

КОМПЛЕКС ДЛЯ СБОРА, ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ, ХРАНЕНИЯ И ЗАХОРОНЕНИЯ ОТРАБОТАВШИХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

М. Н. Диордий, В. Е. Семенов, О. К. Карлина
ФГУП «РАДОН», Москва

Статья поступила в редакцию 19 февраля 2018 г.

Специалистами ФГУП «РАДОН» разработана и внедрена в эксплуатацию технология сбора, хранения и захоронения отработавших закрытых источников ионизирующего излучения, содержащих радионуклиды с периодом полураспада до 31 года. Технология позволяет безопасно разместить не менее 100 000 Ки источников по Co-60 в одном специализированном упаковочном комплекте, внешними габаритами идентичном стандартному металлическому контейнеру КМЗ. Помимо специализированного упаковочного комплекта разработан комплекс оборудования и приспособлений для загрузки источников, кондиционирования их в металлическую матрицу, проведения периодического контроля за условиями хранения. Использование данного комплекса позволит решить проблему обращения с отработавшими закрытыми источниками ионизирующего излучения, не подлежащими переработке изготовителем, в соответствии с требованиями Федерального закона от 11.07.2011 № 190-ФЗ.

Ключевые слова: *отработавшие закрытые источники ионизирующего излучения, контейнер, захоронение, хранение.*

Отработавшие закрытые источники ионизирующего излучения (ОЗИИИ), то есть изделия, содержащие в своем составе то или иное радиоактивное вещество, устройство которых исключает поступление находящихся в них радионуклидов в окружающую среду в условиях применения и износа, на которые они рассчитаны, нашли широкое применение в сельском хозяйстве, промышленности, науке, медицине. Однако после окончания срока их эксплуатации и в силу иных причин ОЗИИИ переводят в категорию радиоактивных отходов (РАО). В соответствии с пунктом 1 статьи 29 Федерального закона от 11.07.2011 № ФЗ-190, отработавший закрытый источник ионизирующего излучения должен быть передан на захоронение национальному оператору по обращению с радиоактивными отходами или организации-изготовителю закрытого источника ионизирующего излучения для переработки.

Основное количество поступающих в ФГУП «РАДОН» ОЗИИИ составляют бета- и гамма-излучающие источники на основе Cs-137, Co-60, Sr-90, Ir-192, т. е. короткоживущих радионуклидов с периодом полураспада до 31 года. При

этом остаточная активность единичного источника может достигать сотен и тысяч кюри. Таким образом, высокий уровень гамма-излучения данных источников представляет проблему при обращении с ними.

Для решения проблемы захоронения данного типа источников в 1961 году ГСПИ был разработан проект хранилища колодезного (скважинного) типа для ОЗИИИ. Хранилище состоит из резервуара, выполненного из нержавеющей стали, объемом 200 литров, размещенного на дне бетонного колодца со стальной обечайкой. С поверхности в емкость ведет загрузочная труба, имеющая спиральный изгиб, предотвращающий прямой выход гамма-излучения из емкости хранилища. На поверхности размещена чугунная загрузочная воронка, являющаяся стыковочным элементом для стандартного транспортного контейнера, для источников типа КТБ-26-12, конструкция которого показана на рис. 1, и иных транспортных контейнеров с донной разгрузкой, имеющих схожую конструкцию.

Данные транспортные контейнеры имеют в своем составе барабан с каналами для загрузки источников. Загрузка может осуществляться

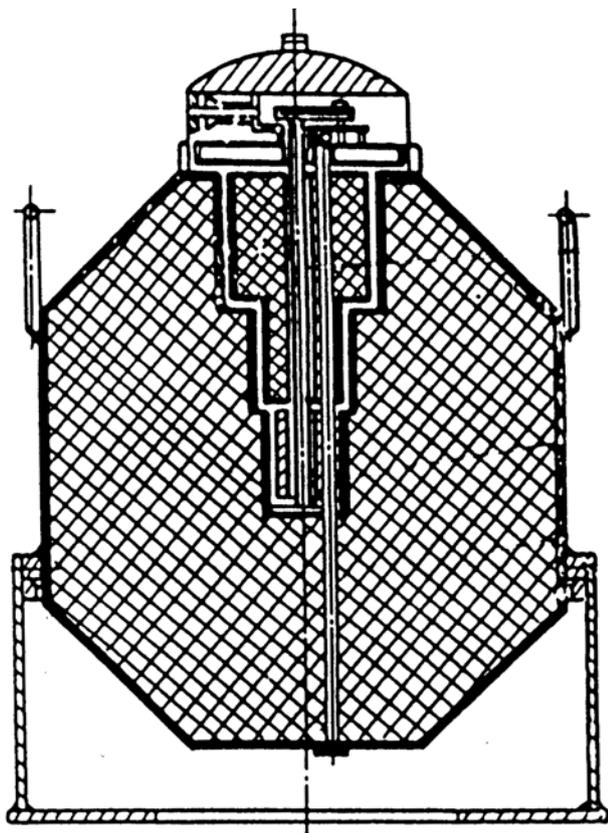


Рис. 1. Конструкция контейнера для источников типа КТБ-26-12

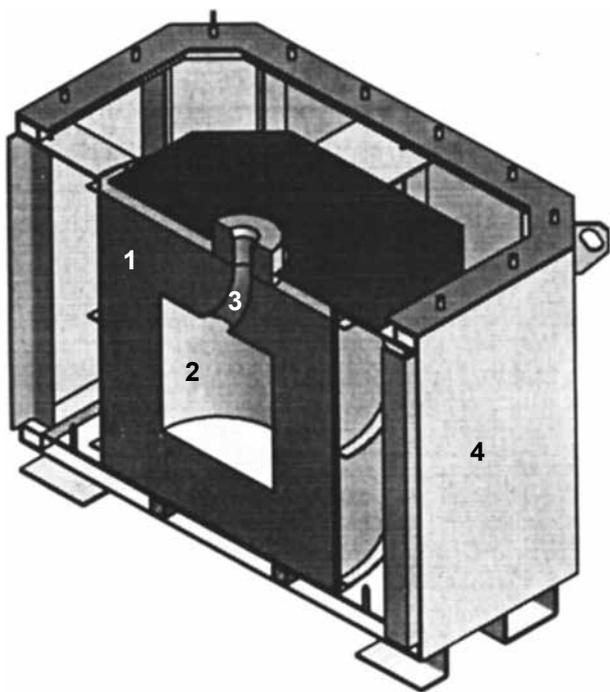


Рис. 2. Конструкция упаковочного комплекта

как сверху, так и снизу контейнера при помощи специализированного оборудования. Разгрузка контейнера осуществляется через нижний канал и может быть выполнена дистанционно без использования дополнительного оборудования — источник разгружается под действием силы

тяжести. Данные контейнеры по настоящее время используются для транспортирования закрытых источников ионизирующих излучений при обслуживании радиационных установок.

С выходом в 2011 году Федерального закона от 11.07.2011 № 190-ФЗ «Об обращении с РАО...» использование хранилищ колодезного типа для дальнейшего размещения источников перестало удовлетворять требованиям законодательства ввиду того, что извлечение источников из данного хранилища для передачи национальному оператору по обращению с РАО с целью окончательного захоронения является трудной инженерной задачей, связанной с большим риском облучения персонала. Фактически на настоящий момент задача извлечения источников из данных хранилищ не решена.

Для решения проблемы сбора, хранения и последующей передачи национальному оператору для захоронения отработавших закрытых источников ионизирующего излучения специалистами ФГУП «РАДОН» была внедрена технология обращения с ОЗИИИ на базе разработанного специализированного упаковочного комплекта КМЗ-РНИ-РАДОН. Данный упаковочный комплект, в отличие от хранилища колодезного типа, обеспечивает возможность:

- извлечения упаковки РАО из хранилища в конце периода хранения;
- размещения упаковки РАО в дополнительный контейнер или переупаковку при необходимости;
- транспортирования упаковки РАО на захоронение;
- обращения с упаковкой РАО при захоронении.

Основные технические характеристики упаковочного комплекта следующие:

- объем внутреннего резервуара для ОЗИИИ — 0,08 м³;
- номинальная активность (по Со-60) ОЗИИИ — 100 000 Ки;
- максимальные габариты ОЗИИИ — Ø38×200 мм;
- масса пустого упаковочного комплекта — не более 9 000 кг;
- масса заполненного упаковочного комплекта — не более 10 000 кг;
- внешние размеры (Д×Ш×В) — 1650×1650×1375 мм.

Упаковочный комплект (рис. 2) состоит из внутреннего защитного контейнера (1), имеющего емкость для размещения источников (2), объемом 80 л, окруженную биологической защитой из свинца, толщиной 25–30 см. Для загрузки ОЗИИИ предусмотрена изогнутая загрузочная труба (3), закрываемая пробкой. Для защиты от воздействия факторов окружающей среды и унификации операций по обращению с РАО внутренний защитный контейнер размещен в защитном контейнере внешне идентичном стандартному металлическому контейнеру для РАО типа КМЗ-РАДОН (4).

Упаковочный комплект позволяет при помощи дополнительного оборудования использовать

стандартные контейнеры с донной разгрузкой для доставки ОЗИИИ. При этом механизм разгрузки не отличается от разгрузки ОЗИИИ в хранилище колодезного типа.

Биологическая защита из свинца позволяет достигнуть мощности эквивалентной дозы (МЭД) гамма-излучения на поверхности упаковочного комплекта и на расстоянии 1 м от него при загрузке в него 100 000 Ки Со-60, не превышающей пределы, установленные НП-053-16 для упаковки III транспортной категории, т. е., соответственно, не более 2 и 0,1 мЗв/ч.

Расчеты радиационных полей для обоснования конструкции биологической защиты и максимально возможной загружаемой активности проводили при помощи программного комплекса «Робот», основанного на методе Монте-Карло, в трехмерной постановке и многогрупповом приближении.

Расчетным путем проводили подбор оптимальных параметров биологической защиты и емкости для размещения источников с целью обеспечения максимально возможной загружаемой активности при условии не превышения установленных пределов МЭД гамма-излучения на поверхности упаковки и на расстоянии 1 м от нее и общей массы упаковочного комплекта, составляющей не более 10 т.

Расчеты радиационного разогрева упаковки с ОЗИИИ базировались на решении уравнения теплопроводности, записанного применительно к конструкции контейнера методом конечных разностей. Расчетным путем было показано, что при загрузке в упаковочный комплект 100 000 Ки источников на основе Со-60 температура не превысит максимально допустимую, составляющую 230 °С.

Расчетное значение температуры в емкости с источниками при загрузке максимальной активности было проверено экспериментально путем размещения в емкости электрического нагревателя мощностью около 1,5 кВт, что соответствует мощности энерговыделения при

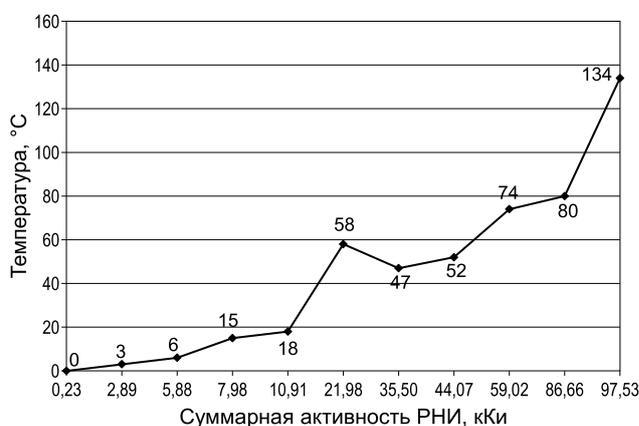


Рис. 3. Диаграмма изменения температуры в емкости с источниками в зависимости от активности загруженных источников на основе Со-60

радиоактивном распаде 100 000 Ки Со-60. Эксперимент показал, что после стабилизации температура в основных контрольных точках не превышает следующих значений:

- в емкости с источниками — 100 °С,
- на наружной поверхности внутреннего контейнера — 60 °С,
- на наружной поверхности контейнера КМЗ — на 5 °С выше температуры окружающего воздуха.

Также расчетные значения температуры и МЭД на поверхности были проверены на экспериментальном образце упаковочного комплекта при загрузке в него реальных ОЗИИИ.

Как показано на рис. 3, неравномерность роста температуры с ростом активности объясняется неоднородностью слоя источников, что может вести к дополнительному нагреву отдельных областей. Тем не менее максимальная температура, зафиксированная при активности практически равной 100 000 Ки, значительно ниже максимально допустимой, установленной в проекте хранилища колодезного типа и составляющей 230 °С. Полученное максимальное значение температуры в емкости с ОЗИИИ выше значения, наблюдаемого в модельном эксперименте, однако, оно может быть объяснено неравномерным нагревом различных областей в емкости из-за неравномерного пространственного распределения активности.

На рис. 4 показана зависимость максимальной мощности дозы гамма-излучения на боковой поверхности упаковочного комплекта от загруженной активности. Неравномерность роста МЭД объясняется неоднородностью расположения загружаемых ОЗИИИ. При этом экспериментально доказано, что мощность дозы на поверхности полностью загруженного контейнера многократно ниже допускаемых нормативными документами пределов. Снижение полученных экспериментально значений МЭД на поверхности упаковочного комплекта относительно расчетных объясняется тем, что расчет биологической защиты проводился по

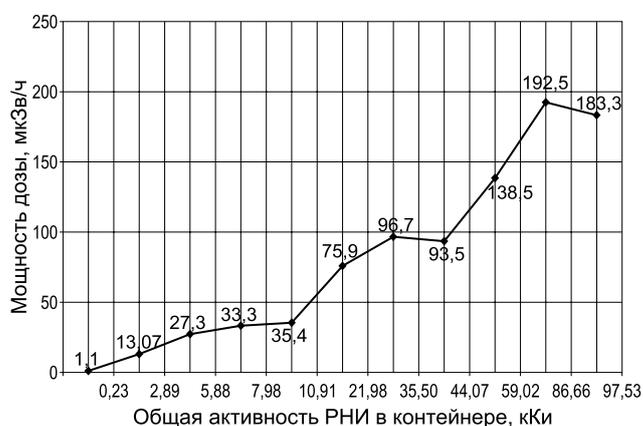


Рис. 4. Зависимость максимальной мощности дозы гамма-излучения на боковой поверхности упаковочного комплекта от загруженной активности

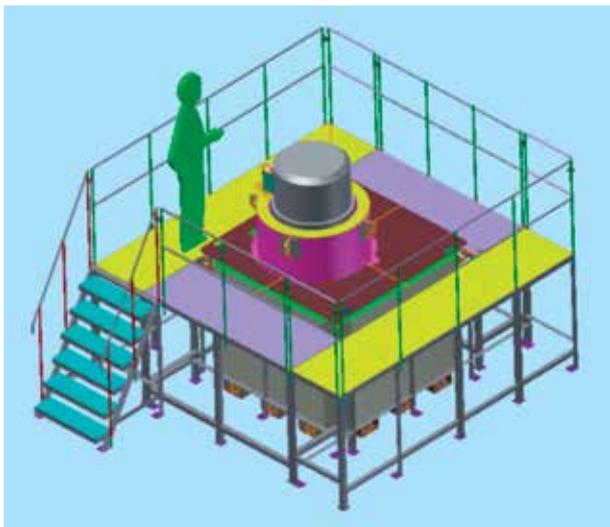


Рис. 5. Основное положение упаковочного комплекта и элементов комплекса

пессимистическому сценарию — точечный источник расположен на боковой поверхности емкости. В реальности источники распределены по объему, поэтому МЭД на поверхности ниже расчетной. Данный «запас» позволят проводить загрузку большей активности ОЗИИИ при регулярном контроле МЭД на поверхности и температуры в емкости с ОЗИИИ.

Для обеспечения возможности выгрузки ОЗИИИ из транспортных контейнеров с донной разгрузкой в КМЗ-РНИ-РАДОН, кондиционирования ОЗИИИ в металлическую матрицу, контроля состояния хранения ОЗИИИ с тем же уровнем удобства и безопасности, как и в хранилище колодезного типа, разработан ряд приспособлений, составляющих комплекс кондиционирования ОЗИИИ.

Комплекс состоит из следующих комплектов:

- упаковочный комплект КМЗ-РНИ-РАДОН;
- комплект перегрузки;
- комплект кондиционирования;
- комплект обслуживания;
- контрольно-аварийный комплект.

При разгрузке ОЗИИИ из контейнера с донной разгрузкой (рис. 5) используется специализированный модуль, представляющий собой площадку с ограждением, размещенную вокруг КМЗ-РНИ-РАДОН, обеспечивающий удобство и безопасность персонала, работающего на высоте более 1 м. Для обеспечения радиационной безопасности при выгрузке ОЗИИИ из транспортных контейнеров используется перегрузочный модуль, установленный на упаковочном комплекте.

Для обеспечения радиационной и физической безопасности при длительном хранении и захоронении ОЗИИИ в КМЗ-РНИ-РАДОН также могут быть включены в металлическую матрицу на основе свинца. Свинцовая матрица дополнительно защищает корпуса источников от воздействия факторов окружающей среды,

равномерно распределяет тепловую энергию, выделяющуюся при распаде радионуклидов, поглощает ионизирующие излучения. При заполнении упаковочного комплекта и передаче его на захоронение возможно герметичное заваривание пробки внутреннего защитного контейнера и крышки наружного контейнера КМЗ. Таким образом, упаковочный комплект КМЗ-РНИ-РАДОН отвечает принципам глубокоэшелонированной защиты при захоронении РАО.

Для выполнения операций по кондиционированию ОЗИИИ в металлическую матрицу предназначен комплект кондиционирования, включающий дополнительную площадку с ограждением (рис. 6) и установку «Москит-Т» (рис. 7).

Обеспечение безопасности хранения ОЗИИИ в упаковочном комплекте требует проведения периодического контроля параметров хранения источников, а именно: измерение МЭД

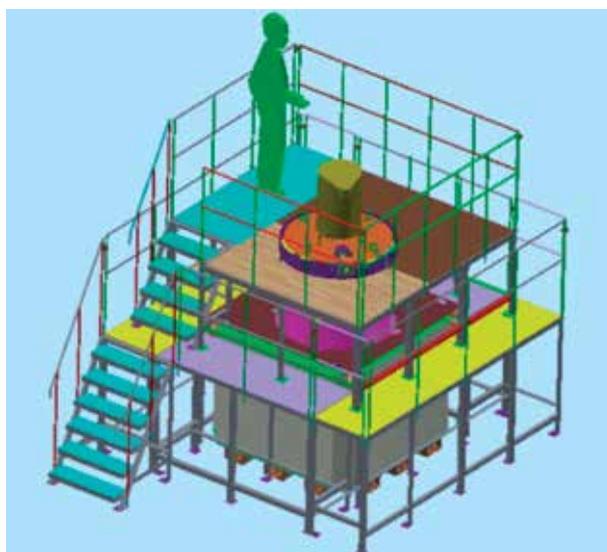


Рис. 6. Дополнительная площадка с ограждением в составе комплекта кондиционирования



Рис. 7. Установка «Москит-Т»



Рис. 8. ОЗИИИ в емкости КМЗ-РНИ-РАДОН

гамма-излучения на поверхности упаковочного комплекта, отбор мазков с поверхности грузозачной трубы для определения ее загрязнения радионуклидами, видеоконтроль состояния грузозачной трубы, емкости для ОЗИИИ и корпусов источников, измерение температуры в емкости с источниками. Для выполнения данных операций разработан комплект приспособлений и оборудования, в который входят приспособления для отбора мазков, набор вспомогательных приспособлений, а также серийно выпускаемое радиационно стойкое видеоконтрольное устройство и дозиметр-радиометр, поставляемые по запросу.

На рис. 8 показан внешний вид ОЗИИИ в емкости КМЗ-РНИ-РАДОН, полученный с помощью видеоконтрольного устройства.

На конструкцию контейнера получен патент РФ на полезную модель № 155931 (рис. 9).

На данный упаковочный комплект получен сертификат-разрешение RUS/1073/B(U)-96Т, допускающий проводить транспортирование радиоактивных материалов в данном упаковочном комплекте.

В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 19.10.2012 №1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов» полученная упаковка с ОЗИИИ будет относиться к РАО 2 класса, т. к. сами ОЗИИИ относятся к первой или второй категории опасности.

Для ОЗИИИ на основе короткоживущих радионуклидов, таких как Co-60 и Sr-90, возможно длительное хранение на ПХРО в течение 10–20 периодов полураспада радионуклидов для снижения их активности перед сдачей на захоронение.

В целом упаковка соответствует критериям приемлемости для захоронения НП-093.



Рис. 9. Патент РФ № 155931

Выводы

Разработанный комплекс для сбора, транспортирования, хранения и захоронения отработавших закрытых источников ионизирующего излучения позволяет решить проблему обращения с данным видом РАО в соответствии с требованиями Федерального закона от 11.07.2011 № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами...». В разработанном упаковочном комплекте можно разместить не менее 100 000 Ки источников по Co-60. Оборудование комплекса позволяет проводить полный цикл

работ по выгрузке источников из стандартных транспортных контейнеров с донной разгрузкой, включению источников в металлическую матрицу для обеспечения физической и радиационной безопасности при хранении и захоронении, контролю за условиями хранения источников и ликвидации аварийных ситуаций.

Комплект внедрен в производственный процесс ФГУП «РАДОН», что позволило продолжать прием на временное хранение отработавших источников.

Сведения об авторах:

Диордий Михаил Николаевич, эксперт отдела разработки технологий ФГУП «РАДОН» (119121, Москва, 7-й Ростовский переулок, д. 2/14), e-mail: MNDiordy@radon.ru.

Семенов Валерий Евгеньевич, эксперт отдела разработки технологий ФГУП «РАДОН» (119121, Москва, 7-й Ростовский переулок, д. 2/14), e-mail: VESemenov@radon.ru.

Карлина Ольга Константиновна, кандидат химических наук, ученый секретарь ФГУП «РАДОН» (119121, Москва, 7-й Ростовский переулок, д. 2/14), e-mail: OKKarlina@radon.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Диордий М. Н., Семенов В. Е., Карлина О. К. Комплекс для сбора, транспортирования, хранения и захоронения отработавших источников ионизирующего излучения // Радиоактивные отходы. — 2018. — № 2(3). — С. 73—78

THE COMPLEX FOR COLLECTION, TRANSPORTATION, STORAGE AND DISPOSAL OF SPENT RADIOACTIVE SOURCES

Diordiy M. N., Semenov V. E., Karlina O. K.

FSUE "RADON", Moscow, Russia

Article received 19 February 2018

The technology for collection, transportation, storage and disposal of spent short-lived radioactive sources based on standard container for radwaste was developed and put into operation by specialists of FSUE "RADON". The technology allows safety loading of up to 100 000 Ci Co-60 sources. The set of special equipment and accessories for sources loading, conditioning into metal matrix, periodical examination of sources conditions was developed within the container. The use of the container should solve the problem of spent radioactive sources management and meet the requirements of 190-FZ.

Keywords: *spent radioactive sources, container, radwaste disposal, radwaste storage.*

Acknowledgements

Authors express their thanks to Yourii Karlin for his leadership, Oleg Nikolaev for thermal calculations performing, Alexander Sumenko and Vladimir Chicherin for their design effort, Sergei Staroverkin and Andrei Yurchenko for their invaluable help in container constructing.

Information about the authors

Diordiy Mikhail Nikolaevich, expert of the technology development department, FSUE "RADON" (2/14, 7-th Rostovsky per., Moscow, Russia, 119121), e-mail: MNDiordy@radon.ru.

Semenov Valery Evgenievich, expert of the technology development department, FSUE "RADON" (2/14, 7-th Rostovsky per., Moscow, Russia, 119121), e-mail: VESemenov@radon.ru.

Karlina Olga Konstantinovna, Ph. D., scientific secretary, FSUE "RADON", (2/14, 7-th Rostovsky per., Moscow, Russia, 119121), e-mail: OKKarlina@radon.ru.

Bibliographic description

Diordiy M. N., Semenov V. E., Karlina O. K. The complex for collection, transportation, storage and disposal of spent radioactive sources. *Radioactive Waste*, 2018, no 2 (3), pp. 73—78 (In Russian).

Благодарности

Авторы выражают благодарность Карлину Юрию Викторовичу за руководство работой по созданию контейнера, Николаеву Олегу Александровичу за выполнение тепловых расчетов, Суменко Александру Викторовичу и Чичерину Владимиру Борисовичу за разработку конструкторской документации, Староверкину Сергею Ивановичу и Юрченко Андрею Юрьевичу за неоценимую помощь в изготовлении контейнера.