

КОМАРОВ С.В., ДЕРГАНОВ Д.В., ГАЯЗОВ А.З., ПОЛОВНИКОВ О.Е.

ООО НПФ «Сосны», г. Дмитровград

ОРИЩЕНКО А.В., ТКАЧЕНКО Р.С.

Дмитровградский инженерно-технологический институт – филиал НИЯУ МИФИ

## РАЗРАБОТКА БЕЗОПАСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВЫГРУЗКИ ОЯТ ЖИДКОСОЛЕВЫХ РЕАКТОРОВ

**Аннотация:** в настоящей статье приводится описание и дан сравнительный анализ разработанных в ООО НПФ «Сосны» технологии и комплекса оборудования выгрузки и подготовки к транспортированию растворов солей урана с существующими аналогами.

**Ключевые слова:** технологии, нераспространение ядерных материалов, соли урана, комплекс оборудования выгрузки.

### **Введение**

Укрепление роли ядерной энергетики в мировом производстве электроэнергии, наблюдающееся на протяжении нескольких последних десятилетий, привело к возникновению острой проблемы нераспространения ядерных материалов (ЯМ), вследствие увеличения количества объектов использования атомной энергии, а также исследовательских и производственных организаций, использующих ЯМ.

Решение данной проблемы обеспечивается созданием на предприятиях ядерного топливного цикла надежных систем учета и контроля делящихся материалов, а также систем физической защиты. В дополнение к введению указанных систем на установках, использующих соединения высокообогащенного урана и плутония, проводятся научно-исследовательские работы по переходу на низкообогащенное топливо [1].

Согласно требованиям МАГАТЭ при отсутствии, по каким-либо причинам, возможности введения указанных мероприятий, направленных на обеспечение должного уровня нераспространения ядерных материалов, эксплуатация объекта должна быть приостановлена, а делящийся материал отправлен на хранение/переработку на объект, исключающий возможность его неконтролируемого распространения.

Особым классом объектов, рассматриваемых в рамках проблемы нераспространения делящихся материалов, являются жидкосолевые исследовательские реакторы, эксплуатируемые на территории Российской Федерации и бывших республик СССР, и использующие в качестве топлива растворы солей урана, обладающего высоким обогащением. Радикальным способом минимизации угрозы несанкционированного использования делящихся материалов является вывод из эксплуатации указанных установок.

Обеспечение безопасности технологии обращения с растворами солей урана, отработавших в активной зоне, является безусловным требованием при работах по выводу из эксплуатации установок с жидкосолевыми ядерными реакторами.

Для решения задачи безопасной выгрузки жидкого ОЯТ из активных зон жидкосолевых исследовательских реакторов в ООО НПФ «Сосны» были разработаны технология и комплекс оборудования выгрузки и подготовки к транспортированию растворов солей урана.

В настоящей статье приводится описание и сравнительный анализ разработанной в ООО НПФ «Сосны» технологии с существующими аналогами.

### **1. Анализ существующих технологий выгрузки ОЯТ жидкосолевых реакторов**

В настоящее время существует ряд технологий, позволяющих осуществить безопасную выгрузку топлива жидкосолевых реакторов [2]. Характерные особенности данных технологий проиллюстрированы ниже.

Принципиальная схема системы выгрузки, используемой для реализации первой технологии, приведена на рис. 1.

В разработанной технологии выгрузка раствора солей урана из корпуса реактора выполняется порциями заданного безопасного объёма в следующей последовательности:

- открывается вентиль (5) на технологической линии вакуумирования и в дозаторе создаётся разрежение;

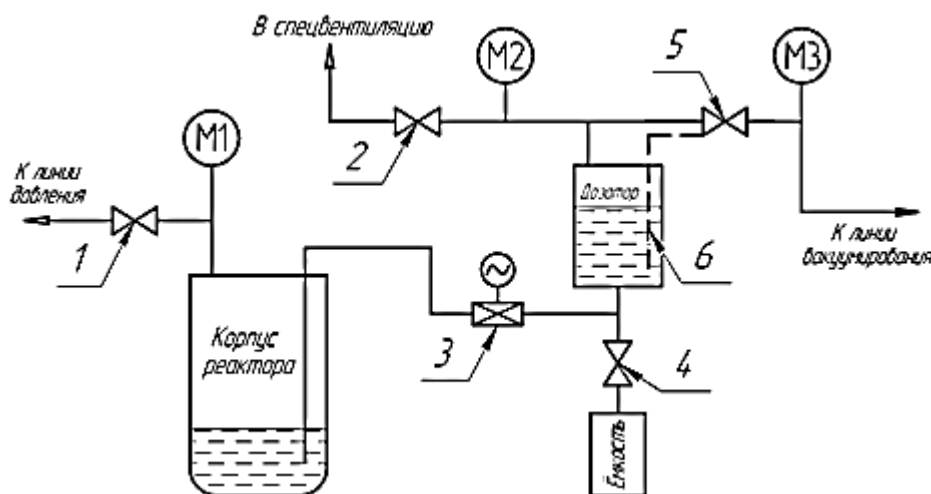


Рисунок 1. Принципиальная схема системы выгрузки раствора солей урана  
1, 2, 4, 5 – запорные ventили; 3 – пневмоэлектродвигатель; 6 – электронный регулятор-сигнализатор уровня;  
M1 – манометр; M2 – мановакуумметр; M3 – вакуумметр

- закрывается вентиль (5) на технологической линии вакуумирования;
- открывается вентиль (1) на технологической линии создания давления и в корпусе реактора создаётся избыточное давление;
- закрывается вентиль (1) на технологической линии создания давления;
- открывается пневмоэлектродвигатель (3) на технологической линии подачи раствора в дозатор и выполняется передача раствора из корпуса реактора в дозатор;
- при достижении заданного объёма раствора в дозаторе по сигналу электронного регулятора-сигнализатора уровня закрывается пневмоэлектродвигатель на технологической линии подачи раствора в дозатор;
- открывается вентиль (2) и давление в дозаторе выравнивается с атмосферным;
- открывается вентиль (4) и выполняется передача одной порции раствора солей урана из дозатора в ёмкость.

Перечисленные выше операции повторяются до полного удаления ОЯТ из корпуса реактора. В процессе выгрузки выполняется фильтрация раствора путем его пропускания через фильтровальную бумагу.

С целью промывки корпуса реактора от остатков раствора солей урана в корпус заливается достаточный объём дистиллированной воды и по окончании 30 минут она выгружается. Выгрузка промывочной воды осуществляется аналогично представленному выше технологическому процессу через дозатор в свободную от раствора солей урана ёмкость.

В качестве ёмкостей для хранения раствора солей используются полиэтиленовые канистры. После выгрузки одной порции, канистра с топливом удаляется из помещения реакторного зала и помещается в контейнер.

Контейнеры размещаются в ячейках дистанцирующей решётки, что исключает превышение критериев обеспечения ядерной безопасности и, как следствие, возникновения СЦР.

Выгрузка раствора солей урана по второй технологии также осуществляется порционно, отличается лишь аппаратная схема реализации установки и последовательность этапов создания избыточного давления и разрежения в оборудовании. Принципиальная схема системы выгрузки, используемой при реализации второй технологии, приведена на рис. 2.

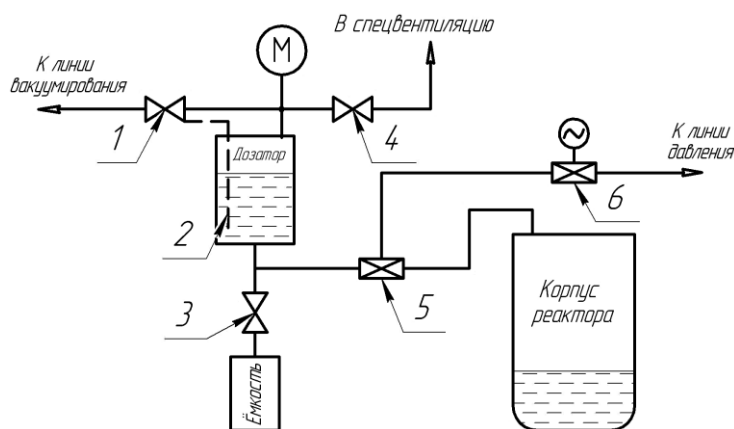


Рисунок 2. Принципиальная схема системы выгрузки солей урана  
1, 3, 4 – запорные вентили; 2 – электронный регулятор-сигнализатор уровня;  
5 – пневмоклапан; 6 – электропневмоклапан; М – мановакуумметр

К недостаткам рассмотренных схем можно отнести:

- наличие вероятности разрыва топливной трубки находящейся под давлением в процессе выгрузки и выход раствора солей урана за пределы оборудования;
- наличие значительного количества циклов передачи раствора из корпуса реактора в дозатор, а также из дозатора в ёмкость и, как следствие, значимые уровни радиационного воздействия на персонал;
- наличие вероятности нарушения геометрии размещения контейнеров с топливом из-за ошибки персонала и превышения критериев обеспечения ядерной безопасности;
- наличие потенциальной угрозы несанкционированного использования делящегося материала из-за применения пластиковых канистр в качестве ёмкостей для хранения раствора солей урана.

## **2. Описание вновь разработанной технологии и оборудования для выгрузки временного хранения растворов солей урана**

Для выгрузки ОЯТ из корпуса жидкосолевых исследовательских реакторов предполагается использовать комплекс оборудования, который состоит из следующих элементов:

- дозатор;
- ёмкости временного хранения;
- рамка стеллажа;
- трубопроводы и запорная арматура;
- вакуумный насос;
- компрессор;
- биологическая защита;
- устройства контроля технологических параметров.

Дозатор предназначен для порционной выгрузки раствора солей урана и представляет собой стальную ёмкость безопасного объема, состоящую из цилиндрической обечайки, дна и фланца. Дозатор размещается совместно с шестью ёмкостями временного хранения, которые устанавливаются в раму стеллажа с шагом, обеспечивающим

безопасный уровень подкритичности системы. Конструкция ёмкостей временного хранения аналогична конструкции дозатора.

Системы трубопроводных линий и запорная арматура служат для передачи раствора ОЯТ между элементами системы выгрузки и временного хранения. Принципиальная схема системы выгрузки растворов солей урана приведена на рис. 3.

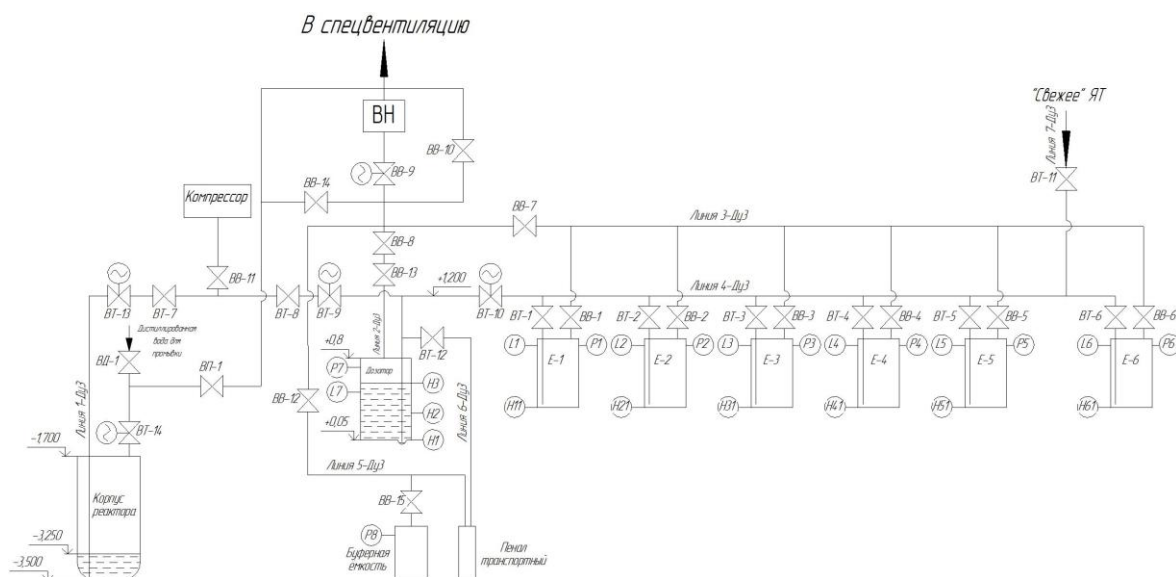


Рисунок 3. Принципиальная схема системы выгрузки и временного хранения раствора солей урана жидкосолевых реакторов

Технология выгрузки включает в себя два основных этапа. На первом этапе осуществляется передача порции жидкого ОЯТ из корпуса реактора в дозатор по топливной линии 1 за счёт создания разрежения в дозаторе.

На втором этапе выполняется передача раствора из дозатора в ёмкости временного хранения Е1-Е6 по топливной линии 2 за счёт последовательного создания разрежения в каждой из них. Разрежение в рассматриваемых элементах оборудования создаётся с помощью вакуумного насоса.

Объём одной порции передаваемого за один цикл раствора определяется исходя из требований ядерной безопасности и объема емкостей временного хранения (за один цикл передается единичный объем емкости временного хранения). Таким образом, по окончании процесса выгрузки весь объём топлива, находящийся в корпусе реактора, размещается в ёмкостях временного хранения.

Удаление остатков раствора из реактора осуществляется заливкой в корпус достаточного объема дистиллированной воды. Выгрузка промывочной воды выполняется аналогично выгрузке топлива в свободную ёмкость временного хранения.

Для исключения выхода жидкого ОЯТ за установленные проектом пределы при разгерметизации ёмкостей или дозатора в состав комплекса оборудования включены охранные стаканы, выполняющие функцию дополнительного физического барьера.

Компрессор, входящий в состав системы, служит для «продувки» технологических линий воздухом в случае потери их пропускной способности.

Биологическая защита, предназначенная для защиты персонала от ионизирующего излучения, монтируется из листов свинца на раме стеллажа с помощью резьбовых соединений. Толщина биологической защиты определяется по результатам проведенных расчетов мощностей доз излучения на рабочих местах персонала, выполненных на основе радиационных характеристик выгружаемого раствора солей урана.

К устройствам контроля технологических параметров относятся:

- датчики давления;
- электронные регуляторы-сигнализаторы уровня.

Датчики давления предназначены для измерения абсолютного давления-разряжения и устанавливаются на дозатор, а также на каждую из шести ёмкостей временного хранения.

Электронные регуляторы-сигнализаторы устанавливаются в крышки дозатора и ёмкостей временного хранения и служат для контроля уровня среды при заполнении указанных емкостей.

По завершении выгрузки всего объема раствора солей урана из корпуса реактора в ёмкости временного хранения, запорно-регулирующая арматура системы закрывается защитными панелями, препятствующими несанкционированному доступу к делящемуся материалу, а также выполняющими функции устройств индикации вмешательства.

К достоинствам вновь разработанной технологии можно отнести:

- исключение возможности превышения критериев обеспечения ядерной безопасности, поскольку все единицы оборудования, предназначенные для размещения ЯДМ, жестко зафиксированы на безопасном расстоянии друг от друга;
- малое количество циклов передачи раствора солей урана между корпусом реактора и дозатором, а также дозатором и ёмкостями временного хранения;
- исключение выхода передаваемых сред за пределы системы выгрузки при разрыве топливных магистралей, за счет созданного в оборудовании разрежения на всех циклах работы установки;
- наличие устройств, обеспечивающих защиту ядерных материалов от несанкционированного доступа.

Недостатком данной технологии является относительно сложная технологическая схема и, как следствие, высокая стоимость установки и повышенные требования к квалификации персонала.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Материалы доклада Мохаммед аль-Барадеи на конференции по рассмотрению действия ДНЯО МАГАТЭ, Нью-Йорк, май 2010 г.
2. Блинкин, В.Л. Жидкосольевые ядерные реакторы [Текст] / В.Л. Блинкин, В.М. Новиков. – М. : Атомиздат, 1978.