

ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АН УССР

Препринт ИЯИ-83-14

В.А.Длизовлова, В.Н.Шевель, Р.И.Остапенко

ОЦЕНКА НЕГЕРМЕТИЧНОСТИ  
ТЕПЛОИДЕЛЯЮЩИХ СБОРОК  
НА РАННЕЙ СТАДИИ ЕЕ РАЗВИТИЯ

КИЕВ—1983

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ РАДИАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

В настоящей работе рассмотрены вопросы оценки состояния оборудования реактора, их влияние на надежность работы реактора, даны оценки вероятности отказа оборудования реактора, даны оценки состояния оборудования ТВ реактора, даны оценки надежности сборок, применительно к реактору ВВЭР-1000.

Работа выполнена по заказу Института ядерных исследований на всем, что замечается эксплуатацией реактора ВВЭР-1000, для целей контроля технического состояния реактора ВВЭР-1000.

The given paper deals with questions of the reliability of the fuel element shell state (FEA) of the core of the reactor, its influence on development. Technique and conclusions of the work on the reliability of the fuel-element assembly shell state, some of the results of the work, finding, used at FEA of the Institute are given and described also.

This work is carried out at the order of the Institute of Nuclear Researches useful for those who is engaged in nuclear reactor operation and the FEA shell tightness control systems.

Evaluation of the Fuel-Element Assembly Reliability at the Early Stage

V.A. Bilirukova, V.N. Savvina, V.I. Kuznetsov

Печатается по постановлению Ученого совета  
Института ядерных исследований АН УССР

**АКАДЕМИЯ НАУК УССР**

**В.А.Близнакова, В.Н.Шевель, В.И.Остапенко**

**ОЦЕНКА НЕПЕРМЕТИЧНОСТИ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ  
СБОРОК НА РАННЕЙ СТАДИИ ЕЕ  
РАЗВИТИЯ**

**Киев, Институт ядерных исследований, 1988.**

Ключевые слова:

ВВР-М, эксплуатация реакторов, удержание активности, утечки продуктов деления, активные зоны, теплоносители, охлаждающие контуры, герметизированные источники, радиометрический анализ, спектрометрия,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{92}\text{Sr}$ ,  $^{138}\text{Cs}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{91}\text{Sr}$ ;

WWR-M-Kiev reactor, reactor operation, containment, fission product release, reactor cores, coolants, coolant loops, sealed sources, radiometric analysis, spectroscopy,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{92}\text{Sr}$ ,  $^{138}\text{Cs}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{91}\text{Sr}$ .

## В В Е Д Е Н И Е

Одной из центральных задач радиационной защиты населения является уменьшение индивидуальных и коллективных доз облучения в результате выбросов во внешнюю среду радионуклидов предприятиями ядерной энергетики и атомной промышленности. Важную роль в решении этой задачи играет прогнозирование и предупреждение аварийных выбросов радионуклидов на ранней стадии разгерметизации оболочек теплоделяющих сборок (ТВС) ядерных реакторов. Особенно это важно для районов с большой плотностью населения и объектов с ограниченными размерами санитарно-защитных зон.

Основными источниками загрязнения радионуклидами теплоносителя первого контура и вентиляционных систем ядерных реакторов являются:

- топливо ТВС, оболочки которых потеряли герметичность в процессе эксплуатации;
- остаточные поверхностные загрязнения оболочек ТВС топливом, возникшие в процессе их изготовления;
- ТВС, имеющие заводские дефекты.

Как следует из литературных данных /7-12/, концентрация осколочных продуктов деления урана (ОПД) в теплоносителе первого контура будет зависеть от типа ТВС и величины дефектов их оболочек. При герметичных ТВС диффузия ОПД через их оболочку приводит

к равновесной концентрации радионуклидов в теплоносителе первого контура, зависящей от мощности реактора и постоянной очистки ионообменного фильтра.

При контроле герметичности оболочек (КГО) ТВС применяются методы, основными из которых являются определения:

- концентраций альфа-радионуклидов;
- концентраций долгоживущих радионуклидов, таких как  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{95}\text{Tc}$  и др.;
- концентраций короткоживущих радионуклидов и их отношений.

Для суждения о состоянии оболочек ТВС авторы руководствовались методами определений короткоживущих радионуклидов и их отношений и отношением бета-радиоактивности (Ки/л) сухого остатка к концентрации суммы иодов в теплоносителе первого контура.

Полученные результаты за 16 лет эксплуатации реактора приведены в виде рисунков и таблиц.

### I. Результаты радиохимического и спектрометрического анализов теплоносителя первого контура

Наиболее распространенным способом оценки загрязненности радионуклидами теплоносителя первого контура является измерение его удельной радиоактивности (Ки/л), которая определяется по бета-активности сухого остатка.

Однако определяемая таким образом концентрация радионуклидов в теплоносителе первого контура не учитывает вклад, вносимый инертно-радиоактивными газами (ИРГ) и короткоживущими дисперсными веществами (например,  $\text{Cs}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{I}$ ) и становится чисто условной и сугубо относительной величиной. Для критерия герметичности ТВС необходимо определять концентрацию короткоживущего изотопа. Предшествующие ему изотопы также являются короткоживущими, они быстро приходят в насыщение и их можно не учитывать.

Выделение радионуклидов проводилось по классической методике и хроматографическому экспрессному разделению радионуклидов на пористых блочных сорбентах.

Расчеты производились в том случае, когда концентрация радионуклидов достигала насыщения. При этом выполнялось условие:

$$D_i = \frac{V}{T},$$

где  $D_i$  - постоянная очистки  $i$ -того изотопа в теплоносителе первого контура, равная  $1,5 \cdot 10^{-5} (\text{с}^{-1})$ ;

$V_2$  - расход теплоносителя, поступающего на очистку, м<sup>3</sup>/ч;

$V_1$  - объем теплоносителя первого контура, м<sup>3</sup>;

$V_2$  - ИРГ равнялась нулю.

На протяжении всего времени определялся состав ОПД без учета характера их образования. Радионуклидный состав теплоносителя первого контура определялся при работающем реакторе (24, 48, 72 ч) и при остановленном по понедельникам. Основной цикл работы - от вторника до субботы включительно.

В процессе эксплуатации реактора ВВР-М ИЯИ АН УССР равновесная концентрация радионуклидов в теплоносителе воды I контура нарушилась с апреля 1979 г. после загрузки в активную зону реактора партии ТВС, поступивших с завода-изготовителя. Начиная с указанного времени, наблюдались увеличения суммарной бета-активности теплоносителя первого контура, по отдельным  $\beta$  и  $\alpha$ -радионуклидам, а также концентрации радионуклидов в воздушных выбросах реактора и вклада в эту концентрацию инертных радиоактивных газов.

На рис. I-6 показаны кривые концентрации  $\beta$ -радионуклидов сухого остатка и  $\Sigma \gamma$ . Существует определенная зависимость между значениями  $A_{\beta}$  с.о. и  $A_{\Sigma \gamma}$ . В период относительной герметичности оболочек ТВС их абсолютные значения более чем на порядок отличались один от другого. Начиная с апреля 1979 г. значения  $A_{\beta}$  с.о. и  $A_{\Sigma \gamma}$  отличаются один от другого незначительно (см. рис. 5, 6).

Однако по абсолютным значениям  $A_{\beta}$  с.о. и  $A_{\Sigma \gamma}$  затруднительно судить о герметичности оболочек ТВС, так как эти значения зависят от качества работы ионообменного фильтра, длительности простоя реактора и т.д.

Для критерия герметичности оболочек ТВС необходимо определять отношения  $A_{\Sigma \gamma} / A_{\beta}$  с.о. и концентрации ряда короткоживущих изотопов к концентрации  $I^{131}$ .

На рис. 7, 8 приведены кривые отношений  $I^2 / A_{\Sigma \gamma} / A_{\beta}$  с.о. в разные периоды работы реактора на мощности 10 МВт и при остановленном реакторе. Из рис. видно, что значение отношений  $I^2 / A_{\Sigma \gamma} / A_{\beta}$  до периода относительной негерметичности активной зоны не превышало 10 %, а в 1979-80 г. возросло до 55 %.

Данные отношений концентраций радионуклидов  $^{138}\text{Cs}$ ,  $^{91,92}\text{Sr}$ ,  $^{140}\text{Ba}$  к  $^{131}\text{I}$  приведены на рис. 9. Как видно из рис., отношения указанных изотопов резко меняются в зависимости от состояния обо-

лочек ТВС. В "спокойный" период времени отношения  $\lambda / \lambda_0$  составляют 20-50, уменьшаясь до 8-3 в период разгерметизации.

Необходимо отметить, что значение отношения  $\lambda / \lambda_0$  к  $A^{131}I$  с ростом периода полураспада у  $A^{140}Ba$  изменяется незначительно (например,  $A^{140}Ba$ , рис.9). Отношение  $A^{140}Ba/A^{131}I$  в период "газщих" ТВС равнялось 2-3 и изменилось до 4 в период "спокойного" состояния активной зоны.

Из полученных данных можно сделать вывод о нецелесообразности определения  $A^{140}Ba$  для оценки негерметичности оболочки ТВС на ранней стадии ее развития.

Концентрация радионуклидов определялась через два часа после отбора пробы. Данные по измерению концентраций радионуклидов через два часа после отбора пробы не зависят от времени работы реактора и остаются величиной постоянной. (См.рис.12).

Из рис.10, 11 видно, что концентрация  $\alpha$ -радионуклидов за весь период работы реактора не превышала  $1 \cdot 10^{-10}$  Ки/л. Загрузка ТВС в активную зону реактора в начале 1979 г. привела к повышению концентрации  $\alpha$ -радионуклидов до  $3 \cdot 10^{-9}$  Ки/л.

Снижение концентрации определяемых радионуклидов происходило только при удалении выгоревших ТВС для создания запаса реактивности, причем, это снижение было кратковременным. Уменьшение мощности реактора для снижения концентрации радионуклидов в выбросах реактора давало только кратковременный эффект /13/. Спад концентрации  $\alpha$ -радионуклидов также наблюдался в период 1979 г. Однако снижения концентрации  $\alpha$ -радионуклидов в теплоносителе первого контура достигли только к концу 1980 г. после выгрузки всех негерметичных ТВС и работы системы очистки теплоносителя.

В результате выгрузки негерметичных ТВС удалось предотвратить аварийный выброс радионуклидов в окружающую среду и величины концентраций радионуклидов снизить до исходных.

В использованном методе оценки герметичности ТВС важное место занимает способ радиохимического выделения радионуклидов с целью получения максимальной информации при минимальных затратах времени и труда. За основу брался классический метод выделения радионуклидов и для сравнения проводился экспрессный хроматографический радиохимический анализ /8/. Суть этого метода заключалась в выделении контролируемых радионуклидов из одной пробы на системе последовательно расположенных блочных селективных сорбентов. Сорбенты одновременно служат в качестве источни-



ков фиксированной геометрической формы для гамма-спектрометрического анализа.

Реализация такого решения была вызвана тем, что использование традиционных приемов классического радиохимического анализа трудоемко и длительно, предполагает отдельное выделение радионуклидов, определение их выхода и другие операции. Полученные спектрограммы разделения радионуклидов на пористых блочных сорбентах показали полное их разделение. Сравнение описанных способов разделения радионуклидов показало большую сходимость результатов (табл.4) и возможность использования экспрессного радиохимического анализа для определения герметичности оболочек ТВС.

Данные радионуклидного состава воды, количественные соотношения между различными изотопами в теплоносителе первого контура, отношения концентрации  $A \sum \gamma / A \beta$  с.о. в различные периоды времени, т.е. в периоды "спокойного" состояния активной зоны и относительной негерметичности ТВС, сравнительные данные с предыдущими годами работы реактора приведены в табл.1-9 и рис.1-16.

На основании полученных данных можно рекомендовать простой и оперативный метод ориентировочного контроля состояния оболочек ТВС по результатам радиохимического и спектрометрического анализов теплоносителя первого контура, спектрометрических анализов выбросов в атмосферу, а также способ отыскания негерметичных ТВС с помощью установки, применяемой на реакторе ВВР-М ИЯИ АН УССР.

## II. Анализ радионуклидного состава выбросов реактора в атмосферу

Известно, что в результате деления ядерного топлива образуется несколько радионуклидов инертных газов криптона и ксенона.

Общий объем образованного ксенона и криптона составляет примерно  $25 \text{ см}^3$  на 1 МВт/сут (7). Эта часть газовой фракции создает повышенное давление в ТВС, диффундирует через оболочку ТВС и затем через вентиляционную систему реактора поступает в атмосферу. На рис.13 показана величина выброса ИРГ за период с 1975-1981 гг. Увеличение роста выброса ИРГ замечено в январе 1977 г., которое достигло максимума в феврале 1978 г. Затем последующая выгрузка ТВС дала кратковременный эффект и только в октябре 1978 г. было замечено увеличение выброса ИРГ, достигшее максимума в июле 1979 г. и превысившее уровень относительной герметичности ТВС 1976 г. в 2,5 раза.

Дальнейшие выгрузки ТВС с большим процентом выгорания топлива не дали положительного результата. Не привела к снижению выброса ИРГ и работа реактора на пониженной мощности, что видно из приведенного рисунка. На рис. 14, 15 приведены спектрограммы ИРГ относительно негерметичных ТВС.

## ВЫВОДЫ

При работе реактора на мощности одним из оперативных первичных параметров, характеризующих герметичность ТВС в активной зоне является содержание ИРГ в воздухе, выбрасываемом системой вентиляции, и величина их выброса.

Поэтому первичным сигналом о возникновении негерметичности ТВС является увеличение выброса ИРГ, основной вклад в которое вносит  $^{133}\text{Xe}$ . Отбор пробы ИРГ из надреакторного пространства и последующая спектрометрия позволяют определить радионуклидный состав ИРГ, необходимость проведения радиохимического анализа для определения величины разгерметизации ТВС, принятия решения для остановки реактора и проведения работ по проверке ТВС на герметичность согласно описанной методике.

Для оценки степени негерметичности оболочек ТВС на ранней стадии развития необходимо:

1. Определять отношение  $\eta = \frac{A \sum J}{A_{\text{в.о.}}}$  с.о. в качестве наиболее простого и оперативного метода ориентировочного контроля состояния оболочек ТВС. Зависимость этого отношения от состояния активной зоны в ранее опубликованных работах [7,9] и подтвержденных нашими данными, приводятся ниже.

Величина отношения $\eta = \frac{A \sum J}{A_{\text{в.о.}}}$ : Основной источник радиоактивности воды I контура	
$\eta < 5$	Наведенная активность за счет коррозии и солей
$5 \leq \eta \leq 20$	Осколочная активность за счет поверхностного загрязнения ТВС и диффузии осколков деления через оболочку ТВС
$\eta > 20$	Осколочная активность за счет негерметичности ТВС

2. Выделение йода проводить по классической методике для получения тонкослойного образца. Измерение проб производить через два часа после отбора. Определение концентрации  $\alpha$ -нуклидов производить путем приготовления тонкослойного образца.

3. Определять отношение концентраций следующих радионуклидов:  $^{138}\text{Cs}/^{131}\text{I}$ ;  $^{90}\text{Sr}/^{131}\text{I}$ ;  $^{92}\text{Sr}/^{131}\text{I}$ .

Зависимость этих отношений от состояния активной зоны, полученных на реакторе, приведена ниже.

Величина отношений изотопов : $\eta = \frac{A_i}{A_j}$	: Основной источник радиоактивности воды I контура.
$A^{138}\text{Cs} / A^{131}\text{I} > 10$	Осколочные продукты деления за счет поверхностного загрязнения ТВС и диффузии осколков через оболочку
$A^{91}\text{Sr} / A^{131}\text{I} > 12$	
$A^{92}\text{Sr} / A^{131}\text{I} > 15$	
$A^{138}\text{Cs} / A^{131}\text{I} < 10$	Осколочная активность за счет разгерметизации ТВС
$A^{91}\text{Sr} / A^{131}\text{I} < 12$	
$A^{92}\text{Sr} / A^{131}\text{I} < 15$	

Выделение радионуклидов из воды I контура производить с помощью экспрессного хроматографического радиохимического анализа с применением блочных селективных сорбентов.

4. Для более подробного суждения о состоянии оболочек ТВС следует проводить радиохимический анализ теплоносителя на содержание радионуклидов  $^{99}\text{Mo}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{94}\text{Zr}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{143}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ . Указанные радионуклиды могут попадать в контур только с открытых поверхностей урана, так как они не летучи и не имеют летучих предшественников.

### III. Метод обнаружения негерметичных ТВС, применяемый на реакторе БЕР-М ИНИ АН УССР

Оперативное обнаружение негерметичных ТВС, прогнозирование их разгерметизации является важными задачами по снижению дозовой нагрузки персонала, некоторой части населения и предотвращению загрязнения окружающей среды в районе расположения исследовательских реакторов.

Поиск негерметичных ТВС производится при остановленном реакторе. Используется метод поочередного извлечения ТВС из активной зоны и помещения их в сухой канал с последующим анализом газовых продуктов деления.

Саморазогрев ТВС в воздухе в течение ограниченного времени за счет остаточного энерговыделения увеличивает выход летучих и газообразных продуктов деления из дефектных ТВС, что позволяет выявить все негерметичные ТВС, в том числе и имеющие только микродефекты и газовую неплотность. При этом температура стенки ТВС в течение одного часа выдержки достигает 75-80°C /14/.

Принципиальная схема установки проверки ТВС приведена на рис. 16. Установка состоит из пенала, форвакуумного насоса (ФВН), буферной емкости, мановакууметров, пробоотборника (П), фильтра (Ф), проточной ионизационной камеры (ИК) объемом 20 л с цифровым измерительным прибором, одноканального анализатора со сцинтилляционным детектором  $NaI$  (40x40 мм), встроенного в объеме ИК, и запорной арматуры.

ТВС для проверки помещается в пенал, из которого вода вытесняется воздухом. Затем пенал вакуумируется вместе с ионизационной камерой и дается некоторая выдержка времени. За это время происходит натекание продуктов деления в объеме пенала. Из пенала газовая смесь вытесняется дистиллятом в объеме пробоотборника и ИК, которая служит как емкость и дубль-детектор.

Одноканальный анализатор работает в дифференциальном режиме, окно которого выбирается экспериментально по пробе ИРГ, отобранной из надреакторного пространства при работе реактора на мощности по гамма-квантам линии 81 кэВ радионуклида  $^{133}\text{Xe}$ . Время проверки одной ТВС составляет около 15 мин. В установке предусмотрена возможность отбора пробы газообразных продуктов деления в специальный пробоотборник для проведения спектрометрического анализа с помощью полупроводникового детектора.

Результаты проверки ТВС приведены в табл. 8.

Примечание: Остальные ТВС не показали превышения над фоном.

Как видно из таблицы, выгруженные ТВС имели различную степень негерметичности, непропорциональную проценту выгорания. Следует отметить, что проверка ТВС должна проводиться в ближайшие 1-2 сут после остановки реактора, так как после длительного простоя показания анализатора не отмечают превышения над фоном.

Проведенное таким образом прогнозирование, проверка и выгрузка негерметичных ТВС позволила в 1980 г. предотвратить выброс

продуктов деления в атмосфере и в результате уменьшить выбросы радионуклидов в три раза.

Данные спектрометрического анализа приведены в таблице 9.

Из таблицы видно, что основную активность негерметичной ТЭС составляет <sup>133</sup>Xe, что не противоречит литературным данным /3,4/.

Считаем своим долгом вынести благодарность доктору хим. наук Москвину В.И., руководителю отдела, ст.научному сотруднику Мельникову В.А. за предоставление селективных блочных сорбентов и оказание помощи в их применении; руководителю группы активационного анализа, кандидату физ.-мат. наук Берчуку И.Ф. и его сотрудником, оказавшим большую помощь при обработке результатов и оформлении работ; радиометристам Дроновой М.В. и Зубковой А.Д., всем сотрудникам служб водного режима за большой многолетний труд по данному вопросу; сотрудникам служб управления за качественную и оперативную проверку ТЭС.

Концентрация радионуклидов в теплоносителе  
I контура при условно герметичной активной  
зоне и при газовой неплотности части ТВС

Концентрация, Ки/л				
Химическ элемент	Спокойный пе- риод	Кoeffиц. вариации $\sigma_x, \%$	Период газящих ТВС	Кoeffициент вариации $\sigma_x, \%$
$A \alpha$	$1,32 \cdot 10^{-10}$	23	$9,4 \cdot 10^{-10}$	21
$A \beta \text{ c.o.}$	$3,54 \cdot 10^{-4}$	23	$5,37 \cdot 10^{-4}$	24
$\sum \gamma$	$7,52 \cdot 10^{-5}$	20	$1,77 \cdot 10^{-4}$	32
$^{131}\gamma$	$2,92 \cdot 10^{-6}$	30	$7,35 \cdot 10^{-6}$	45
$^{135}\gamma$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	19	$4,88 \cdot 10^{-5}$	31
$^{133}\gamma$	$1,51 \cdot 10^{-5}$	35	$4,64 \cdot 10^{-5}$	37
$^{137}\text{Cs}$	$4,02 \cdot 10^{-7}$	45	$1,09 \cdot 10^{-6}$	51
$^{138}\text{Cs}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	28	$1,46 \cdot 10^{-4}$	49
$^{139}\text{Ba}$	$1,76 \cdot 10^{-5}$	52	$2,09 \cdot 10^{-5}$	50
$^{140}\text{Ba}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	51	$1,34 \cdot 10^{-5}$	50
$^{91}\text{Sr}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$	47	$5,97 \cdot 10^{-5}$	45
$^{92}\text{Sr}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$	42,3	$6,57 \cdot 10^{-5}$	45,5

Концентрации  $\alpha$  и  $\beta$  -радионуклидов сухого остатка воды I контура при остановленном реакторе (понедельник) и при работе реактора 2 сут

Таблица 2

Год определения	$A_{\beta}$ общ. Ки/л	$V_{\beta}, \%$	$A_{\alpha}$ общ. Ки/л	$V_{\alpha}, \%$	$A_{\Sigma\gamma}$ Ки/л	$V_{\Sigma}, \%$
1975	$2,13 \cdot 10^{-5}$	57,75	$1,6 \cdot 10^{-10}$	35,0	$11,2 \cdot 10^{-7}$	38,0
1976	$1,38 \cdot 10^{-5}$	55,0	$1,35 \cdot 10^{-10}$	51,85	$5,73 \cdot 10^{-7}$	63,4
1979	$5,5 \cdot 10^{-5}$	29,0	$7,01 \cdot 10^{-10}$	52,0	$1,53 \cdot 10^{-5}$	35,0
1979	$8,24 \cdot 10^{-5}$	37,0	$1,82 \cdot 10^{-9}$	46,0	$3,07 \cdot 10^{-5}$	32,0
1980	$6,52 \cdot 10^{-5}$	26,0	$6,55 \cdot 10^{-10}$	37,0	$1,0 \cdot 10^{-5}$	40,0
1975	$1,26 \cdot 10^{-4}$		$1,5 \cdot 10^{-10}$		$9,15 \cdot 10^{-6}$	
1976	$1,1 \cdot 10^{-4}$		$9,5 \cdot 10^{-11}$		$1,0 \cdot 10^{-5}$	
1979	$3,54 \cdot 10^{-4}$	23,0	$1,82 \cdot 10^{-10}$	23,0	$8,52 \cdot 10^{-5}$	22,0
1979	$5,37 \cdot 10^{-4}$	41,0	$9,43 \cdot 10^{-10}$	67,0	$1,77 \cdot 10^{-4}$	32,0
1980	$3,86 \cdot 10^{-4}$	19,0	$1,98 \cdot 10^{-9}$	30,0	$7,6 \cdot 10^{-5}$	40,0
I-IV-1979						
IV-79-IX-80						
X-80-I-81						
I-IV-1979						
IV-79-X-80						
X-80-I-81						

Продолжение табл.2

$A_{131}$ Км/л	$v_{\text{ср}}$ .%	$A_{133}$ Км/л	$v_{\text{ср}}$ .%	$A_{135}$ Км/л	$v_{\text{ср}}$ .%
-------------------	--------------------	-------------------	--------------------	-------------------	--------------------

14

$3,3 \cdot 10^{-6}$	32,0				
$3,35 \cdot 10^{-6}$	52,0				
$1,28 \cdot 10^{-6}$	32,0				
$3,42 \cdot 10^{-6}$	26,0	$1,51 \cdot 10^{-5}$	21,0	$1,68 \cdot 10^{-5}$	17,0
$7,35 \cdot 10^{-6}$	32,0	$4,64 \cdot 10^{-5}$	42,0	$4,88 \cdot 10^{-5}$	35,0
$2,23 \cdot 10^{-6}$	39,0	$1,79 \cdot 10^{-5}$	31,0	$2,1 \cdot 10^{-5}$	30,0



Концентрация  $A^{138}Cs$  и  $A^{137}Cs$  сухого остатка

Таблица 3

Год определения	Кл/л		$A^{137}Cs, \%$	Примечание
	$A^{138}Cs$	$A^{137}Cs$		
1975	$8,49 \cdot 10^{-6}$	$1,49 \cdot 10^{-4}$	5,8	Спокойное состояние зоны
1979	$6,07 \cdot 10^{-5}$	$5,67 \cdot 10^{-4}$	12,3	с II-I-4-II-1979 Период газаций ТВС
	$3,37 \cdot 10^{-5}$	$2,04 \cdot 10^{-4}$		
1979	$8,6 \cdot 10^{-5}$	$8,88 \cdot 10^{-4}$	10	с II-IV-1979 и их удаление из зоны
	$4,83 \cdot 10^{-5}$	$5,88 \cdot 10^{-4}$		
1980	$1,46 \cdot 10^{-4}$	$9,94 \cdot 10^{-4}$	14,7	9-I-25-VI-1980
	$1,52 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-4}$		

15

Таблица 4

Концентрация монов и  $^{137}\text{Cs}$  в воде I контура,  
выделенных по "классической методике" и с помощью блочных сорбентов

Классическая методика				Блочные сорбенты (таблетки)			
Кв/л				Кв/л			
$A^{131}\gamma$	$A^{133}\gamma$	$A^{135}\gamma$	$A^{137}\text{Cs}$	$A^{131}\gamma$	$A^{133}\gamma$	$A^{135}\gamma$	$A^{137}\text{Cs}$
$6,75 \cdot 10^{-7}$	$1,08 \cdot 10^{-5}$	$1,78 \cdot 10^{-5}$	$4,97 \cdot 10^{-5}$	$1,72 \cdot 10^{-6}$	$2,14 \cdot 10^{-5}$	$2,67 \cdot 10^{-5}$	$3,83 \cdot 10^{-5}$
$9,7 \cdot 10^{-7}$	$1,08 \cdot 10^{-5}$	$1,69 \cdot 10^{-5}$	$6,76 \cdot 10^{-5}$	$1,09 \cdot 10^{-6}$	$1,42 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$6,02 \cdot 10^{-5}$
$1,13 \cdot 10^{-6}$	$1,55 \cdot 10^{-5}$	$2,32 \cdot 10^{-5}$	$5,44 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$1,23 \cdot 10^{-5}$	$1,42 \cdot 10^{-5}$	$5,4 \cdot 10^{-5}$
				$1,16 \cdot 10^{-6}$	$1,78 \cdot 10^{-5}$	$1,74 \cdot 10^{-5}$	$5,56 \cdot 10^{-5}$

Примечание: Выделение параллельное. Время работы реактора  $\geq 2$  сут

Таблица 5

Концентрация изотопов  $\text{J}$  в воде I контура при условно герметичной активной зоне и газовой неплотности части ТВС

Дата отбора	Н и / л							
	$A_{\text{J}}$ общ.	$U_{\text{J}}, \%$	$A^{131}\text{J}$		$A^{133}\text{J}$	$U_{\text{J}}, \%$	$A^{135}\text{J}$	$U_{\text{J}}, \%$
			$A$	$U, \%$				
	П Я Т Н И Ц А							
I-IV-1979	$3,57 \cdot 10^{-4}$	31	$3,42 \cdot 10^{-6}$	26	$1,51 \cdot 10^{-5}$	21	$1,6 \cdot 10^{-5}$	17
УП-79-I-1980	$5,37 \cdot 10^{-4}$	28	$7,35 \cdot 10^{-6}$	50	$4,64 \cdot 10^{-5}$	42	$4,88 \cdot 10^{-5}$	35
I-УП-1980 с 13 окт. 1980	$3,86 \cdot 10^{-4}$	24	$1,28 \cdot 10^{-6}$	28	$2,86 \cdot 10^{-6}$	39	$2,1 \cdot 10^{-5}$	30,4

П О Н Е Д Е Л ь Н И К

$5,51 \cdot 10^{-5}$	29	$3,3 \cdot 10^{-6}$	32
$8,2 \cdot 10^{-5}$	34	$3,35 \cdot 10^{-6}$	49
$8,24 \cdot 10^{-5}$	27	$6,19 \cdot 10^{-6}$	45
$6,52 \cdot 10^{-5}$	24	$2,2 \cdot 10^{-5}$	37

Таблица 6

Концентрация  $\Sigma\gamma$  и  $\beta$  -радионуклидов  
теплоносителя I контура в период относительной негерметичности оболочек  
ТЭС

Дата отбора	Ки/л							
	$A\Sigma\gamma$	: $\%x_2\%$ :	$A\beta$ об/л	$\%x_2\%$	$A\Sigma\gamma$	: $\%x_2\%$ :	$A\beta$ об/л	$\%x_2\%$
	ПЯТНИЦА				ПОНЕДЕЛЬНИК			
I-IV 1979	$8,52 \cdot 10^{-5}$	32	$3,54 \cdot 10^{-4}$	16	$1,53 \cdot 10^{-5}$	31	$5,51 \cdot 10^{-5}$	29
IV-79- IX-1980	$1,77 \cdot 10^{-4}$	38	$5,37 \cdot 10^{-4}$	29	$3,07 \cdot 10^{-5}$	29	$8,24 \cdot 10^{-5}$	34
X-ХП- 1980	$7,6 \cdot 10^{-5}$	34	$3,86 \cdot 10^{-4}$		$1,0 \cdot 10^{-5}$	35	$6,52 \cdot 10^{-5}$	26
1975	$9,2 \cdot 10^{-6}$	24	$1,26 \cdot 10^{-4}$	32	$1,12 \cdot 10^{-6}$	24	$2,13 \cdot 10^{-5}$	31
1976	$4,9 \cdot 10^{-6}$	37	$1,1 \cdot 10^{-4}$	38	$5,73 \cdot 10^{-7}$	29	$1,38 \cdot 10^{-5}$	33

Таблица 7

131y

Отношение концентраций радионуклидов и

Дата отбора	$A^{131}y$	$A^{90}Sr / A^{131}y$	$A^{90}Sr / A^{131}y$	$A^{137}Cs / A^{131}y$	$A^{137}Cs / A^{131}y$	$A^{132}Cs / A^{131}y$
		1979 г.				
20 апреля	$1,98 \cdot 10^{-6}$	11,6	14,34	1,66	1,93	30,61
18 мая	$1,86 \cdot 10^{-6}$	20,97	28,67	2,0	5,70	43,86
21 мая	$1,99 \cdot 10^{-6}$	19,55	22,6	2,18	5,93	-
8 июня	$3,32 \cdot 10^{-6}$	10,48	12,14	2,33	3,34	84,9
6 июля	$2,66 \cdot 10^{-6}$	18,6	22,33	2,3	4,02	4,6
		1980 г.				
6 февраля	$9,98 \cdot 10^{-6}$	6,72	9,98	1,73	2,26	15,83
20 февраля	$9,27 \cdot 10^{-6}$	7,9	8,56	2,06	1,76	18,1
14 марта	$1,12 \cdot 10^{-5}$	11,07	4,99	2,13	3,27	18,39
23 апреля	$1,34 \cdot 10^{-5}$	4,96	6,94	1,1	1,0	7,09
21 мая	$3,64 \cdot 10^{-6}$	16,09	-	2,0	3,19	35,0
4 июня	$2,97 \cdot 10^{-6}$	22,12	30,51	4,28	7,14	19,02
18 июля	$4,18 \cdot 10^{-6}$	20,4	26,0	3,42	4,14	16,4

Продолжение табл.7

15 октября	$1,72 \cdot 10^{-6}$	24,1	30,8	-	51,33
22 октября	$2,73 \cdot 10^{-6}$	13,77	17,2	-	27,1
29 октября	$2,16 \cdot 10^{-6}$	18,15	24,2	4,41	39,6
	$1,44 \cdot 10^{-6}$	22,22	27,4	4,95	37,92
	$1,33 \cdot 10^{-6}$	25,7	31,73	5,18	48,72
26 ноября	$9,47 \cdot 10^{-7}$	23,83	32,95	5,7	54,38
12 октября	$1,46 \cdot 10^{-6}$	1,69	-	3,1	-
19 октября	$1,07 \cdot 10^{-6}$	2,57	-	5,12	-
26 октября	$1,99 \cdot 10^{-6}$	1,63	-	4,07	-
20 2 ноября	$1,19 \cdot 10^{-6}$	2,07	-	3,64	-
9 ноября	$2,85 \cdot 10^{-6}$	1,19	-	2,2	-
16 ноября	$7,4 \cdot 10^{-6}$	-	-	-	-
23 ноября	$9,07 \cdot 10^{-7}$	2,54	-	4,29	-
30 ноября	$1,31 \cdot 10^{-6}$	2,0	-	3,3	-
	10				

Примечание: Отношения концентрации радиоуклидов к  
 приведены для негерметичных ТВС

1317

Таблица 8

## Результаты проверки ТВС

ЭТВС	Дата проверки	Результаты проверки, ЕМП/мин (над фоном)	Дата выгрузки	Выгорание, %	Эфф. ЕМП/мин
547	3-9-IV-1980	20000	3-9-IV-1980	59	
550	То же	300000	"	56	
551	"	29000	"	56	
554	"	300000	"	52	
567	"	300000	"	42	
585	"	300000	"	37	
					500
548	25,26-V-1980	2000	26-V-1980	60	
549	"	2000	"	60	
552	"	4000	"	60	
586	"	21000	"	40	
599	"	11000	"	32	
					200
553	I-4-УП-1980	2040	15-IX-1980	59	
557	"	1740	"	58	
559	"	3500	"	58	
584	"	230000	"	44	
587	"	11000	"	43	
					200

Примечание: Остальные ТВС не показали превышения над фоном

Таблица 9

## Концентрация ИРГ, определенная с помощью спектрометрического анализа

Радионуклид	ТВС, Ки/л	
	Герметичная	Негерметичная
$^{88}\text{Kr}$ (196)	$0,3 \cdot 10^{-10}$	$2,2 \cdot 10^{-7}$
$^{133}\text{Xe}$ (81)	$0,57 \cdot 10^{-10}$	$2,83 \cdot 10^{-2}$
$^{135}\text{Xe}$ (250)	$0,4 \cdot 10^{-10}$	$2,41 \cdot 10^{-4}$
$^{138}\text{Xe}$ (258)	$8,9 \cdot 10^{-10}$	$3,1 \cdot 10^{-6}$
$^{132}\text{I}$ (668)	$26,7 \cdot 10^{-10}$	$2,07 \cdot 10^{-5}$

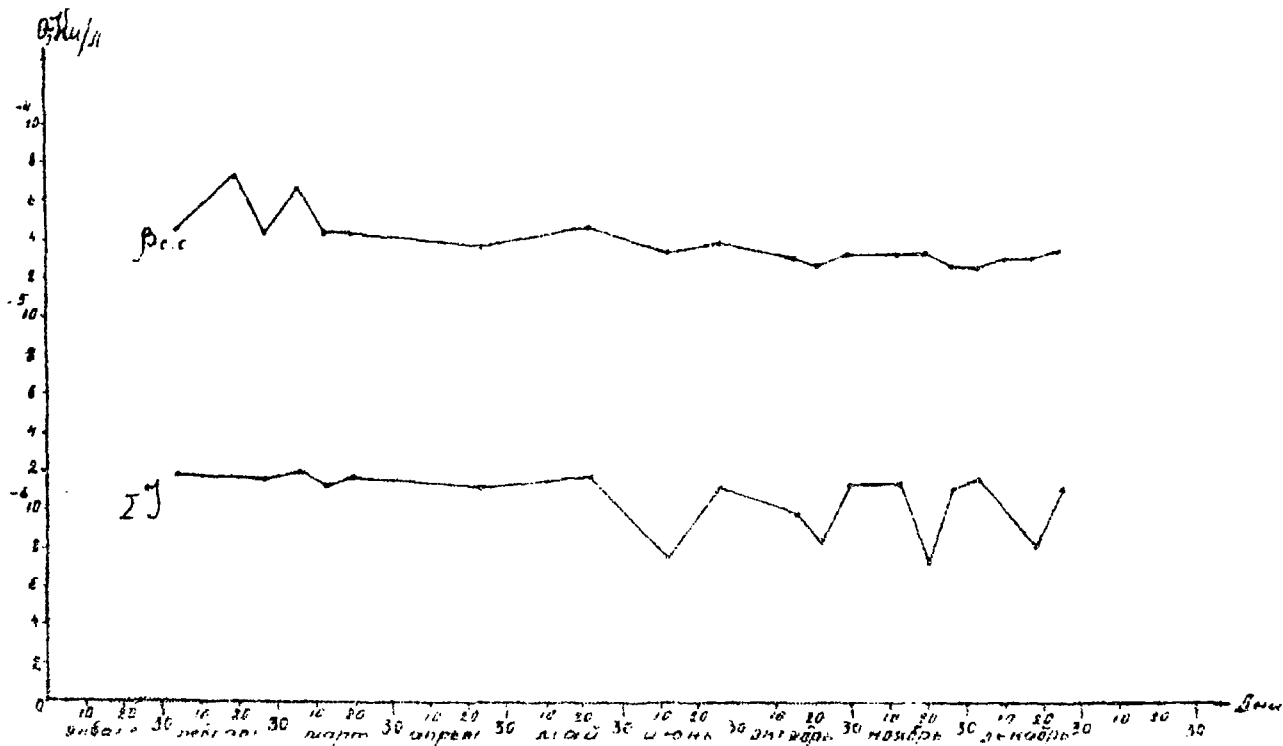


Рис. I. Концентрация бета-радионуклидов сухой  
остатка и  $\Sigma \gamma$  при  $W = 10 \text{ МВт}$  (1965 г.)



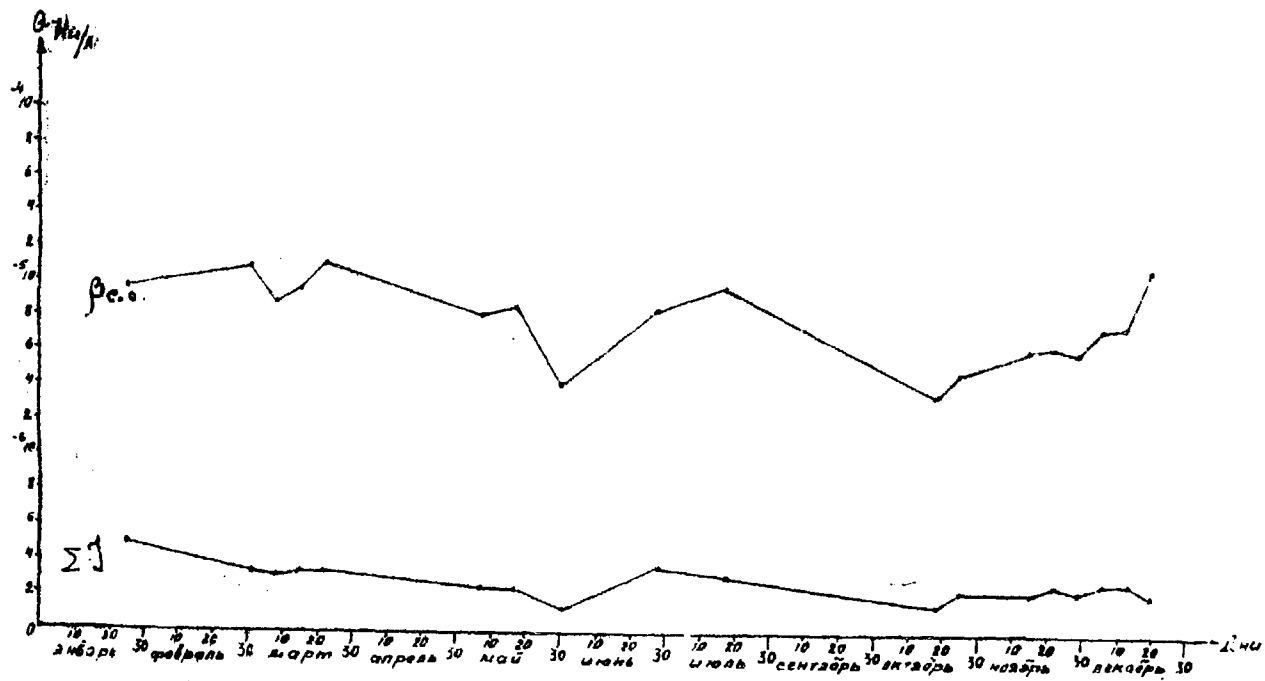


Рис. 2. Концентрация бета-радионуклидов сухого остатка и  $\Sigma\gamma$  при  $W = 0$ . (1965 г.)

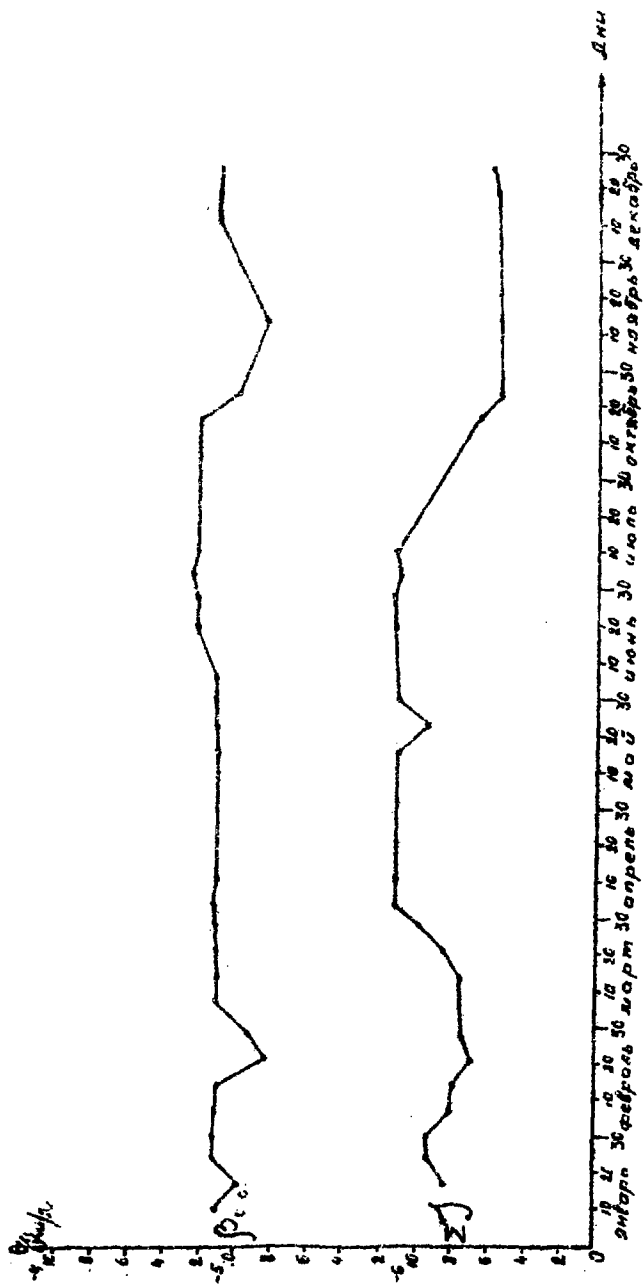


Рис. 5. Концентрация бета-радионуклидов сухого остатка в  $\Sigma\gamma$  при  $M = 10$  МВт (1975 г.)

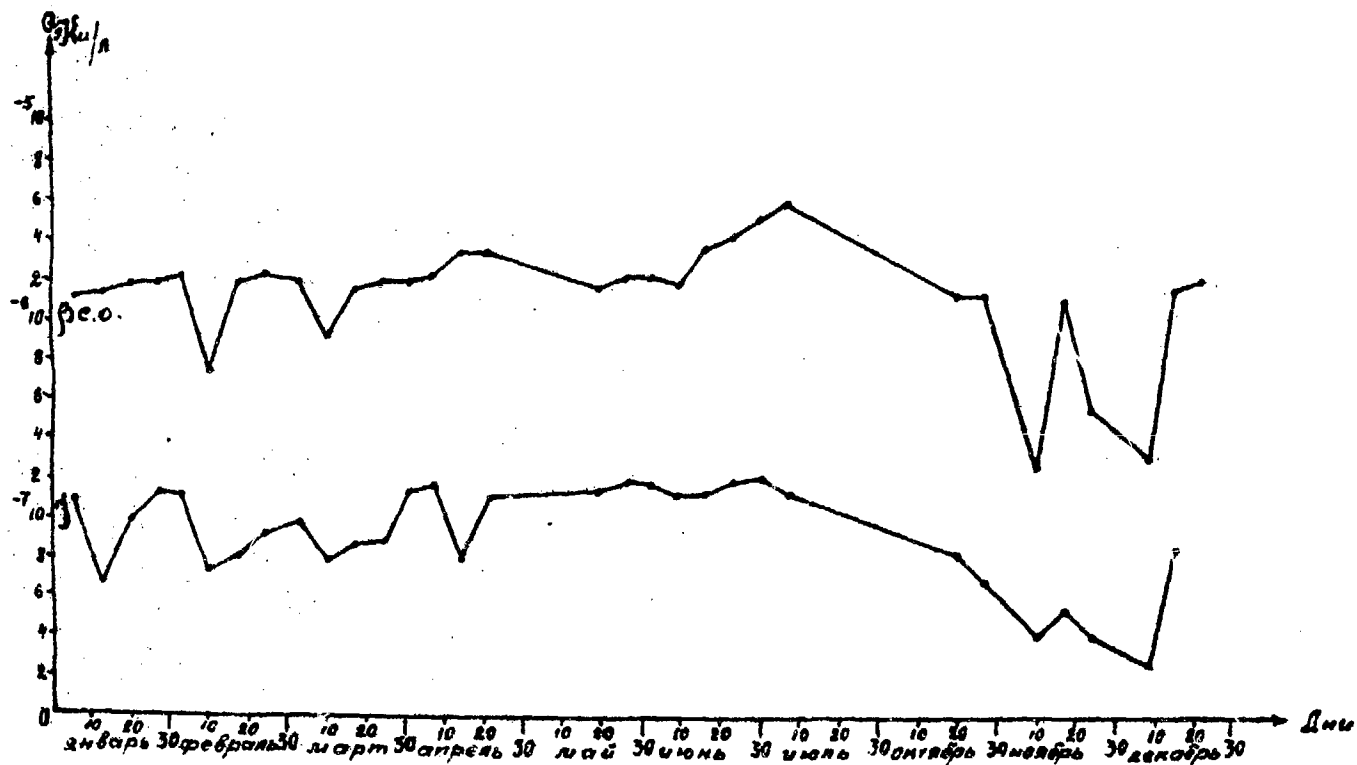


Рис.4. Концентрация бета-радионуклидов сухого остатка и  $\Sigma У$  при  $W = 0$ . (1975 г.)

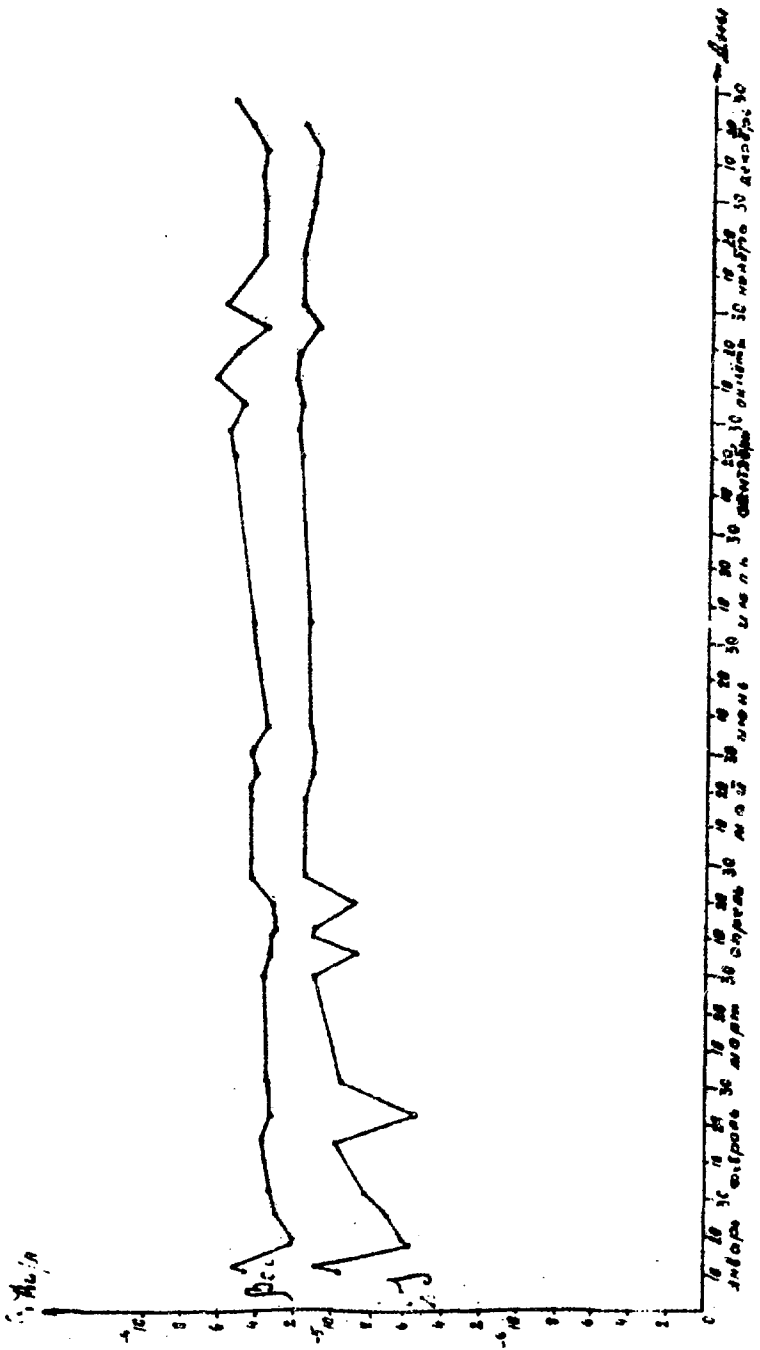


Рис.5. Концентрация бета-радионуклидов сухого остатка и  $\Sigma\gamma$   
 при  $W = 10 \text{ MBт}$  (1979 г.)

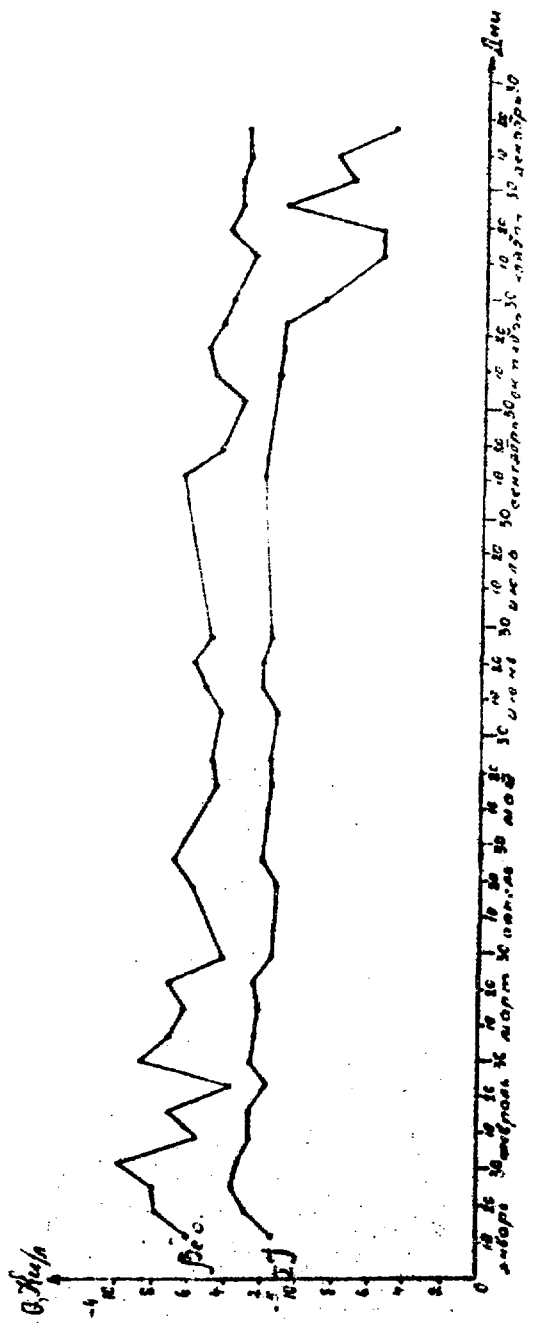


Рис.6. Концентрация бета-радионуклидов сухого остатка и  $\Sigma \beta$  при  $W = 10$  МВт (1980 г.)

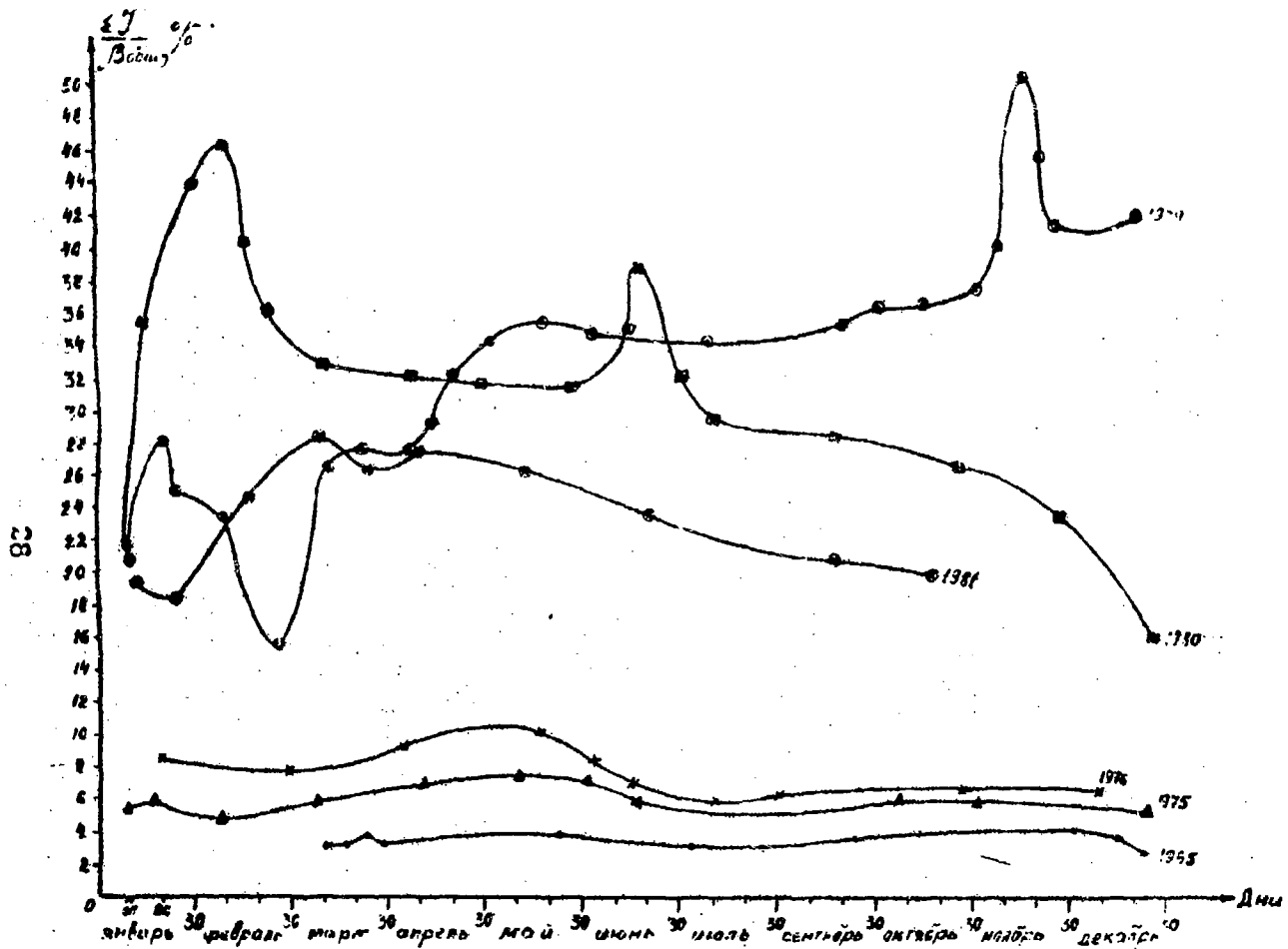


Рис.7. Отношение бета-концентраций  $\Sigma J$  и сухого остатка при  $W = 10 \text{ MBt}$

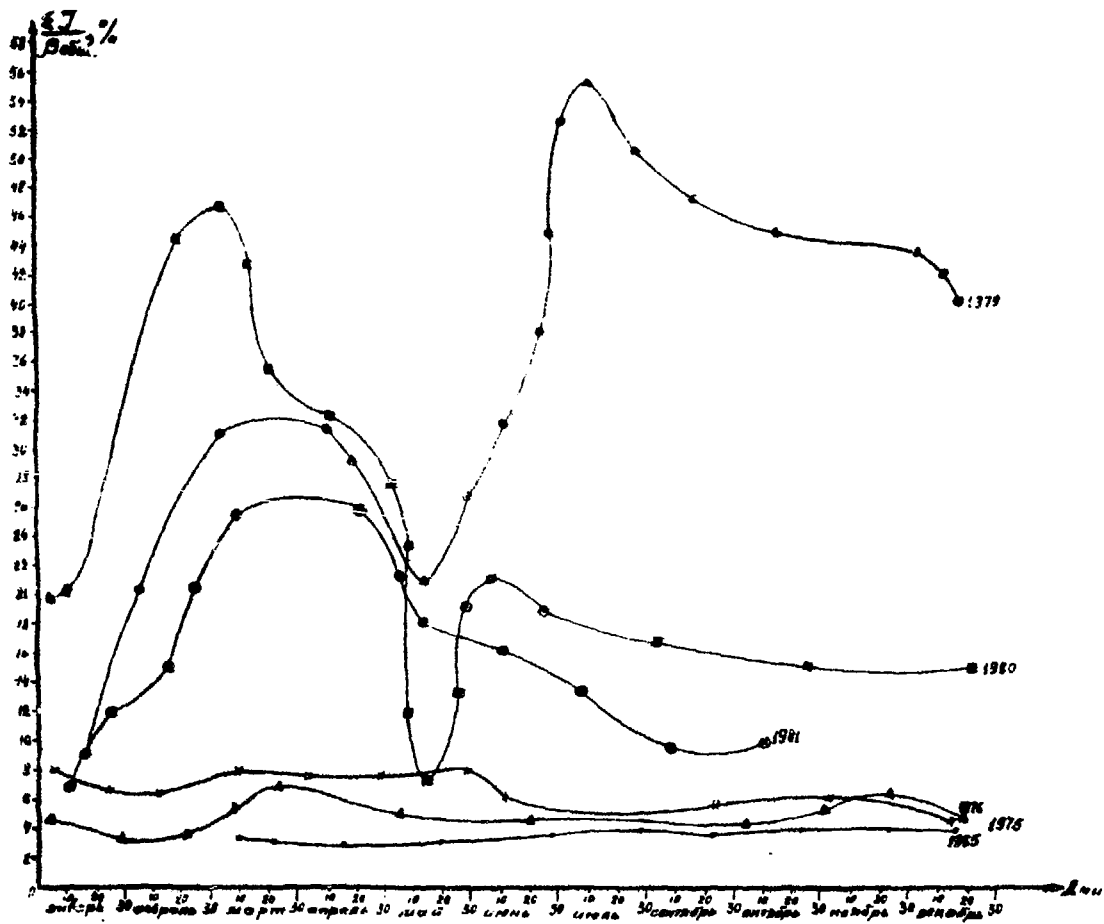


Рис.8. Отношение бета-концентраций  $\Sigma J$  и сухого остатка при  $W = 0$

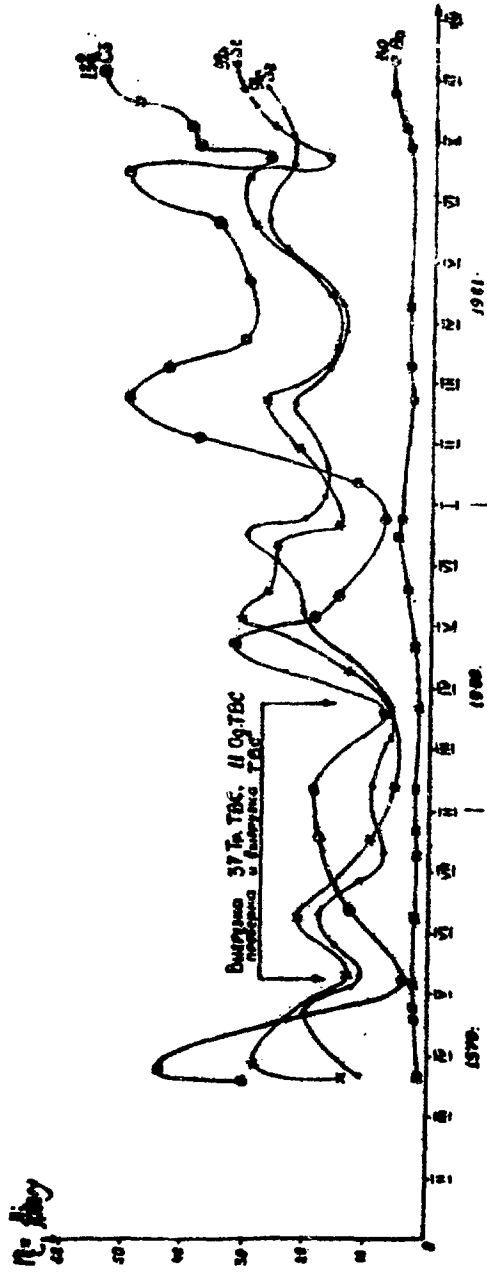


Рис.9. Отношение концентрации  $^{131}\text{I}$  -того изотопа к концентрации  $^{137}\text{Cs}$



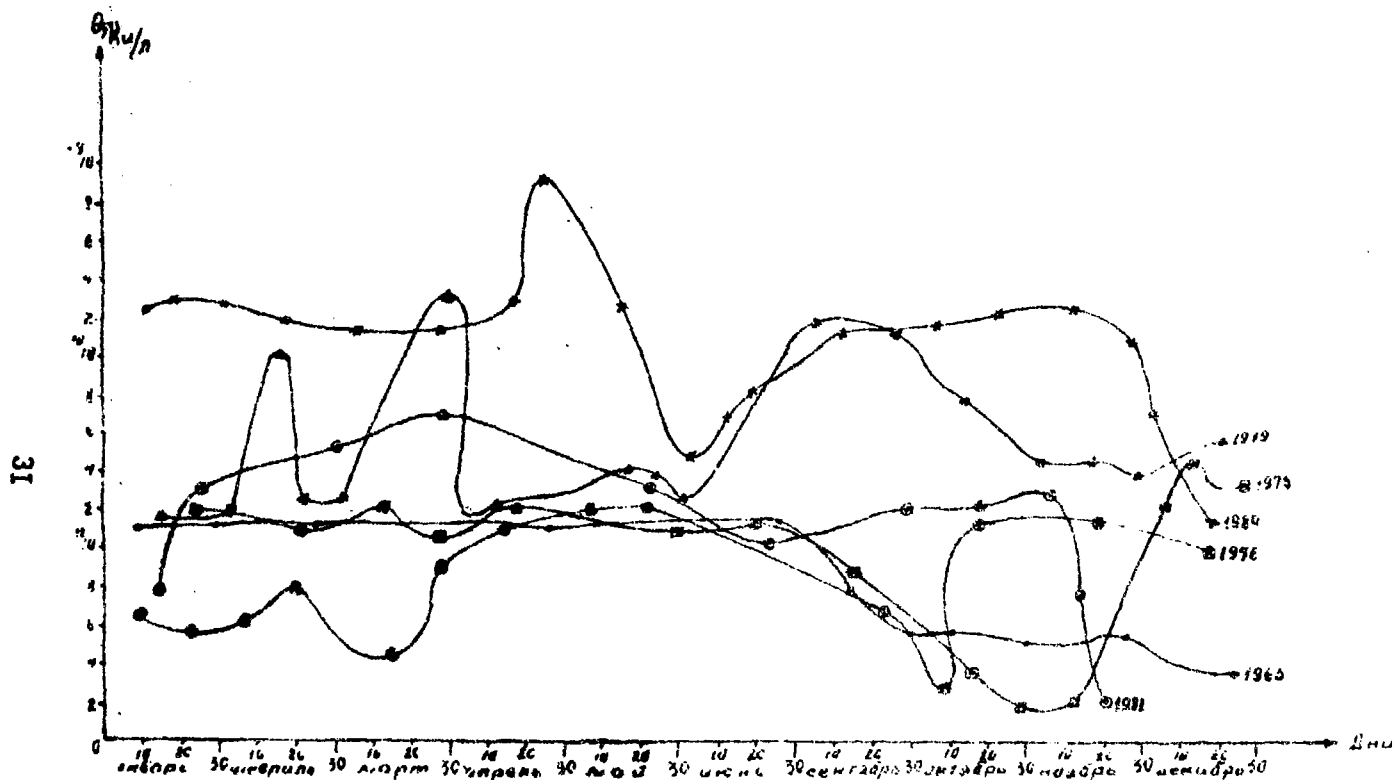


Рис.10. Концентрация альфа-радионуклидов сухого остатка при  $W = 10$  МВт

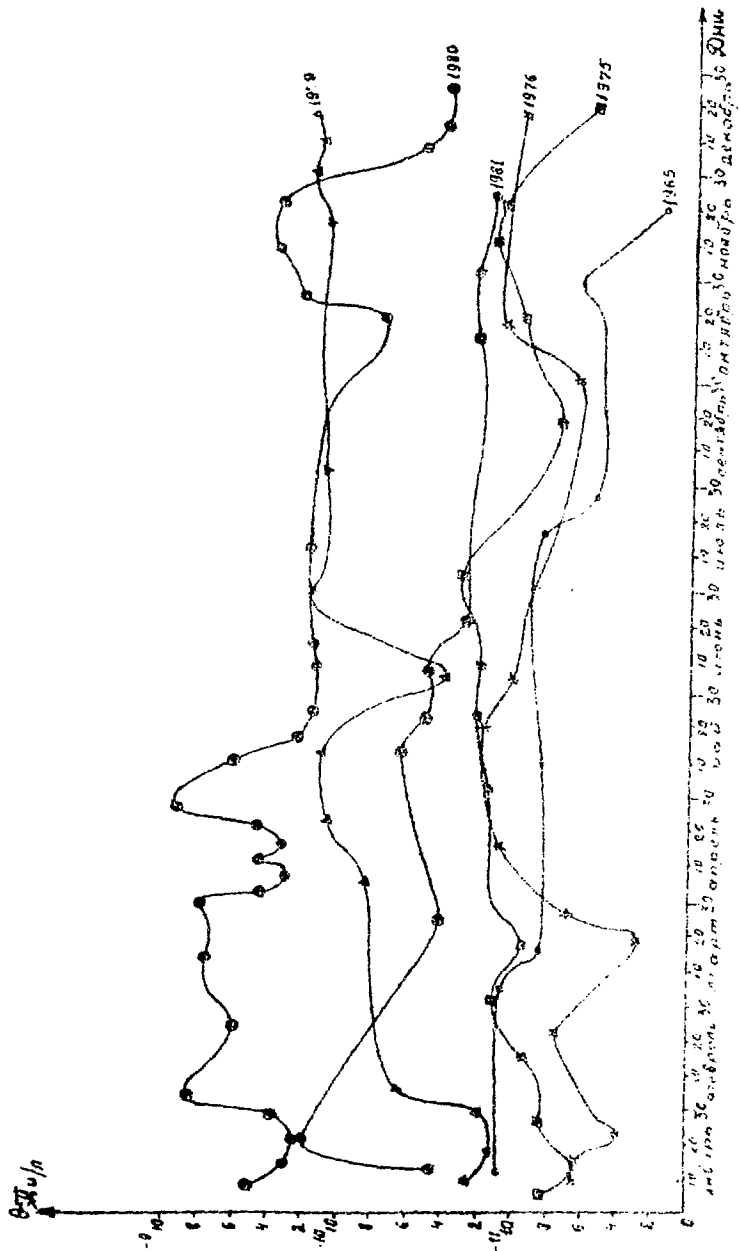


Рис. 11. Концентрация альфа-радиоцезия в сухом остатке при  $W = 0$

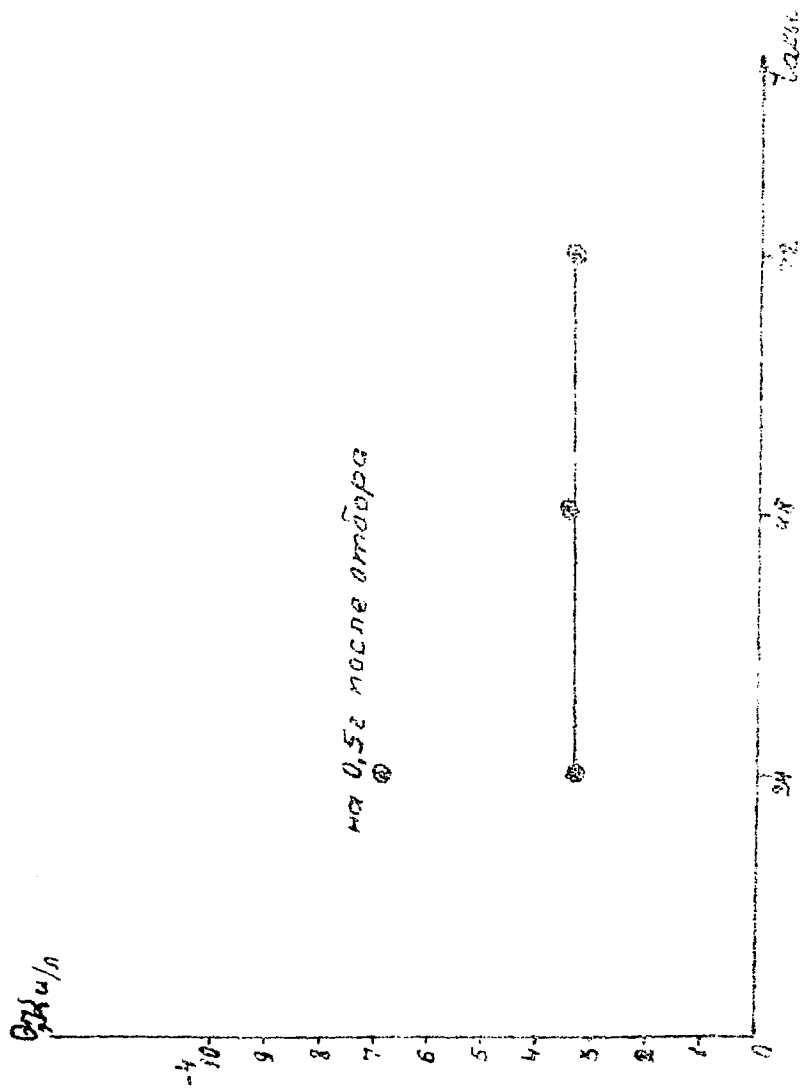


рис. 12. График зависимости величины концентрации броуновского движения от времени роста культуры

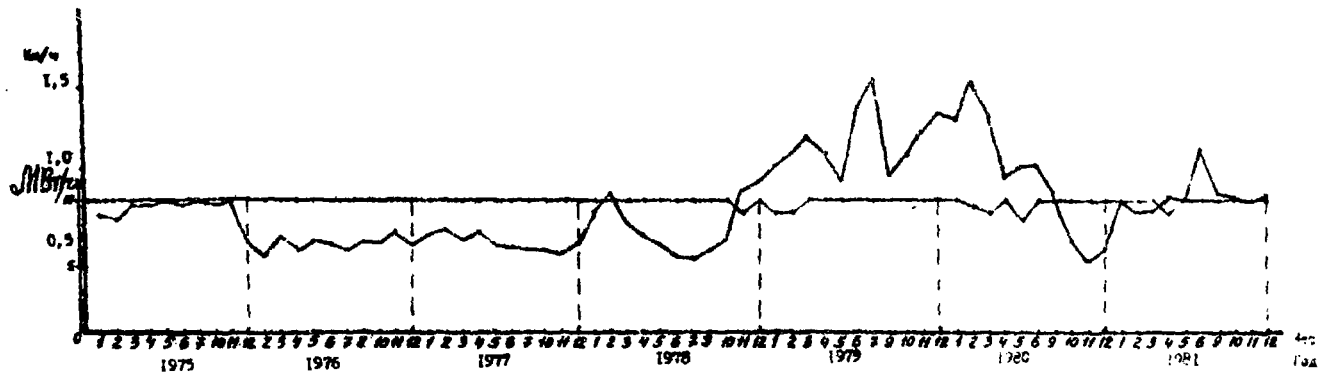


Рис. 13. Величина выброса ИРГ

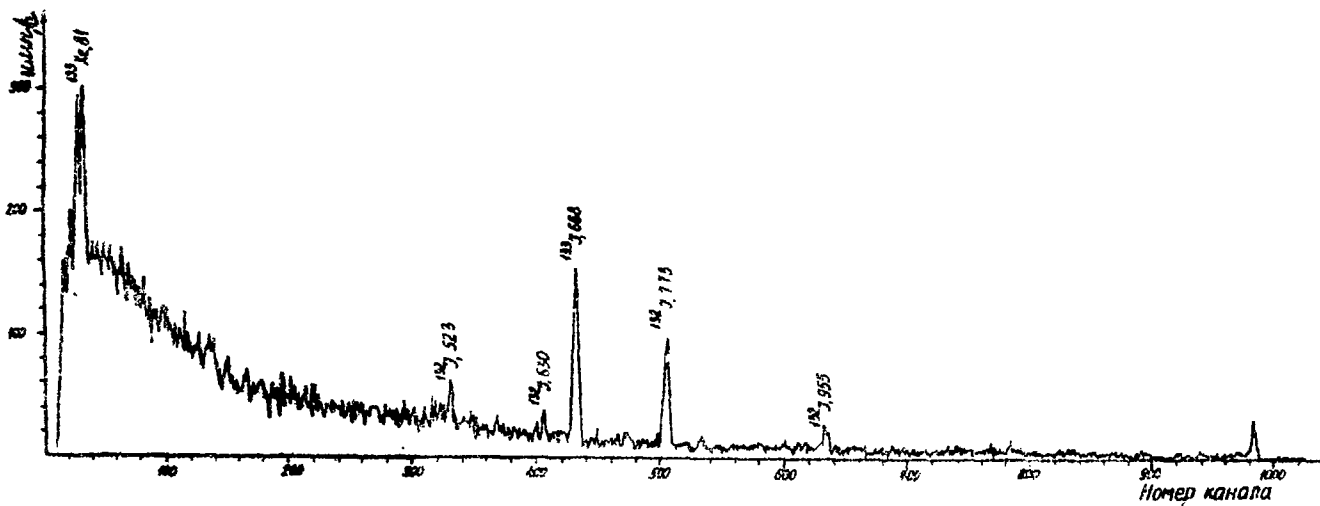


Рис.14. Спектрограмма герметичной ТВС

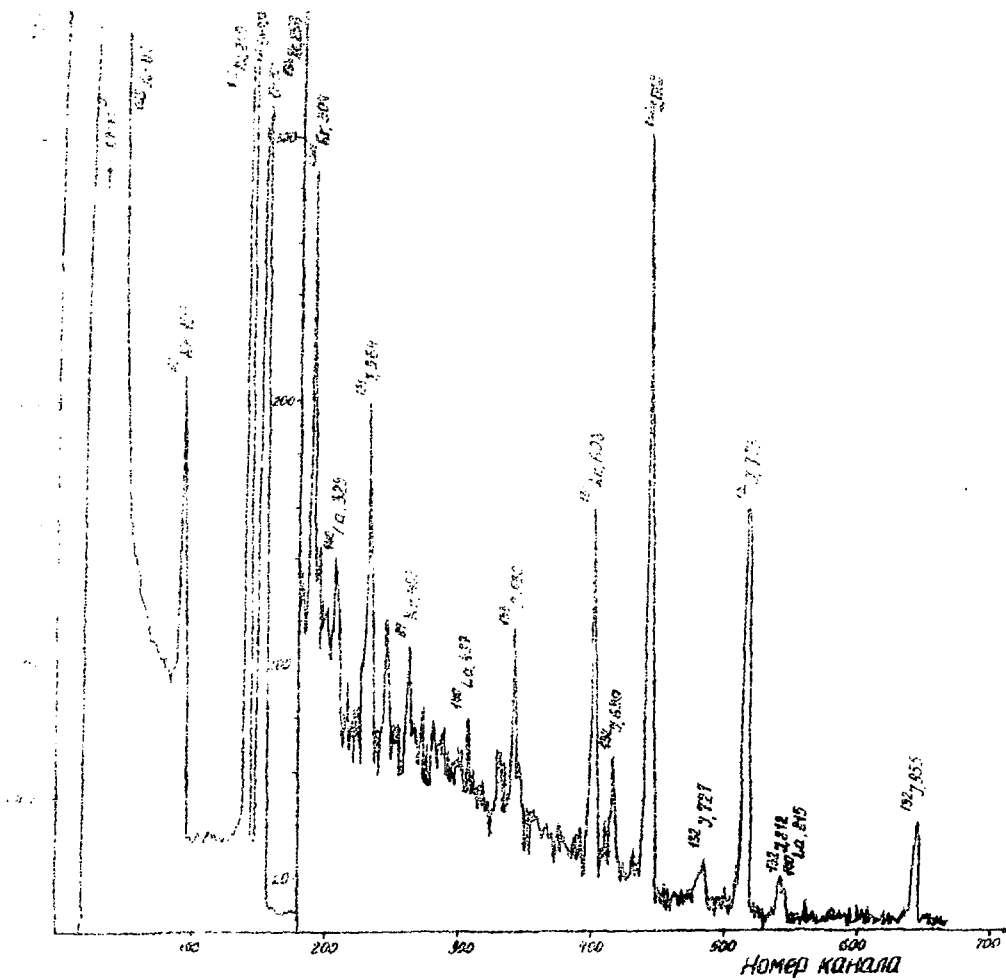


Рис.15. Спектрограмма негерметичной ТВС

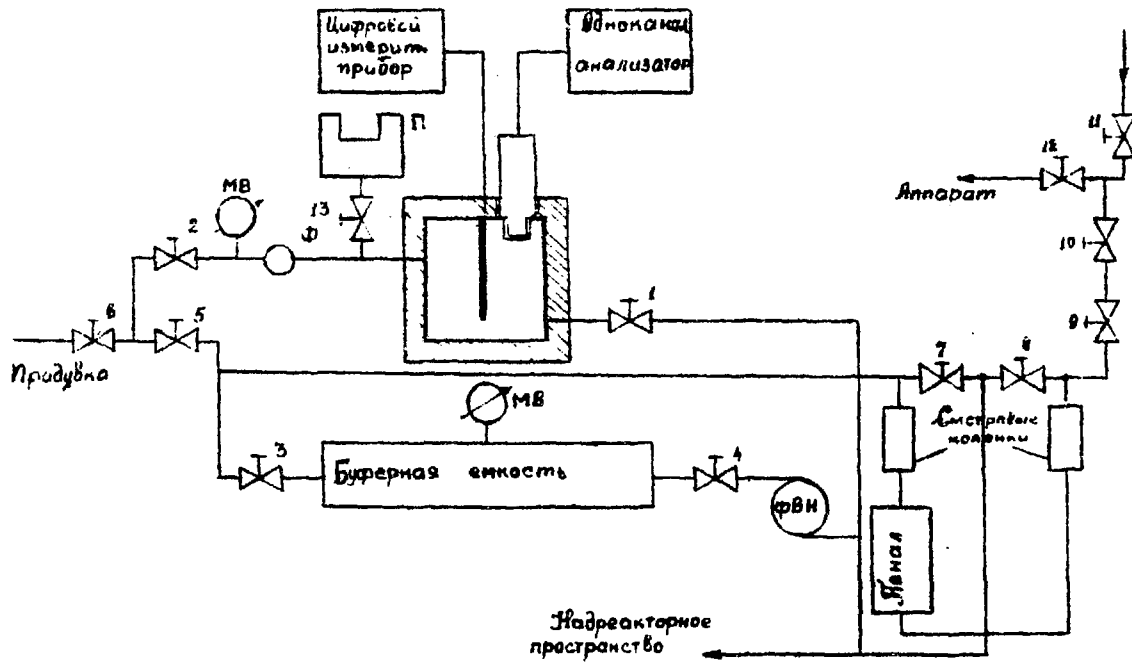


Рис.16. Принципиальная схема установки КГО

Список использованной литературы

1. Барчук И.Ф., Филипец Д.Т. Метод проверки герметичности ТВЭлов реактора ВВР-М.: Атомная энергия, 1966, т.21, вып.6.
2. Вдовенко В.М. Состояния радиоактивных изотопов. - Современная радиохимия. - М.: Атомиздат, 1969.
3. Герасимов В.В., Касперович А.И., Мартынова О.И. Водный режим атомных электростанций. - М.: Атомиздат, 1976, с.130.
4. Егоров Д.А., Дьяков А.А. и др. Исследование поступления продуктов деления и теплоноситель I контура реактора ИВВ-2. - Вопросы атомной науки и техники, 1979, сер. ядерное приборостроение, вып.2 (40), с.3-6.
5. Лузанова Л.М., Пологих Б.Г., Изотопный состав осколочной радиоактивности I контура при негерметичных оболочках ТВЭЛ. - Препринт, М.: ИАЭ им.И.В.Курчатова, 1970.
6. Москвин Л.Н., Марошкин В.С., Мельников В.А. Выделение радионуклидов из теплоносителя с помощью пористых блочных сорбентов. - Радиохимия, 1979, 21, 2, с.311.
7. Москвин Л.Н., Мельников В.А. Радиохимический анализ технологических сред атомных энергетических установок. - Сб. статей ДХТИ-80-2116. - Л., 1980.
8. Поликарпов В.И. и др. Состав радионуклидов в водных и газовых фракциях теплоносителя I контура реактора ИВВ-2. - Вопросы атомной науки и техники, 1978, сер. ядерное приборостроение, вып.36, с.172.
9. Поликарпов В.И. и др. Контроль герметичности ТВЭлов. - М.: Госатомиздат, 1962.
10. Сивинцев Д.В. Газообразные радиоактивные отходы ядерных реакторов. - Атомная техника за рубежом, 1979, № 8.
11. Тустановский В.Т. Оценка точности и чувствительности активационного анализа. - М.: Атомиздат, 1976, с.182.
12. Чубаков А.А., Лузанова Л.М., Павленко В.И. Изотопный состав осколочной радиоактивности первого контура при негерметичных оболочках ТВЭЛ. - М.: ИАЭ им.И.В.Курчатова, 1966.
13. Швеев А.Ф., Шумейко Б.П. Контроль герметичности оболочек ТВЭлов. - Десятилетний опыт эксплуатации Нововоронежской АЭС. - В кн.: Материалы научно-технической конференции (Нововоронеж, сент.1974). - Нововоронеж, 1974, с.166.
14. Широков С.В. и др. Внедрение методов и систем КГО стержневых ТВЭлов на реакторе первого блока Белоярской АЭС. - Атомная энергия, 1978, т.45, вып.3.



Вера Александровна Близишкова, Валерий Николаевич Шевель,  
Виктор Иванович Остапенко

ОЦЕНКА НЕГЕРМЕТИЧНОСТИ ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩИХ  
СБОРОК НА РАННЕЙ СТАДИИ ЕЕ  
РАЗВИТИЯ

(препринт КИЯИ-83-24)

Редакторы: Мелашкина Л.П.,  
Соценко В.В.

БФ 54013	Бумага офсетная	Усл.-печ.л. 2,5
Изд. № КИЯИ-83-24	Печать офсетная	Уч.-изд.л. 0,8
Тип.заказ № 70	Формат бумаги 60x90/16	Тираж 180 экз.
Подписано к печати 14.12.1983 г.		Цена 6 коп.

---

Институт ядерных исследований АН УССР, ОНТИ  
252650, ГСП, Киев-28, проспект Науки, 119

---

СНТБ с ЭИ Института ядерных исследований АН УССР  
252650, ГСП, Киев-28, проспект Науки, 119