

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **042184**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.01.20

(51) Int. Cl. **G21C 7/08 (2006.01)**

(21) Номер заявки
202291347

(22) Дата подачи заявки
2021.10.04

(54) УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА(31) **2021112735**(56) **RU-C2-2539356**(32) **2021.04.30****RU-C1-2046407**(33) **RU****EP-B1-2463864**(43) **2022.11.30****KR-A-1020180003180**(86) **PCT/RU2021/000424****CN-A-111564226**(87) **WO 2022/231462 2022.11.03****WO-A8-2017191598****US-A-4076587**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
"АКМЭ-ИНЖИНИРИНГ" (RU)**

(72) Изобретатель:
**Тошинский Георгий Ильич, Комлев
Олег Геннадьевич, Дедуль Александр
Владиславович, Ошейко Юрий
Викторович, Мельников Кирилл
Геннадьевич, Конюхов Руслан
Андреевич (RU)**

(74) Представитель:
Черных И.В. (RU)

(57) Изобретение относится к ядерной энергетике, прежде всего к реакторам малой мощности с высокотемпературными теплоносителями. Устройство защиты ядерного реактора с высокотемпературным теплоносителем содержит питающую сеть электрического тока, поглощающие стержни (4, 4а, 4b), выполненные с возможностью введения в активную зону для целей аварийной защиты, с исполнительными механизмами, оснащенными удерживающими электромагнитами для удержания в заданном положении, поглощающие стержни (5) дополнительной аварийной защиты и общий электрический разъединитель 11 тока питающей сети электрического тока. Питающая сеть выполнена таким образом, что электрический ток проходит последовательно через обмотки удерживающих электромагнитов всех поглощающих стержней. Помимо этого в цепь указанного электрического тока включены по меньшей мере один прямодействующий термический разъединитель (8) тока, размещенный в изолированном от теплоносителя чехле в потоке горячего теплоносителя или на выходе из активной зоны, а также по меньшей мере один электрический разъединитель (11) тока, размещенный в изолированном от теплоносителя чехле поглощающего стержня (5) выше поглощающего стержня (5), снабженного термочувствительным разъединителем тока (9) с плавким замком. Технический результат - обеспечение срабатывания при возникновении аварийной ситуации всех поглощающих стержней.

042184
B1

042184
B1

Область техники

Изобретение относится к ядерной энергетике, прежде всего, к реакторам малой мощности с высоко-температурными теплоносителями (жидкие металлы, расплавленные соли, гелий, вода сверхкритического давления), которые имеют достаточный запас работоспособности ТВЭЛов по температуре от максимальной температуры теплоносителя на выходе из активной зоны.

Уровень техники

Наиболее тяжелые аварии в реакторах, которые могут привести к повреждению топлива и выходу радиоактивности, связаны перегревом тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) выше пределов безопасности эксплуатации при повышении температуры теплоносителя на выходе из активной зоны выше допустимых значений. Причины такого повышения температуры могут быть связаны либо со снижением расхода теплоносителя, либо с повышением мощности реактора, либо с ухудшением отвода тепла от ТВЭЛов, от теплоносителя, либо сочетанием указанных причин.

Для исключения подобных аварий во всех реакторах по электрическому сигналу повышения температуры теплоносителя выше заданного значения, формируемому в системе управления и защиты (СУЗ) реактора, предусмотрен останов ядерного реактора (ЯР) путем срабатывания аварийной защиты (АЗ) реактора. По этому сигналу обмотки электромагнитов, удерживающих поглощающие стержни (ПС) АЗ вне активной зоны, обесточиваются, и ПС АЗ под действием пружин, силы гравитации или архимедовой силы (если поглощающие стержни АЗ обладают плавучестью в теплоносителе и во взведенном состоянии размещены под активной зоной) вводятся в активную зону и останавливают цепную реакцию деления в реакторе (см. И.Я. Емельянов, А.И. Ефанов и Л.В. Константинов. "Научно-технические основы управления ядерными реакторами, Москва", Энергоиздат, 1981). Это традиционная система СУЗ.

В такой традиционной системе СУЗ, несмотря на необходимое резервирование, имеется вероятность несрабатывания ПС АЗ из-за непрохождения управляющих электрических сигналов в случае множественных отказов в СУЗ или умышленного превентивного скрытого злонамеренного вмешательства в электрическую схему СУЗ.

Кроме того, эффективность ПС АЗ в традиционной СУЗ ЯР обычно меньше суммарного запаса реактивности на выгорание, температурно-мощностные эффекты реактивности и регулирование мощности, компенсируемого ПС, выполняющими эти функции (ПС включают в себя компенсирующие стержни и регулирующие стержни). Поэтому при несанкционированном высвобождении запаса реактивности, скомпенсированного этими ПС (множественные отказы в системе управления, умышленное превентивное злонамеренное скрытое вмешательство в электрическую схему СУЗ), будет неизбежным повышение температуры в активной зоне выше допустимых значений и плавление топлива, приводящее к тяжелой аварии.

Известна система АЗ пассивного типа, срабатывающая по повышению температуры теплоносителя и устраняющая недостаток рассмотренной выше традиционной системы АЗ, связанный с возможным непрохождением электрических сигналов на срабатывание АЗ по повышению температуры теплоносителя выше заданного значения. Это прямодействующая АЗ.

В прямодействующей системе АЗ пассивного типа устройства, удерживающие ПС АЗ вне активной зоны (такими устройствами являются, например, плавкие замки, биметаллические замки, устройства на основе сплавов с эффектом памяти формы, электромагнитные замки из материала с соответствующей точкой Кюри и др.), не связаны электрическими цепями с СУЗ и срабатывают непосредственно при повышении температуры теплоносителя выше заданного значения. Такие устройства рассмотрены в документе МАГАТЭ "Passive Shutdown Systems for Fast Neutron Reactors", IAEA Nuclear Energy Series No. NR-T-1.16, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2020. При этом ПС АЗ, также как и в рассмотренном выше случае традиционной АЗ, под действием пружин и/или силы гравитации вводятся в активную зону.

Недостатками прямодействующей системы АЗ пассивного типа является то, что она может рассматриваться только как дополнительная аварийная защита (ДАЗ) к традиционной системе АЗ с электромагнитным удержанием ПС АЗ, срабатывающей не только по электрическим сигналам повышения температуры выше заданного значения, но и по другим электрическим сигналам АЗ (повышение мощности ЯР, уменьшение периода разгона, других технологических сигналов, например, повышение давления, отключение насосов и др.) а также то, при срабатывании такой прямодействующей АЗ пассивного типа не инициируется срабатывание всех ПС с электромагнитным удержанием в заданном положении, в том числе, компенсирующих запас реактивности на выгорание, отравление, температурно-мощностные эффекты реактивности, регулирование мощности. В случае несанкционированного извлечения этих стержней из активной зоны и высвобождении ими всего запаса реактивности (множественные отказы в системе управления, умышленное превентивное злонамеренное скрытое вмешательство в электрическую схему АЗ) будет неизбежным повышение температуры в активной зоне выше допустимых значений и плавление топлива с тяжелыми последствиями.

Из патента США US 4076587 (G21C 7/12, G21C 9/00, G21C 9/027; опубл. 22.08.1972) известно плавкое устройство и применение указанного плавкого устройства в конструкции системы аварийного отключения ЯР. Это плавкое устройство для системы автоматического аварийного отключения в быстрых реакторах в нормальных условиях эксплуатации удерживает поглотитель нейтронов выше активной зо-

ны, но высвобождает его в свободном падении в нижнюю часть обсадной трубы на уровне активной зоны реактора в результате плавления плавкого предохранителя, размещенного ниже поглощающих нейтроны масс, когда рабочие характеристики, такие как температура, достигают уровня, превышающего заданный порог. При этом поглотитель нейтронов расположен внутри обсадной трубы, изолированной от теплоносителя, размещенной в топливном баке.

Недостатком данного технического решения является то, при срабатывании плавкого устройства при повышении температуры теплоносителя выше заданного значения в активную зону вводится только поглотитель нейтронов, содержащийся в чехлах обсадной трубы выше плавкого устройства, а все остальные ПС традиционной СУЗ, удерживаемые в заданном положении электромагнитными замками, при непрохождении электрических сигналов на срабатывание АЗ в активную зону не вводятся, что может привести к плавлению топлива.

Известно также устройство защиты ЯР на быстрых нейтронах согласно патенту РФ RU 2539356 (G21C 7/00; опубл. 20.01.2015), в котором обеспечено срабатывание всех ПС АЗ при непрохождении электрических сигналов на их срабатывание или отказе приводов стержней АЗ при повышении температуры теплоносителя выше заданного значения по крайней мере на одном ПС АЗ. Это достигается за счет использования термического разъединителя ПС АЗ, в котором применяется материал, теряющий свои магнитные свойства при повышении температуры натрия, выходящего из активной зоны, выше температуры Кюри. При этом поглощающий стержень (или поглощающие стержни) АЗ вместе с якорем удерживающего электромагнита вводится в активную зону за счет силы тяжести и ускоряющих пружин, а остальные стержни АЗ, температура теплоносителя на магнитопроводах которых еще не достигла точки Кюри, также вводятся в активную зону за счет размыкания реле при падении якоря термического разъединителя вместе с первым стержнем АЗ, температура магнитопровода которого превысила точку Кюри, и разрыва электрической цепи обмоток (катушек) удерживающих электромагнитов остальных стержней АЗ.

К недостаткам данного технического решения, которое можно рассматривать как наиболее близкий аналог настоящего изобретения, относятся следующие.

Прежде всего, данное известное устройство защиты ЯР на быстрых нейтронах можно использовать только в реакторах с теплоносителями, обладающими диэлектрическими свойствами. В случае применения электропроводных жидкометаллических теплоносителей, применяемых в быстрых реакторах, контакты реле будут замкнуты всегда, поскольку в вышеупомянутом патенте магнитопроводы и реле размещены в корпусе реактора, заполненном жидкометаллическим теплоносителем. Использование же изолированных от теплоносителя чехлов для размещения в них ПС АЗ с термическими и электрическими разъединителями (реле) в реакторах с поперечным перемещением приводов стержней АЗ, расположенных, как указано в патенте RU 2539356, на вращающихся пробках, обеспечивающих возможность частичных перегрузок топлива, технически неосуществимо.

Электрическое соединение подвижных контактов реле с обмотками (катушками) удерживающих электромагнитов стержней АЗ, осуществляется с помощью гибких кабелей, омываемых жидкометаллическим теплоносителем. Обеспечение их надежности в реакторных условиях представляет собой трудно разрешимую задачу.

Надежность электрического контакта в реле при использовании в реакторе даже теплоносителя, обладающего диэлектрическими свойствами, трудно обеспечить из-за вибрационного, коррозионного, радиационного и термомеханического воздействий, поскольку реле размещены в потоке горячего теплоносителя в высоких радиационных полях нейтронного и гамма излучений, а также из-за искрообразования при многократном срабатывании АЗ.

Далее при срабатывании заявленного в патенте RU 2539356 устройства защиты ЯР по превышению точки Кюри в активную зону не вводятся ПС традиционной СУЗ, приводы которых оснащены электромагнитными замками, удерживающими их в заданном положении, предназначенные для компенсации запаса реактивности на выгорание, отравление, температурно-мощностных эффектов реактивности и регулирование мощности, а также ПС АЗ. Это создает возможность "разгона" реактора при несанкционированном "самоходе" вверх всех управляемых ПС традиционной СУЗ (множественные отказы в системе управления, умышленное превентивное злонамеренное скрытое вмешательство в электрическую схему СУЗ). Увеличение же количества поглощающих стержней АЗ заявленного типа для перекрытия запаса реактивности на выгорание, температурно-мощностные эффекты реактивности и регулирование мощности, скомпенсированного ПС традиционной СУЗ, невозможно, так как такое увеличение может быть реализовано только за счет уменьшения количества ПС традиционной СУЗ. Поэтому такая известная защита может только дополнять традиционную СУЗ.

Размещение якоря и магнитопровода, изготовленных из материала с соответствующей температурой Кюри, над ПС АЗ, далеко от выхода теплоносителя из активной зоны, вызывает температурное запаздывание срабатывания АЗ, что может привести к плавлению топлива в случае быстрого протекания аварийного процесса.

Наконец, недостатком ближайшего аналога является также необходимость использования в известном устройстве аварийной защиты дополнительного источника питания, коммутационных аппаратов и

других необходимых элементов, которые имеют свою вероятность отказа, что снижает надежность устройства.

Задачей изобретения является устранение отмеченных недостатков аналогов и повышение безопасности ядерного реактора.

Техническим результатом предлагаемого изобретения является обеспечение, в случае повышения температуры теплоносителя выше заданного значения, срабатывания всех ПС традиционной системы АЗ с электромагнитным удержанием ПС в случае непрохождения по каким-то причинам электрических сигналов на срабатывание АЗ, а также всех остальных ПС, предназначенных для компенсации запаса реактивности на выгорание, температурно-мощностные эффекты реактивности, эффекты отравления и регулирования мощности, приводы которых оснащены электромагнитами, удерживающими эти ПС в заданном положении, за счет размыкания цепи электрического тока в обмотках (катушках) удерживающих электромагнитов всех ПС традиционной СУЗ, независимо от выполняемых ими функций, с помощью прямодействующих термических разъединителей тока (ТРТ), и электрических разъединителей тока (ЭРТ), срабатывающих при начале ввода в активную зону ПС прямодействующей ДАЗ, не имеющих приводов на крышке реактора.

Применение заявленного устройства защиты ЯР по повышению температуры теплоносителя выше заданного значения будет особенно эффективным для достижения еще одного технического результата, связанного с указанным выше техническим результатом, заключающегося в повышении безопасности в реакторах с запасом реактивности, существенно превышающим эффективную долю запаздывающих нейтронов - $\beta_{\text{эфф}}$, который выше эффективности ПС АЗ традиционной СУЗ. В частности, в случае несанкционированного высвобождения всего запаса реактивности в результате множественных отказов в системе управления или умышленного превентивного злонамеренного скрытого вмешательства в электрическую схему СУЗ при использовании предлагаемого устройства защиты ЯР исключается возможность разгона реактора на мгновенных нейтронах. Это будет обеспечиваться за счет действия отрицательной обратной связи, технических ограничений на скорость извлечения поглощающих стержней из активной зоны и размещения ТРТ, ЭРТ и стержней ДАЗ внутри реактора, делающих их недоступными для вмешательства человека.

Краткое раскрытие сущности изобретения

С целью решения поставленной задачи и достижения указанных технических результатов предлагается электрический ток, проходящий последовательно через общий электрический разъединитель (ОЭР) традиционной СУЗ, на который подаются электрические сигналы на срабатывание АЗ, обмотки удерживающих электромагнитов всех приводов ПС традиционной системы АЗ, а также обмотки удерживающих электромагнитов приводов остальных ПС традиционной СУЗ, независимо от выполняемых ими функций (автоматическое или ручное регулирование мощности, компенсация различных эффектов реактивности), которые оснащены удерживающими электромагнитами и, возможно, пружинами, пропустить последовательно через термические разъединители электрического тока (ТРТ), размещенные в изолированных от теплоносителя чехлах (аналогичных чехлам термопар, измеряющих температуру теплоносителя) в потоке горячего теплоносителя в любом удобном месте от выхода из активной зоны до входа в теплообменник (парогенератор) или, для одноконтурных ЯР, выхода из ЯР в турбину, а также через электрические разъединители тока (ЭРТ), срабатывающие при начале ввода в активную зону стержней прямодействующей ДАЗ при превышении температурой теплоносителя заданного значения.

Для этого заявленное устройство защиты ядерного реактора с высокотемпературным теплоносителем содержит питающую сеть электрического тока, управляемые поглощающие стержни с исполнительными механизмами, оснащенные ускоряющими пружинами для сброса в активную зону и удерживающими электромагнитами для удержания в заданном положении, поглощающие стержни дополнительной аварийной защиты и общий электрический разъединитель тока питающей сети электрического тока, проходящего последовательно через обмотки удерживающих электромагнитов всех управляемых поглощающих стержней. Управляемые поглощающие стержни выполнены с возможностью ввода в активную зону ядерного реактора и вывода из активной зоны ядерного реактора в режимах нормальной эксплуатации ядерного реактора, а в случае появления аварийных сигналов и обесточивании обмоток удерживающих электромагнитов - ввода в активную зону ускоряющими пружинами или под действием силы тяжести. В цепь тока, протекающего через обмотки указанных удерживающих электромагнитов, включены по меньшей мере один прямодействующий термический разъединитель тока, выполненный с возможностью разрыва цепи тока при повышении температуры теплоносителя выше заданного значения, и по меньшей мере один электрический разъединитель тока, размещенный в изолированном от теплоносителя чехле поглощающего стержня дополнительной аварийной защиты выше поглощающего стержня дополнительной аварийной защиты, снабженного термочувствительным разъединителем тока с плавким замком. Указанный по меньшей мере один прямодействующий термический разъединитель тока размещен в изолированном от теплоносителя чехле в потоке горячего теплоносителя или на выходе из активной зоны.

Таким образом, срабатывание любого ТРТ или любого ЭРТ стержня ДАЗ при повышении температуры теплоносителя выше заданного значения вызовет срабатывание всех ПС традиционной СУЗ, при-

воды которых оснащены удерживающими электромагнитами.

Далее со ссылками на прилагаемые чертежи более подробно поясняется заявленное устройство защиты ядерного реактора, а также возможные варианты его осуществления, которыми настоящее изобретение не ограничивается.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 приведена принципиальная электрическая схема устройства аварийной защиты реактора с прямым срабатыванием по повышению температуры теплоносителя выше заданного значения.

На фиг. 2 показан возможный вариант изолирующего чехла со стержнем ДАЗ в режиме ожидания с плавким замком термического разъединителя (ТРМ), размещенным ниже стержня ДАЗ, и ЭРТ, размещенным выше стержня ДАЗ.

На фиг. 3 приведен вид снизу на возможный вариант изолирующего чехла согласно фиг. 2.

На фигурах позициями отмечены следующие элементы:

- 1 - источник питания;
- 2 - общий электрический разъединитель тока;
- 3 - управляющий сигнал на срабатывание АЗ;
- 4 - поглощающие стержни традиционной АЗ;
- 4а - стержни, компенсирующие выгорание, отравление и температурный эффект;
- 4б - регулирующие стержни;
- 5 - поглощающий стержень ДАЗ;
- 6 - чехол поглощающего стержня ДАЗ;
- 7 - удерживающий электромагнит;
- 8 - термический разъединитель тока;
- 9 - термический разъединитель с плавким замком;
- 10 - нижний хвостовик поглощающего стержня ДАЗ;
- 11 - электрический разъединитель тока;
- 12 - корпус электрического разъединителя тока;
- 13 - кабель электрического разъединителя тока;
- 14 - плавкий штифт;
- 15 - пружина плавкого штифта;
- 16 - опорное кольцо;
- 17 - ускоряющая пружина.

Подробное описание вариантов осуществления изобретения

Заявленное устройство защиты ядерного реактора, схематично изображенное на фиг. 1, содержит питающую сеть электрического тока, включающую, в частности, источник питания 1; общий электрический разъединитель 2 тока указанной питающей сети, работа которого контролируется управляющим сигналом 3 на срабатывание АЗ ядерного реактора; поглощающие стержни традиционной СУЗ и АЗ (далее также ПС); поглощающие стержни 5 ДАЗ (далее также ПС 5 ДАЗ), размещенные в чехлах 6 поглощающего стержня ДАЗ.

Под ПС традиционной СУЗ и АЗ в рамках данной заявки понимаются поглощающие стержни 4 традиционной АЗ, стержни 4а, компенсирующие выгорание, отравление и температурный эффект, а также регулирующие стержни 4б (см. фиг. 1). Другими словами, под ПС в рамках данной заявки понимаются все поглощающие стержни, за исключением ПС 5 ДАЗ, которые вводятся в активную зону при возникновении аварийной ситуации (для целей аварийной защиты), независимо от используемых в них механизмов указанного ввода, скорости ввода, а также актуаторов, инициирующих ввод. В рамках данной заявки ПС 5 ДАЗ считаются поглощающими стержнями, отличными от ПС, по причине чего на фигурах поглощающие стержни традиционной СУЗ и АЗ, а также поглощающие стержни ДАЗ имеют разные ссылочные обозначения.

ПС оснащены исполнительными механизмами, оснащенными удерживающими электромагнитами 7 для удержания указанных поглощающих стержней в заданном положении. Кроме того, часть ПС или все ПС могут быть снабжены ускоряющими пружинами для ускорения ввода указанных поглощающих стержней в активную зону.

Инициация ввода ПС в активную зону в случае возникновения аварийной ситуации и непрохождения электрических сигналов на срабатывание АЗ по повышению температуры теплоносителя выше заданного значения осуществляется посредством термического разъединителя тока 8 (далее также ТРТ 8). При этом ТРТ 8 размещается в изолированном от теплоносителя чехле, или трубе (на фигурах не показаны) в потоке горячего теплоносителя или на выходе из активной зоны. Актуатором, вызывающим замыкание/размыкание контактов ТРТ 8 при требуемой температуре, могут быть биметаллические пластины или пластины из сплавов, обладающих эффектом памяти формы, известные специалисту. Биметаллические преобразователи, защищающие сеть от перегрузки тока, широко применяются в электротехнике, а сплавы с обратимым эффектом памяти формы - в пожарных сигнализаторах. Среди интерметаллических соединений меди и марганца можно подобрать состав с температурой мартенситного перехода, подхо-

дядшей для рассматриваемых целей. Для исключения окисления электрических контактов, если они не имеют покрытий из благородных металлов, внутренняя полость чехла ТРТ 8 заполняется инертным газом, или могут быть использованы ртутные герконы.

ПС 5 ДАЗ, размещенные в изолированных от теплоносителя чехлах 6, не имеющие приводов на крышке реактора, удерживаются в верхнем положении термическими разъединителями 9 с плавкими замками (далее также ТРМ 9), механически разъединяющими нижние хвостовики 10 ПС 5 ДАЗ от стенки изолирующего чехла при повышении температуры теплоносителя выше заданного значения. ТРМ 9 размещен в чехле 6 на уровне выхода горячего теплоносителя из активной зоны ниже ПС 5 ДАЗ.

Длина чехла 6 выбирается такой, чтобы обеспечить ввод ПС 5 ДАЗ при срабатывании ТРМ 9 до низа активной зоны.

Инициация ввода в активную зону всех ПС, оснащенных электромагнитными замками, удерживающими их в заданном положении, и непрохождения электрических сигналов на срабатывание АЗ в случае возникновения аварийной ситуации осуществляется посредством электрического разъединителя тока 11 (далее также ЭРТ 11). При этом ЭРТ 11 с контактной группой для уменьшения термического и радиационного воздействий размещен в верхней части чехла 6 выше ПС 5 ДАЗ. ЭРТ 11, приводимые в действие механическим перемещением подвижных контактов, широко используются в технике (например, сигнализаторы открытия/закрытия дверей).

Предпочтительно ЭРТ 11 размещается в корпусе 12 ЭРТ внутри чехла 6, и от корпуса 12 ЭРТ отходят кабели 13 ЭРТ для включения ЭРТ 11 в питающую сеть электрического тока.

Плавкий замок ТРМ 9 может включать в себя плавкий штифт 14 и пружину 15 плавкого штифта, при этом плавкий штифт 14 для удержания ПС 5 ДАЗ в верхнем положении упирается в опорное кольцо 16, размещенное в нижнем хвостовике 10 ПС 5 ДАЗ. Температура плавления материала плавкого замка выбирается такой, чтобы исключить ложные срабатывания ДАЗ, в частности, на уровне, превышающем температуру срабатывания традиционной АЗ по превышению температуры теплоносителя. Например, для плавкого штифта 14 может быть использован серебряный припой ПСр 65.690-710. Для подтверждения работоспособности конструкции замка с плавким штифтом 14 и пружиной 15 плавкого штифта был проведен ряд испытаний с указанным материалом плавкого замка по подтверждению способности удерживать макет ПС 5 ДАЗ при сейсмических воздействиях и по определению времени срабатывания при различных скоростях нагрева теплоносителя. По результатам проведенных испытаний был выбран вариант конструкции плавкого замка ТРМ 9, удовлетворяющий заданным требованиям по температуре срабатывания (около 700°С) и имеющий приемлемое время срабатывания.

Для ускорения срабатывания ПС 5 ДАЗ они могут быть оснащены ускоряющими пружинами 17, зафиксированными в режиме ожидания в сжатом положении.

Концы жил кабелей ТРТ 8 и кабелей 13 ЭРТ выведены в соответствующие клеммные коробки. Указанные кабели, выходящие из клеммных коробок, соединены последовательно в замкнутую электрическую цепь без каких-либо коммутационных аппаратов, по которой от источника питания 1 традиционной СУЗ через общий электрический разъединитель 2, который разрывает всю электрическую цепь при поступлении на него электрических сигналов из системы СУЗ на срабатывание АЗ, проходит ток обмоток удерживающих электромагнитов 7 всех ПС независимо от выполняемых ими функций, способных выполнять функцию аварийной защиты в случае возникновения аварийной ситуации.

В свою очередь, при падении любого ПС 5 ДАЗ верхний хвостовик ПС 5 ДАЗ размыкает контакты ЭРТ 11, через которые протекает ток, проходящий последовательно через ТРТ 8, общий электрический разъединитель 2, обмотки удерживающих электромагнитов 7 всех приводов ПС независимо от выполняемых ими функций (автоматическое или ручное регулирование мощности, компенсация различных эффектов реактивности).

Такое устройство защиты ЯР не препятствует срабатыванию традиционной системы АЗ и системы всех остальных ПС по любым электрическим сигналам на срабатывание АЗ, которые поступают из СУЗ в соответствии с заложенным в нее алгоритмом на общий электрический разъединитель 2, включенный последовательно в замкнутую цепь электрического тока, проходящего последовательно через обмотки удерживающих электромагнитов 7 всех ПС. Аварийная защита также будет срабатывать от прямодействующих ТРТ 8 или ЭРТ 11 ДАЗ как "второй уровень" защиты, поскольку при повышении температуры теплоносителя выше заданного значения будет срабатывать либо ТРТ 8, либо плавкий замок ТРМ 9, размещенный под ПС 5 ДАЗ, механически рассоединяющий ПС 5 ДАЗ и чехол 6, и ЭРТ 11, размещенный выше ПС 5 ДАЗ, разрывающие общую электрическую цепь. Поскольку кабели всех ТРТ 8 и кабели 13 ЭРТ всех ПС 5 ДАЗ, выходящие из клеммных коробок, соединены последовательно в единую электрическую цепь без каких-либо коммутационных аппаратов с обмотками удерживающих электромагнитов 7 всех ПС, в том числе ПС традиционной системы СУЗ, традиционная система АЗ, также как и вся совокупность ПС и ПС 5, выполнит функцию АЗ при срабатывании хотя бы одного ТРТ 8 или одного плавкого замка ТРМ 9 в чехле 6 ПС 5 ДАЗ, омываемых теплоносителем с наиболее высокой температурой. Система ДАЗ является последним рубежом защиты, которая срабатывает даже при механическом отказе приводов всех ПС, размещенных на крышке реактора, например, при падении груза на крышку, или по другим причинам, с деформацией штанг ПС, препятствующей свободному падению ПС традиционной СУЗ

в активную зону. После ее срабатывания, что должно происходить исключительно редко, чехлы 6 ДАЗ вместе со ПС 5 ДАЗ должны быть заменены.

Таким образом, настоящее изобретение дает существенные преимущества перед известными системами аварийной защиты, следствием чего обеспечивается повышение безопасности ядерного реактора, в том числе, с исключением возможности разгона на мгновенных нейтронах, при непрохождении по каким-то причинам электрических сигналов на срабатывание АЗ по повышению температуры теплоносителя выше заданного значения, или при несанкционированном извлечении поглощающих стержней в случае множественных отказов в электрической схеме СУЗ или превентивных скрытых злонамеренных действий.

В частности, данные преимущества обеспечиваются следующими особенностями заявленного устройства защиты ядерного реактора:

срабатыванием (введением в активную зону) всех поглощающих стержней традиционной СУЗ, оснащенных пружинами и электромагнитами, удерживающими их в заданном положении, при размыкании цепи электрического тока в обмотках удерживающих электромагнитов традиционной СУЗ хотя бы одним прямодействующим размыкателем тока ТРТ, либо хотя бы одним ЭРТ ПС ДАЗ, оснащенного ТРМ с плавким замком;

размещением ТРТ, плавких замков ТРМ и ЭРТ внутри реактора, что обеспечивает недоступность их для внешних воздействий;

отсутствием приводов ПС ДАЗ на крышке реактора, что исключает несрабатывание стержней ДАЗ под влиянием внешних воздействий.

При этом достигается степень защищенности ядерного реактора, при которой никаким внешним воздействием (например, с пульта управления) или при отказе традиционной СУЗ (при котором исполняется ошибочная/диверсионная команда, например, команда "все стержни вверх, никаких сигналов управления больше не принимать") невозможно физически ввести весь запас реактивности, скомпенсированный поглощающими стержнями, поскольку конечным положением всех ПС СУЗ будет их положение на нижнем концевом выключателе.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство защиты ядерного реактора с высокотемпературным теплоносителем, содержащее питающую сеть электрического тока, поглощающие стержни, выполненные с возможностью введения в активную зону для целей аварийной защиты, с исполнительными механизмами, оснащенными удерживающими электромагнитами для удержания в заданном положении, причем

указанные поглощающие стержни выполнены с возможностью ввода в активную зону ядерного реактора и вывода из активной зоны ядерного реактора в режимах нормальной эксплуатации ядерного реактора, а в случае появления аварийных сигналов и обесточивания обмоток удерживающих электромагнитов - ввода в активную зону,

поглощающие стержни дополнительной аварийной защиты и

общий электрический разъединитель тока питающей сети электрического тока, причем питающая сеть выполнена таким образом, что электрический ток проходит последовательно через обмотки удерживающих электромагнитов всех поглощающих стержней,

отличающееся тем, что

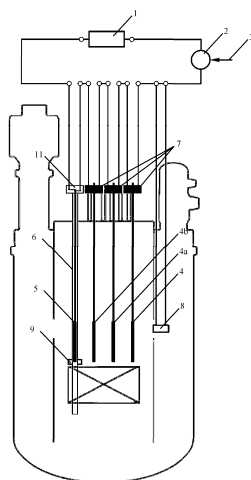
в цепь указанного электрического тока, протекающего через обмотки указанных удерживающих электромагнитов, включены

по меньшей мере один прямодействующий термический разъединитель тока, выполненный с возможностью разрыва цепи тока при повышении температуры теплоносителя выше заданного значения, причем прямодействующий термический разъединитель тока размещен в изолированном от теплоносителя чехле в потоке горячего теплоносителя или на выходе из активной зоны, и

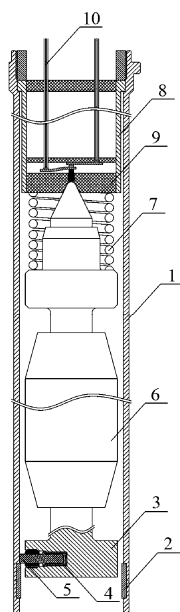
по меньшей мере один электрический разъединитель тока, размещенный в изолированном от теплоносителя чехле поглощающего стержня дополнительной аварийной защиты выше поглощающего стержня дополнительной аварийной защиты, снабженного термочувствительным разъединителем тока с плавким замком.

2. Устройство защиты по п.1, в котором высокотемпературным теплоносителем является жидкоталлический теплоноситель.

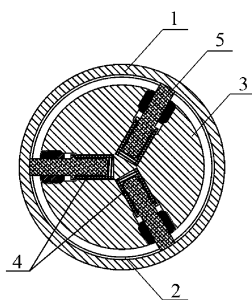
3. Устройство защиты по п.1, в котором плавкий замок содержит плавкий штифт и пружину плавкого штифта.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

