

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(21) **201992833** (13) **A1**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

**(43)** Дата публикации заявки  
**2020.03.25**

**(22)** Дата подачи заявки  
**2017.06.30**

**(51)** Int. Cl. *G21C 15/18* (2006.01)  
*G21C 19/307* (2006.01)  
*B01D 29/15* (2006.01)  
*B01D 29/52* (2006.01)  
*F16L 55/24* (2006.01)

**(54) УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ ПРИЯМКОВ В АВАРИЙНОЙ СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДО-ВОДЯНОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА, ФИЛЬТРУЮЩИЙ МОДУЛЬ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ПРИЯМКОВ И ФИЛЬТРУЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ПРИЯМКОВ**

**(86)** PCT/RU2017/000471

**(87)** WO 2019/004855 2019.01.03

**(71)** Заявитель:  
**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
"НАУКА И ИННОВАЦИИ" (АО  
"НАУКА И ИННОВАЦИИ");  
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
"НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
И ПРОЕКТНО-  
КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ  
"АТОМПРОЕКТ" (АО  
"АТОМПРОЕКТ") (RU)**

**(72)** Изобретатель:

**Безлепкин Владимир Викторович,  
Курчевский Алексей Иванович,  
Кухтевич Владимир Олегович,  
Матюшев Леонид Александрович,  
Митрюхин Андрей Геннадьевич (RU)**

**(74)** Представитель:

**Черных И.В. (RU)**

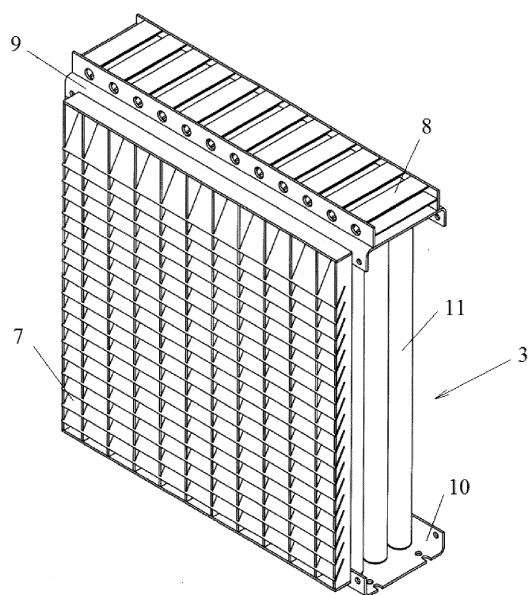
**(57)** Изобретение относится к системам аварийной защиты атомных электростанций, а более конкретно к системе аварийного охлаждения активной зоны реактора при аварии с потерей теплоносителя, а именно к устройствам защиты прямков (УЗП) в аварийной системе охлаждения водо-водяного ядерного реактора, фильтрующему модулю в устройстве защиты прямков и фильтрующему элементу устройства защиты прямков. Задачей изобретения является защита прямка от накопления дебриса при аварии с течью теплоносителя. Для решения этой задачи предложено устройство защиты прямков в аварийной системе охлаждения водо-водяного ядерного реактора, характеризующееся тем, что оно содержит систему фильтров, установленных на приемном отверстии верхней части размещенного в днище защитной оболочки реактора прямка, подсоединенного к заборному отверстию трубопровода аварийной системы охлаждения, представляющую собой подсоединенные к коллекторам фильтрующие модули, препятствующие попаданию дебриса в заборное отверстие трубопроводов аварийной системы охлаждения, при этом каждый фильтрующий модуль имеет боковые и верхнюю щелевые решетки и расположенные внутри фильтрующие элементы, выполненные в виде фильтрующих труб, боковая поверхность которых имеет щели, и размещенных внутри труб перфорированных распределительных трубок, внутренние полости которых соединены с коллекторами.

**A1**

**201992833**

**201992833**

**A1**



## **Устройство защиты прямков в аварийной системе охлаждения водо-водяного ядерного реактора, фильтрующий модуль устройства защиты прямков и фильтрующий элемент устройства защиты прямков.**

Изобретение относится к системам аварийной защиты атомных электростанций, а более конкретно, к системе аварийного охлаждения активной зоны реактора при аварии с потерей теплоносителя, а именно, к устройствам защиты прямков (УЗП) в аварийной системе охлаждения водо-водяного ядерного реактора, фильтрующему модулю в устройстве защиты прямков и фильтрующему элементу устройства защиты прямков.

Основное требование, которое предъявляется к системе аварийной защиты в процессе проектирования, анализа и эксплуатации реактора, заключается в том, что она должна обеспечить безопасность в случае аварии с потерей теплоносителя (максимальная проектная авария). Любое неожиданное прекращение потока теплоносителя через активную зону реактора может привести к серьезным последствиям для атомной электростанции в целом. Прекращение потока может произойти в результате поломки циркуляционного насоса или клапана или в результате разрыва главного трубопровода на входе в корпус реактора или на выходе из корпуса реактора.

Во время аварии происходит утечка теплоносителя. Эта вода может нести твердые инородные частицы от разрушения тепловой изоляции находящихся рядом труб или других структур реактора. Вода вместе с инородными частицами будет течь в наиболее низкорасположенные части здания реактора, в отстойники (прямки). Электростанции оснащены системами обеспечения безопасности, с помощью которых откачивают воду обратно в различные системы охлаждения реактора.

Аварийные прямки под оболочкой реактора предназначены для забора теплоносителя первого контура и химически активных растворов, накопленных в процессе аварии с потерей теплоносителя, после переключения систем безопасности на циркуляцию раствора в пределах защитной оболочки.

Энергия из разрыва вызывает разрушения оборудования в защитной оболочке и насыщение теплоносителя мусором (дебрисом).

Дебрис, образующийся под защитной оболочкой в процессе аварии с потерей теплоносителя, по свойствам подразделяется на несколько категорий:

- латентный дебрис;

- дебрис от разрушения теплоизоляционных конструкций;

- дебрис от разрушения антикоррозионных покрытий;

химический дебрис, образующейся при взаимодействия теплоносителя с оборудованием и сооружениями в защитной оболочке.

Дебрис, накопленный на фильтрующих поверхностях прямков, не должен создавать потери напора, вызывающие снижение кавитационного запаса насосов систем безопасности ниже допустимого, деаэрацию и вскипание теплоносителя. Концентрация дебриса и его фракционный состав не должны влиять на отвод тепла от реакторной установки и работоспособность оборудования рециркуляционного контура системы безопасности в течение аварийного и послеаварийного периода. Конструкция УЗП не должна вызывать воронкообразования в потоке теплоносителя при любых режимах работы.

Поэтому прямки являются устройствами, важными для безопасности, и должны быть снабжены сороудерживающими устройствами для защиты прямков. Такие устройства предназначены для очистки теплоносителя от дебриса в пределах, достаточных для обеспечения его длительной рециркуляции насосами систем безопасности до полного расхолаживания здания реактора и реакторной установки. Они должны обладать высокой конструкционной прочностью и надёжностью при эксплуатации.

Известны плоские тканевые фильтры, установленные в днище отстойника (прямка), над заборным отверстием отводящих трубопроводов в аварийной системе охлаждения реакторов. Фильтры могут быть снабжены армирующими элементами или иметь ребра жесткости. (WO2015169752, 2015), (US2006075697, 2006). Основным недостатком таких устройств является то, что они установлены на днище, в слое скапливающегося после аварии дебриса и их работа малоэффективна из-за частого засорения. Промывка фильтров вышеописанных конструкций требует долгого времени и значительных гидродинамических усилий вследствие неравномерности протекания потока по сечению фильтра.

Известны фильтрующие модули для аварийных систем охлаждения ядерных реакторов, выполненные из фильтрующих элементов, представляющих собой концентрические перфорированные трубки, между которыми размещен фильтрующий материал. (US20110215059, 2011), или из сетчатых полых трубок (US20120037559, 2012)

Таким устройствам присущи вышеотмеченные недостатки, а также то, что вследствие отсутствия распределительных устройств для потока, слой дебриса откладывается на фильтрующей поверхности неравномерно, что ведет к потере

эффективности ее работы. Низкая эффективность работы фильтров может приводить к потере напора потока, что снижает кавитационный запас насосов систем безопасности ниже допустимого, влечет за собой деаэрацию и вскипание теплоносителя. Фильтры, установленные в заборных отверстиях трубопроводов, вынужденно имеют небольшие размеры, а потому малоэффективны. Фильтрующие модули, имеющие устройства для распределения потока (US20080156712, 2008) обеспечивают распределение потока по фильтрующим модулям, но поток по поверхности фильтрующего элемента неравномерен, что может вести к образованию неравномерного слоя дебриса и к воронкообразованию в потоке теплоносителя. Данный источник является наиболее близким к предложенному.

Как уже отмечалось, в результате аварии, связанной с разрывом трубопровода первого контура ядерного реактора, происходит двустороннее истечение теплоносителя в защитную оболочку. Этот процесс сопровождается значительным выбросом массы и энергии в защитную оболочку в виде перегретой паровоздушной смеси.

Это приводит к обезвоживанию реактора, активная зона разогревается за счет тепла остаточных тепловыделений. Одновременно происходит рост давления и температуры под защитной оболочкой. Теплоноситель первого контура из разрыва трубопровода поступает в нижнее помещение защитной оболочки. В результате выброса массы и энергии происходит разрушение оборудования, антикоррозионных покрытий в защитной оболочке и насыщение теплоносителя мусором (дебрисом).

Для защиты реактора от перегрева и расплавления активной зоны предназначена система аварийного охлаждения зоны, включающая в себя пассивную часть, систему аварийного впрыска высокого давления и систему аварийного впрыска низкого давления. Снижение давления и отвод тепла из защитной оболочки осуществляется спринклерной системой. Для функционирования всех систем на первом этапе прохождения аварии используются запасы борного раствора. В этом режиме теплоноситель из бака поступает в реактор и затем из разрыва трубопровода поступает в нижнее помещение защитной оболочки. После опорожнения бака, все системы переключаются на рециркуляцию накопленного теплоносителя

Начиная с этого момента, в контур циркуляции системы аварийного охлаждения активной зоны ядерного реактора (CAOЗ) поступает теплоноситель, содержащий значительное количество дебриса, который может привести к выходу элементов контура циркуляции и прекращения выполнения системами защитных функций.

Задача изобретения – обеспечить очистку теплоносителя и поддерживать его длительную циркуляцию путем защиты приемка от накопления дебриса.

Технический результат состоит в обеспечении равномерного натекания потока на фильтрующую поверхность и исключении неравномерности ее зарастания дебрисом, а также в обеспечении равномерности потока по поверхности самого фильтрующего элемента.

Для решения этой задачи предложено устройство защиты приемков в аварийной системе охлаждения водо-водяного ядерного реактора, характеризующееся тем, что оно содержит систему фильтров, установленных на приемном отверстии верхней части размещенного в днище защитной оболочки реактора приемка, подсоединенного к заборному отверстию трубопровода аварийной системы охлаждения, и представляющую собой подсоединенные к коллекторам фильтрующие модули, препятствующие попаданию дебриса в заборное отверстие трубопроводов аварийной системы охлаждения, при этом каждый фильтрующий модуль имеет боковые и верхнюю щелевые решетки и расположенные внутри фильтрующие элементы, выполненные в виде фильтрующих труб, боковая поверхность которых имеет щели, и размещенных внутри труб перфорированных распределительных трубок, внутренние полости которых соединены с коллекторами.

Предпочтительно, что трубы фильтрующих элементов выполнены с перфорацией в виде спиральных щелей.

Предпочтительно, что трубы фильтрующих элементов выполнены из проволоки с образованием щелей между витками.

Предпочтительно, что профиль проволоки выполнен треугольным.

Предпочтительно, что сечение профиля проволоки не превышает 1,0х2,0 мм.

Предпочтительно, что размер щели не превышает 1 мм.

Предложен также фильтрующий модуль устройства защиты приемков в аварийной системе охлаждения водо-водяного ядерного реактора характеризующийся тем, что имеет боковые и верхнюю щелевые решетки и расположенные внутри фильтрующие элементы, представляющие собой набор фильтрующих труб, боковая поверхность которых имеет щели, и размещенных внутри труб перфорированных распределительных трубок, внутренние полости которых соединены с коллекторами.

Предпочтительно, что трубы фильтрующих элементов выполнены с перфорацией в виде спиральных щелей.

Предпочтительно, что трубы фильтрующих элементов выполнены из проволоки с образованием щелей между витками.

Предпочтительно, что профиль проволоки выполнен треугольным.

Предпочтительно, что сечение профиля проволоки не превышает 1,0x2,0 мм.

Предпочтительно, что размер щели не превышает 1 мм.

Предложен также фильтрующий элемент устройства защиты прямков в аварийной системе охлаждения водо-водяного ядерного реактора характеризующийся тем, что выполнен в виде трубы, боковая поверхность которой имеет щели, и размещенной внутри трубы перфорированной распределительной трубки, диаметр отверстий которой последовательно уменьшается по ходу потока.

Предпочтительно, что диаметр отверстий перфорированной распределительной трубки в ее конце по ходу потока не превышает половины диаметра отверстий в начале трубки.

Такое выполнение устройства позволяет обеспечить очистку теплоносителя от дебриса и поддерживает его длительную циркуляцию насосами систем безопасности до полного расхолаживания оболочки и реакторной установки.

Предложенное устройство показано на чертежах, где на фиг.1 дан общий вид донной части защитной оболочки реактора с отверстиями прямков и фильтрующими модулями, установленными над ними; на фиг.2 показано размещение фильтрующих модулей над приемным отверстием прямка; на фиг.3 – вид на отверстие прямка сверху; на фиг.4 – общий вид фильтрующего модуля; на фиг. 5 – изображен фильтрующий элемент, на фиг. 6 – схема движения потока через фильтрующий модуль.

Как показано на чертежах, в днище защитной оболочки 1 ядерного реактора расположены прямки 2, в верхней части которых установлены фильтрующие модули 3, подсоединенные с помощью коллекторов 4, через приемное отверстие 5 прямка 2 с заборным отверстием 6 трубопровода аварийной системы охлаждения реактора. Фильтрующий модуль 3 включает боковую щелевую решетку 7, верхнюю щелевую решетку 8, соединенные между собой с помощью верхней и нижней панелей 9 и 10 соответственно, между которыми укреплены фильтрующие элементы 11. Фильтрующие элементы 11 выполнены в виде фильтрующих труб 12 и размещенных внутри них распределительных трубок 13 с уменьшающимися по ходу движения потока отверстиями 14 и 15.

Устройство работает следующим образом:

Днище защитной оболочки реактора 1 имеет значительные размеры, что обеспечивает минимальные скорости перемещения теплоносителя и возможность оседания дебриса по пути следования к прямым 2. Скорость трогания для дебриса, достигшего пола имеет большую величину, чем скорость осаждения дебриса в потоке. Фильтрующие модули 3 находятся на некоторой высоте от уровня днища. Это обеспечивает дополнительную задержку дебриса, достигшего пола. Прежде чем попасть в прямки 2 и затем в заборное отверстие 6 трубопровода аварийной системы охлаждения реактора поток теплоносителя вместе с дебрисом проходит через установленные в верхней части прямков 2 фильтрующие модули 3, подсоединенные с помощью коллекторов 4 с приемным отверстием 5 прямки 2. Затем через боковую щелевую решетку 7, верхнюю щелевую решетку 8 поток теплоносителя попадает внутрь фильтрующего модуля 3. Внешняя поверхность щелевых решеток 7 и 8 имеет отверстия размером в свету 17x170 мм, что обеспечивает задержку частиц размером более 17 мм. Внутренняя часть щелевых решеток 7 и 8 образует наклонные каналы прямоугольной формы и обеспечивает осаждение частиц с гидравлической крупностью более 0,017 м/с с характерным размером более 200 мкм для частиц и волокон с классом 4 и выше. Фильтрующие элементы 11 выполнены в виде фильтрующих труб с отверстиями 12. Отверстия в фильтрующих элементах 11 выполнены в виде прямоугольной щели спиральной формы, длина которой много больше ширины. Ширина щели имеет размер 1 мм, исходя из минимального допустимого размера частиц в системе циркуляции. Применение щелевой формы отверстия вместо квадратного, как в сетке или перфорированной пластине, снижает вероятность перекрытия его частицами размерами меньшими, чем размер щели при их одновременном подходе к щели. Затем поток через фильтрующие трубы с отверстиями 12 попадает в размещенные внутри них распределительные трубки 13 с уменьшающимися по ходу движения потока отверстиями 14 и 15. Площадь поверхности фильтрующих элементов 11 намного превышает площадь заборного отверстия 6, что приводит к существенной неравномерности скорости течения теплоносителя через фильтрующую поверхность. Для устранения этого эффекта внутри фильтрующих элементов 11 установлены распределительные трубки 13, соединяющие внутреннюю полость фильтрующего элемента 11 с заборным отверстием 6. Распределительные трубки 13 имеет ряд отверстий 14 и 15 различного диаметра распределенных по длине, что обеспечивает равномерное распределение потока по

фильтрующей поверхности. Освобожденный от дебриса поток теплоносителя выводится через заборное отверстие 6 в трубопровод аварийной системы охлаждения реактора.

## Формула изобретения

1. Устройство защиты прямков в аварийной системе охлаждения водо-водяного ядерного реактора, характеризующееся тем, что оно содержит систему фильтров, установленных на приемном отверстии верхней части размещенного в днище защитной оболочки реактора прямка, подсоединенного к заборному отверстию трубопровода аварийной системы охлаждения, и представляющую собой подсоединенные к коллекторам фильтрующие модули, препятствующие попаданию дебриса в заборное отверстие трубопроводов аварийной системы охлаждения, при этом каждый фильтрующий модуль имеет боковые и верхнюю щелевые решетки и расположенные внутри фильтрующие элементы, выполненные в виде фильтрующих труб, боковая поверхность которых имеет щели, и размещенных внутри труб перфорированных распределительных трубок, внутренние полости которых соединены с коллекторами.

2. Устройство защиты прямков по п 1, отличающееся тем, что трубы фильтрующих элементов выполнены с перфорацией в виде спиральных щелей.

3. Устройство защиты прямков по п 1, отличающееся тем, что трубы фильтрующих элементов выполнены из проволоки с образованием щелей между витками.

4. Устройство защиты прямков по п 3, отличающееся тем, что профиль проволоки выполнен треугольным.

5. Устройство защиты прямков по п 4, отличающееся тем, что сечение профиля проволоки не превышает 1,0х2,0 мм.

6. Устройство защиты прямков по п 1, отличающееся тем, что размер щелей не превышает 1 мм.

7. Фильтрующий модуль устройства защиты прямков в аварийной системе охлаждения водо-водяного ядерного реактора по п.1, характеризующийся тем, что имеет боковые и верхнюю щелевые решетки и расположенные внутри фильтрующие элементы, представляющие собой набор фильтрующих труб, боковая поверхность которых имеет щели, и размещенные внутри труб перфорированные распределительные трубки, внутренние полости которых соединены с коллекторами.

8. Фильтрующий модуль по п 7, отличающийся тем, что трубы фильтрующих элементов выполнены с перфорацией в виде спиральных щелей.

9. Фильтрующий модуль по п 7, отличающийся тем, что трубы фильтрующих элементов выполнены из проволоки с образованием щелей между витками.

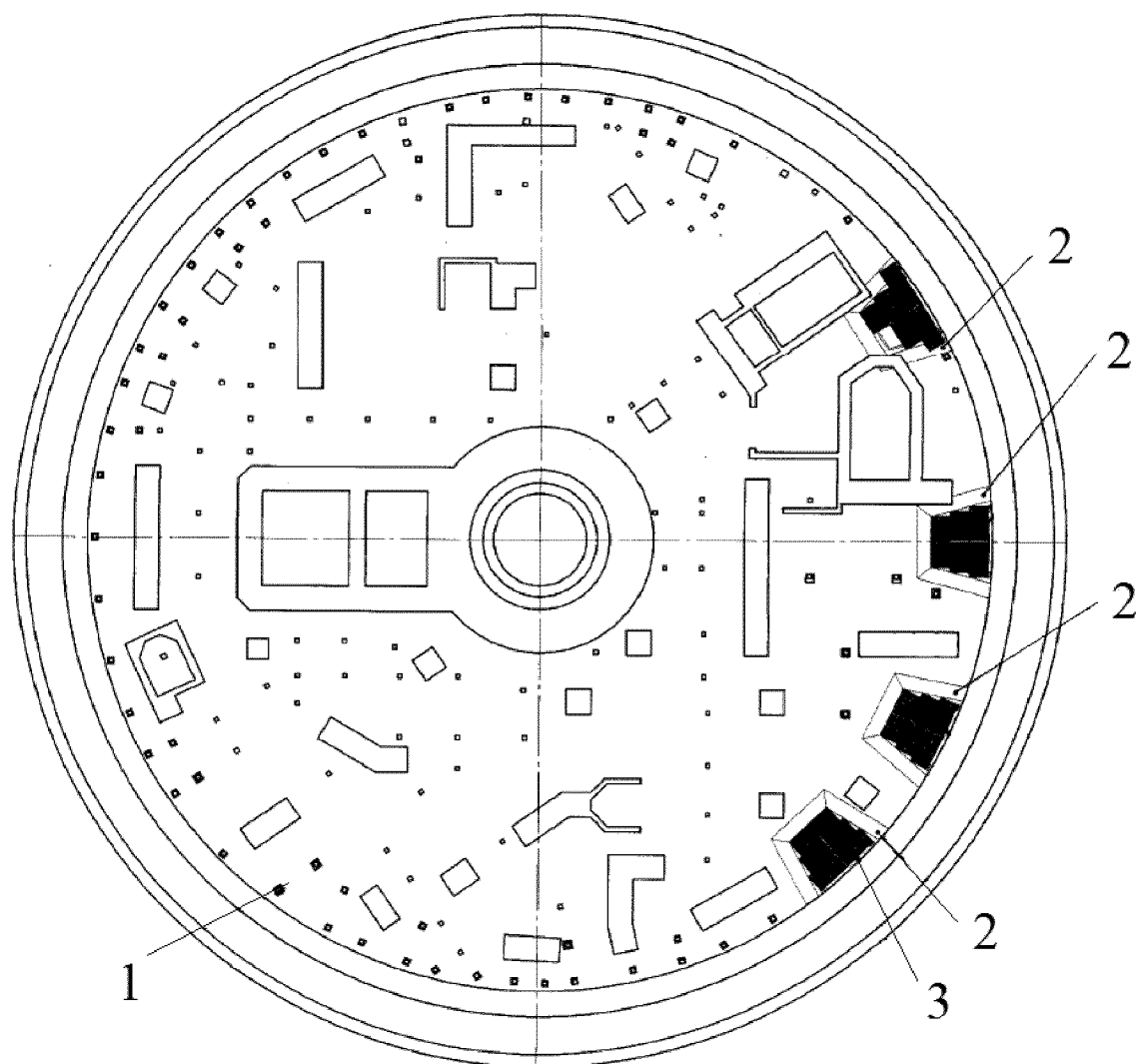
10. Фильтрующий модуль по п 9, отличающийся тем, что профиль проволоки выполнен треугольным.

11. Фильтрующий модуль по п 10, отличающийся тем, что сечение профиля проволоки не превышает 1,0х2,0 мм.

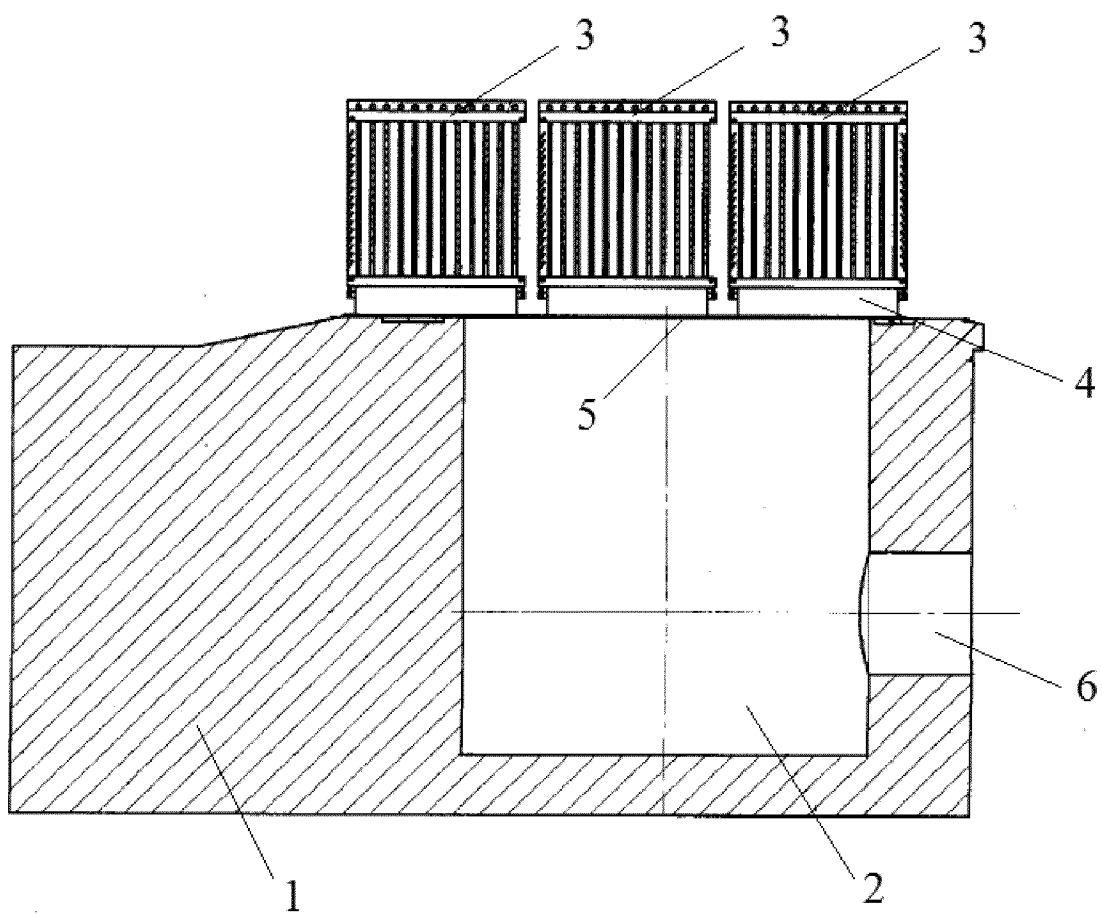
12. Фильтрующий модуль по п 7, отличающийся тем, что размер щелей не превышает 1 мм.

13. Фильтрующий элемент устройства защиты прямков в аварийной системе охлаждения водо-водяного ядерного реактора по п.1, характеризующийся тем, что выполнен в виде трубы, боковая поверхность которой имеет щели, и размещенной внутри трубы перфорированной распределительной трубки, диаметр отверстий которой последовательно уменьшается по ходу потока.

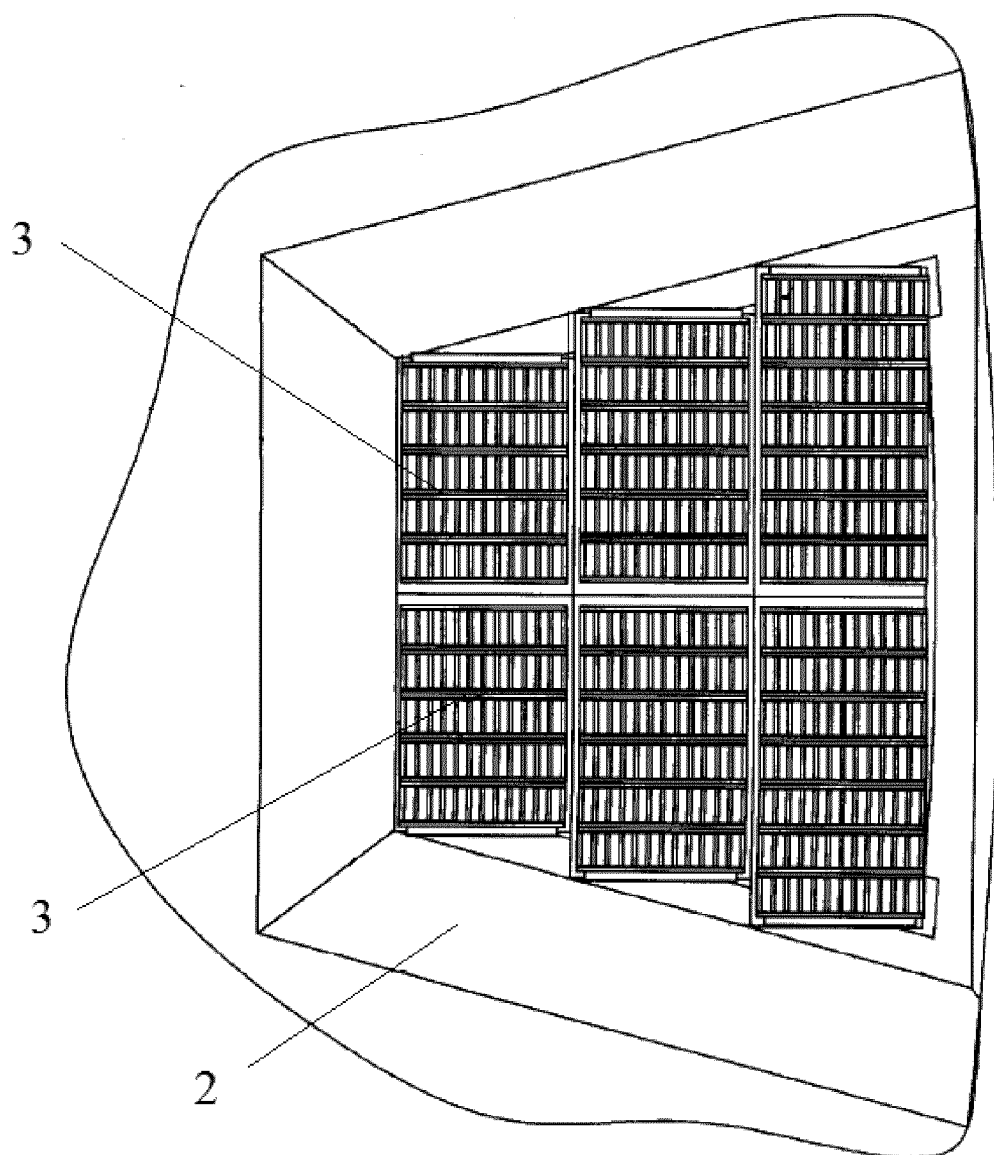
14. Фильтрующий элемент по п 13, отличающийся тем, что диаметр отверстий перфорированной распределительной трубки в ее конце по ходу потока не превышает половины диаметра отверстий в начале трубки.



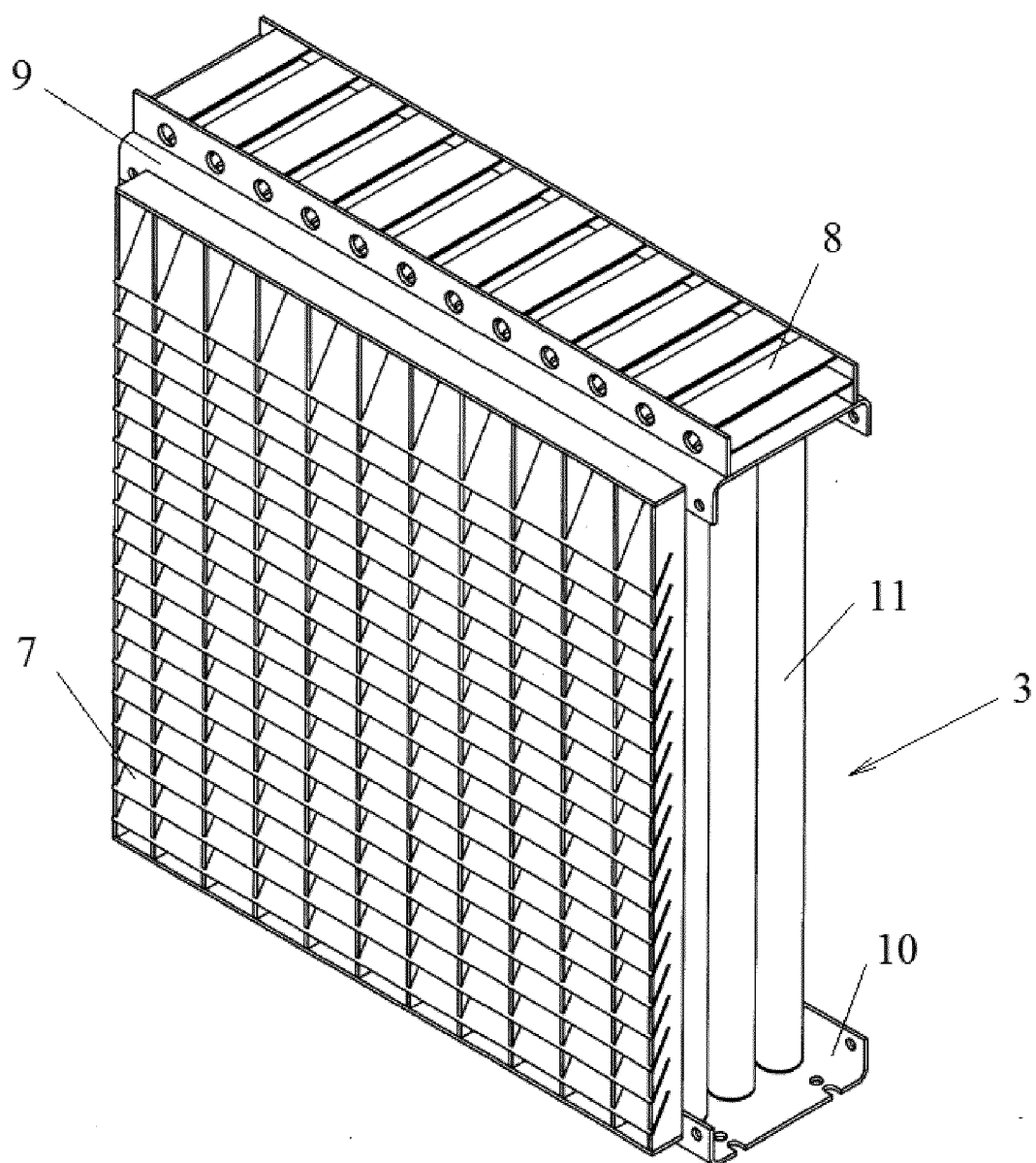
Фиг. 1



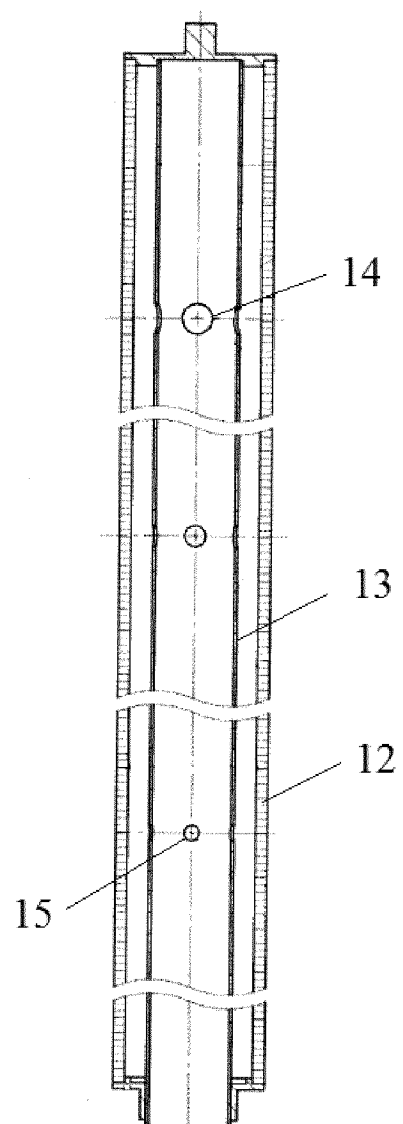
Фиг. 2



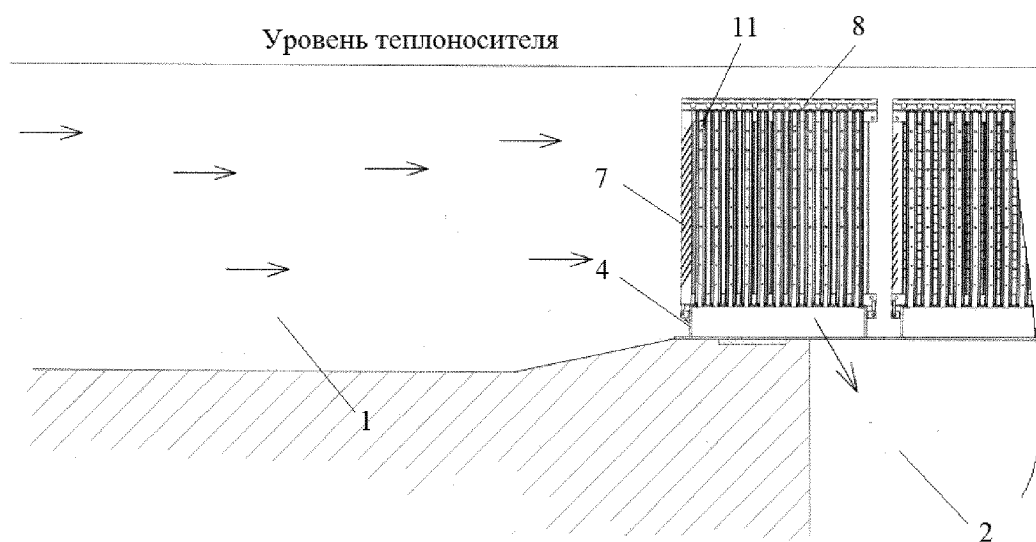
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6