

Недавно выяснилось, что при охлаждении до температуры жидкого гелия так называемые «теплые сверхпроводники» на основе висмута должны сохранять сверхпроводимость в полях до 100 Тл. Это открытие дает надежду, что через 10—15 лет можно будет создавать стационарные магнитные поля в десятки тесла в больших объемах. Тогда появится перспектива осуществления реакторов с ${}^3\text{He}{}^3\text{He}$ -синтезом, в плазме которых будет полностью отсутствовать рождение нейтронов.

Заключение. Работы по управляемому термоядерному синтезу были начаты в середине века и за истекшие годы создана совершенно новая область науки — физика высокотемпературной плазмы. В процессе исследований предложено много вариантов магнитного удержания плазмы. По достигнутому в экспериментах параметру $n_e \tau_E T_p$, характеризующему близость к зажиганию самоподдерживающейся реакции ядерного синтеза, они различаются во много раз, хотя по коэффициенту диффузии поперек магнитного поля различие существенно меньше. Наиболее продвинутым оказалось направление токамаков.

Чтобы преимущества термоядерной энергетики были реализованы в достаточно полной мере, т.е. с использованием возможности снижения радиационной опасности, требуется разработать технологию изготовления сверхчистых малоактивируемых ванадиевых сплавов и сверхпроводников на поле в десятки тесла. С точки зрения перспективы создания коммерческих реакторов наиболее доступным представляется использование D^3He топлива. При этом ${}^3\text{He}$, видимо, придется доставлять с Луны.

Оптимальная комбинация параметров может получиться у концепций, альтернативных по отношению к концепции токамака. Поэтому их изучение на умеренном уровне потребления ресурсов представляется сейчас целесообразным. Направления с большим значением $\langle \beta \rangle$ имеют наибольшие шансы на пути к коммерческим реакторам, хотя в настоящее время они находятся на более ранней стадии исследования, чем токамаки.

Управляемый термоядерный синтез имеет много возможностей для совершенствования концепций удержания плазмы и развития термоядерных технологий. При полной реализации всех преимуществ УТС открывается путь к созданию безопасной и фактически нерадиоактивной термоядерной энергетики. Именно поэтому термоядерные электростанции продолжают оставаться заманчивой целью, несмотря на то, что обычная ядерная энергетика деления обеспечена топливом на миллионы лет.

Поступила в Редакцию 24.10.96

УДК 621.039.6

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ТРИТИЙВОПРОИЗВОДЯЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЛАНКЕТА ИТЭРа

*Тебус В.Н., Петров Б.В., Романов Л.В., Клабуков Ю.Г., Аксенов Б.С.,
Шипилов В.В. (ГНЦ РФ — ВНИИНМ им. А.А. Бочвара)*

Разработка термоядерного реактора, обещающая энергетическое изобилие будущему человечеству, требует решения сложных научно-технических проблем, в том числе проблемы воспроизводства трития, который в обозримом будущем просматривается как один из незаменимых энергоносителей и которого нет на Земле. В настоящее время необходимо выбрать наиболее эффективный тритийсодержащий материал blankets ИТЭРа для его испытаний на экспериментальных модулях.

В качестве перспективных литийсодержащих материалов для blankets ИТЭРа были приняты Li_2O , LiAlO_2 , Li_4SiO_4 , LiOH , LiNO_2 , металлический литий и эвтектика $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$ [1].

Свойства лития и литий-свинцовой эвтектики. Их важными положительными свойствами являются способность размножать нейтроны и воспроизводить тритий, возможность эффективного безотходного выделения из них воспроизводимого трития в условиях безопасности для персонала и окружающей среды, радиационная стойкость, возможность использования в качестве первичного теплоносителя с высоким термодинамическим к.п.д.

Некоторые положительные свойства присущи только эвтектике $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$:

способность играть роль защиты, препятствующей выходу нейтронов и γ -излучения за пределы blankets;

пожарная безопасность при прямом контакте с воздухом и водой. В докладе Аргоннской национальной лаборатории приводились экспериментальные данные о пожарной безопасности жидкой эвтектики при ~ 800 К в случае контакта с водой [2]. Это подтвердили проведенные авторами настоящей статьи эксперименты с разливом нагретой до ~ 900 К эвтектики на воздухе, а также со сливом ее в воду;

радиационная безопасность в эксплуатации, причем даже в случае аварийной ситуации. Это связано с высоким сопротивлением выходу (дегазации) трития из жидкой фазы, причем в случае аварийного разлива жидкой эвтектики на воздухе это барьерное действие усиливается во сто крат в связи с образованием поверхностной пленки;

наиболее низкая стоимость и наличие разработанного эффективного экономичного и безопасного процесса приготовления эвтектики из свинца и лития;

слабая растворимость трития в эвтектике [3, 4] (константа Сиверкса равна $\sim 10^{-6}$ ат.долей/ $\text{Па}^{0.5}$) и невысокая температура плавления ~ 535 К, позволяющая реализовать эффективный процесс выделения трития непосредственно в самом blankets вопреки барьерному воздействию границ фаз.

Отрицательными свойствами лития и литий-свинцовой эвтектики являются:

большое сопротивление переходу трития из расплава металла через границу фаз в паровую фазу, характеризуемое малым безразмерным коэффициентом $\sim 10^{-7}$ — аналогом коэффициента Ленгмюра для испарения. Для лития этот коэффициент при температуре от 453,5 до 1000 К находится в пределах от $1,2 \cdot 10^{-6}$ до $1,1 \cdot 10^{-3}$ [5]. Для эвтектики (при температуре 550—600 К, оптимальной для выделения трития) такой «коэффициент Ленгмюра» равен $\sim 10^{-7}$ [6]. По результатам экспериментов он существенно зависит от чистоты поверхности жидкой эвтектики (при отсутствии оксидной пленки он может быть в 10 раз больше). Низкий коэффициент Ленгмюра не исключает возможности осуществления эффективных процессов выделения трития из лития и эвтектики в условиях ИТЭРа;

увеличение удельного объема эвтектики при расплавлении на 3,6%, вызывающее опасность разрушения стальных стенок blankets. Эта опасность исключается путем специального способа размещения эвтектики в blankets;

радиационное распухание эвтектики в твердом состоянии в результате накопления гелия [7]. По расчетно-теоретическим оценкам при накоплении трития в blankets до концентрации ~ 100 млн $^{-1}$ распухание не превысит $\sim 5 \cdot 10^{-4}$ об.долей, что не представляет опасности для конструкции blankets;

образование ^{210}Po — высокотоксичного нуклида при нахождении эвтектики в blankets [8]. Однако возможное накопление этого нуклида не приведет к превышению допустимого уровня радиационной опасности;

коррозионное воздействие жидкой эвтектики, которое может быть значительным для стали аустенитного класса при температуре выше 700 К, ферритного — выше 800 К [9, 10]. Поскольку тритий должен выделяться при температуре не выше 700 К,

то особых трудностей пока не предвидится. При этом есть возможность повышения коррозионной стойкости стали путем нанесения покрытий, в частности, разработанная и испытанная бериллизация повышает стойкость стали до 1000 К;

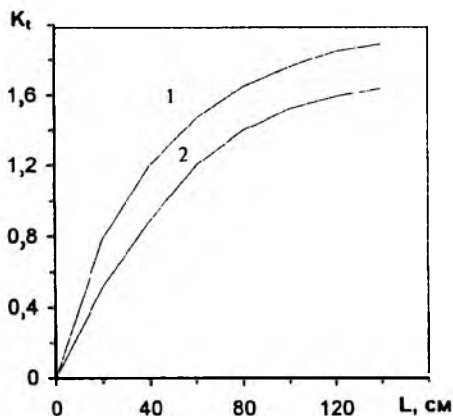
пожарная опасность литья в случае аварийной ситуации, при этом в сочетании со взрыво- и радиационной опасностью;

высокая растворимость в литии изотопов водорода. В отличие от эвтектики константа Сиверта у литья больше в 1000 раз даже при 1000 К. Кроме того, из литья испаряются сложные молекулы типа литий—изотоп водорода. Все это осложняет технологический процесс выделения трития из литья, в частности, способом молекулярной дистилляции, хотя и не снижает его главных положительных характеристик.

Литий и литий-свинцовая эвтектика как тритийвоспроизводящие материалы для blankets. Из рассмотренных свойств литья и литий-свинцовой эвтектики первостепенную роль играют характеристики воспроизводства. Оценка возможных коэффициентов воспроизводства трития k_t в литии и эвтектике по сравнению с другими литийсодержащими материалами может быть сделана по данным нейтронно-физических расчетов по программе BLANK в одномерной геометрии [11]. Коэффициент k_t для природного литья может достигать 2, для эвтектики 1,7, в то время как для всех других перспективных литийсодержащих материалов не достигает 1 без применения специального размножителя нейтронов (бериллия или др.). Исключением является оксид литья, для которого предельное значение составляет 1,37.

Ранее [12] было приведено расчетное значение $k_t = 1,3$ для эвтектики, размещенной в blankets за первой стенкой в виде сплошного слоя толщиной 40 см.

Авторы настоящей статьи провели расчеты по программе BLANK для blankets с металлическим литийсодержащим материалом в виде сплошного слоя толщиной 40 см, за которым располагается слой железобетонной защиты также толщиной 40 см. Полученные данные показаны на рис. 1. Из них следует, что для полного воспроизводства



Р и с. 1. Зависимость коэффициента воспроизводства трития от толщины слоя литья (1) и эвтектики $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$ (2)

трития может потребоваться слой металлического литийсодержащего материала толщиной 50—60 см, во всяком случае, не более 100 см, если учесть меньшую сплошность слоя в реальном blankets. Главное, что в этом случае не потребуется применения специального размножителя нейтронов.

Выделение трития из blankets с литием или эвтектикой. Не менее важной проблемой является обеспечение эффективного выделения воспроизводимого трития из металлического литийсодержащего материала. В связи с этим во ВНИИНМ на протяжении нескольких лет разрабатывались специальные технологические процессы выделения трития из литья и литий-свинцовой эвтектики способом молекулярной дистилляции. Ниже приводится описание основ этих процессов; их подробное описание и полное физико-техническое обоснование для blankets ИТЭРа будет представлено в последующих публикациях.

Главная сложность в реализации процессов выделения связана с низкой концентрацией трития $\sim 1 \text{ млн}^{-1}$, принятой для blankets ИТЭРа и непосредственно влияющей на размеры аппаратов и энергетические затраты.

Технологический процесс выделения трития из литья струйной возвратно-поточной неравновесной молекулярной дистилляцией состоит из двух стадий: концентрирования трития в литии от принятой концентрации $\sim 1 \text{ млн}^{-1}$ до азеотропной $\sim 100 \text{ млн}^{-1}$ и выделения в виде газа (T_2).

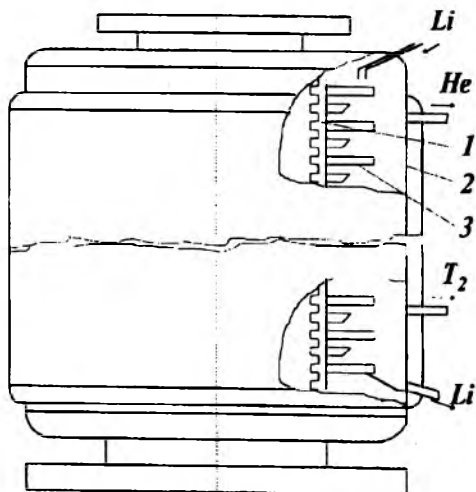
На стадии концентрирования выделение трития исключается. Струя лития должна быть растянутой (длиной до 100 м) для устранения продольного перемешивания при столь большом концентрировании. Из струи вместе с литием будут испаряться комбинированные молекулы LiT , Li_2T [13] с элементарным коэффициентом разделения, который при невысокой температуре намного < 1 . Однако из-за низкой принятой концентрации ($\sim 1 \text{ млн}^{-1}$) температура лития на первой стадии должна составлять примерно 1000 К, но и в этом случае коэффициент разделения для комбинированных молекул еще достаточно мал ($\sim 0,2$). Поэтому для исключения уноса трития необходима возвратно-поточная система протекания струи. Кроме того, процесс испарения должен быть неравновесным, т.е. критерий Био при технической реализации процесса должен быть равен $\sim 10^{-3}$.

Аппарат выделения трития из бланкета с литием в конструкционном исполнении представляет вертикальную колонну, внутри которой растянутая до 100 м струя лития будет протекать по спирали. Схематически устройство колонны показано на рис. 2. Основные детали колонны: в середине испаритель с нагревателем — стальная труба с расположенными по внешнему периметру желобами с антикоррозионным покрытием, по которым протекает литий при 1000 К. Испаритель окружен охлаждаемой стальной трубой — конденсатором паров лития. Теплота конденсации отводится в контур преобразования тепловой энергии. Колонна заключена в вакуумно-плотный корпус для защиты от попадания протия и других газов.

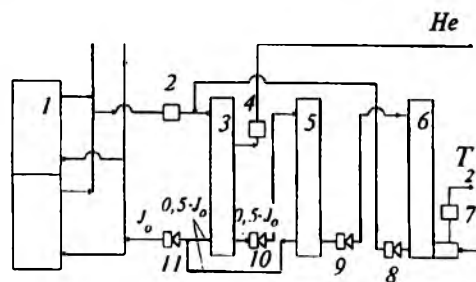
Выделение трития из бланкета ИТЭРа предполагается по секторам: одна установка выделения трития на каждые два сектора, т.е. на $1/10$ часть бланкета, где находится около 10 м^3 лития. При ожидаемом воспроизводстве трития $\sim 120 \text{ г/сут}$, т.е. $\sim 12 \text{ г/сут}$ на два сектора, установка должна состоять из трех колонн высотой 5, диаметром 1 м.

Схема установки показана на рис. 3. Установка подключается байпасно к литиевому контуру теплопередачи, и при этом через нее должен циркулировать поток лития со скоростью $0,9 \text{ л/с}$. Газы из всех трех колонн будут откачиваться герметичными форвакуумными насосами с поддержанием давления на уровне 1 Па: из первой колонны будет откачиваться радиогенный гелий со скоростью $\sim 100 \text{ л·Па/с}$, в котором примесь трития может составлять $< 10^{-7}$ ат.долей, из второй колонны будет осуществляться вакуумная перекачка газа в третью, из третьей колонны откачка трития идет со скоростью $\sim 50 \text{ л·Па/с}$. Возвратно-поточная циркуляция жидкого лития в установке должна обеспечиваться четырьмя герметичными жидкометаллическими насосами индукционного типа.

Десять установок должны будут полностью выделять воспроизводимый тритий (производительностью 120 г/сут) в виде чистого газа. Литий, циркулирующий через установку, сохраняется полностью без потерь. Отходами явится радиогенный гелий с содержанием трития $\sim 10^{-4} \text{ Ки/л·атм (He)}$.



Р и с. 2. Схема струйной возвратно-поточной дистилляционной колонны для выделения трития из лития: 1 — нагреватель; 2 — конденсатор; 3 — испаритель



Р и с. 3. Схема выделения трития из сегментов бланкета: 1 — сегмент бланкета; 2 — регулятор расхода лития; 3, 5, 6 — колонка для извлечения трития; 4, 7 — герметичный форвакуумный насос; 8—11 — электромагнитный насос

Технологический процесс выделения трития из бланкета с литий-свинцовой эвтектикой, размещаемой по ярусной схеме, представляет собой молекулярную дегазацию, осуществляемую прямо в бланкете со специальным ярусным размещением эвтектики. Выделение (дегазация) будет происходить при невысокой температуре ~ 700 К. Выделяемый тритий будет откачиваться прямо из бланкета герметичными форвакуумными насосами с поддержанием допустимого давления на уровне до 10 Па.

Специальное размещение эвтектики в бланкете, называемое ярусным, схематично показано на рис. 4, 5. Оно рассчитано на полное воспроизводство трития и одновременно на обеспечение необходимой площади поверхности для дегазации трития из эвтектики.

Технологический процесс выделения трития при ярусном размещении эвтектики $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$ разработан путем оптимизации двух главных параметров, оказывающих противоположное влияние:

высокого элементарного коэффициента разделения, который даже при столь малой концентрации трития (1 млн^{-1}) и дегазации при ~ 700 К превышает 10^8 ;

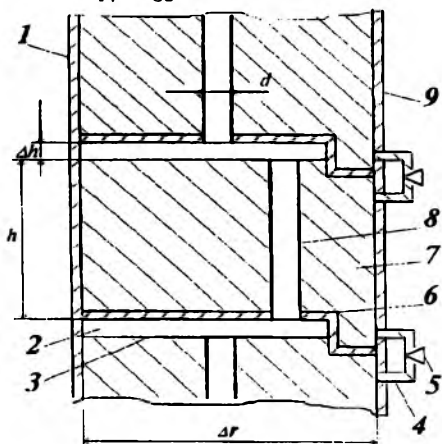
слабого массопереноса трития через границу фаз жидкость—пар, который характеризуется низким коэффициентом Ленгмюра $\sim 10^{-6}$ [14].

Из экспериментальных работ других авторов [15—17] следует, что второй параметр может быть в 10 раз больше, а по данным работы [6] — в 10 раз меньше. Такие расхождения можно объяснить сильным влиянием трудноудаляемой поверхностной пленки, образующейся на расплаве эвтектики.

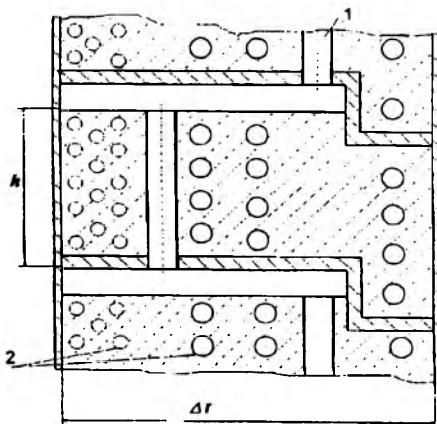
На основании приведенных данных, даже несмотря на низкие значения коэффициента Ленгмюра, можно обосновать возможность полного выделения воспроизводимого трития с поддержанием его концентрации в бланкете с эвтектикой на уровне 1 млн^{-1} .

В целях повышения надежности процесса выделения может быть осуществлена циркуляция жидкой эвтектики за пределы бланкета для удаления пленок с поверхности ярусов и усиления перемешивания. Для осуществления такой циркуляции ВНИИМ совместно с Таллинским политехническим институтом разработал электромагнитный индукционный канал, в котором вертикально расположенный расплав тяжелой эвтектики находится постоянно во взвешенном состоянии по всей его высоте, причем исключаются локальные гидростатические давления и может осуществляться управляемый поток эвтектики, циркулирующий через все ярусы. Индукционный канал работает на токе промышленной частоты 50 Гц.

Ярусный процесс воспроизводства и выделения трития из эвтектики в бланкете ИТЭРа может осуществляться не только непрерывно при ~ 700 К, но и по периодическому сценарию:



Р и с. 4. Схема ярусного размещения эвтектики $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$ в бланкете: 1 — внутренняя стенка бланкета; 2 — газовый (вакуумный) зазор; 3 — поверхность жидкой эвтектики; 4 — байпас; 5 — затвор для слива эвтектики из бланкета; 6 — днище выше-расположенного яруса; 7 — слой эвтектики толщиной h , заполняющий ярус; 8 — дренажный канал; 9 — внешняя стенка бланкета



Р и с. 5. Схема ярусного размещения эвтектики в бланкете с системой охлаждающих каналов: 1 — дренажный канал; 2 — каналы охлаждения; Δr — ширина слоя эвтектики; h — высота слоя эвтектики

накопление трития в твердой эвтектике за время до 30 сут (время, безопасное для распухания);

расплавление эвтектики и выделение трития; для расплавления потребуется только включить систему охлаждения (см. рис. 5) на непродолжительное время.

При расплавлении эвтектики на любом ярусе (независимо от других) сразу же будет выделяться тритий. Время, необходимое для расплавления эвтектики во всем бланкете и выделения до 90% накопленного трития, не превысит 1 сут.

Выделяемый тритий при любом варианте будет смешан с радиогенным гелием, который необходимо выделять в качестве отходов технологического процесса.

К отходам относится и ^{210}Po . Для его удаления из эвтектики может использоваться вертикальная колонка поточной молекулярной дистилляции, разработанная для действующего полониевого производства. Колонка может быть установлена за пределами бланкета в контуре циркуляции эвтектики. Очевидно, что из-за присутствия ^{210}Po периодический процесс накопления и выделения трития следует полагать более безопасным.

Приготовление литий-свинцовой эвтектики способом МОРЕЛИС. Приготовление эвтектики $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$ сплавлением лития и свинца осложняется следующими явлениями:

возможным воспламенением и даже взрывом, поскольку тепловыделение при реакции свинца с литием составляет $\sim 47,3$ кДж/кг(эвт);

возможным образованием тугоплавкого и труднорастворимого интерметаллида Li_7Pb_2 ;

выделением водорода и других газообразных примесей в количестве $> 0,5$ л·атм на 1 л эвтектики.

Во ВНИИНМ разработан способ безопасного экспрессного приготовления эвтектики, основанный на молекулярной реакции пара лития с потоком жидкого свинца. Реакция осуществляется при движении жидких металлов в виде струй с развитой поверхностью. При этом реализуется децентрализованный процесс реакции с отводом тепла, откачкой выделяющихся газов и исключается образование интерметаллидов. Способ получил сокращенное название МОРЕЛИС. Для его осуществления разработан аппарат в виде колонны со спиральной ленточной струей (рис. 6). В колонне высотой до 3, диаметром 1 м можно приготовить до 500 т эвтектики в сутки. Внутри колонны расположен спиральный желоб со струей испаряемого жидкого лития и нагреватель (мощностью до 400 кВт). Система желобов с литием окружена желобами, по которым протекает спиральная струя жидкого свинца, децентрализованно поглощающая пары лития с соответствующим распределением тепла, выделяющегося в результате реакции лития со свинцом. Внутренний объем колонны откачивается герметичными форвакуумными насосами со скоростью ~ 100 л/с со сбросом выделяющихся газов в атмосферу.

Колонка МОРЕЛИС позволяет корректировать стехиометрический состав эвтектики $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$ в бланкете, например, для исключения явлений расслоения при многократном замораживании-размораживании и компенсации выгорания лития, составляющего $\sim 10\%$ в год.

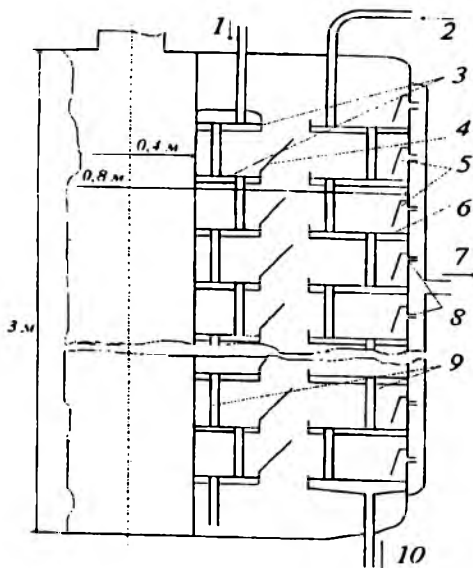


Рис. 6. Устройство аппарата МОРЕЛИС: 1 — поток лития; 2 — поток свинца; 3 — тарелка со струей лития; 4 — защитный бортик; 5 — отражатель; 6 — тарелка со струей свинца; 7 — откачка водорода; 8 — отверстия для выхода газов; 9 — трубки перелива; 10 — слив эвтектики

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материалы сессии ИТЭР. Гархинг (ФРГ), 17 июля—1 августа 1987 г.
2. Sze D., Clemmer R., Cheng E. Li—Pb a novel material for fusion application. — In: Proc. 4 ANS Topical Meeting On Technology of Controlled Nuclear Fusion, 14—17 October 1980.
3. Wu C., Blair A. A study of the interaction of tritium with liquid $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$. — In: 12 SOFT, Julich, EUR-7983, 1982, p. 699—704.
4. Katsuta H., Iwamoto H., Ohna H. Hydrogen solubility in liquid $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$. — In: JCFRM-1, Tokyo (Japan), Desember 1984, p. 699.
5. Gardner R., Nichina M. Kinetics of the reactions of hydrogen, nitrogen and hydrogen/nitrogen mixtures. — J. Phys. Chem., 1981, v. 85, p. 2388—2392.
6. Polcaro A., Ricci P., Viola A. The kinetics of hydrogen absorption in molten Pb/Li Alloy. — J. Nucl. Mater., 1983, v. 119, p. 291—295.
7. Tebus V., Sokursky S., Lukashin S. e.a. Influence of irradiation on structure and properties of lithium-lead eutectic as a possible material for ITER reactor blanket. — Fus. Engng Des., 1991, v. 17, p. 243—248.
8. Hoffman N., Murray K., Blink J. e.a. Polonium aspects associated with the use of lead-lithium blankets in fusion application. — Fus. Technol., 1985, v. 8, № 1, pt. 2B, p. 1376—1384.
9. Coen V., Dadd A., Kolbe H., Orecchia L. Chemical reactivity of $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$ with nitrogen and oxygen and its compatibility with AISI 316L under known partial pressure of theses gases. — In: Proc. 3 Intern. Conf. on Liquid Metal Engineering and Technology. Oxford, 9—13 Apr. 1984, v. 1, p. 347—254.
10. Грязнов Г.М., Евтихин В.А., Завяльский Л.П. и др. Сравнительное исследование коррозионной стойкости аустенитной стали в литии и сплаве свинец—литий эвтектического состава. — Атомная энергия, 1985, т. 59, вып. 5, с. 355—358.
11. Зимин С. Некоторые нейтронно-физические параметры материалов. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез, 1985, вып. 3, с. 35—37.
12. Casini G. The impact of new experimental data on the design of $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$ /water breeding blanket. — In: Intern. Symp. on Fusion Nucl. Technology, Tokyo, 10—15 Apr., 1988, p. 1—23.
13. Ihle H., Wu C. Experimental determination of the partial pressures of D_2 , LiD and Li_2D in equilibrium with dilute solutions of deuterium in liquid lithium. — In: Proc. 8 Symp. on Fusion Technology, 1974, p. 787—789.
14. Петров Б.В., Романов П.В. Концепция оптимизированного blankets ИТЭР с эвтектикой. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез, 1990, вып. 2, с. 22—26.
15. Fauvet P., Sannier J. Hydrogen behaviour in liquid $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$ alloy. — J. Nucl. Mater., 1988, v. 155—157, p. 516—519.
16. Shibuya Y., Aida M., Fudjii Y., Okamoto M. Isothermal release of tritium from neutron-irradiated $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$. — Ibid., 1987, v. 150, p. 286—291.
17. Okamoto M., Shibuya Y., Aida M., Fudjii Y. Tritium recovery from neutron irradiated Li—Be alloys. — Fus. Engng Des., 1989, v. 8, p. 345—348.

Поступила в Редакцию 10.07.96

УДК 621.039.7

УМНОЖЕНИЕ НЕЙТРОНОВ ВНЕШНЕГО ИСТОЧНИКА В КАСКАДНЫХ ПОДКРИТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С ОДНОСТОРОННЕЙ НЕЙТРОННОЙ СВЯЗЬЮ

Селиверстов В.В.

(РНЦ «Институт теоретической и экспериментальной физики»)

В настоящее время широко дискутируется возможность применения подкритических реакторов с внешним источником для сжигания отходов АЭС. В качестве внешнего источника предлагается применение нейтронов реакции срыва, образующихся при бомбардировке тяжелых ядер пучком высокоэнергетичных (~ 1 ГэВ) протонов из линейного ускорителя. Тепловая мощность подкритического реактора и, следовательно, потенциал по сжиганию отходов зависят, в первую очередь, от тока протонов и умножения нейтронов источника в системе. Умножение нейтронов определяется, главным образом, подкритичностью реактора, его внутренними свойствами и компоновкой. Для традиционной компоновки, состоящей из однозонного реактора и неразмножающей мишени,