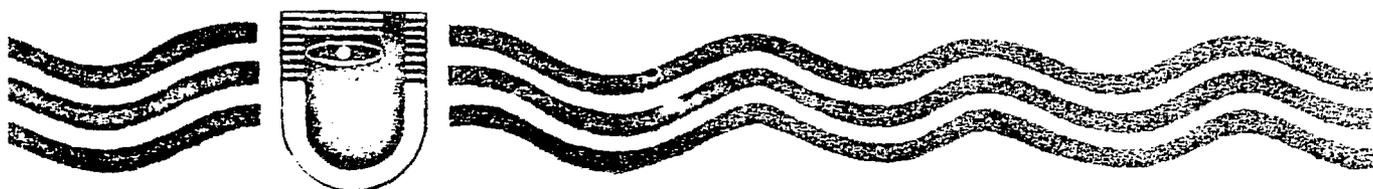


LATVIJAS PSR ZINĀTŅU AKADEMIJA

FIZIKAS INSTITŪTS

АКАДЕМИЯ НАУК ЛАТВИЙСКОЙ ССР

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ



ЛАФИ - 012
LAFi - 012

Я.Я.Админис, Я.К.Алкснис, В.В.Гавар,
Д.О.Калниньш, А.А.Лапенас, Ю.И.Мамаев,
В.Я.Мозгирс, А.В.Эглитис

РЕКОНСТРУКЦИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО
РЕАКТОРА ИРТ НА МОЩНОСТЬ 5 МВт

Саласпилс 1979

АКАДЕМИЯ НАУК ЛАТВИЙСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ

ЛАФИ - 012

Я.Я.Админис, Я.К.Алкснис, В.В.Гавар, Д.О.Калниньш, А.А.Лапенас,
Ю.И.Мамаев, В.Я.Мозгирс, А.В.Эглитис

РЕКОНСТРУКЦИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО
РЕАКТОРА ИРТ НА МОЩНОСТЬ 5 МВт

П р е п р и н т

Саласпилс 1979

RECONSTRUCTION OF THE RESEARCH NUCLEAR
REACTOR IRT FOR 5 MW POWER

J.J.Adminis, J.K.Alksnis, V.V.Gavars, D.C.Kalniņš, A.A.Lapenas,
J.I.Mamajeva, V.J.Mozgirs, A.V.Eglītis

ABSTRACT

The construction and the technological system of the reconstructed nuclear reactor IRT is described. The operating data and results of heat characteristics and neutron flux measurements in active core are given. The main physical parameters of the active core of different configurations, including physical start-up, are analysed. The conditions of radiation safety after the reconstruction of the reactor is shown.

АННОТАЦИЯ

Описана конструкция и технологические системы реконструированного ядерного реактора ИРТ. Приводятся эксплуатационные данные и результаты измерения тепловых характеристик и потоков нейтронного излучения в активной зоне. Анализируются основные физические параметры активной зоны различных конфигураций, в том числе физического пуска. Показана обстановка радиационной безопасности после реконструкции реактора.

С

Институт Физики АН Латвийской ССР, 1979

I. ВВЕДЕНИЕ

Ядерный реактор Института физики АН Латв.ССР является водо-водяным реактором бассейнового типа. Проект реактора был разработан Институтом Атомной Энергии им. И.В.Курчатова (ИАЭ) в качестве типового для оснащения исследовательских ядерных центров и получил название ИРТ (исследовательский реактор тепловой) [9]. Строительство реактора ИРТ в пос.Саласпилс Рижского района было завершено 26 сентября 1961 года [7,11]. Уже в ходе строительства, для расширения экспериментальных возможностей реактора, в проект были внесены ряд усовершенствований [1,2,6]. Первоначальная проектная мощность реактора вскоре после его запуска была поднята до 2000 кВт. В начальный период эксплуатации ИРТ активная зона собиралась из ТВС с твэлами в виде цилиндрических стержней диаметром 10 мм. Сердечники стержней были изготовлены из двуоксида урана 10% обогащения по урану-235. Использовался смешанный водо-графитовый отражатель активной зоны. В процессе эксплуатации реактора усовершенствовались технологические системы и создавались новые экспериментальные устройства [1,2,7]. Учитывая быстрый темп развития научных исследований в области ядерной и радиационной физики и в других родственных областях, необходимо было реконструировать активную зону реактора, повысить экспериментальные возможности и мощность реактора.

Первый этап реконструкционных работ был завершен в 1975 году. В активной зоне устанавливались ТВС с твэлами трубчатого типа с уран-алюминиевым сплавом 90% обогащения по урану-235. В качестве бокового отражателя использован бериллий. Мощность реактора повышена до 3000 кВт. Второй этап реконструкции был завершен в 1978 году и, в основном, изменил системы теплосъема. В результате реконструкции мощность реактора была повышена до 5000 кВт. При этом испытана биологическая защита и обследована радиационная обстановка. В настоящей работе описан реконструированный реактор ИРТ Института физики АН Латвийской ССР.

Реконструкция реактора проводилась при содействии ИАЭ им.И.В. Курчатова и других организаций. В итоге получен хороший опыт организации демонтажных и монтажных работ в радиационных условиях и "ноу-хау". Работы по радиационному контуру были выполнены сог-

ласно лицензионной теме "МАХИД-КОНТУР".

2. КОНСТРУКЦИЯ РЕАКТОРА

2.1. Активная зона

Тепловыделяющие сборки (ТВС). В активной зоне установлены тручатые ТВС типа ИРТ-М. По сравнению с ранее применяемыми ТВС с тепловыделяющими элементами (твэлами) типа ЭК-10, новые ТВС имеют более развитую поверхность теплообмена [10]. Длина рабочей части твэлов - 600 мм. В каждой ТВС содержится примерно 170 г урана-235 90% обогащения. Толщина уран-алюминиевого сплава в стенке твэла - 0,4 мм, толщина алюминиевого покрытия - 0,8 мм. Таким образом, общая толщина стенки твэла - 2,0 мм (рис.1). Между твэлами имеются зазоры толщиной - 4,5 мм для прохода теплоносителя - воды. Центральный твэл в ТВС можно извлечь и вместо него установить вертикальный экспериментальный канал (ВЭК) или канал СУЗ. Нижние наконечники ТВС имеют крестобразные вырезы глубиной 35 мм для фиксации ТВС на нижней решетке активной зоны реактора. Нижняя решетка корпуса имеет регулярно (с шагом 71,5 мм) расположенные сквозные отверстия диаметром 63,5 мм, в каждой из которых крепится одна четвертая часть нижнего наконечника ТВС. По центру ТВС в нижней решетке активной зоны имеются сквозные отверстия диаметром 29 мм для прохода ВЭКов, каналов СУЗ и теплоносителя. При полностью загруженном корпусе активной зоны осуществляется надежное крепление ТВС в нижней части, верхняя часть ТВС фиксируется соприкосновением ТВС между собой. Так как принудительное охлаждение ТВС осуществляется потоком воды сверху вниз, то нет необходимости в дополнительном креплении ТВС сверху.

Бериллиевый отражатель набирается из блоков размером 650 x 67 x 67 мм. Объем бериллия в одном блоке - 2930 см³, вес - 5,4 кг. Концевые детали блоков аналогичны соответствующим деталям ТВС, что позволяет применять одинаковый загрузочный инструмент. В комплекте бериллиевых блоков имеются и такие, у которых просверлен вертикальный канал диаметром 40 или 48 мм для установки ВЭК или канала СУЗ. Имеется один бериллиевый блок размером 650 x 138 x 138 мм и центральным каналом диаметром 100 мм, закрытым пробкой, занимающий четыре ячейки активной зоны.

Алюминиевые вытеснители воды с воздушной полостью представляют конструкцию, обеспечивающую образование воздушного зазора в слое

водяного отражателя на высоте горизонтальных каналов. Размер воздушного зазора 110 x 65 x 65 мм.

Блок водяного отражателя представляет алюминиевую конструкцию, габаритные размеры которой совпадают с ТВС, а всю внутреннюю полость заполняет вода бака.

Активная зона смонтирована на дне бака под слоем воды 6 метров (рис.2). Она изготовлена из алюминия (рис.2).

Предусмотрено, что 8 ячеек постоянно занято свинцовым щитом. 30-35 ячеек (90-100 литров объема активной зоны) предусмотрено для размещения ТВС. Остальные ячейки - для размещения бериллиевого отражателя или экспериментальных устройств для облучения образцов непосредственно в активной зоне (рис.3).

2.2. Экспериментальные устройства.

Горизонтальные экспериментальные устройства.

Реактор оборудован 10 горизонтальными экспериментальными каналами (ГЭК) и радиационным контуром. 8 каналов радиальных, один касательный и один повернутый. Диаметры ГЭК-100 мм, за исключением касательного ГЭК, у которого диаметр 150 мм и тепловой колонны с диаметром канала - 230 мм. Длина радиальных горизонтальных каналов от 2,14 м до 3,00 метров, в зависимости от их ориентации к активной зоне.

Торцы ГЭК подходят к стенке активной зоны и отделены от нее зазором толщиной 1 мм. Внутри бака реактора ГЭКы изготовлены из труб марки 1X18N10T, толщиной стенки - 5 мм, толщина торцевых частей - 2 мм. Торцы тепловой колонны (ГЭК-1) и ГЭК-2 отделены от активной зоны свинцовым щитом толщиной 65 мм. ГЭК на выходе в реакторный зал перекрываются пятисекционными шиберами. В шибера ГЭК-3 и ГЭК-6 установлены коллиматоры. Шибера ГЭК-9 оборудованы набором фильтров нейтронов.

Вертикальные экспериментальные устройства.

В активной зоне установлено 2-3 ВЭК диаметром 23 мм. Рядом с зоной размещено 10-13 ВЭК диаметром 52 мм. Количество установленных ВЭК определяется необходимостью экспериментов. На расстоянии 500 мм от активной зоны у стены бака реактора установлен ВЭК диаметром 180 мм.

Для изменения спектра нейтронов в некоторых ВЭКах установлены кадмиевые фильтры. Внутри ВЭК образцы фиксируются по центру активной зоны на столиках-платформах. Некоторые ВЭК оборудованы

воздушным обдувом для снижения температуры радиационного нагрева образцов. Двойной изгиб ВЭК исключает прямой выход излучения и позволяет отказаться от тяжелых и неудобных пробок для обеспечения биологической защиты.

Один ВЭК диаметром 52 мм расположен в графитовой тепловой колонне на расстоянии 100 см от грани активной зоны.

Конструкция активной зоны, как было уже отмечено, позволяет размещать экспериментальные устройства непосредственно в зоне, взамен одного или нескольких ТВС. В центре активной зоны установлен петлевой канал^с поперечными размерами 142 x 142 мм. Этот канал с одной стороны расположен в условиях ^{высоких} плотностей нейтронных потоков, а с другой стороны, благодаря ему, активная зона расширена и нейтронный поток вытеснен в сторону ГЭК и ВЭК, расположенных в отражателе.

Радиационный контур. [8].

Реактор ИРТ оборудован мощным источником гамма-излучения - радиационным контуром (РК). В основе его используется активация нейтронами изотопа индий-115 и перенос гамма-активности путем циркуляции жидкометаллического сплава индий-галлий-олово по замкнутому контуру: генератор активности - трубопровод и облучатели. РК изготовлен из нержавеющей стали. Циркуляция сплава осуществляется электромагнитными насосами. Генератор активности представляет собой двухрядный змеевик из трубки 7x1 мм, который установлен у свободной от ГЭК боковой грани активной зоны. РК оборудован двумя облучателями: цилиндр высотой 300 мм с внутренним диаметром 90 мм; стакан высотой 100 мм с внутренним диаметром 50 мм.

Облучатели размещены в рабочей камере снабженной смотровым окном, манипуляторами и загрузочным устройством, которое позволяет облучать предметы размером 500x500x500 мм.

При мощности реактора 5 МВт, в центре облучателей (раздельная работа) создается мощность дозы гамма-излучения:

- в цилиндре - 6,0 Мрад/час
- в стакане - 19,0 Мрад/час.

На радиационном контуре осуществляется широкий круг исследований по физике, химии и биологии. Облучения могут быть выполнены при высоких и низких температурах.

2.3. Бак и система охлаждения реактора.

Ядерный реактор оборудован двухконтурной системой охлаждения

(рис.4). Имеется также контур охлаждения биологической защиты. Бак реактора является основной частью системы охлаждения. Он выполнен из нержавеющей стали IN18Ni10Cr, имеет высоту 7,8 м и емкость 57 м³. Объем воды - 50 м³, надзеркальное пространство бака подключено к вентиляции. В нижней части бака, на высоте 1,35 м от дна, смонтирована отбойная решетка, которая преграждает путь воде вверх после прохода активной зоны реактора. Таким образом, существенно уменьшается интенсивность гамма-излучения на верхней площадке бака реактора.

Особенностью первого контура является наличие эжектора [9], благодаря которому через активную зону проходит больше воды, чем в первом контуре. Так, например, четыре насоса первого контура обеспечивают расход 240 м³/час, а через активную зону проходит 810 м³/час

Наличие эжектора обеспечивает также теплоотвод от ТВС в случае внезапной остановки насосов первого контура. Тогда остаточное тепловыделение от ТВС передается воде бака благодаря естественной конвективной циркуляции воды. Такая циркуляция обеспечивает теплоотвод до мощности 600 кВт без включения насосов первого контура охлаждения.

Для радиационно-безопасного обслуживания насосов I контура на выходе из бака реактора установлена емкость, объемом 4,5 м³, задерживающая воду на 65 сек, благодаря чему активность воды в I контуре уменьшается в 250 раз.

Первый контур охлаждения, в основном, выполнен из труб с внутренним диаметром 200 мм. Теплообменники - кожухотрубные из нержавеющей стали с поверхностью теплообменника - 180 м². Нормальный режим работы обеспечивается четырьмя параллельно-последовательно включенными теплообменниками.

Теплоносителем в первом контуре является обессоленная вода высокой чистоты. Вода для наполнения I контура очищается на специальной ионно-обменной установке ионитовыми смолами КУ-2 и АВ-17. Производительность установки - 1 м³/час.

Второй контур охлаждения включает в себя четыре насоса, трубопровод диаметром 400 мм и шестисекционную вентиляторную пленочную градирню. Общий объем воды в двух бассейнах градирни 170 м³. Максимальный расход воды во втором контуре охлаждения - 1000 м³/час.

Для оценки величины опасности при внезапной остановке циркуляции воды второго контура при работающем реакторе на номинальной

мощности был проведен эксперимент. Проверка показала, что нормальный теплоотвод с активной зоны обеспечен за счет первого контура в течение 10-12 минут после остановки второго контура охлаждения. За этот период времени на поверхности ТВЭЛ никаких опасных явлений не обнаружено и времени вполне достаточно для нормальной остановки реактора [4].

2.4. Управление реактора и технологический контроль.

Система управления и защиты (СУЗ) реактора обеспечивает контроль, управление и аварийное гашение цепной реакции. Компенсирующими органами, предназначенными для компенсации избыточной реактивности и регулирования мощности, используются стержни, изготовленные из борала. Они герметически упакованы в алюминиевых трубках, длиной борала 600 мм, диаметром 23 мм. Стержни устанавливаются в направляющих каналах, заполненных жидкой. Подъем и опускание стержней осуществляется дистанционно, сервоприводом и соединяющим тросом.

Датчиками СУЗ являются 8 ионизационных камер типа КНК-53.

СУЗ включает в себя схемы регулирования, аварийной защиты, управления компенсирующими стержнями и измерения мощности и скорости изменения мощности реактора (рис. 5).

Система регулирования обеспечивает полуавтоматический пуск реактора с уровня 10^{-4} % номинальной мощности, перевод на другой уровень мощности в диапазоне 0,5 - 100% номинальной мощности и поддержание мощности на заданном уровне с точностью $\pm 1\%$.

Система аварийной защиты обеспечивает надежное гашение цепной реакции при непредвиденном увеличении мощности выше установленной или при разгонах мощности с периодом, меньшим, чем 10 сек. Мощность и скорость разгона контролируется тремя независимыми каналами. Сигнал срабатывания аварийной защиты подается на сервоприводы только в случае поступления сигнала от не менее, чем двух каналов контроля. Такая система "2 из 3" введена для исключения ложных остановок реактора в случае отказа части электронного оборудования.

Система измерения мощности обеспечивает контроль в диапазоне от 10^{-5} % до 100% номинальной мощности. Для перекрытия такого диапазона измерений применены приборы с автоматическим переключением шкал, а также дистанционное удаление ионизационных камер от ак-

тивной зоны.

Реактор обеспечен необходимой системой контрольно-измерительных приборов (КИП) технологических параметров системы охлаждения. Наиболее ответственные параметры (расход и давление воды в первом и втором контурах, а также перепад давления над активной зоной) контролируются непрерывно, а их отклонение от заданной величины сопровождается автоматической остановкой реактора.

3. ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РЕАКТОРА

3.1. Физический пуск.

Пуск реактора ИРТ после реконструкции проводился в период с 25 по 27 июля 1975 года.

Предполагалось создать рабочую конфигурацию активной зоны, обеспечивающую максимум плотности потока тепловых нейтронов (φ_T^{max}) в центре ее, а в сторону ГЭК-8 и ГЭК-9 - утечку нейтронов с более жестким энергетическим спектром. Для этого в центр зоны устанавливались четыре бериллиевых блока - т.н. бериллиевая ловушка, вокруг которой в ходе набора критической массы устанавливались ТВС.

При физическом пуске, как обычно, особое внимание обращалось на надежность регистрации изменений установившихся плотностей потока тепловых нейтронов в зависимости от загрузки зоны. Поэтому, кроме штатной аппаратуры СУЗ, позволяющей контролировать процесс, начиная с мощности порядка 5 Вт, нами использовалась дополнительная аппаратура. Пусковая аппаратура состояла из счетчиков нейтронов СНМ-11 и камер КНК-56, а также счетчиков гамма-излучения. Датчики нейтронов и гамма-излучения подключались к счетной аппаратуре типа Ш-9 и самописцам. Одновременно была организована дополнительная схема аварийной защиты, как по скорости нарастания процесса, так и по уровню мощности. (рис.6). Таким образом был обеспечен надежный контроль за состоянием активной зоны, начиная с полностью чистой зоны с размещенным в ее бериллиевой ловушке нейтронного источника интенсивностью $0,97 \cdot 10^6$ н/с. Размещение датчиков пусковой аппаратуры и конфигурация активной зоны при достижении критического состояния иллюстрируется на рис.7.

После достижения критической массы активной зоны набор рабочей конфигурации осуществлялся догрузкой бериллиевых блоков бокового отражателя.

Первая рабочая конфигурация активной зоны в начале кампании обеспечивала запас реактивности $\Delta \rho = 8,55 \beta$ эфф. Эффективности стержней регулирования, определенные по методу установившихся периодов и методом взаимного компенсирования, составляли: AP=0,58 β эфф, KC-1=6,43 β эфф, KC-2=4,83 β эфф, KC-3=2,81 β эфф, AZ-1=3,10 β эфф, AZ-2=3,05 β эфф. Подкритичность, достигаемая стержнями управления в начале кампании, была $-6,08 \beta$ эфф ($K=0,95$), а полная подкритичность при остановке реактора $-12,25 \beta$ эфф ($K=0,90$).

3.2. Рабочие конфигурации активной зоны.

С помощью дифференциальной термопары, на рабочий спай которой нанесен уран-235, было исследовано пространственное распределение плотностей потока тепловых нейтронов ($\psi_T(x, y, z)$) по активной зоне первой конфигурации. Градуировка термо ЭДС по ψ_T проводилась активационным методом, используя реакцию $Li^{197}(n, \gamma) Li^{198}$. Измерения $\psi_T(x, y, z)$ осуществлялись в местах стыка ТВС, где имеются вертикальные зазоры эквивалентным диаметром 15 мм. Распределение ψ_T определялись как по высоте активной зоны, так и в ее горизонтальных плоскостях.

Изменения тепловыделения, пропорциональное $\psi_T(x, y, z)$ по высоте ТВС иллюстрированы на рис. 8, а распределение средней по высоте ТВС $\psi_T(x, y, z)$ в горизонтальной плотности активной зоны - рис. 9. Данные измерений показали, что наиболее теплонапряженными ТВС в рабочей конфигурации активной зоны № I являются ячейки 4-2, 5-2, 3-3. Для оценки эффективности охлаждения ТВС нами была создана термометрическая ТВС [4], оснащенная десятью кабельными термоэлектрическими преобразователями (ТЭП). ТЭП изготовлены на основе термопарного кабеля марки КТМС диаметром 1,5 мм с переходом на диаметр 1 мм на участке активной зоны (600 мм). Рабочий конец ТЭП плоский и укладывался на ТВЭЛ в прямоугольный паз размерами 0,4x1,9x40 мм и заваривался ультразвуковой сваркой. Применение термометрической ТВС позволило определить температуры стенок ТВЭЛ при различных уровнях мощности работы реактора, как при работе циркуляционных насосов I контура охлаждения, так и без их работы. Таким образом, можно было оценить максимально возможную мощность реактора, допускающую безопасную эксплуатацию ТВС в условиях естественной циркуляции охлажденной воды. Эта мощность равна 600 кВт, при этом температура стенок ТВЭЛ не превышает 80°C для наиболее энергонан-

ряженной ТВС (см.рис. 10).

При работе циркуляционных насосов I контура обеспечивающих перепад давления на активной зоне равный 1500 мм H₂O, можно добиться того, что максимальная температура стенок ТВЭЛ даже при работе реактора на мощности 5000 кВт не превышает 90°C (см.рис. II), если температура воды в баке реактора не превышает 45°C.

При первой рабочей конфигурации реактор эксплуатировался один год на номинальной мощности 3000 кВт и выработал 3000 МВт час тепловой энергии.

Рабочая конфигурация № 2 была организована таким образом, чтобы в центре ее, вместо бериллиевой ловушки, разместить специальную емпулу для высокотемпературного (до 1000°C) облучения образцов. Поэтому, для обеспечения необходимого запаса реактивности $\Delta\rho = 5,90 \beta_{эфф}$, вместо двух бериллиевых блоков и пяти алюминиевых вытеснителей с воздушной полостью, были установлены ТВС. При этой рабочей конфигурации реактор эксплуатировался в течение года на номинальной мощности 3000 кВт и выработал 4794 МВт. час тепловой энергии.

Для обеспечения дальнейшей эксплуатации реактора на номинальной мощности 3000 кВт была собрана рабочая конфигурация № 3 путем догрузки трех ТВС. При этой конфигурации реактор выработал 6820 МВт. час тепловой энергии в течение одного года.

Следующая рабочая конфигурация была получена путем догрузки еще трех ТВС и общая загрузка активной зоны составила 30 ТВС. При этой загрузке зоны был осуществлен перевод реактора ИРТ на работу при номинальной мощности в 5000 кВт.

Каждый этап работы при разных конфигурациях активной зоны сопровождался исследованием пространственного распределения $\varphi_r(x, y, z)$ и определением максимальных температур стенок ТВЭЛ при номинальной мощности реактора. (рис.9.)

Краткая характеристика номинальных параметров реактора приведена в следующей таблице:

Таблица 2.1.

Параметр	Рабочая конфигурация активной зоны			
	1	2	3	4
Номинальная мощность МВт	3,0	3,0	3,0	5,0
Количество ТВС, шт	16	24	27	30
Количество Вв блоков, шт	20	17	15	14
Начальный запас реактив.	8,55	5,90	7,87	7,64
Максимальная плотность потока тепловых нейтронов, н/см ² .с	$1,70 \cdot 10^{14}$	$5,62 \cdot 10^{13}$	$4,36 \cdot 10^{13}$	$8,13 \cdot 10^{13}$
Средняя плотность потока тепловых нейтронов по зоне, н/см ² .с	$5,19 \cdot 10^{13}$	$2,34 \cdot 10^{13}$	$2,11 \cdot 10^{13}$	$4,07 \cdot 10^{13}$
Перепад давления на зоне, мм Н ₂ O	1500	1200	1250	1000
Расход воды через акт. зону, м ³ /час	680	800	890	860
Максимальная температура воды ТВЭЛ, °С	70	60	60	80
Расход воды в I контуре, м ³ /час	210	225	255	240
Расход воды во II контуре, м ³ /час	420	440	420	700
Выработка на зону МВт.час	3002,76	4793,78	6820,41	4872,00

4. ПЛОТНОСТИ ПОТОКОВ И СПЕКТРЫ НЕЙТРОНОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ КАНАЛАХ РЕАКТОРА.

4.1. Методика определения спектров нейтронов.

Методика определения спектров нейтронов изложена в монографии [13] и производится в три этапа:

1) спектр быстрых нейтронов в интервале энергий нейтронов от эВ до кэВ определяется методом "вычитания вклада $1/v$ -части" по скоростям счета девяти резонансных детекторов, согласно выражению [5]:

$$\varphi(E_{oi}) = \frac{R_i - F_{ii} R^{1/v}}{\Gamma_{ii} \sigma_{oi}} \cdot \frac{F_{4L}}{F_{2i} \cdot F_{3i}}$$

где E_{oi} - энергия основного резонанса i -го детектора;
 R_i и $R^{1/v}$ - скорость счета i -го резонансного детектора и $1/v$ -детектора; Γ_{ii} - радиационная ширина i -го резонансного детектора при энергии E_{oi} ; σ_{oi} - сечение активации i -го детектора при энер-

гии E_{oi} ; $F_{2i} = \frac{\sigma_{Ti}}{\sigma_{T1/V}} F_{2i}$ - коэффициент учитывающий различие между значениями сечений поглощения тепловых нейтронов i -м резонансным и I/V - детектором;

σ_{Ti} и $\sigma_{T1/V}$ - сечения рассматриваемых реакций при энергии нейтронов 0,0253 эВ; F_{2i} - доля захватов с энергией 0,0253 эВ, приводящая к рассматриваемой активности i -го детектора;

$F_{3i} = \frac{1}{\sqrt{1 + 2\Gamma_{xi}/\Gamma_c N_{mi} \sigma_{oi} d_i}}$ - поправочный коэффициент, учитывающий эффект самоэкранирование основного резонанса i -го детектора, где Γ_c - полная ширина резонанса при энергии E_{oi} ; N_{mi} - число ядер в I г изотопа; d_i [г/см²] - толщина детектора по i -му изотопу.

$$F_{4i} = \frac{1}{1 + \sum_j \Gamma_{xi}^{(j)}/\Gamma_c \sigma_{oi}^{(j)}/\sigma_{oi} E_{oi}/E_{oi} F_{2i}^{(j)}/F_{2i} F_{3i}^{(j)}/F_{3i}}$$

- поправочный коэффициент, определяющий относительный вклад основного резонанса в резонансную составляющую скорости реакции i -го детектора для спектра, пропорционального I/E ; здесь j - порядковый номер побочного резонанса, а суммирование производится по всем побочным резонансам.

Основные характеристики резонансных детекторов, необходимые для определения спектра надтепловых нейтронов, приведены в табл. I, за исключением F_2 , который для всех детекторов равен 1, за исключением ^{115}In , у которого $F_2 = 0,777 \pm 0,025$. Следует также отметить, что в случае использования фильтра из кадмия, происходит частичная экранировка основного резонанса ^{186}W при 18,8 эВ, так как ^{113}Cd имеет резонанс при 18,5 эВ. В этом случае следует уменьшить значение σ_o для ^{186}W $\sigma_{ocd} = 0,775 \sigma_o$, если толщина фильтра 1 мм. Коэффициент F_{4i} рассчитан для I/E спектра, используя данные, приведенные в работе [15].

2) Спектр быстрых нейтронов восстанавливается полиномиальным методом [12, 13] по скоростям счета одиннадцати пороговых детекторов. В основе метода лежит предположение, что искомый спектр является деформированным спектром деления (вместо спектра нейтронов деления можно использовать любой другой спектр, если предполагается, что тот меньше отличается от искомого спектра):

$$\varphi(E) = S(E)U(E) \quad (4.2) \quad 13$$

где $S(E) = 0,484e^{-E/5h\sqrt{E}}$ - спектр нейтронов деления ^{235}U ;

$$u(E) = \sum_{n=1}^N b_n E^{n-1} \text{ - функция деформации;}$$

N - число параметров;

$\psi(E)$ - дифференциальная энергетическая плотность нейтронов.

Решение выражения 4.2 ведется методом наименьших квадратов [12, 13].

В табл. 4.2 представлены использованные пороговые детекторы, их периоды полураспада, а также сечения усредненные по спектру нейтронов деления $\bar{\sigma}_i$.

$$\bar{\sigma}_i = \frac{\int_0^{16,5 \text{ МэВ}} S(E) \sigma_i(E) dE}{\int_0^{16,5 \text{ МэВ}} S(E) dE}, \quad (4,3)$$

эффективные сечения $\sigma_{\text{эфф}}$:

$$\sigma_{\text{эфф}} = \frac{\int_0^{16,5 \text{ МэВ}} S(E) \sigma_i(E) dE}{\int_{E_{\text{эфф}}} S(E) dE} \quad (4,4)$$

и эффективные пороговые энергии $E_{\text{эфф}}$.

$\bar{\sigma}$ и $\sigma_{\text{эфф}}$ рассчитаны, используя сечения библиотеки JAEA CRSS [3].

3) Спектр нейтронов в интервале энергий нейтронов 3 кэВ - 1,0 МэВ определяется интерполяцией Гентона [14] по соотношению:

$$\psi(E) = (\Phi_{\text{HT}} / E) e^{b\sqrt{E}} + (\Phi_{E_2} - F\Phi_{\text{HT}}) N(E) \quad (4,5)$$

где $\psi(E)$ - дифференциальная плотность потока нейтронов;

Φ_{HT} - плотность потока надтепловых нейтронов на единичный интервал латаргии;

E_2 - граничная энергия применимости интерполяции Ген-тона (для водяного и графитового отражателя $E_T=1$ МэВ, для бериллиевого отражателя $E_T=0,6$ МэВ);
 $e^{b\sqrt{E}} \frac{\Sigma_s(5\text{МэВ})}{\Sigma_s(E)}$ - зависимость макроскопического сечения рассеяния от энергии нейтронов в отражателе (для водяного отражателя $b=1,6$, для графитового и бериллиевого отражателя $b=0,1$);
 $\int_{E_2}^{16,5\text{МэВ}} \psi(E) dE$ - интегральная плотность нейтронов с энергией больше E_2 ;
 $N(E) = C e^{-E/\sqrt{2E}}$ - спектр нейтронов деления (спектр нормирован $\int_{E_2}^{16,5\text{МэВ}} N(E) dE = 1$).

Коэффициент F рассчитывается из условия сшивки при энергии E_T спектра, вычисляемого по (4,5), с измеренным спектром быстрых нейтронов.

4.2. Результаты измерений.

При конфигурации активной зоны реактора № 1 вышеописанной методикой были измерены спектры в ВЭКах: I, 2, 2^Б, 3, 5, 6, 9, 10, II, 12 и ТК (канал в тепловой колонне реактора), во всех трех центральных экспериментальных каналах, в ГЭК-2 на расстоянии 50 см от торца канала и в трех точках на ГЭК-9 (на расстояниях 10 см, 50 см и 100 см от торца канала). Измеренные спектры в двадцати двух групповом представлении приведены в табл. 4.3. В этой же таблице даны спектральные коэффициенты $g_{0,1}$:

$$g_{0,1} = \frac{\int_{0,1\text{МэВ}}^{16,5\text{МэВ}} \psi(E) dE}{\int_{3,0\text{МэВ}} \psi(E) dE} \quad (4,6)$$

Методика определения погрешностей спектров нейтронов представлена в работах [5, 13, 14].

При конфигурации активной зоны реактора № 2 были измерены спектры нейтронов в ВЭК-7, в двух точках на ГЭК-8 (на расстоянии

100 см и 250 см от торца канала), в новом ЦК-1, а также проведены повторные измерения в ЦК-2 и ЦК-3, в ВЭКах 2^а, 3, 5, 6, 10 (эти ВЭКи расположены напротив стороны активной зоны реактора, в которой в последнем ряду воздушные вытеснители были заменены на кассеты с ураном). Повторные измерения были проведены также в двух точках ГЭК-9 (на расстоянии 50 см и 100 см от торца канала). Спектры нейтронов в 22 групповом представлении, а также спектральные коэффициенты $g_{0,1}$, рассчитанные по измеренным спектрам, приведены в табл. 4.4. В некоторых каналах (табл. 4.3 и 4.4) не приведены плотности потоков тепловых нейтронов, так как эти каналы имеют фильтры из кадмия толщиной 1 мм.

Анализируя результаты измерения спектров нейтронов можно сделать следующие выводы:

- 1) спектры надтепловых нейтронов близки к I/E спектру;
- 2) в каналах, расположенных в водяном отражателе спектральный коэффициент $g_{0,1}$ принимает значения 4,7-5,5;
- 3) загрузка бериллия в активной зоне реактора вызвала смягчение спектров быстрых нейтронов, о чем свидетельствуют спектральные коэффициенты $g_{0,1}$ (в каналах расположенных в бериллиевом отражателе $g_{0,1}$ принимает значения 7-8);
- 4) в центральных экспериментальных каналах $g_{0,1} \sim 6$;
- 5) в канале, расположенном в тепловой колонне реактора, спектр значительно мягче ($g_{0,1} = 13,1$, а кадмиевое отношение $R_{cd} = 19$);
- 6) спектр нейтронов в каналах меняется во времени (в ВЭК-10 в течение одной кампании $g_{0,1}$ изменился от 7,8 до 5,6, а в ВЭК-2^а от 5,9 до 5,2).

5. РАЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Исследовательские реакторы бассейнового типа отличаются простой конструкцией, удобством для ведения экспериментов, надежностью в эксплуатации и, особенно, безопасностью. Реактор ИРТ за время 15-ти летней эксплуатации показал себя надежным аппаратом, имеющим большой запас биологической защиты. Проведенная реконструкция системы охлаждения и применение новых ТВС позволило повысить мощность до 5000 кВт, сохраняя первичную биологическую защиту реактора. При этом мощность гамма-нейтронного излучения на уровне первого этажа в физическом зале у экспериментальных установок не превышает $2,8 \frac{\text{мЗв}}{\text{час}}$.

При реконструкции реактора не усиливалась также первоначальная защита в вертикальном направлении - уровень воды бассейна оставлен прежним. Интенсивность гамма-излучения на верхней площадке в местах временного пребывания персонала при мощности 5 МВт - 10 мр/час. Наибольшая интенсивность гамма-излучения на верхней площадке в ее центре составляет 50-60 мр/час. Указанные интенсивности гамма-излучения позволяют работать на верхней площадке до двух часов в течение рабочего дня. Из-за отсутствия тяжелой съемной защиты ВЭКов, операторы, на верхней площадке, успевают выполнять перегрузочные операции и подвергаются минимальному облучению.

При реконструкции оставлена без изменений система спевентилиации и 24-метровая выбросная труба. Воздух, выбрасываемый спевентилиацией, имеет следующие концентрации радионуклидов: - суммарная радиоактивность долгоживущих аэрозолей 10^{-13} к/л; - удельная радиоактивность долгоживущих аэрозолей не превышает 10^{-16} к/л; - удельная активность радиоактивных газов - 10^{-7} к/л, основную долю которых (99%) составляет аргон-41; - долгоживущие аэрозоля, выбрасываемые в атмосферу, составляют $-5 \cdot 10^{-10}$ к/час.

Долголетнее изучение уровней радиоактивности почвы, осадков, воды растений и воздуха в районе расположения реактора, убедительно показывают, что работа реактора не влияет на окружающую среду.

Таблица 4.1. Характеристики резонансов детекторов: энергии основного резонанса - E_0 , ре-
 дупликации - Γ_μ и полная ширина - Γ основных резонансов, сечение активации - σ_0
 при энергии E_0 , сечение тепловых нейтронов σ_T , период полураспада $T_{1/2}$ и
 поправочные коэффициенты F_1 и F_4 .

№ п. п.	Дет.	E_0 (эВ)	Γ_μ (мэВ)	Γ (мэВ)	σ_0 (б)	σ_T (б)	$T_{1/2}$	F_1	F_4
1.	^{31}P			$1\frac{1}{2}$ - детектор		$0,180 \pm 0,007$	$14,3$ д	-	-
2.	^{115}In	$1,457 \pm 0,006$	72 ± 2	75 ± 2	38790 ± 1313	202 ± 2	$54,03$ мин	$872,0$	$0,9647$
3.	^{117}In	$4,906 \pm 0,010$	124 ± 3	135 ± 3	38280 ± 970	$98,8 \pm 0,3$	$2,696$ д	$548,9$	$0,9527$
4.	^{152}Sm	$8,047 \pm 0,007$	68 ± 7	196 ± 5	214700 ± 9900	206 ± 6	$46,8$ ч	1144	$0,9803$
5.	^{196}Pt	$18,84 \pm 0,02$	50 ± 5	337 ± 7	117800 ± 3200	$37,8 \pm 1,5$	$24,0$ ч	$210,0$	$0,9797$
6.	^{139}La	$72,17 \pm 0,03$	60 ± 4	96 ± 4	5920 ± 340	$9,0 \pm 0,3$	$40,26$ ч	$50,0$	$0,9650$
7.	^{55}Mn	337 ± 1	500 ± 100	22900 ± 100	3150 ± 140	$13,3 \pm 0,2$	$2,58$ ч	$73,89$	$0,8569$
8.	^{98}Mo	$467,4 \pm 0,3$	110 ± 10	710 ± 61	4710 ± 620	$0,130 \pm 0,006$	$66,2$ ч	$0,7222$	$0,2826$
9.	^{23}Na	2850 ± 15	380 ± 40	$(411 \pm 13) 10^3$	340 ± 20	$0,530 \pm 0,005$	$15,0$ ч	$2,944$	$0,9547$

Таблица 4.2. Пороговые детекторы, их периоды полураспада $T_{1/2}$, усредненные сечения по спектру нейтронов деления $\bar{\sigma}$, эффективные пороговые энергии $E_{эфф}$ и эффективные сечения $\bar{\sigma}_{эфф}$.

№ п.п.	Детектор	$T_{1/2}$	$\bar{\sigma}$ (мб)	$E_{эфф}$	$\bar{\sigma}_{эфф}$
I.					
1.	^{237}Np (п.п.)	-	1316 ± 130	0,6	1555 ± 154
2.	^{103}Rh (п.п.) / ^{105m}Rh	56,116 мин	708 ± 60	0,8	923 ± 78
3.	^{115}In (п.п.) / ^{115m}In	4,50 ч	182 ± 10	1,15	277 ± 15
4.	^{64}Zn (п.п.) / ^{64}Zn	12,7 ч	$35,5 \pm 4,0$	2,6	134 ± 15
5.	^{58}Ni (п.п.) / ^{58}Ni	71,23 д	106 ± 6	2,6	407 ± 23
6.	^{32}S (п.п.) / ^{32}S	14,3 д	$64,9 \pm 9,8$	3,0	236 ± 36
7.	^{54}Fe (п.п.) / ^{54}Fe	312,6 д	$75,5 \pm 3,7$	3,0	367 ± 42
8.	^{56}Fe (п.п.) / ^{56}Fe	2,58 ч	$1,08 \pm 0,09$	6,6	$94,1 \pm 5,4$
9.	^{24}Mg (п.п.) / ^{24}Mg	15,0 ч	$1,50 \pm 0,10$	7,15	139 ± 9
10.	^{27}Al (п.п.) / ^{27}Al	15,0 ч	$0,675 \pm 0,030$	7,45	$79,0 \pm 3,5$
II.					
11.	^{19}F (п.п.) / ^{19}F	109,8 мин	$(6,63 \pm 1,33) \cdot 10^{-3}$	12,8	$84,8 \pm 17,0$

Таблица 4.3. Измеренные интегральные плотности потоков нейтронов в экспериментальных каналах реактора при мощности реактора 3 МВт (активная зона № I), а также спектральные коэффициенты *g_{0,1}*.

Энергет. группа	Энергет. инт.	ВЭК-1	ВЭК-2	ВЭК-2 ^а	ВЭК-3	ВЭК-5
1.	10,5-16,5 МэВ	$(1,4 \pm 0,3) \cdot 10^8$	$(7,8 \pm 1,4) \cdot 10^8$	$(4,7 \pm 0,8) \cdot 10^6$	$(7,1 \pm 1,1) \cdot 10^8$	$(1,7 \pm 0,5) \cdot 10^9$
2.	6,5-10,5 "	$(2,1 \pm 0,4) \cdot 10^9$	$(1,3 \pm 0,2) \cdot 10^{10}$	$(6,1 \pm 0,9) \cdot 10^7$	$(1,5 \pm 0,2) \cdot 10^{10}$	$(4,3 \pm 0,6) \cdot 10^{10}$
3.	4,0-6,5 "	$(9,2 \pm 1,5) \cdot 10^9$	$(5,2 \pm 0,8) \cdot 10^{10}$	$(2,0 \pm 0,3) \cdot 10^8$	$(7,7 \pm 0,7) \cdot 10^{10}$	$(2,2 \pm 0,4) \cdot 10^{11}$
4.	2,5-4,0 "	$(1,6 \pm 0,2) \cdot 10^{10}$	$(1,1 \pm 0,1) \cdot 10^{11}$	$(2,9 \pm 0,4) \cdot 10^8$	$(1,5 \pm 0,1) \cdot 10^{11}$	$(4,1 \pm 0,5) \cdot 10^{11}$
5.	1,4-2,5 "	$(2,5 \pm 0,5) \cdot 10^{10}$	$(2,2 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$	$(4,4 \pm 0,6) \cdot 10^8$	$(2,0 \pm 0,4) \cdot 10^{11}$	$(4,9 \pm 1,0) \cdot 10^{11}$
6.	0,8-1,4 "	$(2,5 \pm 0,5) \cdot 10^{10}$	$(2,1 \pm 0,6) \cdot 10^{11}$	$(4,1 \pm 1,1) \cdot 10^8$	$(1,4 \pm 0,5) \cdot 10^{11}$	$(3,2 \pm 1,0) \cdot 10^{11}$
7.	0,4-0,8 "	$(2,3 \pm 0,6) \cdot 10^{10}$	$(1,8 \pm 0,6) \cdot 10^{11}$	$(3,7 \pm 1,2) \cdot 10^8$	$(1,3 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$	$(3,1 \pm 1,4) \cdot 10^{11}$
8.	0,2-0,4 "	$(1,6 \pm 0,4) \cdot 10^{10}$	$(1,4 \pm 0,5) \cdot 10^{11}$	$(3,1 \pm 0,7) \cdot 10^8$	$(1,1 \pm 0,2) \cdot 10^{11}$	$(3,1 \pm 0,7) \cdot 10^{11}$
9.	0,1-0,2 "	$(1,1 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(8,0 \pm 1,3) \cdot 10^{10}$	$(1,9 \pm 0,5) \cdot 10^8$	$(8,8 \pm 2,0) \cdot 10^{10}$	$(2,8 \pm 0,5) \cdot 10^{11}$
10.	50-100 кэВ	$(1,1 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(9,2 \pm 1,5) \cdot 10^{10}$	$(2,3 \pm 0,6) \cdot 10^8$	$(8,1 \pm 2,0) \cdot 10^{10}$	$(2,6 \pm 0,7) \cdot 10^{11}$
11.	25-50 "	$(1,1 \pm 0,2) \cdot 10^{10}$	$(7,7 \pm 1,2) \cdot 10^{10}$	$(2,0 \pm 0,5) \cdot 10^8$	$(6,9 \pm 1,7) \cdot 10^{10}$	$(2,3 \pm 0,5) \cdot 10^{11}$
12.	10-25 "	$(1,4 \pm 0,2) \cdot 10^{10}$	$(8,2 \pm 1,4) \cdot 10^{10}$	$(2,4 \pm 0,6) \cdot 10^8$	$(8,3 \pm 2,2) \cdot 10^{10}$	$(2,8 \pm 0,5) \cdot 10^{11}$
13.	1,82-10 "	$(2,6 \pm 0,4) \cdot 10^{10}$	$(1,7 \pm 0,2) \cdot 10^{11}$	$(4,2 \pm 0,9) \cdot 10^8$	$(1,5 \pm 0,4) \cdot 10^{11}$	$(4,9 \pm 0,9) \cdot 10^{11}$
14.	0,407-1,82 "	$(2,2 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(1,4 \pm 0,2) \cdot 10^{11}$	$(3,6 \pm 0,7) \cdot 10^8$	$(1,2 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$	$(4,2 \pm 0,7) \cdot 10^{11}$
15.	150-407 эВ	$(1,5 \pm 0,2) \cdot 10^{10}$	$(9,1 \pm 1,4) \cdot 10^{10}$	$(2,4 \pm 0,4) \cdot 10^8$	$(8,3 \pm 2,1) \cdot 10^{10}$	$(2,8 \pm 0,4) \cdot 10^{11}$
16.	55,1-150 "	$(1,5 \pm 0,2) \cdot 10^{10}$	$(9,1 \pm 1,4) \cdot 10^{10}$	$(2,4 \pm 0,4) \cdot 10^8$	$(8,3 \pm 2,1) \cdot 10^{10}$	$(2,8 \pm 0,4) \cdot 10^{11}$
17.	20,3-55,1 "	$(1,5 \pm 0,2) \cdot 10^{10}$	$(9,1 \pm 1,4) \cdot 10^{10}$	$(2,4 \pm 0,4) \cdot 10^8$	$(8,3 \pm 2,1) \cdot 10^{10}$	$(2,8 \pm 0,4) \cdot 10^{11}$
18.	7,45-20,3 "	$(1,5 \pm 0,2) \cdot 10^{10}$	$(9,1 \pm 1,4) \cdot 10^{10}$	$(2,4 \pm 0,4) \cdot 10^8$	$(8,3 \pm 2,1) \cdot 10^{10}$	$(2,8 \pm 0,4) \cdot 10^{11}$
19.	2,74-7,45 "	$(1,5 \pm 0,2) \cdot 10^{10}$	$(9,1 \pm 1,4) \cdot 10^{10}$	$(2,4 \pm 0,4) \cdot 10^8$	$(8,3 \pm 2,1) \cdot 10^{10}$	$(2,8 \pm 0,4) \cdot 10^{11}$
20.	1,01-2,74 "	$(1,5 \pm 0,2) \cdot 10^{10}$	$(9,1 \pm 1,4) \cdot 10^{10}$	$(2,4 \pm 0,4) \cdot 10^8$	$(8,3 \pm 2,1) \cdot 10^{10}$	$(2,8 \pm 0,4) \cdot 10^{11}$
21.	0,67-1,01 "	$(6,2 \pm 0,8) \cdot 10^9$	$(3,7 \pm 0,6) \cdot 10^{10}$	$(9,9 \pm 1,6) \cdot 10^7$	$(3,4 \pm 0,9) \cdot 10^{10}$	$(1,1 \pm 0,2) \cdot 10^{11}$
22.	0,0253 "	$(7,0 \pm 0,6) \cdot 10^{11}$	$(5,4 \pm 0,4) \cdot 10^{12}$	-	-	$(1,0 \pm 0,1) \cdot 10^{13}$
	<i>g_{0,1}</i>	$7,7 \pm 1,4$	$8,2 \pm 1,5$	$5,3 \pm 1,0$	$5,1 \pm 1,0$	$4,7 \pm 1,0$

Таблица 4.3. (Продолжение)

Энергет. группа	Энергет. мнт.		ВЭК-6	ВЭК-9	ВЭК-10	ВЭК-11	ВЭК-12
I.	10,5-16,5	МэВ	$(3,0 \pm 0,8) \cdot 10^9$	$(2,1 \pm 0,3) \cdot 10^8$	$(2,1 \pm 0,3) \cdot 10^8$	$(6,4 \pm 1,6) \cdot 10^8$	$(1,5 \pm 0,3) \cdot 10^8$
2.	6,5-10,5	"	$(6,7 \pm 1,0) \cdot 10^{10}$	$(3,6 \pm 0,5) \cdot 10^9$	$(3,2 \pm 0,4) \cdot 10^9$	$(1,2 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(2,6 \pm 0,5) \cdot 10^9$
3.	4,0-6,5	"	$(3,0 \pm 0,5) \cdot 10^{11}$	$(1,6 \pm 0,2) \cdot 10^{10}$	$(1,5 \pm 0,2) \cdot 10^{10}$	$(5,8 \pm 0,9) \cdot 10^{10}$	$(1,3 \pm 0,2) \cdot 10^{10}$
4.	2,5-4,0	"	$(5,6 \pm 0,8) \cdot 10^{11}$	$(2,6 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(2,8 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(1,1 \pm 0,2) \cdot 10^{11}$	$(2,5 \pm 0,4) \cdot 10^{10}$
5.	1,4-2,5	"	$(7,6 \pm 1,6) \cdot 10^{11}$	$(3,5 \pm 0,6) \cdot 10^{10}$	$(4,1 \pm 0,7) \cdot 10^{10}$	$(2,2 \pm 0,4) \cdot 10^{11}$	$(4,3 \pm 0,8) \cdot 10^{10}$
6.	0,8-1,4	"	$(5,8 \pm 2,7) \cdot 10^{11}$	$(2,8 \pm 0,7) \cdot 10^{10}$	$(3,4 \pm 1,3) \cdot 10^{10}$	$(1,6 \pm 0,5) \cdot 10^{11}$	$(4,2 \pm 1,0) \cdot 10^{10}$
7.	0,4-0,8	"	$(5,3 \pm 1,8) \cdot 10^{11}$	$(2,8 \pm 0,8) \cdot 10^{10}$	$(3,0 \pm 1,3) \cdot 10^{10}$	$(1,7 \pm 0,4) \cdot 10^{11}$	$(3,8 \pm 1,2) \cdot 10^{10}$
8.	0,2-0,4	"	$(4,6 \pm 0,8) \cdot 10^{11}$	$(2,2 \pm 0,7) \cdot 10^{10}$	$(2,1 \pm 0,8) \cdot 10^{10}$	$(1,4 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$	$(2,8 \pm 0,7) \cdot 10^{10}$
9.	0,1-0,2	"	$(4,0 \pm 0,7) \cdot 10^{11}$	$(1,4 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(1,2 \pm 0,4) \cdot 10^{10}$	$(1,2 \pm 0,2) \cdot 10^{11}$	$(2,2 \pm 0,5) \cdot 10^{10}$
10.	50-100	кэВ	$(3,7 \pm 0,6) \cdot 10^{11}$	$(1,6 \pm 0,4) \cdot 10^{10}$	$(1,5 \pm 0,4) \cdot 10^{10}$	$(1,2 \pm 0,2) \cdot 10^{11}$	$(2,2 \pm 0,5) \cdot 10^{10}$
11.	25-50	"	$(3,2 \pm 0,5) \cdot 10^{11}$	$(1,4 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(1,5 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(1,2 \pm 0,2) \cdot 10^{11}$	$(2,1 \pm 0,4) \cdot 10^{10}$
12.	10-25	"	$(3,8 \pm 0,6) \cdot 10^{11}$	$(1,7 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(1,9 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(1,8 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$	$(2,7 \pm 0,5) \cdot 10^{10}$
13.	1,82-10	"	$(6,6 \pm 1,1) \cdot 10^{11}$	$(3,0 \pm 0,5) \cdot 10^{10}$	$(3,4 \pm 0,5) \cdot 10^{10}$	$(3,9 \pm 0,5) \cdot 10^{11}$	$(5,0 \pm 0,9) \cdot 10^{10}$
14.	0,407-1,82	"	$(5,7 \pm 0,9) \cdot 10^{11}$	$(2,5 \pm 0,4) \cdot 10^{10}$	$(3,0 \pm 0,4) \cdot 10^{10}$	$(2,5 \pm 0,4) \cdot 10^{11}$	$(4,0 \pm 0,8) \cdot 10^{10}$
15.	150-407	эВ	$(3,8 \pm 0,6) \cdot 10^{11}$	$(1,7 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(2,0 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(1,7 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$	$(2,9 \pm 0,5) \cdot 10^{10}$
16.	55,1-150	"	$(3,8 \pm 0,6) \cdot 10^{11}$	$(1,7 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(2,0 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(1,7 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$	$(2,9 \pm 0,8) \cdot 10^{10}$
17.	20,3-55,1	"	$(3,8 \pm 0,6) \cdot 10^{11}$	$(1,7 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(2,0 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(1,7 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$	$(2,9 \pm 0,5) \cdot 10^{10}$
18.	7,45-20,3	"	$(3,8 \pm 0,6) \cdot 10^{11}$	$(1,7 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(2,0 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(1,7 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$	$(2,9 \pm 0,5) \cdot 10^{10}$
19.	2,74-7,45	"	$(3,8 \pm 0,6) \cdot 10^{11}$	$(1,7 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(2,0 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(1,7 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$	$(2,9 \pm 0,5) \cdot 10^{10}$
20.	1,01-2,74	"	$(3,8 \pm 0,6) \cdot 10^{11}$	$(1,7 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(2,0 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(1,7 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$	$(2,9 \pm 0,5) \cdot 10^{10}$
21.	0,67-1,01	"	$(1,6 \pm 0,2) \cdot 10^{11}$	$(7,0 \pm 1,2) \cdot 10^9$	$(8,2 \pm 1,2) \cdot 10^9$	$(7,0 \pm 1,2) \cdot 10^{10}$	$(1,2 \pm 0,2) \cdot 10^{10}$
22.	0,0253	"	$(2,8 \pm 0,2) \cdot 10^{13}$	$(1,5 \pm 0,1) \cdot 10^{12}$	$(2,6 \pm 0,2) \cdot 10^{12}$	$(1,8 \pm 0,1) \cdot 10^{13}$	$(1,9 \pm 0,1) \cdot 10^{12}$
	90,1		5,3 ± 1,2	5,3 ± 1,1	7,8 ± 1,5	8,2 ± 1,6	8,3 ± 1,5

Таблица 4.3. (Продолжение)

Энергет. группа	Энергет. инт.	TK	ЦК-1	ЦК-2	ЦК-3
I.	10,5-16,5 МэВ	(1,7±0,5).10 ⁹	(1,9±0,4).10 ¹⁰	(2,6±0,2).10 ¹⁰	(8,9±1,2).10 ⁹
2.	6,5-10,5 "	(3,9±0,9).10 ⁶	(4,6±0,6).10 ¹¹	(6,8±0,5).10 ¹¹	(2,1±0,3).10 ¹¹
3.	4,0-6,5 "	(2,0±0,3).10 ⁷	(2,6±0,2).10 ¹²	(3,7±0,2).10 ¹²	(1,3±0,1).10 ¹²
4.	2,5-4,0 "	(3,9±0,7).10 ⁷	(5,4±0,5).10 ¹²	(7,3±0,4).10 ¹²	(2,9±0,2).10 ¹²
5.	1,4-2,5 "	(6,9±1,0).10 ⁷	(9,0±1,3).10 ¹²	(1,0±0,1).10 ¹³	(4,7±0,7).10 ¹²
6.	0,8-1,4 "	(7,6±1,4).10 ⁷	(8,1±2,2).10 ¹²	(7,3±2,1).10 ¹²	(4,1±1,2).10 ¹²
7.	0,4-0,8 "	(1,2±0,2).10 ⁸	(7,2±2,3).10 ¹²	(6,2±2,3).10 ¹²	(3,6±1,3).10 ¹²
8.	0,2-0,4 "	(1,2±0,3).10 ⁸	(5,2±1,3).10 ¹²	(4,9±1,0).10 ¹²	(2,5±0,7).10 ¹²
9.	0,1-0,2 "	(2,0±0,3).10 ⁸	(3,1±0,9).10 ¹²	(3,9±0,6).10 ¹²	(1,8±0,3).10 ¹²
10.	50-100 кэВ	(1,7±0,3).10 ⁸	(3,8±0,9).10 ¹²	(3,6±0,8).10 ¹²	(1,8±0,4).10 ¹²
11.	25-50 "	(1,7±0,3).10 ⁸	(3,6±0,9).10 ¹²	(3,1±0,7).10 ¹²	(1,7±0,4).10 ¹²
12.	10-25 "	(2,2±0,5).10 ⁸	(4,7±1,1).10 ¹²	(3,8±0,8).10 ¹²	(2,1±0,6).10 ¹²
13.	1,82-10 "	(4,1±0,9).10 ⁸	(8,6±2,1).10 ¹²	(6,3±1,4).10 ¹²	(3,9±0,9).10 ¹²
14.	0,407-1,82 "	(3,6±0,7).10 ⁸	(7,5±1,6).10 ¹²	(5,4±1,0).10 ¹²	(3,4±0,7).10 ¹²
15.	150-407 эВ	(2,4±0,5).10 ⁸	(5,0±0,9).10 ¹²	(3,6±0,6).10 ¹²	(2,3±0,4).10 ¹²
16.	55,1-150 "	(2,4±0,5).10 ⁸	(5,0±0,9).10 ¹²	(3,6±0,6).10 ¹²	(2,3±0,4).10 ¹²
17.	20,3-55,1 "	(2,4±0,5).10 ⁸	(5,0±0,9).10 ¹²	(3,6±0,6).10 ¹²	(2,3±0,4).10 ¹²
18.	7,45-20,3 "	(2,4±0,5).10 ⁸	(5,0±0,9).10 ¹²	(3,6±0,6).10 ¹²	(2,3±0,4).10 ¹²
19.	2,74-7,45 "	(2,4±0,5).10 ⁸	(5,0±0,9).10 ¹²	(3,6±0,6).10 ¹²	(2,3±0,4).10 ¹²
20.	1,01-2,74 "	(2,4±0,5).10 ⁸	(5,0±0,9).10 ¹²	(3,6±0,6).10 ¹²	(2,3±0,4).10 ¹²
21.	0,67-1,01 "	(8,9±2,1).10 ⁷	(2,1±0,4).10 ¹²	(1,5±0,2).10 ¹²	(9,4±1,6).10 ¹¹
22.	0,253 "	(7,7±0,5).10 ¹⁰	(1,2±0,1).10 ¹⁴	(4,5±0,3).10 ¹³	(2,5±0,2).10 ¹³
	90,1	13,1±2,4	7,5±1,4	5,2±0,9	7,2±1,3

Таблица 4.3. (Продолжение)

Энергет. группа	Энергет. инт.	ГЭК-2(50)	ГЭК-9(10)	ГЭК-9(50)	ГЭК-9(100)
1.	10,5-16,5 МэВ	$(2,0 \pm 0,3) \cdot 10^7$	$(1,3 \pm 0,5) \cdot 10^9$	$(1,0 \pm 0,2) \cdot 10^8$	$(2,0 \pm 0,3) \cdot 10^7$
2.	6,5-10,5 "	$(3,4 \pm 0,4) \cdot 10^8$	$(1,9 \pm 0,5) \cdot 10^{10}$	$(2,2 \pm 0,3) \cdot 10^9$	$(3,8 \pm 0,5) \cdot 10^8$
3.	4,0-6,5 "	$(1,6 \pm 0,2) \cdot 10^9$	$(1,6 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$	$(1,0 \pm 0,1) \cdot 10^{10}$	$(2,1 \pm 0,2) \cdot 10^9$
4.	2,5-4,0 "	$(3,0 \pm 0,3) \cdot 10^9$	$(4,9 \pm 0,8) \cdot 10^{11}$	$(2,2 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(4,0 \pm 0,3) \cdot 10^9$
5.	1,4-2,5 "	$(4,5 \pm 0,7) \cdot 10^9$	$(8,2 \pm 2,0) \cdot 10^{11}$	$(3,0 \pm 0,7) \cdot 10^{10}$	$(5,9 \pm 0,8) \cdot 10^9$
6.	0,8-1,4 "	$(4,0 \pm 1,1) \cdot 10^9$	$(6,2 \pm 2,6) \cdot 10^{11}$	$(2,4 \pm 0,5) \cdot 10^{10}$	$(4,7 \pm 1,0) \cdot 10^9$
7.	0,4-0,8 "	$(4,2 \pm 1,2) \cdot 10^9$	$(5,4 \pm 1,6) \cdot 10^{11}$	$(1,7 \pm 0,4) \cdot 10^{10}$	$(3,8 \pm 1,1) \cdot 10^9$
8.	0,2-0,4 "	$(4,3 \pm 1,0) \cdot 10^9$	$(4,6 \pm 0,8) \cdot 10^{11}$	$(1,3 \pm 0,2) \cdot 10^{10}$	$(2,6 \pm 0,6) \cdot 10^9$
9.	0,1-0,2 "	$(4,1 \pm 1,0) \cdot 10^9$	$(3,8 \pm 0,6) \cdot 10^{11}$	$(6,9 \pm 1,6) \cdot 10^9$	$(1,7 \pm 0,4) \cdot 10^9$
10.	50-100 кэВ	$(3,7 \pm 0,9) \cdot 10^9$	$(3,5 \pm 0,5) \cdot 10^{11}$	$(9,4 \pm 1,6) \cdot 10^9$	$(1,6 \pm 0,4) \cdot 10^9$
11.	25-50 "	$(3,3 \pm 0,8) \cdot 10^9$	$(3,0 \pm 0,4) \cdot 10^{11}$	$(8,0 \pm 1,4) \cdot 10^9$	$(1,3 \pm 0,3) \cdot 10^9$
12.	10-25 "	$(4,0 \pm 1,0) \cdot 10^9$	$(3,5 \pm 0,5) \cdot 10^{11}$	$(9,5 \pm 1,7) \cdot 10^9$	$(1,5 \pm 0,3) \cdot 10^9$
13.	1,32-10 "	$(7,0 \pm 1,7) \cdot 10^9$	$(6,3 \pm 0,9) \cdot 10^{11}$	$(1,7 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(2,6 \pm 0,5) \cdot 10^9$
14.	0,407-1,82 "	$(6,0 \pm 1,3) \cdot 10^9$	$(5,4 \pm 0,7) \cdot 10^{11}$	$(1,4 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$	$(2,2 \pm 0,4) \cdot 10^9$
15.	150-407 эВ	$(4,0 \pm 0,7) \cdot 10^9$	$(3,6 \pm 0,5) \cdot 10^{11}$	$(9,5 \pm 1,7) \cdot 10^9$	$(1,5 \pm 0,3) \cdot 10^9$
16.	55,1-150 "	$(4,0 \pm 0,7) \cdot 10^9$	$(3,6 \pm 0,5) \cdot 10^{11}$	$(9,5 \pm 1,7) \cdot 10^9$	$(1,5 \pm 0,3) \cdot 10^9$
17.	20,3-55,1 "	$(4,0 \pm 0,7) \cdot 10^9$	$(3,6 \pm 0,5) \cdot 10^{11}$	$(9,5 \pm 1,7) \cdot 10^9$	$(1,5 \pm 0,3) \cdot 10^9$
18.	7,45-20,3 "	$(4,0 \pm 0,7) \cdot 10^9$	$(3,6 \pm 0,5) \cdot 10^{11}$	$(9,5 \pm 1,7) \cdot 10^9$	$(1,5 \pm 0,3) \cdot 10^9$
19.	2,74-7,45 "	$(4,0 \pm 0,7) \cdot 10^9$	$(3,6 \pm 0,5) \cdot 10^{11}$	$(9,5 \pm 1,7) \cdot 10^9$	$(1,5 \pm 0,3) \cdot 10^9$
20.	1,01-2,74 "	$(4,0 \pm 0,7) \cdot 10^9$	$(3,6 \pm 0,5) \cdot 10^{11}$	$(9,5 \pm 1,7) \cdot 10^9$	$(1,5 \pm 0,3) \cdot 10^9$
21.	0,67-1,01 "	$(1,6 \pm 0,3) \cdot 10^9$	$(1,5 \pm 0,2) \cdot 10^{11}$	$(3,9 \pm 0,7) \cdot 10^9$	$(6,2 \pm 1,2) \cdot 10^8$
22.	0,253 эВ	$(8,1 \pm 0,6) \cdot 10^{10}$	$(5,8 \pm 0,4) \cdot 10^{12}$	$(2,4 \pm 0,2) \cdot 10^{11}$	$(4,6 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$
	90,1	$7,8 \pm 1,5$	$6,9 \pm 1,2$	$4,7 \pm 0,9$	$5,5 \pm 0,8$

Таблица 4.4. Измеренные интегральные плотности потоков нейтронов в экспериментальных каналах реактора при мощности реактора 3 МВт (активная зона № 2), а также спектральные коэффициенты *g_{0,1}*.

Энергет. группа	Энергет. инт.	ВЭК-2 ^a	ВЭК-3	ВЭК-5	ВЭК-6	ВЭК-7
1.	10,5-18,5 МэВ	$(7,5 \pm 1,3) \cdot 10^9$	$(1,4 \pm 0,2) \cdot 10^9$	$(3,4 \pm 0,6) \cdot 10^9$	$(6,9 \pm 1,0) \cdot 10^9$	$(2,1 \pm 0,3) \cdot 10^9$
2.	6,5-10,5 "	$(8,1 \pm 1,1) \cdot 10^7$	$(2,6 \pm 0,2) \cdot 10^{10}$	$(7,0 \pm 1,0) \cdot 10^{10}$	$(1,6 \pm 0,2) \cdot 10^{11}$	$(2,9 \pm 0,3) \cdot 10^{10}$
3.	4,0-6,5 "	$(4,9 \pm 0,4) \cdot 10^8$	$(1,3 \pm 0,1) \cdot 10^{11}$	$(3,7 \pm 0,4) \cdot 10^{11}$	$(9,1 \pm 0,7) \cdot 10^{11}$	$(1,6 \pm 0,1) \cdot 10^{11}$
4.	2,5-4,0 "	$(4,7 \pm 0,6) \cdot 10^8$	$(2,3 \pm 3,0) \cdot 10^{11}$	$(6,1 \pm 1,2) \cdot 10^{11}$	$(1,6 \pm 0,2) \cdot 10^{12}$	$(1,6 \pm 0,2) \cdot 10^{11}$
5.	1,4-2,5 "	$(6,7 \pm 1,4) \cdot 10^8$	$(3,3 \pm 0,4) \cdot 10^{11}$	$(9,4 \pm 1,6) \cdot 10^{11}$	$(2,9 \pm 0,3) \cdot 10^{12}$	$(4,0 \pm 0,5) \cdot 10^{11}$
6.	0,8-1,4 "	$(5,3 \pm 2,0) \cdot 10^8$	$(3,0 \pm 0,7) \cdot 10^{11}$	$(1,0 \pm 0,3) \cdot 10^{12}$	$(3,2 \pm 0,5) \cdot 10^{12}$	$(3,2 \pm 0,7) \cdot 10^{11}$
7.	0,4-0,8 "	$(4,6 \pm 2,1) \cdot 10^8$	$(2,6 \pm 0,9) \cdot 10^{11}$	$(8,6 \pm 3,3) \cdot 10^{11}$	$(2,8 \pm 0,4) \cdot 10^{12}$	$(2,7 \pm 0,8) \cdot 10^{11}$
8.	0,2-0,4 "	$(3,7 \pm 1,1) \cdot 10^8$	$(1,9 \pm 0,5) \cdot 10^{11}$	$(5,9 \pm 1,7) \cdot 10^{11}$	$(1,8 \pm 0,3) \cdot 10^{12}$	$(2,0 \pm 0,5) \cdot 10^{11}$
9.	0,1-0,2 "	$(3,0 \pm 0,6) \cdot 10^8$	$(1,4 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$	$(4,8 \pm 0,9) \cdot 10^{11}$	$(1,2 \pm 0,3) \cdot 10^{12}$	$(1,4 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$
10.	80-100 кэВ	$(2,8 \pm 0,6) \cdot 10^8$	$(1,7 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$	$(3,7 \pm 0,8) \cdot 10^{11}$	$(1,0 \pm 0,2) \cdot 10^{12}$	$(1,3 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$
11.	25-80 "	$(2,3 \pm 0,5) \cdot 10^8$	$(1,1 \pm 0,2) \cdot 10^{11}$	$(3,0 \pm 0,7) \cdot 10^{11}$	$(8,5 \pm 1,2) \cdot 10^{11}$	$(1,1 \pm 0,2) \cdot 10^{11}$
12.	10-25 "	$(2,7 \pm 0,6) \cdot 10^8$	$(1,3 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$	$(3,6 \pm 0,8) \cdot 10^{11}$	$(1,0 \pm 0,2) \cdot 10^{12}$	$(1,3 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$
13.	1,82-10 "	$(4,9 \pm 1,0) \cdot 10^8$	$(2,3 \pm 0,5) \cdot 10^{11}$	$(6,2 \pm 1,4) \cdot 10^{11}$	$(1,7 \pm 0,3) \cdot 10^{12}$	$(2,2 \pm 0,5) \cdot 10^{11}$
14.	0,407-1,82 "	$(4,2 \pm 0,9) \cdot 10^8$	$(1,9 \pm 0,4) \cdot 10^{11}$	$(5,2 \pm 1,2) \cdot 10^{11}$	$(1,5 \pm 0,2) \cdot 10^{12}$	$(1,9 \pm 0,4) \cdot 10^{11}$
15.	100-407 эВ	$(2,8 \pm 0,6) \cdot 10^8$	$(1,3 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$	$(3,5 \pm 0,8) \cdot 10^{11}$	$(9,7 \pm 1,3) \cdot 10^{11}$	$(1,3 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$
16.	55,1-150 "	$(2,8 \pm 0,6) \cdot 10^8$	$(1,3 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$	$(3,5 \pm 0,8) \cdot 10^{11}$	$(9,7 \pm 1,3) \cdot 10^{11}$	$(1,3 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$
17.	20,3-55,1 "	$(2,8 \pm 0,6) \cdot 10^8$	$(1,3 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$	$(3,5 \pm 0,8) \cdot 10^{11}$	$(9,7 \pm 1,3) \cdot 10^{11}$	$(1,3 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$
18.	7,45-20,3 "	$(2,8 \pm 0,6) \cdot 10^8$	$(1,3 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$	$(3,5 \pm 0,8) \cdot 10^{11}$	$(9,7 \pm 1,3) \cdot 10^{11}$	$(1,3 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$
19.	2,74-7,45 "	$(2,3 \pm 0,6) \cdot 10^8$	$(1,3 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$	$(3,5 \pm 0,8) \cdot 10^{11}$	$(9,7 \pm 1,3) \cdot 10^{11}$	$(1,3 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$
20.	1,01-2,74 "	$(2,8 \pm 0,6) \cdot 10^8$	$(1,3 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$	$(3,5 \pm 0,8) \cdot 10^{11}$	$(9,7 \pm 1,3) \cdot 10^{11}$	$(1,3 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$
21.	0,67-1,01 "	$(1,1 \pm 0,2) \cdot 10^8$	$(5,3 \pm 1,2) \cdot 10^{10}$	$(1,4 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$	$(4,0 \pm 0,5) \cdot 10^{11}$	$(5,3 \pm 1,2) \cdot 10^{11}$
22.	0,0253 "	$(2,2 \pm 0,2) \cdot 10^9$	-	-	$(3,0 \pm 0,2) \cdot 10^{13}$	-
	<i>g_{0,1}</i>	5,1 ± 1,1	5,4 ± 1,0	5,6 ± 1,3	5,8 ± 1,3	5,8 ± 0,9

Таблица 4.4. (Продолжение)

Энергет. группа	Энергет. инт.	ВЭК-ЮС	ЛК-1	ЛК-2	ЛК-3
1.	10,5-16,5 MeB	(4,1±0,9).10 ⁸	(1,6±0,3).10 ¹⁰	(2,5±0,4).10 ¹⁰	(6,7±1,2).10 ⁹
2.	6,5-10,5 "	(8,1±1,5).10 ⁹	(3,4±0,6).10 ¹¹	(4,4±0,7).10 ¹¹	(1,4±0,2).10 ¹¹
3.	4,0-6,5 "	(4,2±0,7).10 ¹⁰	(2,1±0,2).10 ¹²	(2,6±0,3).10 ¹²	(8,2±0,8).10 ¹¹
4.	2,5-4,0 "	(6,1±1,6).10 ¹⁰	(4,5±0,5).10 ¹²	(6,0±0,7).10 ¹²	(1,8±0,2).10 ¹²
5.	1,4-2,5 "	(1,1±0,2).10 ¹¹	(7,1±1,1).10 ¹²	(9,7±1,5).10 ¹²	(3,1±0,6).10 ¹²
6.	0,8-1,4 "	(1,8±0,5).10 ¹¹	(5,7±1,4).10 ¹²	(7,9±1,8).10 ¹²	(2,7±0,8).10 ¹²
7.	0,4-0,8 "	(1,6±0,6).10 ¹¹	(4,5±1,5).10 ¹²	(6,4±2,1).10 ¹²	(2,3±0,6).10 ¹²
8.	0,2-0,4 "	(9,7±3,0).10 ¹⁰	(3,0±0,8).10 ¹²	(4,5±1,1).10 ¹²	(1,6±0,4).10 ¹²
9.	0,1-0,2 "	(6,1±1,2).10 ¹⁰	(1,9±0,4).10 ¹²	(3,0±0,7).10 ¹²	(1,9±0,3).10 ¹²
10.	50-100 "	(5,7±1,1).10 ¹⁰	(1,7±0,4).10 ¹²	(2,9±0,5).10 ¹²	(1,1±0,2).10 ¹²
11.	25-50 "	(5,2±1,0).10 ¹⁰	(1,4±0,4).10 ¹²	(2,4±0,4).10 ¹²	(1,2±0,2).10 ¹²
12.	10-25 "	(5,5±1,2).10 ¹⁰	(1,6±0,4).10 ¹²	(2,9±0,5).10 ¹²	(1,4±0,2).10 ¹²
13.	1,82-10 "	(1,2±0,2).10 ¹¹	(2,8±0,7).10 ¹³	(5,0±0,9).10 ¹²	(2,4±0,4).10 ¹²
14.	0,407-1,82 "	(1,0±0,2).10 ¹¹	(2,4±0,6).10 ¹²	(4,2±1,12).10 ¹²	(2,1±0,3).10 ¹²
15.	150-407 эВ	(6,9±1,3).10 ¹⁰	(1,6±0,4).10 ¹²	(2,8±0,5).10 ¹²	(1,4±0,2).10 ¹²
16.	55,1-150 "	(6,9±1,3).10 ¹⁰	(1,6±0,4).10 ¹²	(2,8±0,5).10 ¹²	(1,4±0,2).10 ¹²
17.	20,3-55,1 "	(6,9±1,3).10 ¹⁰	(1,6±0,4).10 ¹²	(2,8±0,5).10 ¹²	(1,4±0,2).10 ¹²
18.	7,45-20,3 "	(6,9±1,3).10 ¹⁰	(1,6±0,4).10 ¹²	(2,8±0,5).10 ¹²	(1,4±0,2).10 ¹²
19.	2,74-7,45 "	(6,9±1,3).10 ¹⁰	(1,6±0,4).10 ¹²	(2,8±0,5).10 ¹²	(1,4±0,2).10 ¹²
20.	1,01-2,74 "	(6,9±1,3).10 ¹⁰	(1,6±0,4).10 ¹²	(2,8±0,5).10 ¹²	(1,4±0,2).10 ¹²
21.	0,67-1,01 "	(2,8±0,5).10 ¹⁰	(6,6±1,6).10 ¹¹	(1,3±0,2).10 ¹²	(5,8±0,9).10 ¹¹
22.	5,0250 эВ	(4,0±0,3).10 ¹²	(2,6±0,2).10 ¹³	(2,5±0,2).10 ¹³	(5,3±0,2).10 ¹²
	" 5,0,1	8,0±1,7	5,3±1,1	6,4±1,1	7,0±1,5

Таблица 4.4. (Продолжение).

Энергет. группа	Энергет. инт.	ГЭК-8(100)	ГЭК-8(250)	ГЭК-9(50)	ГЭК-9(100)
1.	10,5-16,5 МэВ	(2,1±0,3).10 ⁷	(2,4±0,4).10 ⁶	(1,2±0,4).10 ⁸	(1,9±0,2).10 ⁷
2.	6,5-10,5 "	(4,6±0,6).10 ⁸	(5,4±0,6).10 ⁷	(2,3±0,4).10 ⁹	(3,8±0,4).10 ⁸
3.	4,0-6,5 "	(2,5±0,2).10 ⁹	(3,0±0,3).10 ⁸	(1,4±0,2).10 ¹⁰	(2,1±0,3).10 ⁹
4.	2,5-4,0 "	(4,7±0,4).10 ⁹	(6,1±0,5).10 ⁸	(2,7±0,3).10 ¹⁰	(3,9±1,0).10 ⁹
5.	1,4-2,5 "	(6,6±1,0).10 ⁹	(9,0±1,2).10 ⁸	(4,1±0,7).10 ¹⁰	(6,5±1,4).10 ⁹
6.	0,8-1,4 "	(5,0±1,4).10 ⁹	(7,0±1,7).10 ⁸	(3,4±1,0).10 ¹⁰	(6,5±1,3).10 ⁹
7.	0,4-0,8 "	(4,2±1,5).10 ⁹	(5,4±1,5).10 ⁸	(2,7±1,1).10 ¹⁰	(5,2±2,1).10 ⁹
8.	0,2-0,4 "	(3,2±0,8).10 ⁹	(3,3±0,9).10 ⁸	(1,9±0,5).10 ¹⁰	(3,1±0,9).10 ⁹
9.	0,1-0,2 "	(2,4±0,4).10 ⁹	(1,9±0,4).10 ⁸	(1,3±0,2).10 ¹⁰	(1,4±0,3).10 ⁹
10.	50-100 кэВ	(2,2±0,4).10 ⁹	(1,7±0,3).10 ⁸	(1,1±0,2).10 ¹⁰	(1,6±0,2).10 ⁹
11.	25-50 "	(1,8±0,3).10 ⁹	(1,4±0,3).10 ⁸	(9,6±1,9).10 ⁹	(1,3±0,2).10 ⁹
12.	10-25 "	(2,2±0,4).10 ⁹	(1,6±0,3).10 ⁸	(1,1±0,2).10 ¹⁰	(1,4±0,3).10 ⁹
13.	1,82-10 "	(3,9±0,7).10 ⁹	(2,7±0,5).10 ⁸	(1,9±0,4).10 ¹⁰	(2,3±0,5).10 ⁹
14.	0,407-1,82 "	(3,3±0,6).10 ⁹	(2,2±0,4).10 ⁸	(1,6±0,3).10 ¹⁰	(1,9±0,4).10 ⁹
15.	150-407 эВ	(2,2±0,4).10 ⁹	(1,5±0,3).10 ⁸	(1,1±0,2).10 ¹⁰	(1,3±0,3).10 ⁹
16.	55,1-150 "	(2,2±0,4).10 ⁹	(1,5±0,3).10 ⁸	(1,1±0,2).10 ¹⁰	(1,3±0,3).10 ⁹
17.	20,3-55,1 "	(2,2±0,4).10 ⁹	(1,5±0,3).10 ⁸	(1,1±0,2).10 ¹⁰	(1,3±0,3).10 ⁹
18.	7,45-20,3 "	(2,2±0,4).10 ⁹	(1,5±0,3).10 ⁸	(1,1±0,2).10 ¹⁰	(1,3±0,3).10 ⁹
19.	2,74-7,45 "	(2,2±0,4).10 ⁹	(1,5±0,3).10 ⁸	(1,1±0,2).10 ¹⁰	(1,3±0,3).10 ⁹
20.	1,01-2,74 "	(2,2±0,4).10 ⁹	(1,5±0,3).10 ⁸	(1,1±0,2).10 ¹⁰	(1,3±0,3).10 ⁹
21.	0,67-1,01 "	(9,0±1,6).10 ⁸	(6,2±1,2).10 ⁷	(4,5±0,8).10 ⁹	(5,3±1,2).10 ⁸
22.	0,0253 "	(1,5±0,1).10 ¹⁰	(1,6±0,1).10 ⁹	(2,1±0,2).10 ¹¹	(1,1±0,1).10 ¹⁰
	10,1	5,2±0,9	5,2±0,8	10±1,2	10±1,2

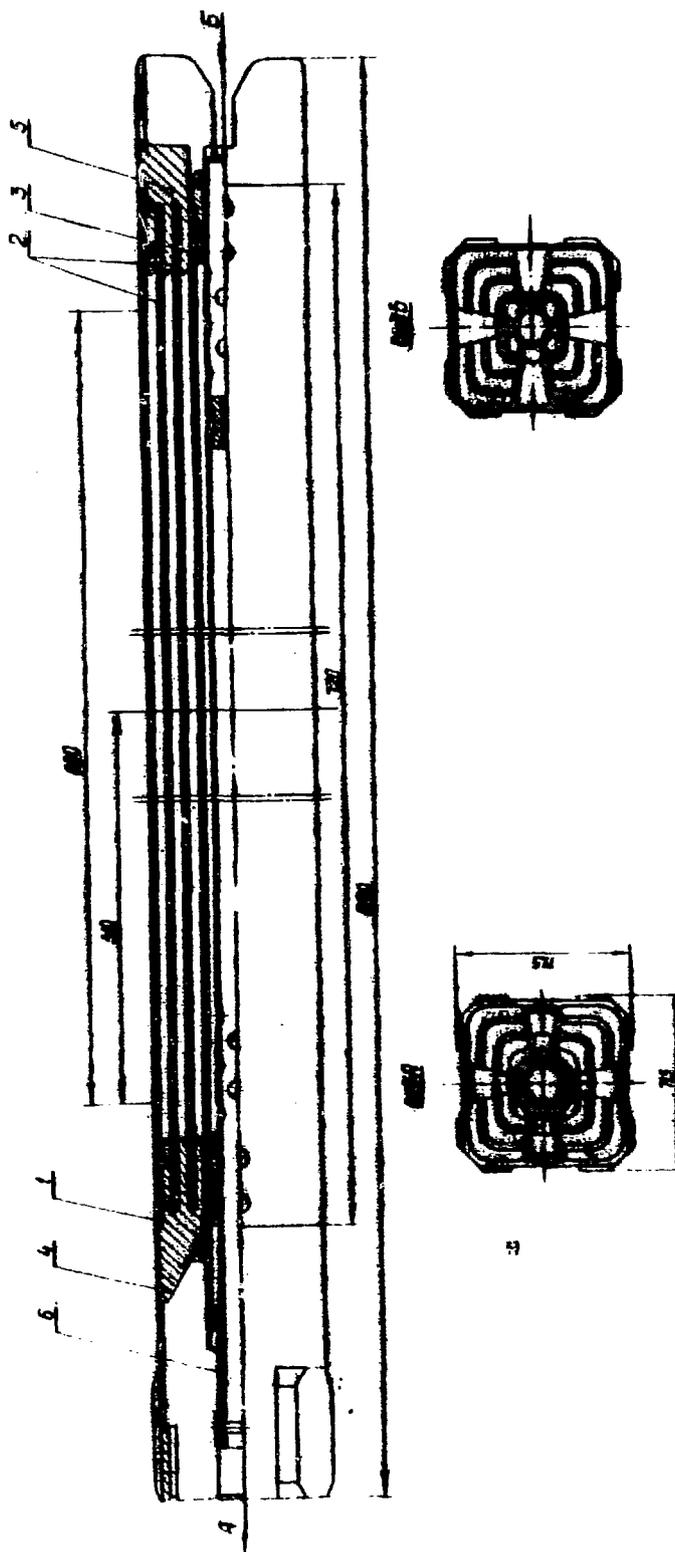


Рис.1. Разрез многослойной ТЭС ИТ-М с многослойной ТЭВЛок:
 1-наружная ТЭВЛ, 2-средняя ТЭВЛ, 3-центральная многослой-
 ная ТЭВЛ, 4-средняя многослойная трубка, 5-внутренняя многослойная
 трубка, 6-интервалы 16 мм.

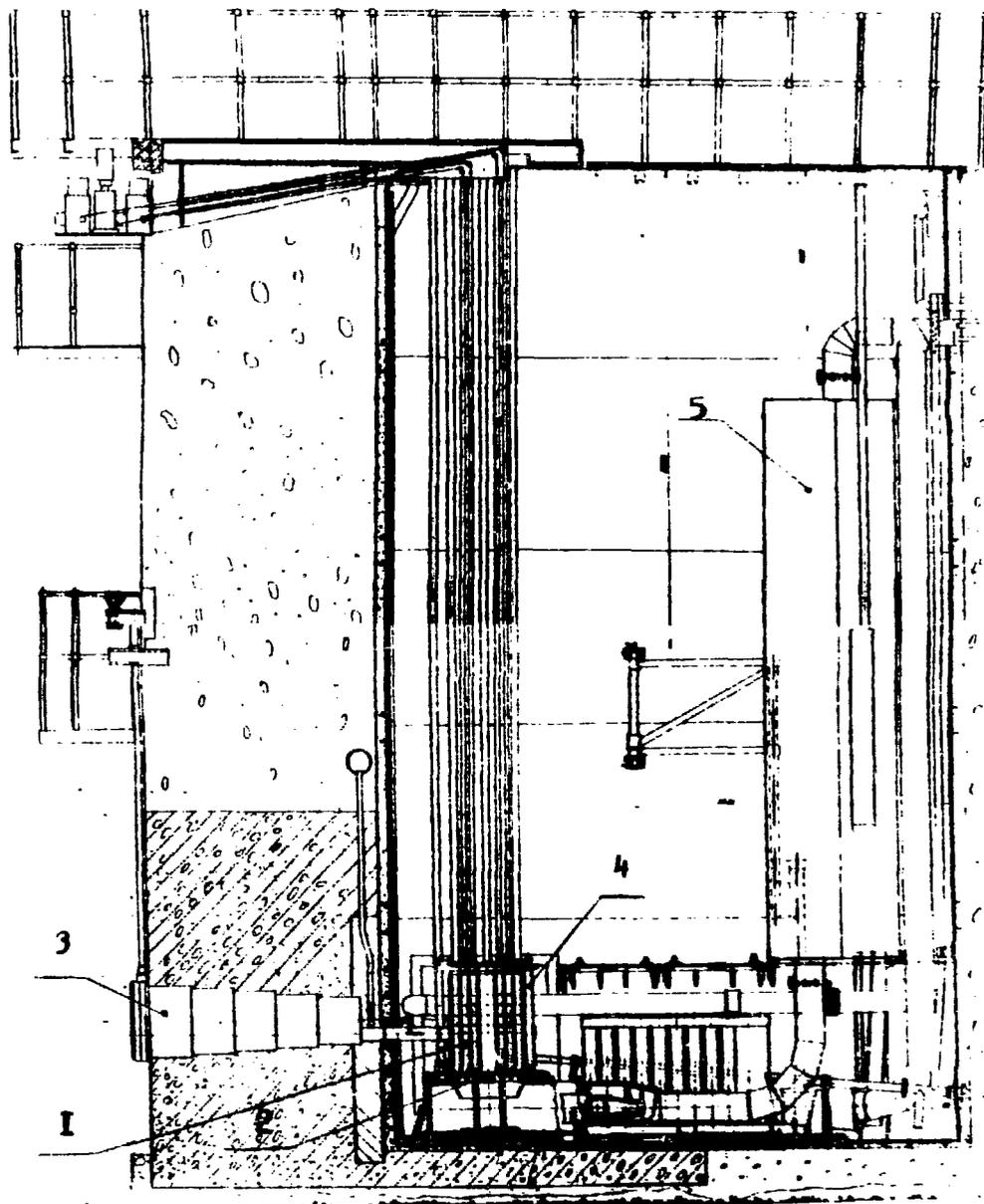


Рис.2. Вертикальный разрез реактора.
I - активная зона; 2 - опорная решетка активной зоны;
3 - горизонтальный экспериментальный канал; 4 - радиационный контур; 5 - задерживающая емкость.

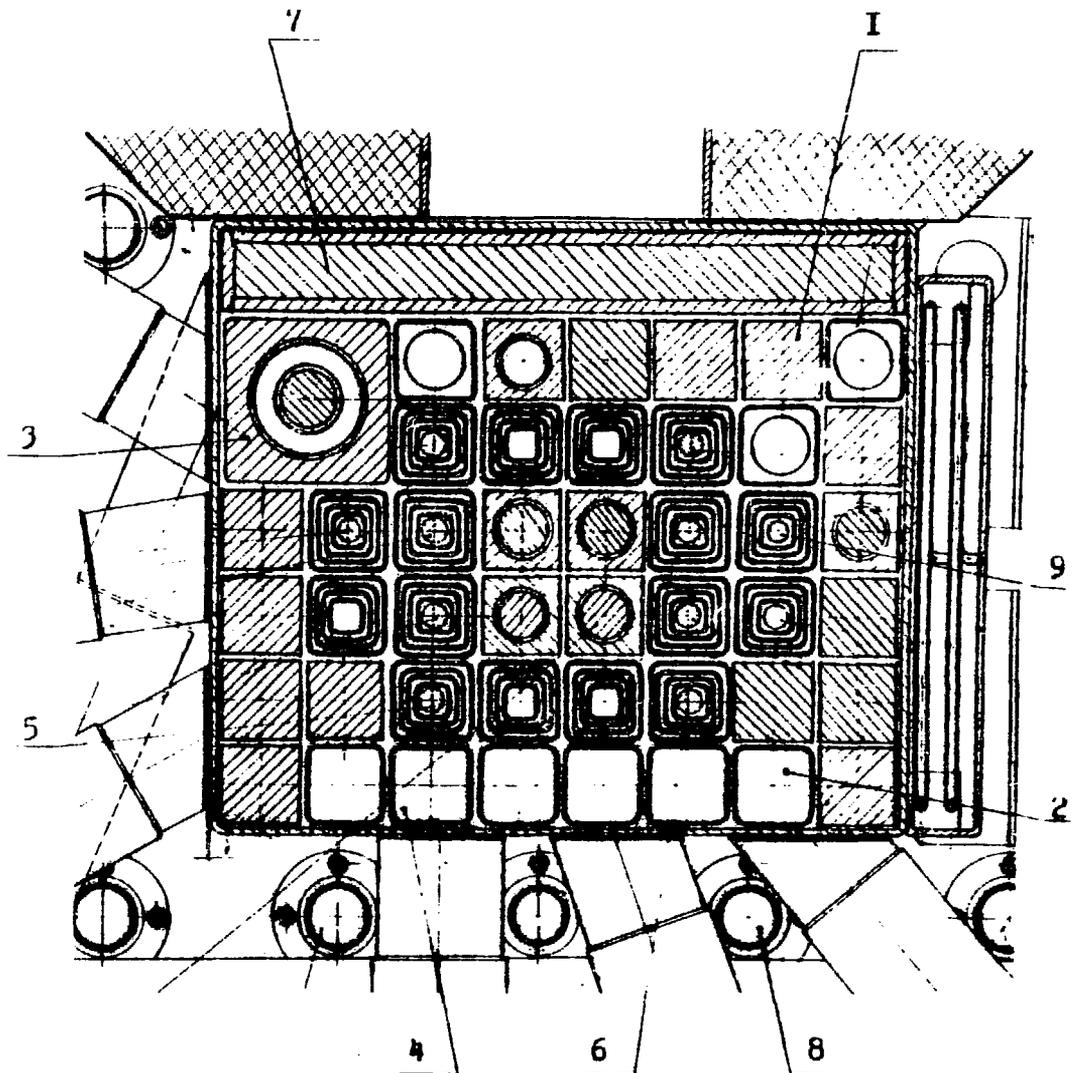


Рис.3. Поперечный разрез активной зоны реактора
 1-блок отражателя бериллия; 2-блок отражателя
 водяной; 3-блок бериллия с каналом 100 мм;
 4-алюминиевый вытеснитель воды; 5-Стержень
 управления; 6-тепловыделяющая сборка ТВС;
 7-свинцовый щит; 8-вертикальный эксперимен-
 тальный канал ВЖ; 9-центральный эксперимен-
 тальный канал.

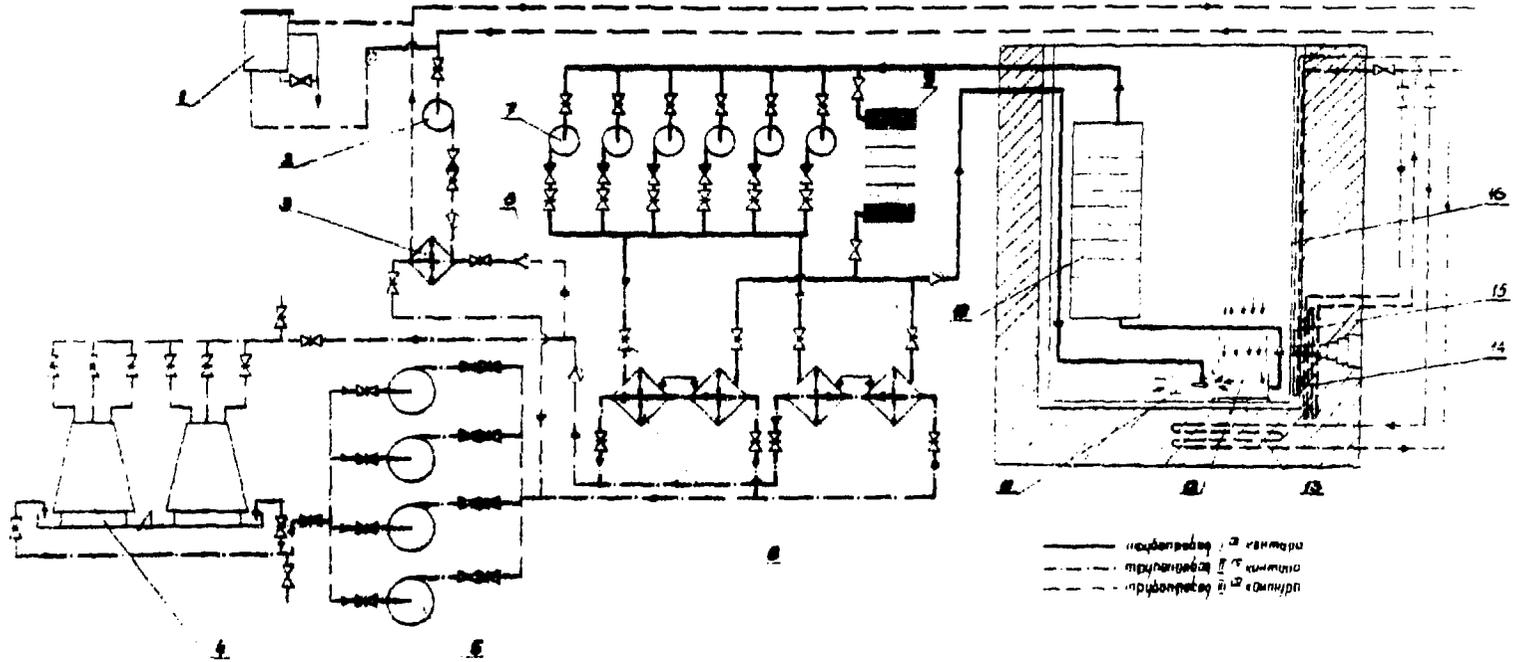
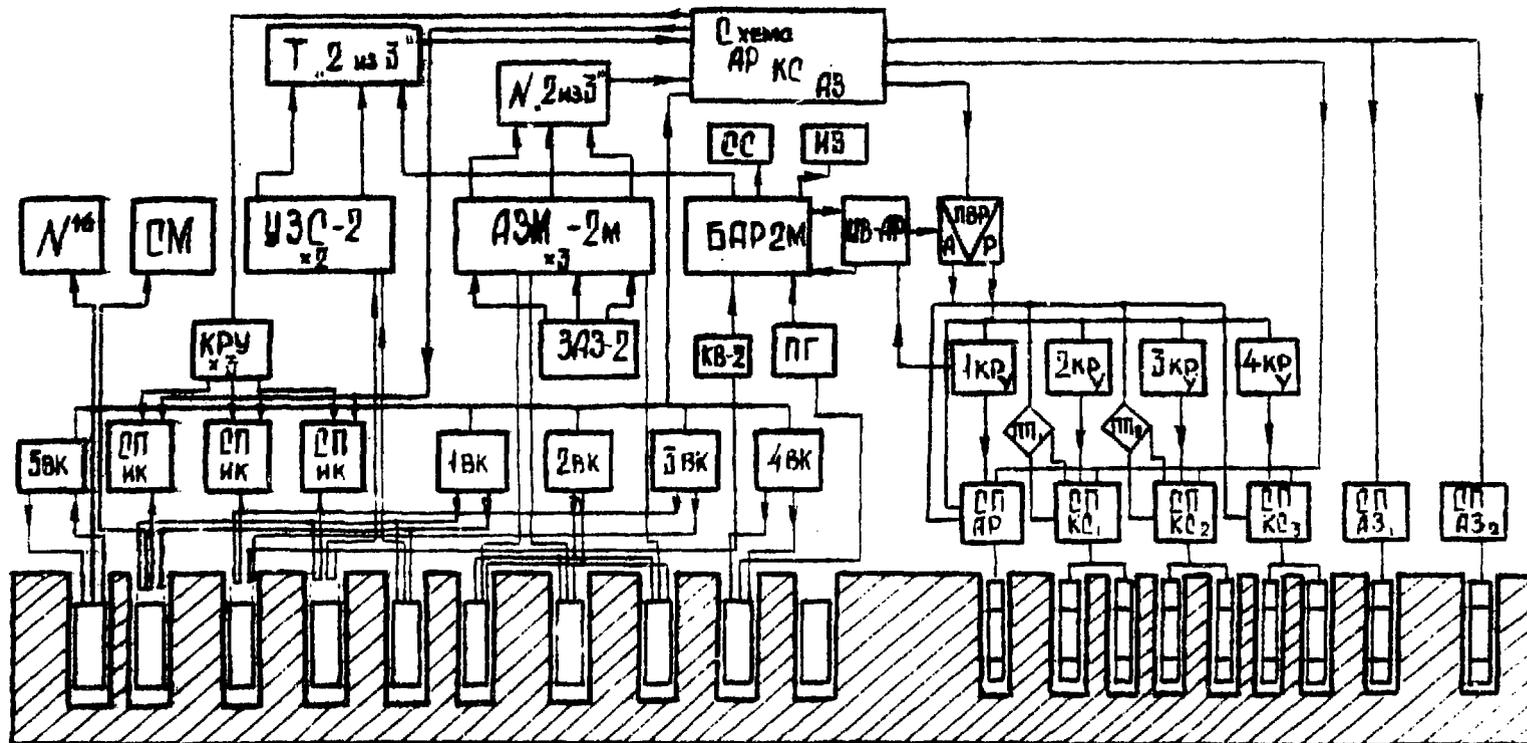


Рис. 4. Технологическая схема охлаждения реактора.

1-емкость подпитки 3 контура, 2-насос 3 контура, 3-теплообменник 3 контура, 4-градирня,
 5-насос 2 контура, 6-расходомер, 7-насос I контура, 8-теплообменник I контура, 9-фильтры
 I контура, 10-задерживающая емкость, 11-эжектор, 12-активная зона, 13-змеевик охлаждения
 днища реактора, 14-змеевик охлаждения теплового экрана, 15-змеевик охлаждения, 16-бак.



Ионизационные камеры

Органы управления

Рис.5. Блок-схема СУЗ.

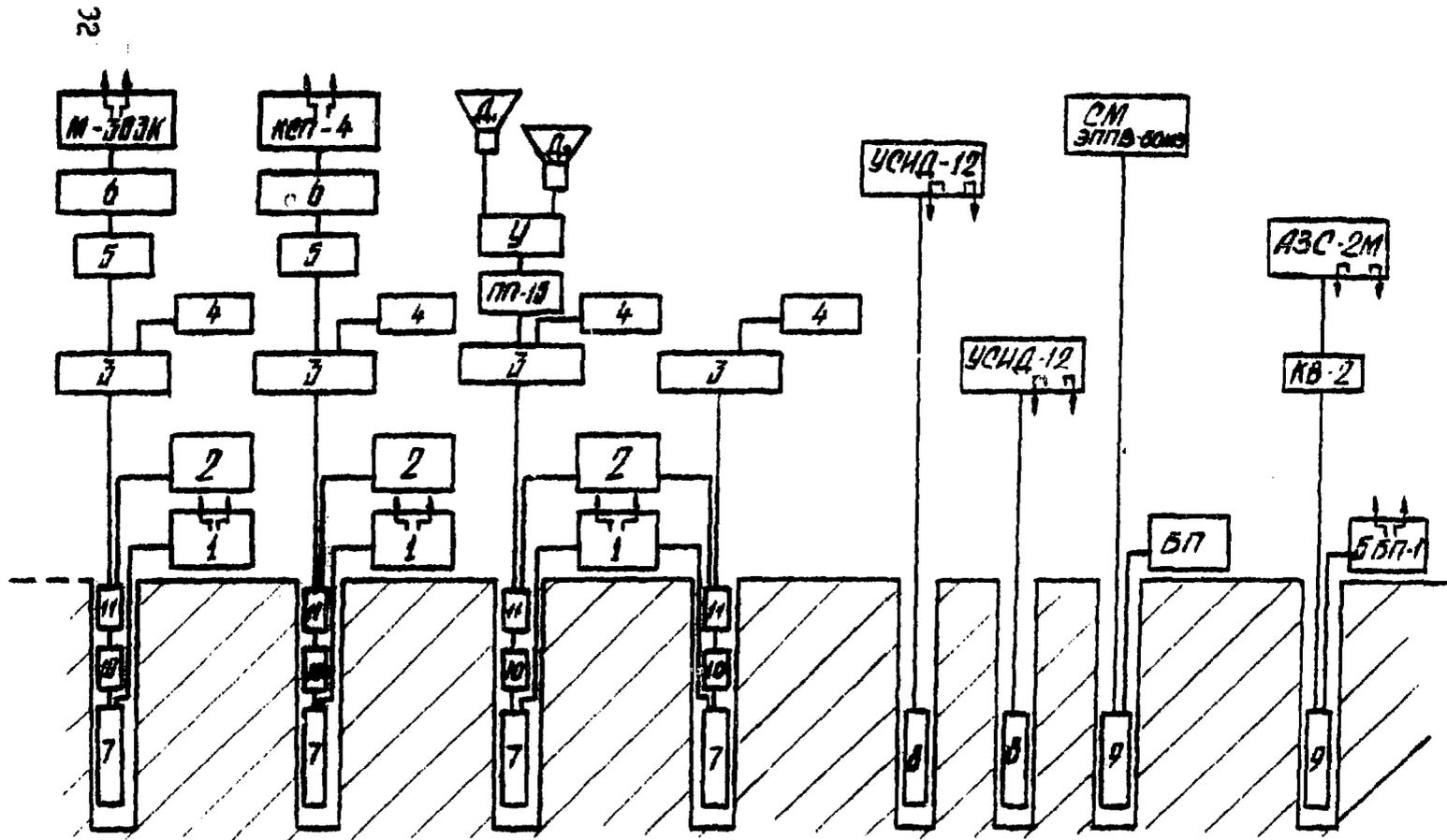


Рис. 6. Блок-схема контроля и защиты реактора пусковой аппаратуры.
 I-блок питания, 2-высоковольтное напряжение, 3-пересчетные приборы, 4-блок записи, 5-усилители, 6-измеритель сигнала, 7-счетчики нейтронов СМ-II, 8-счетчики гамма-излучения СИ-П, 9-ионизационные камеры КИ-56, 10-пред-усилитель, 11-КП

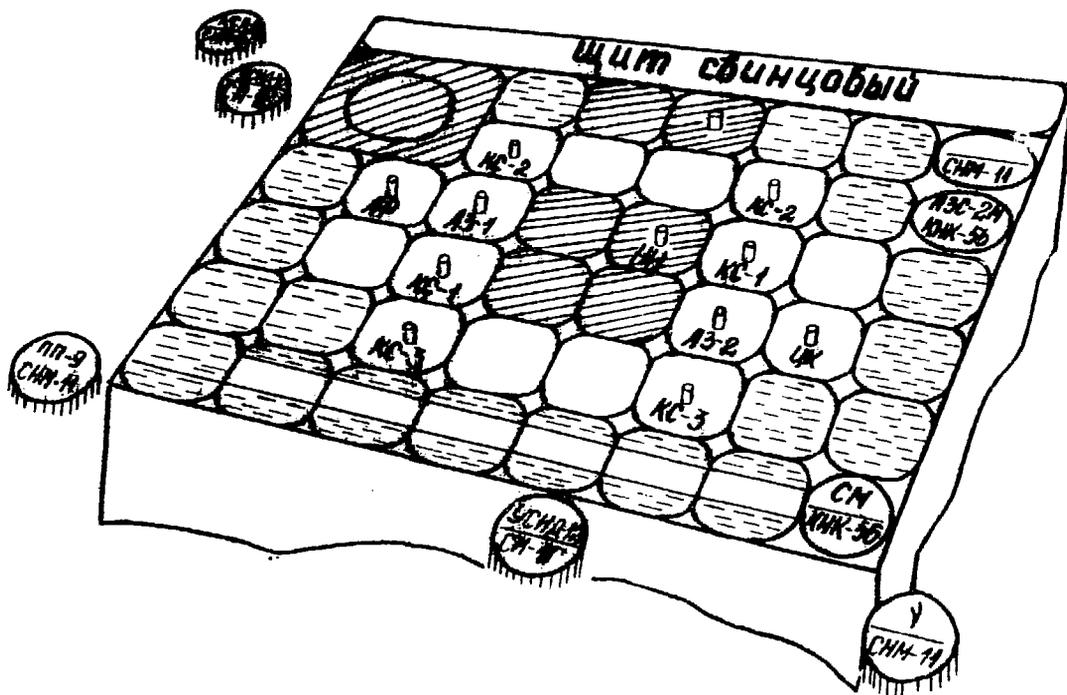


Рис.7. Конфигурация критмассы реактора и размещение пусковой аппаратуры, органов управления при физическом пуске.

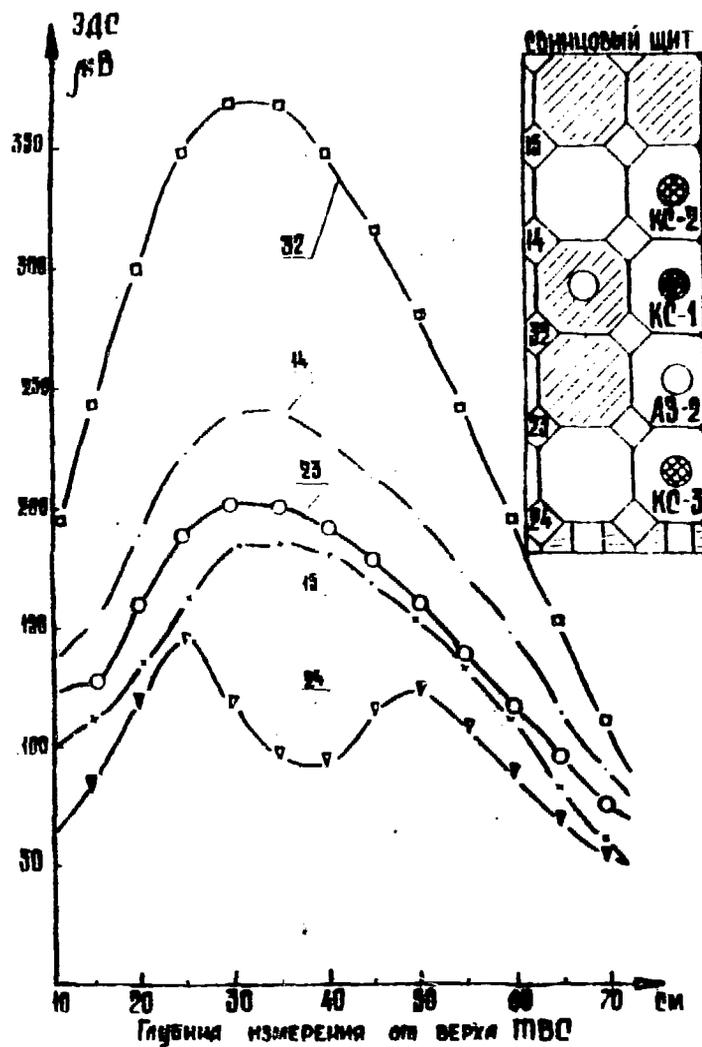


Рис. 8. Распределение плотности потока тепловых нейтронов по вертикали активной зоны. Конфигурация зоны № I.

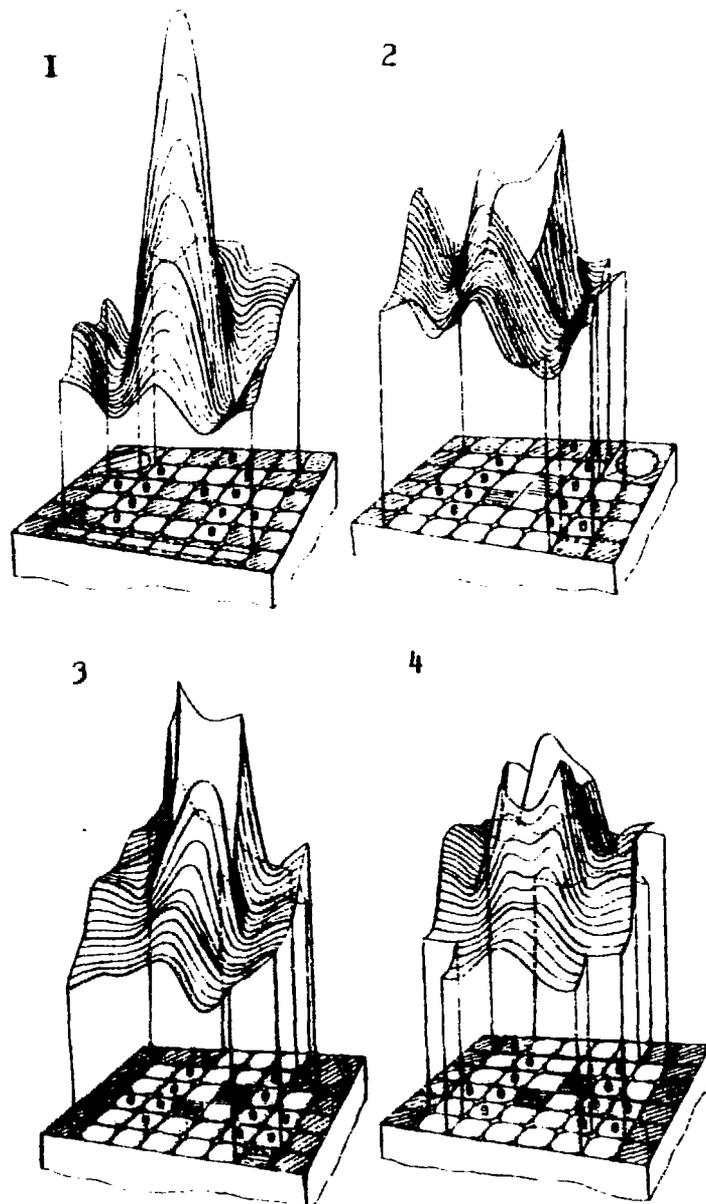


Рис.9. Пространственное распределение плотности потока тепловых нейтронов по активной зоне реактора.
 1-конфигурация №1, 2-конфигурация №2, 3-конфигурация №3, 4-конфигурация №4

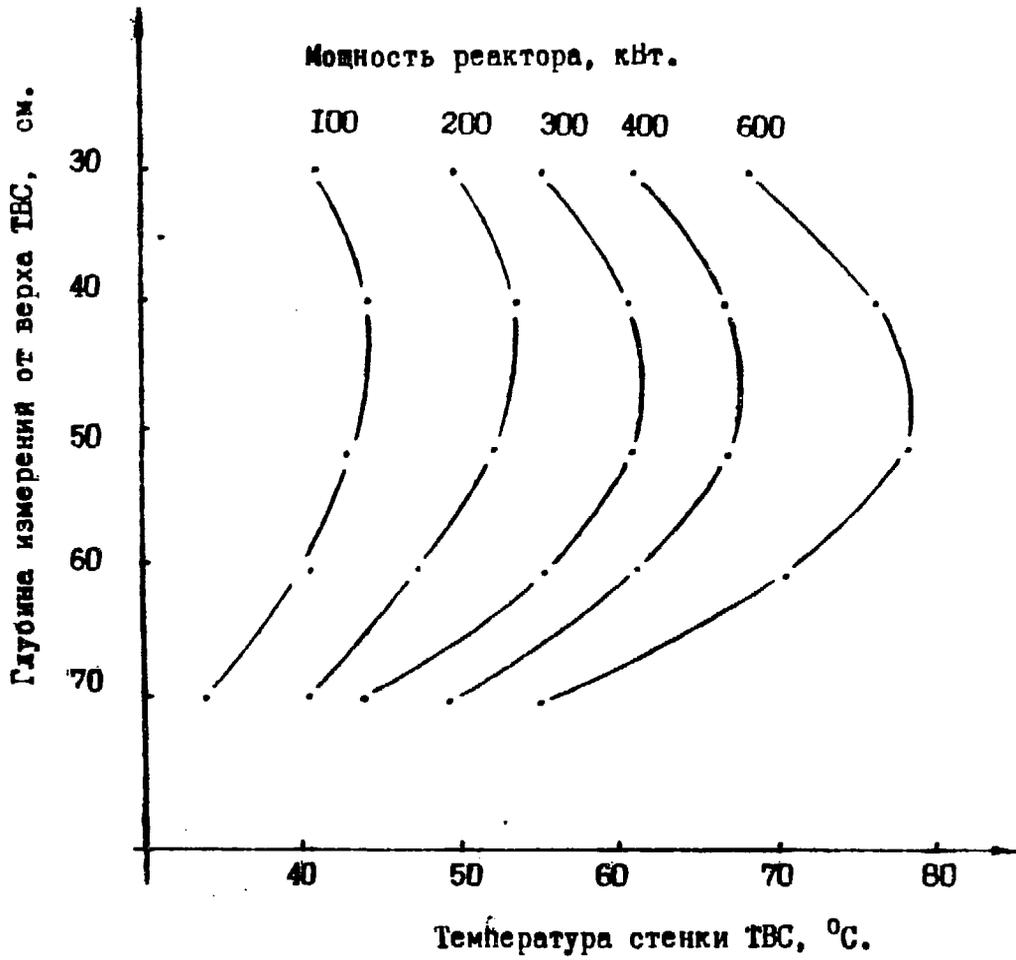


Рис. 10 Изменение температуры стенки ТВС по высоте активной зоны при естественной циркуляции теплоносителя.

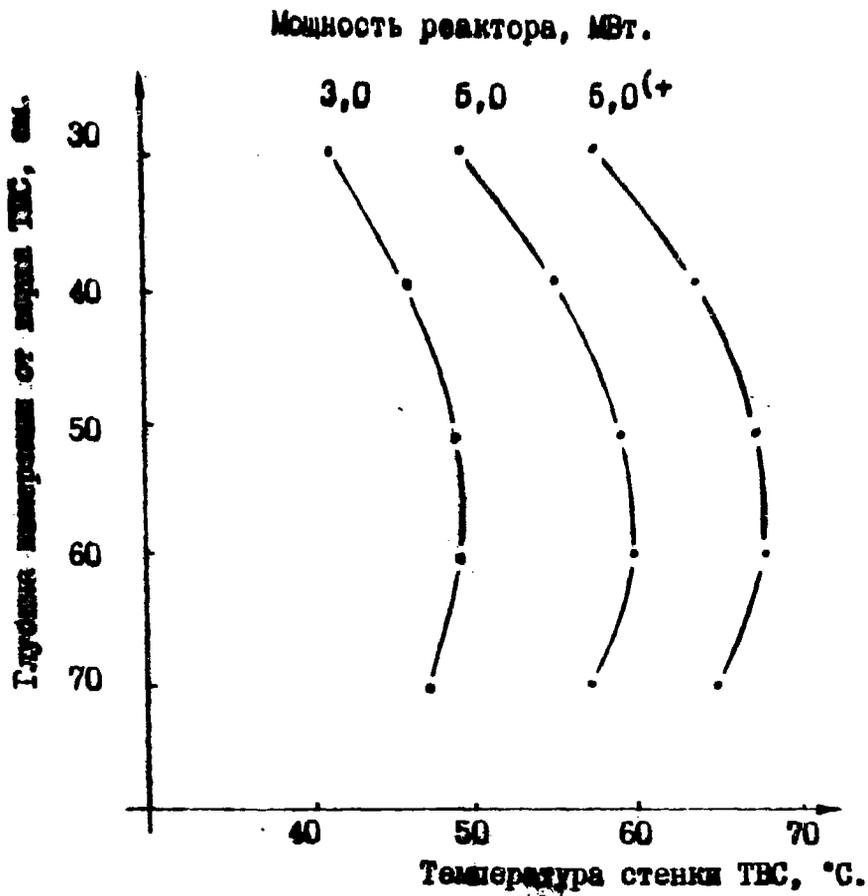


Рис. II. Изменение температуры стенки ТВС по высоте активной зоны при работе контуров охлаждения.
 (+ - при работе 15 мин. без второго контура охлаждения.)

ЛИТЕРАТУРА

1. Балтмугур К.К., Белогуров В.Н., Гавар В.В. и др. Экспериментальные устройства и эксплуатация атомного реактора ИРТ-2000 Института физики АН Латв.ССР. Доклад, представленный на IV рабочее совещание по физике и технике реакторов. Будапешт, ноябрь 1965 г. Препринт Института физики АН Латв.ССР, Рига, 1965 г.
2. Балтмугур К.К., Гавар В.В., Краст Х.Я. и др. Эксплуатация и вспомогательные экспериментальные устройства атомного реактора ИРТ-2000. Доклад, представленный на V рабочее совещание по физике и технике реакторов. Варшава, ноябрь 1968 г. Препринт Института физики АН Латв.ССР, Рига, 1968 г.
3. Берзонис М.А., Бондарс Х.Я., Лапенас А.А. Библиотека нейтронных сечений для программы *SAND-II* и ее обслуживающая программа. В сб. Ядерные константы, вып. I (23). М. Атомиздат, 1978, 49-52.
4. Булкин В.М., Гавар В.В., Дяков П.А., Калниньш Д.О., Лисыков Б.Л. Мамаев Ю.И., Прозоров В.К. Применение термометрической ТВС в исследованиях по безопасности реактора ИРТ. Атомная энергия, 1978, 45, 5, 381.
5. Васильев Р.Д., Григорьев В.И., Тарновский Г.Б., Ярина В.П. Методика восстановления спектра надтепловых нейтронов методом вычитания вклада $1/v$ - В сб. Метрология нейтронных измерений на ядерно-физических установках. М, ЦНИИ атоминформ. Т.2.1976, 34-42.
6. Ведра В.Я. Новый ядерный реактор. Вестник Академии наук СССР, 1962, II, I, 88-90.
7. Гавар В.В. и др. Модернизация атомного реактора ИРТ Института физики Академии наук Латв.ССР для расширения экспериментальных возможностей. Доклад, представленный на рабочее совещание по физике и технике реакторов - Прага, апрель 1963 г. Препринт, Рига, Институт физики АН Латв.ССР. 1963.
8. Гавар В.В., Диндун А.С., Крамер М.М., Сабильдин Е.Н. Радиационный контур с отдельной циркуляцией гамма-носителя. Атомная энергия, 1977, 43, I, 72-73.

9. Гончаров В.В. и др. Некоторые новые и реконструированные исследовательские тепловые реакторы. В кн. Труды II Международной конференции по мирному использованию атомной энергии, в Женеве 1958 году. Доклады советских ученых, том 2, М. Атомиздат, 1959, 273-293.
10. Егоренков П.М., Исаев А.Н., Чернышев В.Н., Яшин А.Ф. Соображения о повышении мощности реакторов ИРТ до 8 МВт. Препринт Института атомной энергии им. И.В.Курчатова, М., № 1701, 1968.
11. Корякин Ю. В Латвийском Институте физики - Атомная энергия, 1960, 9. 6, 512.
12. Лапенас А.А., Бондарс Х.Я. Определение спектров нейтронов на реакторе ИРТ-2000 АН Латв.ССР. Изв. АН БССР, сер. физ.-энерг. наук, 1972, 1, 29-37.
13. Лапенас А.А. Измерение спектров нейтронов активационным методом. Рига, "Зинатне" 1975.
14. Лапенас А.А. Методика восстановления спектра нейтронов интерполяцией Гентона. В сб. Метрология нейтронных измерений на ядерно физических установках. Т.2. М. ЦНИИ атоминформ. 1976, 58-60.
15. BNL-325. Third Edition, vol. I. Resonance Parameters, 1973.

Содержание

1. Введение	3
2. Конструкция реактора	4
2.1. Активная зона	4
2.2. Экспериментальные устройства	5
2.3. Бак и система охлаждения	6
2.4. Управление реактора и технологический контроль.....	8
3. Физические параметры реактора	9
3.1. Физический пуск	9
3.2. Рабочие конфигурации активной зоны	10
4. Плотность потоков и спектры нейтронов в эксперименталь- ных каналах	12
4.1. Методика определения спектров нейтронов	12
4.2. Результаты измерений	15
5. Радиационная безопасность	17
Литература	38

Рукопись поступила
в Отдел Научно-технической информации
Института физики АН Латвийской ССР
4 сентября 1979 г.

Редактор И.Н.Ятченко

Подписано к печати 18.09.79, заказ № 281, тираж 250 экз.
уч. изд. л., 2,5 печ. л. ЯТ 04389 Цена 12 коп.
Ротапринт ИФ АН Латв.ССР, Рижский р-н, Саласпилс.



Препринты и сообщения Института физики АН Латвийской ССР рассылаются бесплатно на основе взаимного обмена научным центрами и отдельным ученым. В порядке обмена принимаются научные книги, журналы, препринты и другие публикации по тематике Института физики.

Письма по всем вопросам обмена публикациями и запросы на отдельные препринты следует направить по адресу:

229021, Латвийская ССР
Рижский район,
Саласпилс,
Институт физики
Научная библиотека

The preprints and communications of Physics Institute of the Latvian SSR Academy of Sciences are distributed free on the mutual exchange basis to the research centres and individual scientists. Books, journals, preprints, and other publications on the scientific subjects of our Institute are acceptable for exchange.

Inquiries concerning the exchange of publications and requests for our preprints should be sent to the following address:

Scientific Library
Physics Institute
Latvian SSR Academy of Sciences
Riga-Salaspils
229021 Latvian SSR
U S S R

12 коп.

