

# Атомку тормознут контейнеры

Сложное состояние в России с контейнерами для отработавшего ядерного топлива энергетических реакторов и возможный выход из сложившейся ситуации

В хронологическом порядке с опорой исключительно на факты мы попытались показать, почему в России сложилось удручающее состояние с созданием контейнеров для транспортирования и хранения ОЯТ энергетических легководных реакторов типа ВВЭР.

Упущенные 20 лет, когда в России работы по упомянутым контейнерам практически не велись, вернуть нельзя, но можно попытаться уменьшить негативные последствия сложившейся ситуации. Для этого нужно иметь надёжную информацию о проектах контейнеров, разработанных ведущими зарубежными фирмами, а затем её критически проанализировать и использовать с учётом того, что в стране незамедлительно должны создаваться новые большегрузные контейнеры для ОЯТ ТВС ВВЭР-1000 с повышенным начальным обогащением и большой глубиной выгорания.

Этим объясняется большое количество приведенных в статье данных о контейнерах «CASTOR» и «CONSTOR», разработанных в Германии фирмами GNS и GNB, а также о контейнерах типа «TN», которые десятилетиями создавались во Франции.

Естественно, что при разработке новых большегрузных отечественных ТУК, предназначенных для серийного изготовления на российских заводах из отечественных материалов, необходимо исключить тиражирование собственных ошибочных или неудачных решений. Поэтому мы критически рассматриваем в статье первые контейнеры, созданные в СССР, для ОТВС ВВЭР-440 и ВВЭР-1000, а также недостатки металлобетонных ТУК для ОТВС РБМК-1000, ОТВС АПЛ и надводных кораблей ВМФ, ОТВС атомных ледоколов, а также реактора БН-350. Эти ТУК создавались после 1995 г. а ОАО «КБСМ» при участии большого числа Организаций и Предприятий страны, когда ТУК для ОТВС ВВЭР в России практически не разрабатывались. Статья может быть полезной для специалистов, неравнодушных к проблемам Атомной энергетики.

Авторы.



Фромзель В. Н.



Шлейфер В. А.

## Разработанные в СССР и поставленные заказчиком к 1993 г. контейнеры для отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) реакторов типа ВВЭР

Контейнеры для транспортирования и промежуточного хранения отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) легководных энергетических реакторов ВВЭР-440 (ТУК-6 на 30 ОТВС) и ВВЭР-1000 (ТУК-10В на 6 кожуховых ОТВС; ТУК-10В-1 на 6 серийных бескожуховых ОТВС; ТУК-13В на 12 серийных ОТВС) изготавливались в 1978–1985 годах на заводе «Ждановтяжмаш» в г. Мариуполе.

Эти контейнеры (ТУК-и), эксплуатируемые по настоящее время, обеспечили своевременный вывоз ОТВС от блоков АЭС СССР, стран, входивших в Совет Экономической Взаимопомощи и Финляндии на ПО «Маяк», где осуществлялась переработка ОТВС ВВЭР-440, и на Горно-Химический Комбинат (ГХК), где ОТВС ВВЭР-1000 размещались в «мокром» хранилище завода РТ-2.

Проекты ТУК разрабатывались в 1973–1986 годах ГИ ВНИПИЭТ-ом, ЦКТИ им. Ползунова и Конструкторским Бюро «Ждановтяжмаш»-а с привлечением организаций и предприятий страны.

Ковано-сварные корпуса ТУК-6, ТУК-10В и ТУК-10В-1 изготавливались из поковок углеродистой стали 20, которые выпускались Краматорским Metallургическим Комбинатом. Эта сталь склонна к хрупкому разрушению при динамических нагрузках в условиях минусовых температур, характерных для осенне-зимнего периода в местах расположения Кольской АЭС, АЭС «Ловиза», ПО «Маяк» и ГХК.

Для транспортирования указанных ТУК были разработаны и изготовлены специальные вагоны-контейнеры ТК-6, ТК-10 с грузовыми отсеками, оборудованными электрообогревом и имеющими тепловую изоляцию. В связи с этим ТУК-6, ТУК-10В и ТУК-10В-1 были отнесены к упаковкам типа В(М), требующими специального согласо-

i

**Фромзель Владимир Натанович,**

к.т.н.. С 1962 г. по 2013 г. работал в ОАО «НПО ЦКТИ». После защиты в 1969 г. диссертации руководил работами по контейнерной тематике:

- Экспериментальные исследования теплопередачи в полостях горизонтально и вертикально расположенных моделей контейнеров для ОЯТ ВВЭР;
- Разработка методик и выполнение тепловых расчётов ТУК-6, ТУК-10 и ТУК-13;
- Тепловые расчёты металлобетонного контейнера «CONSTOR RBMK-1500», который создан совместно с германской фирмой GNB, для хранения ОЯТ Игналинской АЭС.

По его инициативе и участии «Петрозаводскмаш»-ем и ГНЦ РФ «ЦНИИТМАШ»-ем выполнен комплекс работ, доказавший возможность и узаконивший использование отечественного высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ) для отливки корпусов контейнеров.

С его участием по проекту ОАО «НПО ЦКТИ» были разработаны, а ЗАО «Петрозаводскмаш»-ем из ВЧШГ изготовлены:

- Две направляющие защитные шахты, обеспечившие передачу невыгоревших до конца ТВС с остановленного 1-го блока РБМК-1500 на работающий 2-й блок;
- ТУК-128 (ТУК-128/1) для ОТВС исследовательских реакторов;
- Защитные контейнеры ЗК КЭ и ЗК ПН, позволяющие хранить на Кольской АЭС касеты экраны и поглощающие надставки, в которых при эксплуатации ВВЭР-440 возникает наведенная активность.

Собирал и анализировал информацию о контейнерах, созданных зарубежными фирмами.

**Шлейфер Виктория Александровна,**

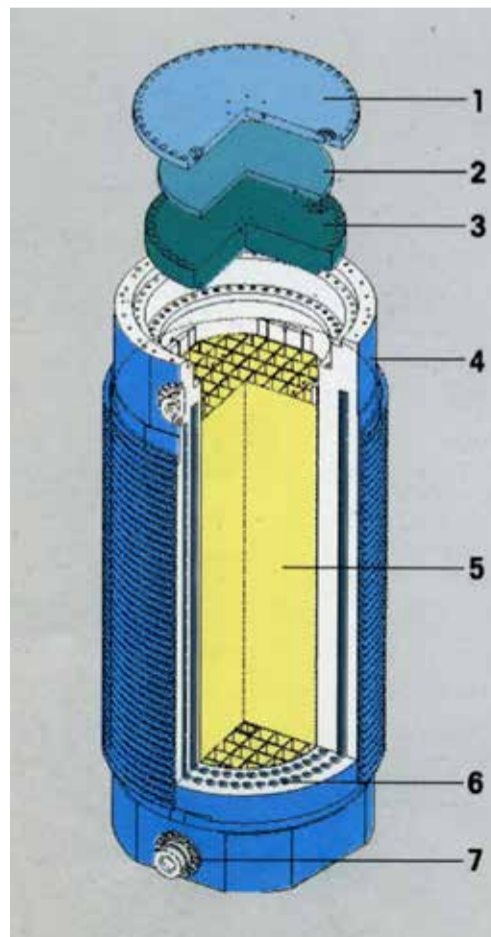
к.т.н., старший научный сотрудник. С 1970 г. работает в ОАО «НПО ЦКТИ». Занималась исследованием передачи тепла от ОТВС к корпусам моделей контейнеров (ТУК). В 1986 г. защитила диссертацию «Температурные режимы отработавших сборок тепловыделяющих элементов при их транспортировании и хранении». Участвовала в разработке методик и выполнении тепловых расчётов контейнеров типа ТУК-13, а также при их испытаниях. Собирала и анализировала информацию о конструкциях контейнеров, разработанных ведущими зарубежными фирмами.

ния для движения по зарубежным магистралям.

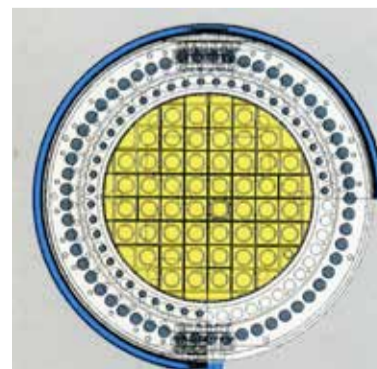
На «Ждановтяжмаш»-е был также изготовлен ТУК-13В с корпусом из низколегированной стали 06Н2М, однако трудновыполнимые требования по очень низкому содержанию в стали серы и фосфора сделали её не конкурентноспособной. Стоимость корпуса из стали 06Н2М оказалась близкой к стоимости корпуса из нержавеющей аустенитной стали 12Х18Н10Т для ТУК-13/1В, который выпускался Ижорским заводом вплоть до 1993 г. и вмещал 12-ть серийных ОТВС ВВЭР-1000.

## Сложная ситуация, сложившаяся в России с разработкой современных большегрузных ТУК на 18–19 ОТВС реактора ВВЭР-1000

Не обсуждая причины сложившейся ситуации, следует констатировать, что в России с начала 90-х годов и по настоящее время не только не было налажено серийное производство современных ТУК для ОТВС реакторов типа ВВЭР-1000, но и не был разработан проект такого ТУК с учё-



- 1 Sekundärdeckel  
Secondary lid
- 2 Neutronen-Moderatorplatte  
Neutron moderator plate
- 3 Primärdeckel  
Primary lid
- 4 Behälterkörper mit Kühlrippen  
Cask body with cooling fins
- 5 Tragkorb  
Fuel assembly basket
- 6 Neutronen-Moderatorstäbe  
Neutron moderator rods
- 7 Tragzapfen  
Trunnion



Tragkorb des CASTOR V/52  
Fuel Basket of the CASTOR V/52 Cask

Рис. 1. CASTOR-V/52



Рис. 2. CASTOR V/19

том его серийного изготовления на российских предприятиях из отечественных материалов.

Рассматривать при существующих требованиях в отношении импортозамещения ТУК-141, разработанный ОАО «ИЦЯК», не следует, т.к. его основной элемент, а именно корпус контейнера, отливается из чугуна с шаровидным графитом в Германии на заводах «Зимпелькамп» и там же частично обрабатывается.

Отсутствие проекта современного ТУК для ОТВС ВВЭР-1000 недопустимо, т.к. с постепенным выводом из эксплуатации 11-ти блоков с РБМК-1000 на Ленинградской, Курской и Смоленской АЭС и их заменой блоками типа ВВЭР-1000, АЭС с такими реакторами станут основными в Атомной энергетике России.

**Необходимость создания проекта современного ТУК для ОТВС ВВЭР-1000 с учётом использования модифицированных сборок с повышенным начальным обогащением и большой глубиной выгорания.**

Следует учитывать, что работы будут осуществляться в условиях, когда упущено более 20-ти лет и практически без проектировщиков первых серийных отечественных контейнеров для ОТВС водо-водяных энергетических реакторов.

На успешное решение проблемы можно рассчитывать только в том случае, если при проектировании новых ТУК будут устранены выявленные к настоящему времени недостатки ранее разработанных ТУК со стальными ковано-сварными корпусами для ОТВС ВВЭР-1000 и ВВЭР-440.

Основные недостатки указанных ТУК следующие:

- Малая вместимость контейнеров, требующая увеличения числа рейсов от АЭС на ГХК и ПО «Маяк», что увеличивает в свою очередь выплаты РЖД, затраты на ремонт подвижного состава и коллективные дозы, полученные работниками, принимающими участие в транспортно-технологических операциях;
- Использование жидкой нейтронной защиты, которая может быть легко утрачена при авариях с ТУК для ОТВС ВВЭР-1000, и отсутствие специальной нейтронной защиты в ТУК-6, который предполагалось использовать при заполнении его полости водой;
- Использование недостаточно теплостойких герметизирующих прокладок, изготовленных из этиленпропиленовой резины, неспособной, как и все резины, предотвратить диффузию через прокладки ра-

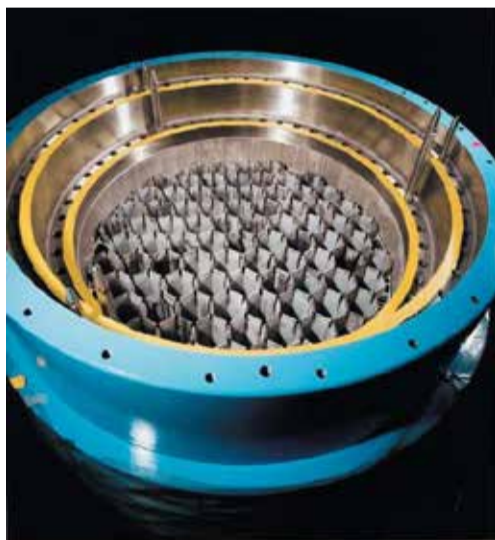


Рис. 3. CASTOR 440/84

- диоактивных газов, выходящих в полости контейнеров из негерметичных твэлов;
- Демпфирование ударных нагрузок с помощью стальных приварных рёбер или шпангоутов, расположенных в полостях жидкой нейтронной защиты, т.к. рассматриваемые элементы дороги и недостаточно эффективны по сравнению с деревянными торцевыми демпферами, обычно используемыми в зарубежных ТУК.

Несколько улучшит ситуацию, возникшую в связи с упущенными годами, когда в стране практически не разрабатывались контейнеры для ОТВС реакторов ВВЭР, разумное использование информации о решениях, надёжность и эффективность которых доказана многолетней экс-

плуатацией контейнеров, созданных ведущими зарубежными фирмами.

Большинство рассмотренных в статье ТУК со стальными ковано-сварными корпусами и сами поковки были изготовлены на Украине. С учётом этого следует учитывать вероятность того, что металлические корпуса вновь создаваемых

российских контейнеров будут отливаться из отечественного высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ). Подобный чугун, который называется за рубежом «ковкий чугун», десятки лет используется в Германии для изготовления корпусов контейнеров «CASTOR», разработанных фирмой GNS и её дочерней фирмой GNB.

**Контейнеры «CASTOR»**

Контейнеры «CASTOR» используются для транспортирования и хранения ОТВС ядерных реакторов различных типов более чем в 10-ти странах, а также применяются в Германии для хранения отработавших шаровых твэлов и возврата в Германию из Франции ПАО образующихся при переработке ОТВС немецких реакторов.

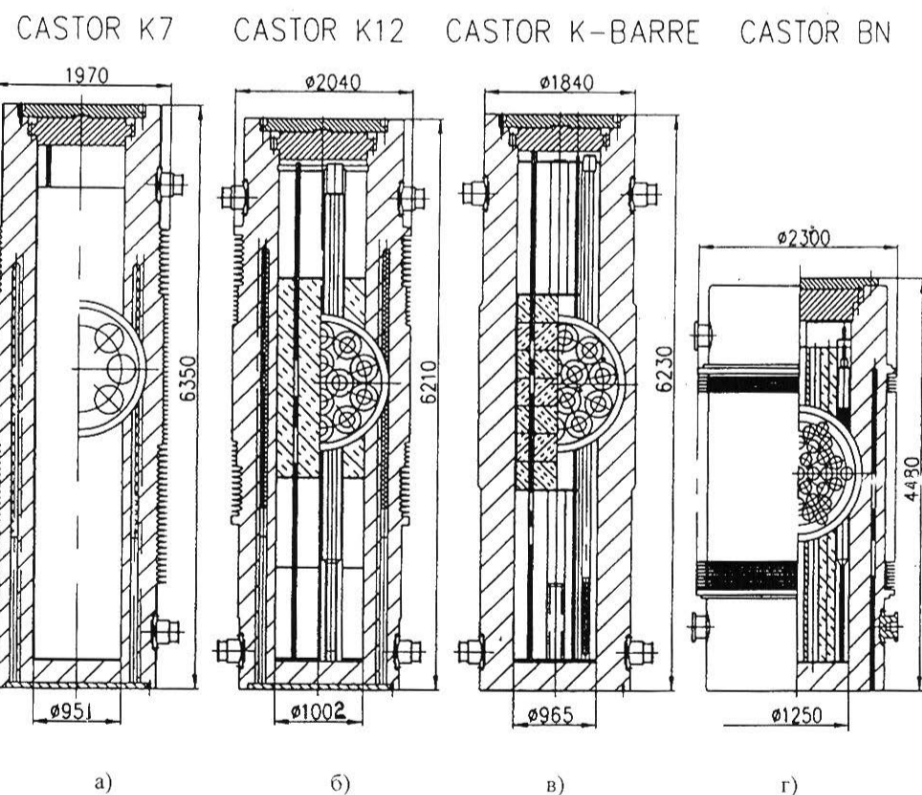
Первый контейнер «CASTOR Ic-DIORIT» был загружен ОТВС в Швейцарии в 1983 г.

На рис. 1-5 приведены различные типы контейнеров «CASTOR».

Характеристики большинства известных контейнеров «CASTOR» (17 типов), в которых при перевозках и хранении размещаются отработавшие ТВС и твэлы, а также высокоактивные отходы, приведены в таблице 1, где кроме того даются сведения об относительно небольших контейнерах «МОЗАИК» (5 типов) с корпусами из чугуна с шаровидным графитом, выпускаемые в Германии, для размещения активных компонентов, осушенных концентратов и ионнообменных смол.

В различных типах контейнеров «CASTOR» использовано много сходных элементов:

- корпуса, отливаемые из чугуна, имеющие зачастую кольцевые точёные рёбра;
- нейтронная защита, изготавливаемая из высокомолекулярного полиэтилена в виде стержней, размещаемых в двух шахматно расположенных рядах продольных глухих отверстий Ø60÷80мм, просверленных на всю длину (высоту) корпуса контейнера;
- две или три защитные и герметизирующие крышки, закрывающие полость контейнера;
- две прокладки (внутренняя прокладка – упругая металлическая типа HELICOFLEX (рассматривается далее), наружная прокладка – эластомерная или две эласто-



Основные характеристики	CASTOR K7	CASTOR K12	CASTOR K BARRE	CASTOR BN
Вместимость (число сборок), шт.	7 (деление, воспроизводство, поглощение)	12 (деление, воспроизводство)	12 (поглощение) SUPERFENIX	36 (деление, воспроизводство)
Наружный диаметр, мм	1960	2040	1840	2450
Высота, мм	6350	6210	6230	4480
Высота полости контейнера, мм	951	1002	956	1250
Масса незагруженного контейнера без демпферов, т	75	80,7	87	87,5
Масса загруженного контейнера с демпферами, т	96	105	101	104,5

Рис. 4. CASTOR K7, K12, BARRE, BN

мерные), применяемые для герметизации каждой крышки контейнера;

- контролируемая кольцевая полость, которая расположена между прокладками и используемая для проверки герметичности крышек.

Упрощённый чертёж контейнера «CASTOR», дающий представление о его конструкции, приведен на рис. 2.

Сверления Ø60÷80мм выполняются с помощью специального дорогого агрегата, обслуживаемого несколькими операторами, который изготавливается по индивидуальному заказу в Германии. Так как подобного агрегата нет на ЗАО «Петрозаводскмаш», то следует рассмотреть возможность изготовления глухих отверстий на другом отечественном оборудовании.

Возможным решением может быть размещение нейтронной защиты не в сверлённых отверстиях, а в трубах с соответствующим внутренним диаметром. Сложность создания такой конструкции связана с необходимостью обеспечить надёжное соединение двух рядов стальных труб с массивной частью чугунного корпуса. Объясняется это плохой свариваемостью стали и чугуна.

Коллективом с участием автора настоящей статьи были получены патенты на Полезную модель «Контейнер для транспортирования, хранения и захоронения радиоактивных материалов» (патент № 109314 и патент № 122200). Однако, для их массового применения необходимо выполнить серьёзные доработки и провести испытания

надёжности модели. Не исключается возможность приобретения за рубежом специального сверлильного агрегата или разработка такой конструкции нейтронной защиты, которая может быть изготовлена на ЗАО «Петрозаводскмаш». Такая попытка, правда, не слишком успешная была предпринята при создании ТУК-146.

#### Контейнеры типа «ТН»

Так как нашими проектантами могут быть предприняты попытки создать контейнеры со стальными корпусами, в статье помещены рисунки контейнеров ТН фирмы Transnucleaire (рис. 6, 7, 8), свидетельствующие о внимании, которое уделялось разработчиками созданию эффективного оребрения на наружной поверхности контейнера. Такие рёбра не только увеличивают количество тепла, отводимого от наружной поверхности за счёт естественной конвекции, но их наличие приводит к росту лучистого теплоотвода из-за существенного увеличения степени черноты поверхности, т.к. имеет место излучение из чрезвычайно большого числа межрёберных полостей. Это должно учитываться проектантами новых отечественных ТУК, т.к. рассмотренные выше отечественные ТУК-10 и ТУК-13 не имели рёбер на наружных поверхностях контейнеров. Температура этих поверхностей при высоких летних температурах воздуха превышала 85°, допустимые Правилами МАГАТЭ, что заставляло относить эту упаковку к типу В(М).

Характеристики известных нам контейнеров ТН (29 типов) со стальными, а так-

же стале-свинцовыми корпусами приведены в таблице 2.

Большинство контейнеров типа ТН, подобно контейнерам «CASTOR», используются для транспортирования и хранения ОТВС ядерных реакторов различных типов и РАО. Нейтронная защита ТН обеспечивается водородо- и боросодержащей отвердевающей смолой с низкой теплопроводностью, что требует создания проходящих через слой смолы узких металлических мостиков-теплопроводов. Обычно это обеспечивается рёбрами, которые связаны с массивной частью стенки корпуса путём приварки или механически. Рёбра имеют малую толщину и располагаются нерадиально, что уменьшает прострел нейтронов через рёбра. Выходя за слой смолы, рёбра создают наружное оребрение корпуса контейнера.

Чтобы исключить прямое воздействие на затвердевающую смолу пламени пожара, в условиях аварийной ситуации, внешняя поверхность отвердевающей смолы закрывается составной оболочкой из тонкой листовой нержавеющей стали.

Следует получить разрешение на изготовление корпусов контейнеров из стали 09Г2СА-А. Эта сталь, не склонная к хрупкому разрушению при динамических нагружениях и низких температурах, использована ОАО «КБСМ» для изготовления комингсов в металлобетонных контейнерах, и очевидно, может быть использована для изготовления ковано-сварных корпусов отечественных контейнеров.

#### Металлобетонные контейнеры (МБК), выпущенные в России, и их сравнение с металлобетонными контейнерами «CONSTOR», разработанными в Германии фирмой GNB.

Основным достоинством металлобетонных контейнеров является возможность их изготовления на предприятиях, не имеющих собственного сталелитейного производства, т.к. стальные листы и относительно небольшие поковки могут быть получены по кооперации. Об этом свидетельствует изготовление МБК ТУК-109 на ФГУП «ПО Севмаш» в г. Северодвинске и ЗАО «Энерготекс» в г. Курчатов.

Отмечаем, что очень большие работы, выполненные ОАО «КБСМ» после 1995 г., позволили в значительной степени преодолеть негативное отношение российских заказчиков в отношении МБК.

Однако, многие решения, осуществлённые при разработках МБК, не являются оптимальными и не учитывают опыт, реализованный при разработке в Германии и изготовлении контейнеров типа «CONSTOR» и особенно «CONSTOR V/TC».

Это привело к значительному удорожанию МБК, вынудило разработать и изготовить специальное транспортно-технологическое оборудование, включая различные кантователи, и очень увеличило время, необходимое для проведения

Тип контейнера	CASTOR X	CASTOR-V/19	CASTOR-V/21	CASTOR-V/52	CASTOR WWER 1000	CASTOR 440/84	CASTOR RBMK	CASTOR S1	CASTOR S2
Характеристика									
ОЯТ от реакторов типа	Легководные реакторы								
Тип и число помещаемых в контейнер ОТВС	(PWR) 74 (BWR)	19 (PWR)	21 (PWR)	52(BWR)	12 ОТВС ВВЭР-1000	84 ВВЭР 440	102 ПТ (51 ОТВС)	5 PWR-F/A 6 PWR-F/A	7 PWR-F/A 17 BWR-F/A
Длина (высота) контейнера, мм	4800	5862	4886	5451	5505	4080	4385	5987	5487
Наружный диаметр корпуса, мм	2400	2436	2400	2436	2253	2660	2120	1860	1860
Диаметр полости контейнера, мм	1780	1480	1525	1480	1293	1800	-	920	920
Масса незагруженного контейнера, т	84	106,4	92,3	103,8	91,2	87,8	-	70	66,8
Масса загруженного контейнера, т	104 106 107	124,7	106,0	122,8	110	116	78	78,6	76,6
Начальное обогащение, %	-	4,05	-	1,85+4,6	-	< 3,82%	≤ 2,4%	-	-
Глубина выгорания, ГВт×сут/тU	35,0	55	40	55; 65	-	< 50	20	-	-
Остаточное тепловыделение, кВт/ТВС кВт	0,3 9,9	-	1,0 21	40; 41	-	25	9	-	-
Количество, шт. Страна	1 шт. (X/33) - США; 4 шт. (X/28) -ЮАР	37 шт.- Германия	26 шт.- США	3 шт.- Германия	-	47 - Чехия 26 шт. - Германия	20 шт. - Литва	-	-

Тип контейнера	CASTOR AVR	CASTOR THTR	CASTOR K7 (St/Tr)	CASTOR K12	CASTOR K-BARRE	CASTOR BN
Характеристика						
ОЯТ от реакторов типа	Высокотемпературные газовые реакторы (исследовательские)			Реакторы на быстрых нейтронах		
Тип и число помещаемых в контейнер ОТВС	2 пенала с 1900 сферическими твэлами	2100 отработавших графитовых топливных элементов	7	12 (SUPERPHENIX)	12	36 (БН-800)
Длина (высота) контейнера, мм	2530	2785	6350	6210	6230	4480
Наружный диаметр корпуса, мм	1090	1380	1960	2040	1840	2450
Диаметр полости контейнера, мм	570	640	951	1002	956	1250
Масса незагруженного контейнера, т	12,9	22,95	75,0	80,7	87,0	87,5
Масса загруженного контейнера, т	13,6	24,35	96,0	105,0	101,0	104,5
Начальное обогащение, %	-	-	-	-	-	-
Глубина выгорания, ГВт×сут/тU	-	-	-	-	-	-
Остаточное тепловыделение, кВт	-	-	56	-	-	-
Количество, шт. Страна	-	430 шт.- Германия	-	-	-	-

Тип контейнера	CASTOR HAW 20/28 CG	CASTOR MTR 2	MOSAIK I	MOSAIK II-KFK	MOSAIK II-12	MOSAIK II-16	MOSAIK III-12
Характеристика							
Тип и число помещаемых в контейнер ОТВС	Контейнеры для высокоактивных отходов и многоцелевые контейнеры						
Тип и число помещаемых в контейнер ОТВС	20 или 28 пеналов с остеклованными высокоактивными отходами	Облученные сборки	Активные компоненты	Осушенные концентраты и ионообменные смолы		Осушенные концентраты	
Длина (высота) контейнера, мм	6110 – хранилищный вариант 6870 – транспортный вариант	1631	1150	1365	1500	1500	1240
Наружный диаметр корпуса, мм	2480	1430	900	1060	1060	1060	1000
Диаметр полости контейнера, мм	1350	721	600	630	820	740	760
Масса незагруженного контейнера, т	100	-	3,35	6,4	5,0	6,53	4,29
Масса загруженного контейнера, т	112	16,8	-	-	-	-	-
Начальное обогащение, %	-	-	-	-	-	-	-
Глубина выгорания, ГВт×сут/тU	-	-	-	-	-	-	-
Остаточное тепловыделение, кВт	-	0,825	-	-	-	-	-
Количество, шт. Страна	32 шт. - Германия 3 шт. - Швейцария	18 шт. - Германия 4 шт. - Голландия	-	-	-	-	-

Таблица 1.

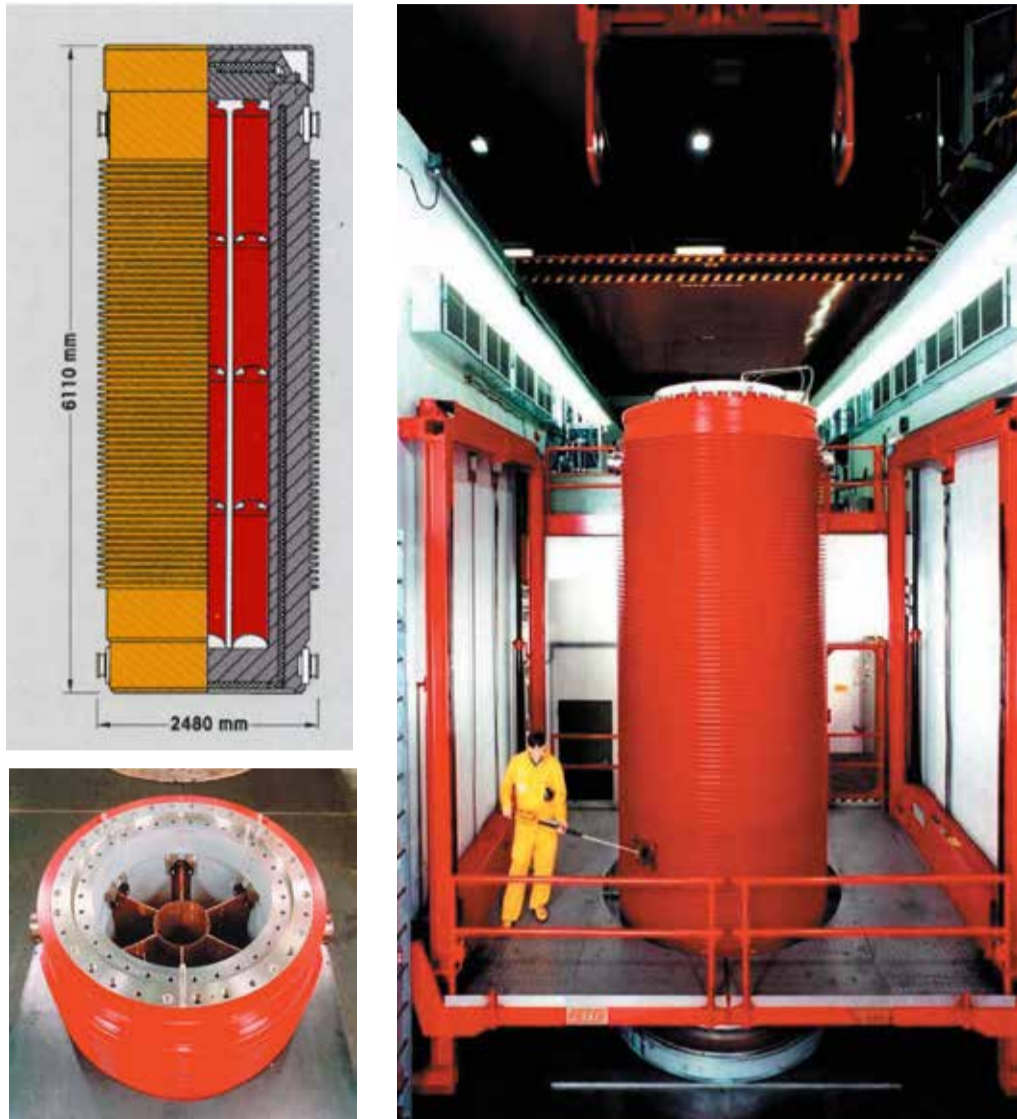


Рис. 5. CASTOR HAW 20/28 CG, TS 28 V.

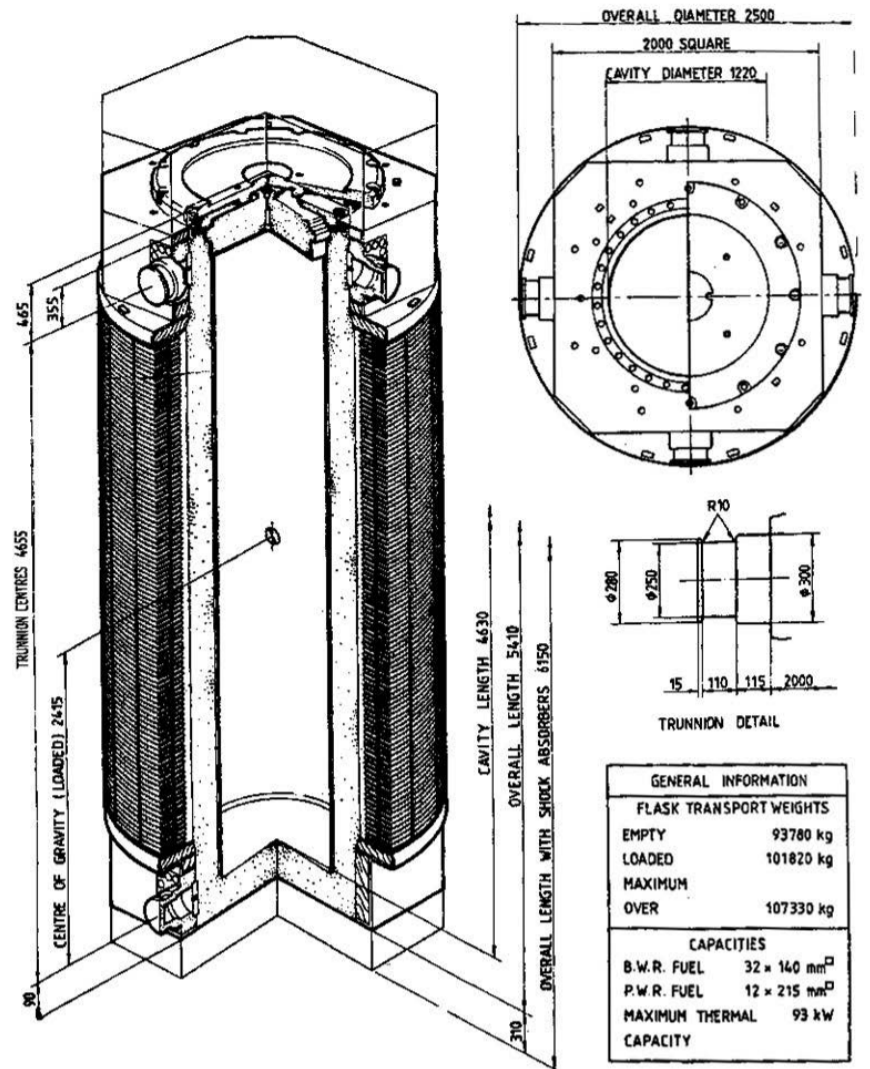


Рис. 7. TN-12



Рис. 6.

транспортно-технологических операций (ТТО) на заводах, где изготавливались МБК, на АЭС и на предприятиях атомной промышленности, принимающих МБК с ОТВС.

Далее на примере ТУК-109, состоящего из защитно-демпфирующего кожуха (ЗДК) и упаковочного комплекта хранения УКХ-109, в котором размещены в стальных ампулах 144 ПТ (ПТ – это разделённая по высоте на две части отработавшая сборка РБМК-1000) рассматриваются недостатки, присущие в значительной мере всем МБК. Речь идёт о ТУК-109, ТУК-108/1 для ОТВС реакторов АПЛ и надводных кораблей ВМФ, ТУК-120 для перерабатываемых ОТВС реакторов атомных ледоколов, ТУК-123 для ОТВС реактора БН-350 (выведен из эксплуатации), а также ТУК-121 для размещения РАО, возникающих при работах с ОТВС.

**Конструктивные недостатки МБК**

1. Малая вместимость и очень малая допустимая суммарная мощность остаточного тепловыделения ОТВС в МБК, которая для самого большого МБК (ТУК-109) составляет ≈ 6,3кВт. Это значение может быть обеспечено только после десятилетнего пребывания ОТВС РБМК-1000 в бассейнах выдержки АЭС.

2. Использование развитого стального трёхмерного армирования в заполняемой заранее подготовленным бетоном полости (δ=339мм)

между силовой и наружной оболочками стенки корпуса МБК (рис. 9).

Исследованиями, проведенными в Германии и реализованными при создании контейнеров «CONSTOR RBMK-1500» для Игналинской АЭС в Чехии, доказано, что следует отказаться от трёхмерного армирования слоя бетона, т.к. необходимая статическая и динамическая прочность МБК обеспечивается за счёт прочности, создаваемой наружной и внутренней стальными оболочками (δ=40мм) стенки корпуса контейнера. Отказ от использования армирования существенно упрощает процесс бетонирования, т.к. высота кольцевой полости более 4000мм, и она в 12 раз больше ширины полости, равной 339мм.

3. Не следует применять дорогой особопрочный сверхтяжёлый бетон (ОПБ СТ), разработанный в ОАО «26 ЦНИИ» для специальных фортификационных сооружений. В них, очевидно, не используются сплошные стальные оболочки, а прочность сооружения полностью обеспечивается бетоном (вероятно армированным стальными стержнями). Возможность отказа от использования особопрочного сверхтяжёлого бетона, использованного в МБК, доказана проведенными в Германии успешными ударными испытаниями контейнера «CONSTOR RBMK-1500», прочность бетона в котором была в три раза меньше использованного в МБК ТУК-109.

Можно полагать, что стоимость бетона, использованного в «CONSTOR RBMK-1500» будет

существенно меньше, чем стоимость бетона ОПБ СТ.

4. а) Предельно неудачным является использование стального защитно-демпфирующего кожуха (ЗДК) (рис. 10), в который, как ядро ореха в скорлупу, устанавливается и раскрепляется УКХ-109 (рис. 9) при транспортировании от АЭС на ГХК УКХ, загруженного 144 ПТ в ампулах (рис. 11). Решение об использовании ампул было принято ОАО «КБСМ» и рассмотрено в пункте 4 б).

Для перевозки 425000шт. ПТ, которые должны быть вывезены с трёх выводимых из эксплуатации АЭС с реакторами РБМК-1000 (11 блоков) на ГХК в ТУК-109, придётся выполнить

≈2950 вагоно-рейсов. Если для перевозок будут использованы 16-ть железнодорожных вагонов-транспортёров (таковы планы), то каждый вагон-транспортёр с размещённым в его грузовом отсеке одним ТУК-109, состоящим из УКХ-109, который заранее установлен в ЗДК (сумма их масс ≈ 126т), должен совершить 185 рейсов. При отправке ТУК-109, загруженного ампулами с ПТ, от АЭС на ГХК и возврате с ГХК на АЭС разгруженного ТУК-109 придётся 740 раз (185×2×2) разворачивать на 90° ТУК-109 с помощью траверсы кантователя. Дважды развороты должны осуществляться на АЭС и дважды на ГХК.

При использовании каждого из 16-ти ТУК-109 необходимо 740 раз разведнить (соединить) ци-

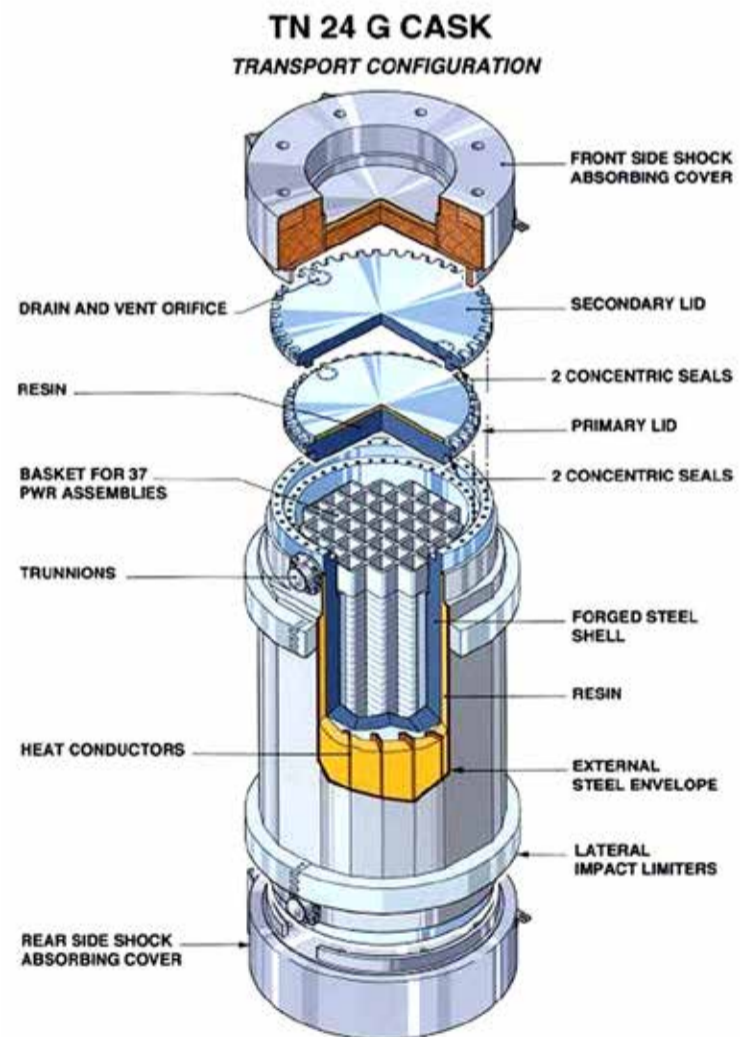


Рис. 8. TN-24G

Назначение	TN-8	TN-9	TN-12	TN-12/1	TN-12/2 (A/B)	TN-13	TN-13/2	TN-13/1		
Тип и число ОТВС в контейнере	3 PWR	7 BWR	12 PWR	12 PWR 32 BWR	12 PWR 32 BWR	12 PWR 32 BWR	12 PWR			
Длина (высота) контейнера, м	5,5	5,7	5,41	5,90	6,15	6,67 (с демпф.)	6,67 (с демпф.)			
Наружный диаметр контейнера, м	1,718	1,718	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5			
Длина полости, м			4,63	4,59	4,63					
Диаметр полости, м			1,22	1,22	1,22		1,22			
Масса упаковки, т	38	39	105	98,15	102/104	105/115	105			
Теплоноситель	инертный газ	инертный газ		азот	воздух		воздух			
Начальное обогащение, %										
Глубина выгорание, ГВт-сут/тU										
Остаточное тепловыделение, кВт	35,5	24,5	51,6/64 (93 Rus. Weap.Plut.)	120	93/70	64 (110 Rus. Weap. Plut.)		110		
Время выдержки, лет			< 1			< 1				
Материал корпуса	стале-свинцовый	стале-свинцовый	углеродист. сталь	ковкая низколег. ст.	сталь					
Страна владелец	Франция	Франция	Япония Бельгия Франция		Франция	Франция	Германия	Германия		
Назначение	Транспортир.	Транспортир	Транспортир		Транспортир	Транспортир				
Тип контейнера	TN-17	TN-17 T	TN-24	TN-24 P	TN-24 D	TN-24 DH	TN-24 XL	TN-24 XLH (A/B)		
Характеристика										
Тип и число ОТВС в контейнере	7 PWR 17 BWR	10-12 PWR	24 PWR 52 BWR	24 PWR	28 PWR	28 PWR	24 PWR	24 PWR		
Длина (высота) контейнера, мм	6,15 (с демпф.)	5,5/6,2	5,4		5,0		5,715			
Наружный диаметр контейнера, мм	1,95 (по цапфам)	2,0	2,08		2,48		2,325			
Длина полости, мм			4,5							
Диаметр полости, мм	0,92		1,36							
Масса упаковки, т	78	92/105	100		112	112	112	111		
Теплоноситель		газ/вода	газ							
Начальное обогащение, %		4,26		3,5	3,4	4,25 3,4 (Патрам)	3,3	4,25		
Глубина выгорание, ГВт-сут/тU		50		33	36	55	40	55		
Остаточное тепловыделение, кВт	25/35	44/22			20	33÷37	23	33		
Время выдержки, лет		2/5	5	5	8	7	8	7		
Материал корпуса	ферритная. сталь	нержав. ст., свинцовый наполнитель	низколегиров. сталь							
Страна владелец	Япония, Франция Швеция	Бельгия	Япония	США	Бельгия	Бельгия	Бельгия	Бельгия		
Назначение	Транспортир.		Транспортир. Хранение	Хранение		Хранение		Хранение		
Тип контейнера	TN-24 SH	TN-24G	TN-24BH	TN-24E	TN-32	TN-40	TN-40HT	TN-52L		
Характеристика										
Тип и число ОТВС в контейнере	37 PWR	37 PWR	69 BWR	21 PWR 52 BWR	32 PWR	40 PWR 85 BWR	40 PWR	52 BWR		
Длина (высота) контейнера, мм		5,3			4,9	4,4 (5,2)	4,6			
Наружный диаметр контейнера, мм		2,81÷2,99	2.653		2,48	2,6	2,57			
Масса упаковки, т	96									
Масса незагруженного контейнера, т		135	126-135	125	104,8÷115,5	102,5÷122	109,95	112,5		
Теплоноситель						гелий				
Начальное обогащение, %	4,25	3,8	5	4,45(U-235 для UO <sub>2</sub> ); 4,75(Pu+0,72%U-235) для MOX	3,5	3,5		3,9(среднее) 4,95(макс.)		
Глубина выгорание, ГВт-сут/тU	55	42(средняя)	50	60 для UO <sub>2</sub> ; 55 для MOX	40	40÷45	60	53		
Остаточное тепловыделение, кВт	30		40	39	32,7÷45	27÷32,7	32	40		
Время выдержки, лет	5	10	6	5-для UO <sub>2</sub> 10-для MOX	7	10	18	2,5		
Материал корпуса						углеродистая сталь				
Страна владелец	Бельгия	Швейцария	Швейцария		США	США		Швейцария		
Назначение	Хранение	Транспорт. Хранение	Транспорт. Хранение	Транспорт. Хранение	Транспорт. Хранение	Хранение		Транспорт. Хранение		
Тип контейнера	TN-68	TN-81	TN-97 L	TN-1300	TN-112	TN-19	TN-19	TN-31	TN-85	TN-120
Характеристика										
Тип и число ОТВС в контейнере	68 BWR	28 канистр (РАО)	97 BWR	12 PWR	12 МОХ ОТВС	19 ВВЭР 1000	55 ВВЭР-440	31 ВВЭР- 1000	84 ВВЭР- 1000	120 ВВЭР- 440
Длина (высота) контейнера, мм	5,5	7,0		6,0	6,67	5,3	4,6	5,3	3,85	
Наружный диаметр контейнера, мм	2,49	2,75	2,99	2,5	2,54	2,3	2,3	2,7	2,575	
Длина полости, мм										
Диаметр полости, мм										
Масса загруженного контейнера, т						118	115	140	102	
Масса незагруженного контейнера, т	104,3÷115	118	135,4	120	112					
Теплоноситель				воздух		азот	азот	азот	азот	
Начальное обогащение, %	3,3		3,95	3,5				4,6		4,3
Глубина выгорание, ГВт-сут/тU	40÷60		26 (среднее)	42	до 50			55		45
Остаточное тепловыделение, кВт	21,1÷30	56		50	до 50			35		32
Время выдержки, лет	7÷10		10	2,5	3-4	3-5	3-5	3-5(Извлеч.) 12(ст. Патр.)	3-5	6
Материал корпуса	кован.углер сталь			ковкий чугун	нержав. ст.	нержав. сталь	нержав. сталь	нержав. ст.	нержав. ст.	
Страна владелец	США	Германия, Швейцария	Швейцария		Франция					
Назначение	Транспорт. Хранение	Транспорт. Хранение	Хранение	Транспорт. Хранение	Транспорт.			Хранение		

Таблица 2. Характеристики контейнеров типа TN

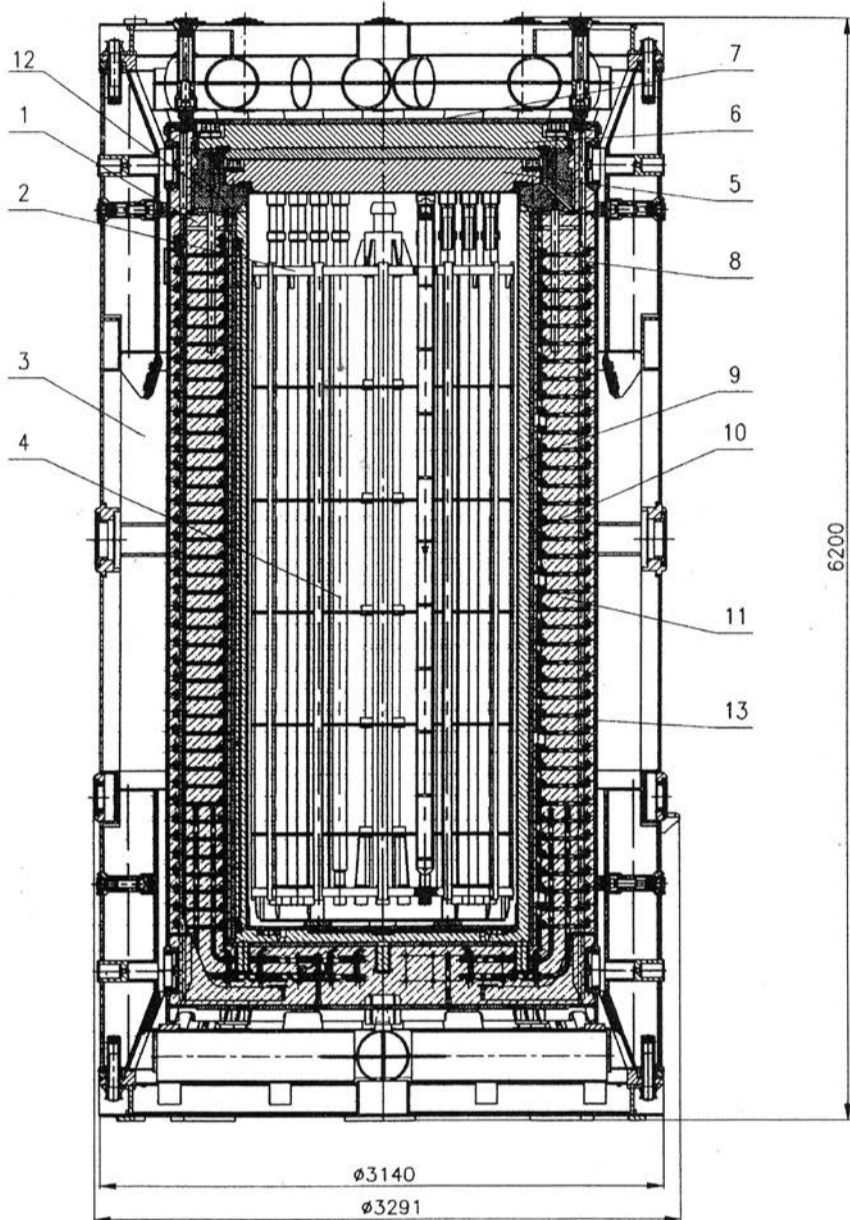
цилиндрический стакан ЗДК (имеет крышку) с дном ЗДК с помощью 30 шт. болтов М56, а также завернуть (вывернуть) около 20 винтовых упоров, расположенных в крышке и цилиндрической оболочке стакана ЗДК, оключающих возможность отклонения оси УКХ-109 от вертикальной оси ТУК-109.

Можно полагать, что болты М56 и винтовые упоры придётся менять несколько раз за время эксплуатации каждого ТУК-109.

От ЗДК, входящего в состав ТУК-109, можно отказаться, если использовать для демпфирования УКХ-109 торцевые демпферы, которые надвигаются на торцы контейнера и сдвигаются с торцов непосредственно в вагоне-транспортёре (рис. 12). Торцевые демпферы могут изготавливаться из стали (лучше из древесины) (рис. 13)

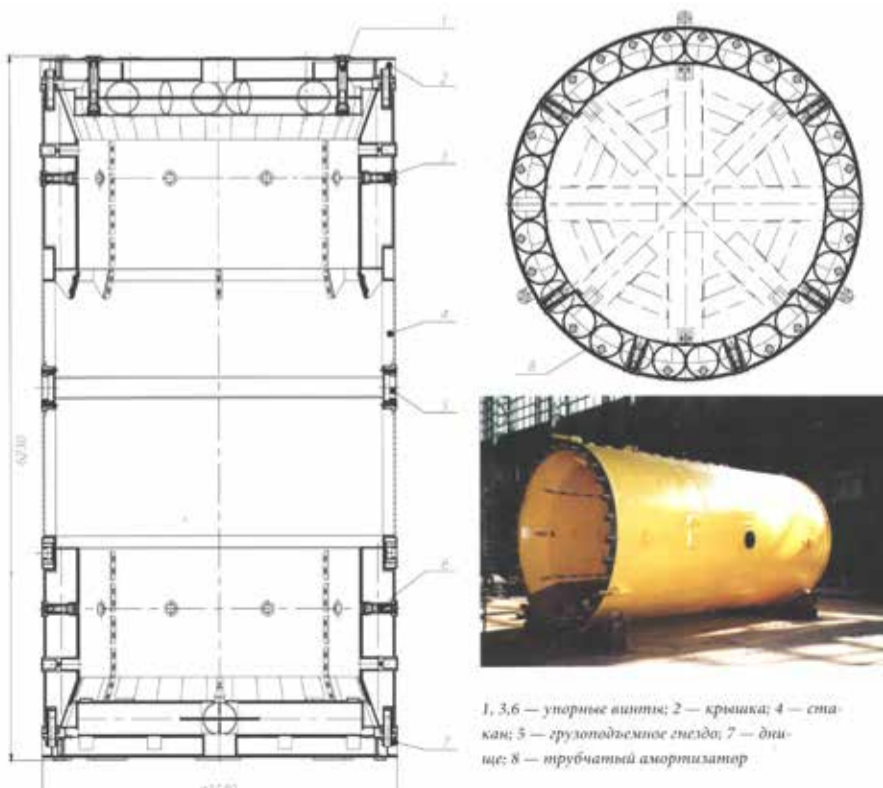
и скрепляются между собой простейшими стяжками (рис. 14), являясь, по существу, «элементами вагона-транспортёра».

Разворот контейнера из горизонтального транспортного положения в вертикальное, необходимое для загрузки ОТВС в контейнер на АЭС, а затем обратный перевод контейнера в транспортное положение должны осуществляться на АЭС с помощью штатного мостового крана при согласованном перемещении крана (крановой тележки) и вагона-транспортёра. Это позволяет не применять дорогие траверсы – кантователи, усложняющие проведение транспортно-технологические операции (рис. 15, 16). Аналогичные действия осуществляются в местах приёма ОТВС, где производится их извлечение из контейнера, а затем пустой контейнер отправляется



1 – металлобетонный контейнер; 2 – чехол; 3 – кожух защитно-демпирующий; 4 – ампула; 5 – крышка внутренняя; 6 – крышка наружная; 7 – лист герметизирующий; 8 – армокаркас; 9 – стакан внутренний; 10 – стакан силовой; 11 – бетон ОПБ СТ; 12 – комингс; 13 – стакан наружный.

Рис. 9. ТУК-109



1, 3, 6 – упорные винты; 2 – крышка; 4 – стакан; 5 – грузоподъемное гнездо; 7 – днище; 8 – трубчатый амортизатор

Рис. 10. Защитно-демпирующий кожух

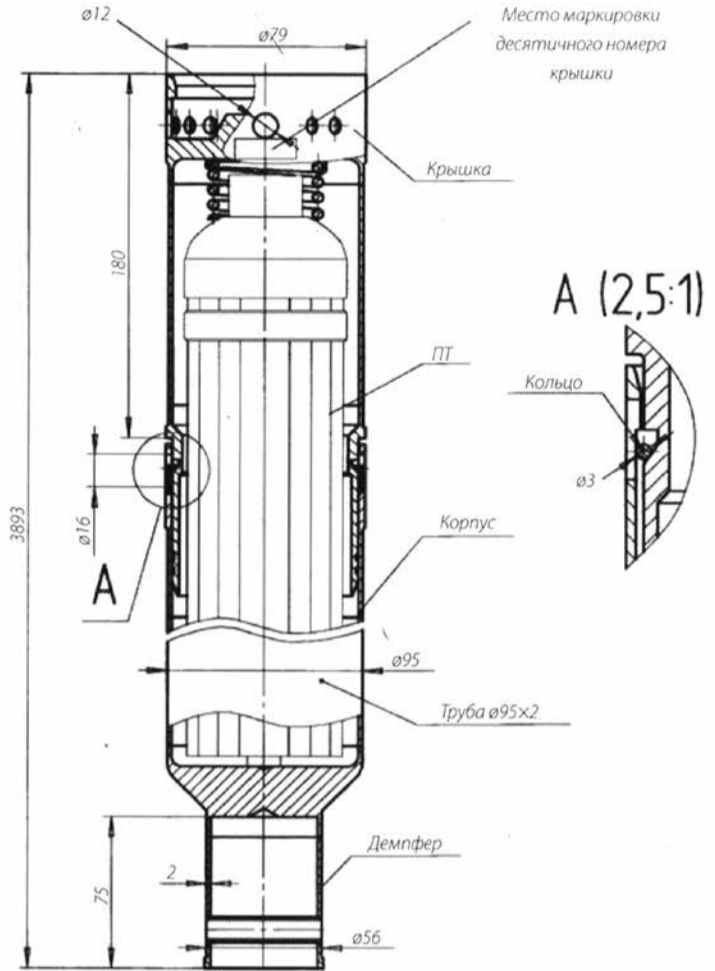


Рис. 11. Ампула ПТ.



Рис. 12. Установка контейнера в вагон с помощью штатного крана

в вагоне-транспортёре на АЭС.

Действия с контейнером показаны на рис. 12, где изображён кран, контейнер типа «CASTOR» и два торцевых демпфера. Таким же образом осуществляется выгрузка из вагона-транспортёра и загрузка в него отечественных ТУК для ОТВС ВВЭР-1000 (ТУК-10В, ТУК-10В-1, ТУК-13В, ТУК-13/1В), а затем подобные действия выполняются на ГХК.

Отмеченные выше недостатки МБК, должны быть устранены, если при создании новых современных контейнеров для ОТВС реакторов типа ВВЭР-1000 будет предпринята попытка изготовить контейнеры с металлобетонными корпусами. Эти контейнеры будут существенно дешевле разработанных ранее ОАО «КБСМ», т.к. в статье доказано:

- следует отказаться от использования стального армирования слоёв бетона в стенках корпусов контейнеров;
- вместо дорогого сверхпрочного бетона (ОПБ – СТ), используемого для фортификационных сооружений, следует разработать, а затем использовать отечественный бетон типа CONSTORIT, высокая теплопроводность которого позволит загружать в новые металлобетонные контейнеры ОТВС с высоким остаточным тепловыделением;

следует отказаться от стального ЗДК, усложняющего проведение ТТО на АЭС и ГХК, и применять в новых контейнерах более простые торцевые (преимущественно деревянные) демпферы, использование которых не требует наличия на АЭС и ГХК траверс-кантователей.

Всё это упростит работу с новыми металлобетонными контейнерами и проведение с ними транспортно-технологических операций, улучшит технические характеристики МБК при одновременном существенном снижении затрат на изготовление контейнеров.

**4. б) Ампулы для размещения пучков твэлов.**

При разработке контейнера ТУК-109 было принято решение о размещении пучков твэлов (ПТ) в специальных тонкостенных ампулах, изготовленных из нержавеющей труб Ø95x2. Длина ампулы составляет ≈3,89м. Пучки твэлов высотой ≈3,6м образуются при разделке ОТВС РБМК-1000 на две части и отрезке хвостовика, являющегося подвеской ТВС при установке сборки в активной зоне реактора.

По утверждению ОАО «КБСМ» применение ампул связано с отсутствием «достоверных сведений о сохранении конструктивной целостности ОТВС после длительного «мокрого» и «сухого» хранения», причём использование ампул позволило исключить недопустимое, с точки зрения ядерной безопасности, компактирование топлива в случае его просыпи и гарантировало его безопасное извлечение после окончания сроков хранения».

Обращаем внимание на то, что извлечение пучков твэлов из ампул не предполагается после доставки ОЯТ от 11 блоков АЭС с реакторами РБМК-1000 на Горно-Химический Комбинат, где, в «сухом» камерном хранилище должно быть размещены все 425000 пучков твэлов в ампулах.

Общее количество нержавеющей стали, необходимое для изготовления всех 425000 шт. ПТ, составит по минимальным оценкам ≈ 12000т, а стоимость стали превысит 4,25 млрд руб.

Приведенные цифры свидетельствуют о чрезвычайно больших материальных и денежных затратах, связанных с решением об использовании ампул, принятом в условиях «отсутствия достоверных данных о сохранении конструктивной целостности ОТВС...».

Очевидно, что до принятия решения об ампулах следовало провести всестороннее ис-

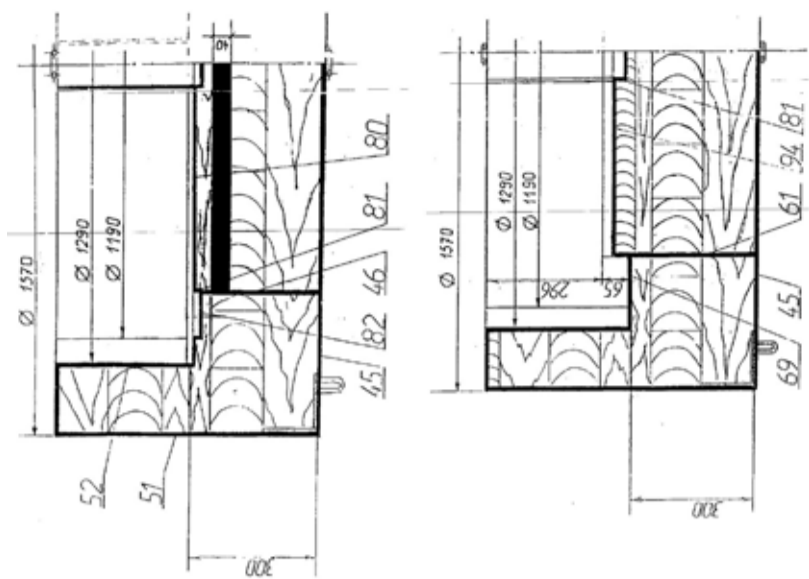


Рис. 13а. Демпфер крышки. Модель

Рис. 13б. Демпфер днища. Модель



Рис. 15. Траверса кантователь ТУК-109.

следование состояния ОТВС РБМК-1000 после их извлечения из активных зон и 10-ти летнего хранения. Любые, даже самые большие затраты на исследования, не сравнимы с затратами на изготовление всего количества ампул.

О том, что решение о применении ампул, которые не используются в зарубежных контейнерах и хранилищах нельзя признать достаточно обоснованным, свидетельствует:

- Ампулы не используются в контейнерах для транспортирования и хранения ОЯТ, которые разработаны и изготавливаются ведущими контейнерными фирмами Германии, Франции, Англии, Японии и др. стран;
- Ампулы не используются также в системах «сухого» хранения ОЯТ в США, где применяются многоцелевые герметичные

канистры, причём предполагается их использование для окончательного захоронения ОЯТ, т.е. сроки работы во много раз превышают 50 лет, принятые для МБК; Ампулы в зарубежных в зарубежных контейнерах и системах хранения не применяются, хотя эксплуатируемые легководные реакторы типа РВР и ВВР используют топливо с гораздо большим начальным обогащением по делящемуся веществу  $\approx 5,0\%$ , чем в реакторах типа РБМК, что увеличивает вероятность возникновения самоподдерживающейся цепной реакции деления при авариях.

Решение об использовании ампул в контейнерах ТУК-104 и ТУК-109 было принято при начальном обогащении топлива по U-235 не более 2,4%. Обращаем внимание на то, что максималь-



Рис. 16. Траверса кантователь УКХ-109.



Рис. 14. Натурная модель контейнера для ОТВС исследовательских реакторов

ный поперечный размер ТВС РБМК равен 79мм, а ампулы изготавливаются из труб  $\varnothing 95 \times 2$ . Таким образом, при отказе от ампул в контейнере ТУК-109 можно было бы разместить ещё один ряд ПТ. Это позволило бы существенно сократить потребность в контейнерах при их использовании для хранения ОЯТ и число рейсов при их транспортировании.

4. в) Траверсы-кантователи для обращения с ТУК-109 (УКХ-109 установлен в ЗДК рис. 15) и УКХ-109 (рис. 16).

При установке в вагон-транспортёр на АЭС ТУК-109 проходит все положения от вертикального, необходимого для загрузки в него ампул с ПТ, до горизонтального положения в транспортёре. При выгрузке ТУК-109 из транспортёра для последующего извлечения из УКХ-109 ампул с ПТ, проводимого в отделении «сухого» камерного хранилища, ТУК-109 переводится из горизонтального положения в вертикальное.

Развороты ТУК-109 предполагается осуществлять с помощью разработанной ОАО «КБСМ» траверсы-кантователя с гидравлической системой разворота (рис. 15), которая должна быть на каждой АЭС с РБМК-1000 (не исключено, что на каждом блоке с этими реакторами), а также на ГК. Стоимость оборудования для осуществления таких манипуляций, которые, очевидно, аналогичны осуществляемым при загрузке баллистических ракет в пусковые шахты, мы выявить не смогли.

Развороты УКХ-109 предполагается осуществлять с помощью траверсы-кантователя (рис. 16).

Информация, приведенная в 4а) свидетельствует о том, что на АЭС и на ГК все манипуляции

с ТУК-109 и УКХ-109 могут осуществляться с помощью штатных кранов и согласованного перемещения кранов и вагонов-транспортёров (так обрабатываются с ТУК, загруженным ОТВС ВВЭР-1000).

5. Канал с клапанами для прохода в полость УКХ-109, необходимый для осушки его полости путём вакуумирования с последующим заполнением полости аргоном, а также «проходки» для контроля герметичности крышек, где внутренняя крышка уплотняется спирально-навитой и эластомерной прокладками, а наружная крышка двумя эластомерной прокладками, выполнены в стальном комингсе, где размещаются крышки контейнера.

В контейнерах типа «CASTOR», типа TN и в двухцелевом контейнере NAC-STS (США) все каналы для прохода в полости контейнеров выполнены в крышках контейнеров, масса которых обычно не превышает 2-3т и в десятки раз меньше массы корпусов. Это очень упрощает ремонт «проходок» и предшествующую ремонту отмычку элементов от радиационных загрязнений.

Проходки для контроля герметичности в УКХ-109 чрезвычайно сложны (см. рис. 17, где показана проходка для контроля герметичности внутренней крышки). Многочисленные элементы проходок сами имеют эластомерные уплотнения, что конечно уменьшает надёжность и усложняет обслуживание проходки.

Проходки для контроля герметичности уплотнений в зарубежных контейнерах предельно упрощены и представляют собой каналы малого диаметра, просверленные в крышках и обеспечивающие «доступ» в полость между уплотняющими прокладками крышек. На рис. 18 показана система уплотнений контейнеров «CASTOR». Естественно, что для проведения контроля герметичности внутренней крышки (Primary Lid) должна быть предварительно снята вторичная крышка (Secondary Lid). Так как такой контроль не осуществляется при перевозках контейнеров, продолжительность которых не превышает несколько дней, а проводится на АЭС или в хранилищах, то снятие вторичной крышки не представляется трудным даже, если при хранении используется ещё одна наружная крышка.

6. Герметичность внутренней крышки контейнера обеспечивалась спирально-навитой про-

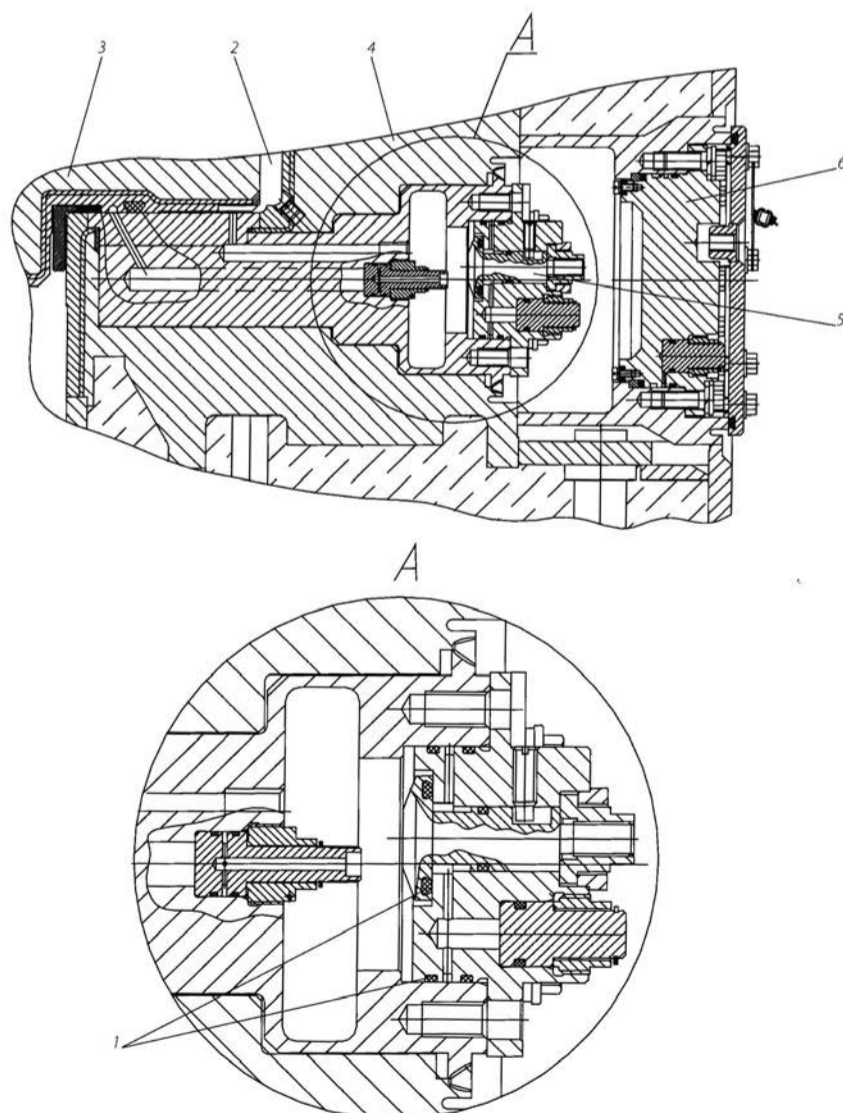


Рис. 2.3. Конструкция узла проходок для контроля герметичности внутренней крышками.

1 — эластомерные уплотнители; 2 — межкрышечное пространство; 3 — внутренняя крышка; 4 — комингс; 5 — вентиль для подачи гелия в межкрышечное пространство; 6 — крышка защитная

Рис. 17. Конструкция узла проходки для контроля герметичности внутренней крышки

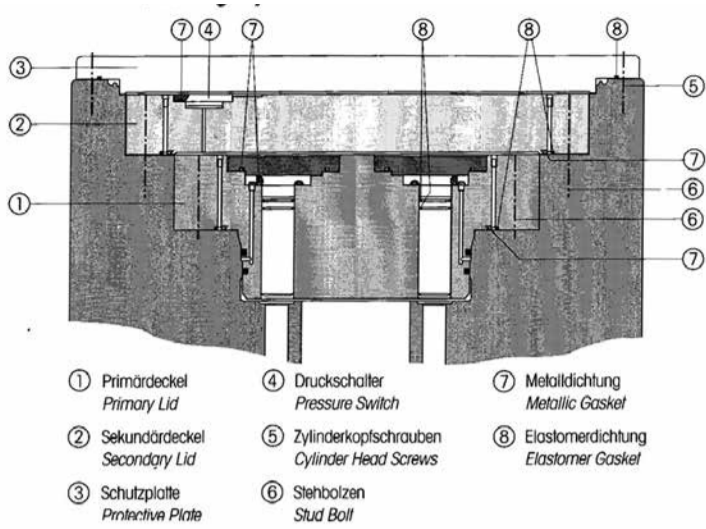
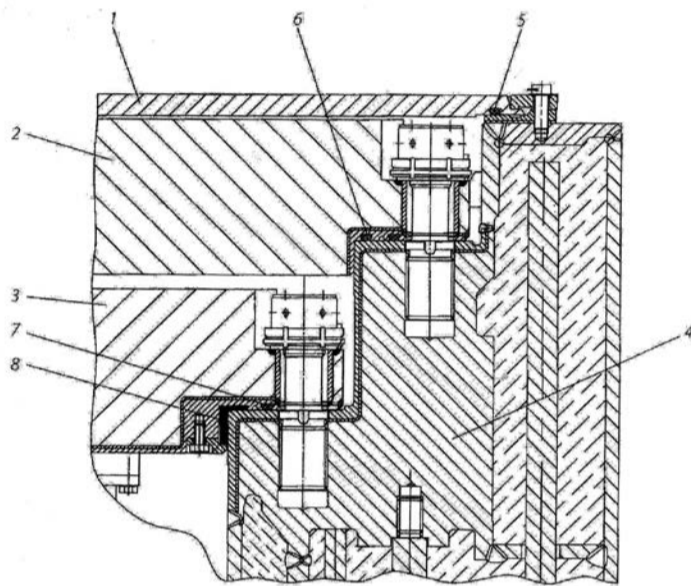


Рис. 18. Система уплотнения контейнера типа CASTOR



1 — герметизирующий лист, 2 — наружная крышка, 3 — внутренняя крышка, 4 — комингс, 5 — эластомерное уплотнение герметизирующего листа, 6 — эластомерное уплотнение наружной крышки, 7 — эластомерное уплотнение внутренней крышки, 8 — спирально-навитая прокладка внутренней крышки

Рис. 19. Защитные крышки с уплотнительными элементами UKX-109.

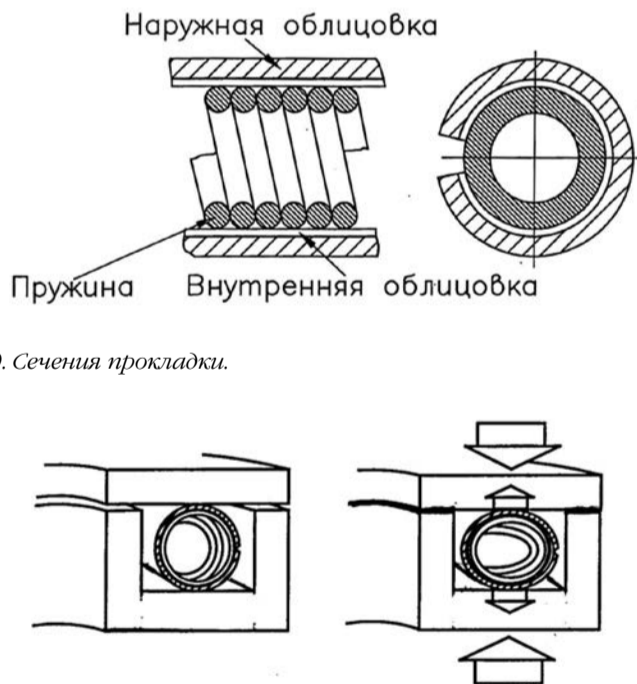


Рис. 20. Сечения прокладки.

Рис. 21. Уплотнение с помощью прокладок HELICOFLEX.ё

кладкой (СНП) по ТУ 38.314–25–8–9, работоспособной в диапазоне температур от минус 50 °С до плюс 400 °С, и эластомерной прокладкой, а герметичность наружной крышки — двумя эластомерными прокладками (рис. 19).

Контроль герметичности после (после загрузки ОЯТ) осуществлялся масспектрометром с использованием пробного газа — гелия и манометрическим методом с использованием пробного газа — азота.

Прокладки СНП, как и упругие металлические герметизирующие прокладки «HELICOFLEX» (патент США № 3820799 от 28.06.74), показанные на рис. 20, 21, практически исключают диффузию радиоактивных газов через материал прокладки. Однако имеет место поток газа через неплотности в местах контакта прокладок с уплотняемыми поверхностями крышки и корпуса контейнера.

Для изготовления пружины применяется

Inconel X750 T1 или Nimonic 90, имеющие необходимые релаксационные и антикоррозионные свойства. Внутренняя облицовка для пружины изготавливается из стали AiSi или Inconel 600. Наружная облицовка делается из алюминия или серебра, причём серебро для обеспечения уплотнения требует приложения большей силы.

Шероховатость уплотняемых поверхностей должна быть от 1,6 до 3,2мкм. Царапины на поверхностях должны отсутствовать.

В ОАО «КБСМ» допускаемая утечка через прокладку СНП по гелию принята равной  $10^{-6}$  м³Па/с.

В Германии для транспортных и хранилищных контейнеров при использовании прокладок «HELICOFLEX» допустимый поток по гелию принимается равным

$1,3 \cdot 10^{-8}$  м³Па/с,

а в США для транспортных контейнеров

$5,5 \cdot 10^{-8}$  м³Па/с, хотя считается, что про-

кладки «HELICOFLEX» обеспечивают протечку по гелию, равную  $1 \cdot 10^{-9}$  м³Па/с.

Так как при использовании прокладок «HELICOFLEX» величина протечек в сотни раз меньше, чем для спирально-навитых прокладок, необходимо разработать в России прокладки типа «HELICOFLEX».

**В заголовке статьи состояние в России с контейнерами деликатно названо сложным**

В статье рассмотрены этапы создания ТУК и обращено внимание на то, что более 20-ти лет контейнеры для ОТВС ВВЭР у нас не создавались. Это, естественно, привело к серьезному отставанию, последствия которого должны быть минимизированы при создании новых ТУК. В связи с этим особое внимание уделено в статье недостаткам отечественных ТУК, особенно металлбетонным контейнерам (МБК), созданным в ОАО «КБСМ». Выше было показано, что многие решения, реализованные ОАО «КБСМ» при разработках МБК, не являются оптимальными и привели к существенному увеличению стоимости МБК. В первую очередь это относится к использованию трёхмерного армирования слоя бетона в стенке и днище контейнеров, применению особо прочного фортификационного бетона, использованию ЗДК и кантователей с гидравлическими приводами.

Абсолютно недостаточен учёт при разработке этих МБК решений, реализованных в зарубежных контейнерах. Ситуация типична для России, т.к. разработку контейнеров зачастую осуществляют Организации, которые ранее контейнерами не занимались. В связи с этим сегодняшнее состояние с созданием контейнеров в России нельзя называть сложным. Оно недопустимо.

**Создание современных большегрузных контейнеров для ОТВС типа ВВЭР-1000**

а) Наиболее ответственным и трудоёмким является корпус контейнера. Возможность изготовления корпусов из конструкционной стали

09Г2СА-А должна рассматриваться КБ ОАО «Ижорские заводы». Затем совместно с ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» должен быть составлен и выполнен перечень работ, необходимых для лицензирования (сертификация) стали 09Г2СА-А для изготовления корпусов контейнеров (возможно для получения разрешения Минатома на изготовление корпусов контейнеров).

Для отливки корпусов из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ) по технологии, освоенной ЗАО «Петрозаводскмаш», следует составить перечень выпускаемого в России стандартного оборудования для литейных производств (речь вряд ли будет идти о дорогих плавильных печах), необходимого ЗАО, если массы большегрузных контейнеров будут превышать возможности ЗАО «Петрозаводскмаш».

Для этого следует обратиться к бывшему Руководству и специалистам ЗАО «Петрозаводскмаш», непосредственно участвовавшим в изготовлении из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом:

- двух направляющих защитных шахт, обеспечивших передачу невыгоревших до конца ТВС с остановленного 1-го блока РБМК-1500 Игналинской АЭС на работающей 2-й блок;
- двух типов защитных контейнеров ЗК КЭ и ЗК ПН, позволяющих хранить на Кольской АЭС элементы с высокой наведенной активностью (кассеты экраны и поглощающие надставки), которые накапливаются при эксплуатации ВВЭР-440. Технические проекты этих контейнеров с корпусами массой 44,9 и 40,0т были выполнены НПО «ЦКТИ» и РФЯЦ – ВНИИЭФ.

Не следует уповать на теперешнее руководство литейным производством на ЗАО «Петрозаводскмаш» и ФЦЯРБ, которые, учитывая гарантию успеха, предлагают в третий раз разработать давно освоенную технологию производства ВЧШГ на ЗАО «Петрозаводскмаш» (см. цитату из статьи «Комплекс неполноценности», Страна РОСАТОМ, /№ 17 (241)/ май, 2016).

«Однако в России пока технология производства чугуна с шаровидным графитом не освоена,



Рис. 22. Испытания контейнера CONSTOR V/TC



Рис. 23. Контейнер CONSTOR V/TC



заняться этим предстоит, скорее всего, «Петрозаводскмашу».

Выше отмечалось, что большие работы, сделанные ОАО «КБСМ» совместно с другими участниками, позволили в значительной степени преодолеть негативное отношение российских Заказчиков к металлобетонным контейнерам. В связи с этим нельзя исключить возможность применения металлобетонных корпусов при создании современных большегрузных контейнеров. При изготовлении российских МБК бетонирование армированного кольцевого канала, образованного стальным комингсом контейнера (располагается при бетонировании внизу) и приваренными к нему наружной и силовой оболочками, осуществляется заранее подготовленной бетонной смесью. Так как бетонированный канал обычно сравнительно узкий, а плотность металлического заполнителя на много больше, чем у цементного теста, то ещё до начала процесса затвердевания некоторые тяжёлые частицы металлического заполнителя опускаются к комингсу. В результате бетон вблизи комингса имеет обычно большую плотность и обладает более высокими защитными свойствами по отношению к  $\gamma$ -излучению.

### Тяжёлый бетон CONSTORIT

Немецкими специалистами был разработан и применён при изготовлении металлобетонных контейнеров тяжёлый бетон CONSTORIT, позволивший отказаться от использования армирования (рассмотрено при анализе недостатков ТУК-109 (УКХ-109)) и существенно упростить бетонирование, которое становится раздельным.

Сведения о бетоне CONSTORIT, включая химический состав Fe-гранул и состав исходной цементной смеси, состоящей из цемента 64 масс%, воды 22,4 масс%, микрокремниевой суспензии 12,8 масс% и добавок 0,8 масс%, содержатся в отчёте GNS «CONSTORIT – свойства и характеристики», ноябрь, 2005 г.

Предложенная технология бетонирования корпуса обеспечивает получение бетона, плотность которого не меняется по высоте корпуса. Объясняется это тем, что в перевёрнутый «стакан» корпуса до полного заполнения его кольцевой полости засыпается сухой гранулят. Затем снизу (через отверстия в наружной стальной оболочке) подаётся жидкая цементная смесь, которая, поднимаясь, заполняет свободное пространство между гранулами.

Динамические (бросковые) испытания натурной модели контейнера CONSTOR V/TC были проведены в Германии «Федеральным институтом по исследованию и испытаниям материалов» в присутствии участников симпозиума PATRAM 2004. С высоты 9,0 м был сброшен в горизонтальном положении на мишень самый тяжёлый из испытанных в мировой практике контейнер CONSTOR V/TC (рис. 22, 23). Контейнер, разработанный GNS, имел корпус со стенкой, состоящей из наружной и внутренней стальных оболочек, приваренных к опорному стальному кольцу. Пространство между оболочками было заполнено тяжёлым бетоном CONSTORIT. Армирование отсутствовало. Масса деревянных торцевых демпферов 20 т.

Транспортный вариант этого двухцелевого контейнера (масса 181 т) был оборудован стальной оболочкой (масса 31 т), которая предназначена для дополнительной защиты ОЯТ при воздействии на контейнер кумулятивного заряда, а также двумя деревянными торцевыми демпферами (суммарная масса 20 т, что составляет 11% от массы упаковки). Максимальное ускорение при падении с 9,0 м не превышало 120g ( $K=120$ ).

Отсутствие армирующих стержней в слое бетона CONSTORIT даёт возможность устанавливать между наружной и внутренней стальными оболочками стенки корпуса вертикальные медные теплопроводы, что позволит загружать в контейнер 69 шт. ОТВС легководных реакторов BWR с тепловыделением до 30 кВт.

Это объясняется высокой теплопроводностью бетона CONSTORIT, которая при реальных температурах стенки корпуса изменяется в диапазоне:

$$\lambda_{\text{CONSTORIT}} = 5,8 \div 6,2 \text{ Вт/(м·град)}.$$

По имеющимся у нас данным теплопроводность тяжёлого бетона в стенке корпуса УКХ-109 равна  $\lambda = 1,75 \text{ Вт/(м·град)}$ .

При учёте тепловой проводимости стальной армирующей системы теплопроводность стенки УКХ-109 повышается и становится равной

$\lambda_{\text{ст}} = 2,8 \text{ Вт/(м·град)}$ , что в 2 с лишним раза ниже, чем у бетона CONSTORIT.

Это не позволит перевозить в металлобетонных контейнерах, использующих бетон, принятый для УКХ-109, ОТВС с суммарной мощностью остаточного тепловыделения превышающей  $15 \div 18 \text{ кВт}$ .

**б)** Необходимо наладить производство прокладок типа «HELICOFLEX», которые могут устанавливаться для герметизации крышек корпусов контейнеров, изготовленных из любых рассмотренных материалов.

**в)** Следует наладить в стране производство листового (возможно и проката) борированного алюминия, который позволяет решать одновременно проблемы ядерной безопасности ТУК, обеспечивает захват тепловых нейтронов и улучшает передачу тепла от ОТВС к внутренней поверхности стенки корпуса контейнера. Борированный алюминий давно и успешно используется в контейнерах, выпускаемых Великобританией<sup>1</sup>, а также другими странами.

**г)** Необходимо разработать материалы для создания твёрдой нейтронной защиты и исследовать их свойства, т.к. теплопроводность этих материалов, содержащих обычно водород, мала по сравнению с теплопроводностью конструкционных материалов (стали, чугуны). Кроме того форма изделий из нейтронозащитных материалов в контейнерах может зависеть от материала, из которого изготавливается его корпус.

Считаем необходимым отметить, что «успешно» внедрённая Госкорпорацией РОСАТОМ тендерная система при определении разработчиков проектов и заводов изготовителей создаёт только видимость конкуренции, отрывая от выполнения полезных дел квалифицированных сотрудников организаций и предприятий. Хотя сторонниками тендерной системы придумано большое количество документов, которые должны представляться в тендерную комиссию, основным, а зачастую единственным критерием, определяющим возможность «победы» в тендере, является предлагаемая стоимость работы, которая должна быть самой низкой.

Это заставляет возможного исполнителя не включать в планируемую им работу создание новых материалов и изделий, а также проведение длительных исследований, даже если они улучшают качество проектных работ и выпускаемой продукции, т.к. всё это увеличивает стоимость и продолжительность работы, лишая претендента шансов на победу в тендере.

Отсутствие в России материалов и изделий, рассмотренных в подпунктах а), б) в) и г) раздела «Создание современных большегрузных контейнеров ...», связано, по нашему мнению, с негативным воздействием тендерной системы, когда претенденты на получение работы всячески стремились использовать в ней уже имеющиеся решения, даже если от этого страдало качество работ. Примером этого служит отказ от разработок в России упругих металлических герметизирующих прокладок и применение спирально-навитых герметизирующих прокладок (СНП), созданных в ракетостроении, при использовании которых поток газов из полости контейнера оказывался на порядки больше, чем при использовании прокладок «HELICOFLEX».

Ничего подобного нет в практике зарубежных фирм, разрабатывающих проекты контейнеров для ОТВС и РАО.

Так в таблицу 1 включены контейнеры «CASTOR», которые десятки лет разрабатывались в Германии фирмой GNS и её дочерней фирмой GNB. В таблице 2 содержатся данные о контейнерах типа TN, разработанных фирмой Transnucleaire во Франции (возможно США). Что касается естественного желания конкретной фирмы воспользоваться своим монопольным положением, то оно. По всей видимости, успешно пресекается государством.

При рассмотрении особенностей тендерной системы следует учитывать, что любые конкурсы создают объективные условия для коррупции. Не удивительно, что такой признанный мастер детективного жанра, как Чингиз Абдуллаев в романе «Проступок сыщика» описывает коррупцию при проведении тендера на выполнение исключительно выгодной работы.

<sup>1</sup> I.J. Hunter. The incorporation of boron in fissile packages for the transport and interim storage of irradiated light water reactor fuels. International Journal of Radioactive Materials Transport, volume 9, No.3, 1998.