustible and Explosive Gases Control System Based on Solid-electrolyte Ceramic Sensors \P.N. Martynov, M.E. Chernov, A.N. Storozhenko, V.M. Shelemetev, R.P. Sadovnichy, A.S. Fomin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 6 pages, 1 table, 5 illustrations. – References, 7 titles.

The most important task of ensuring the safe operation of production facilities related to the production, use, storage and processing of combustible gases and easily flammable liquids (oil and