

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **038468**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.09.01

(51) Int. Cl. **G21C 9/06** (2006.01)

(21) Номер заявки
201600209

(22) Дата подачи заявки
2014.11.21

**(54) СИСТЕМА ОЧИСТКИ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ ОТ ВОДОРОДА И СПОСОБ ЕЕ
ЭКСПЛУАТАЦИИ**

(31) 2013152258; 2013154534

(56) US-A1-20090225927

(32) 2013.11.26; 2013.12.10

US-B2-7612007

(33) RU

US-B1-6524534

(43) 2016.06.30

SU-A1-993998

(86) PCT/RU2014/000883

RU-C1-2339097

(87) WO 2015/080627 2015.06.04

RU-C2-2260212

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

(72) Изобретатель:
**Мартынов Петр Никифорович,
Асхадуллин Радомир Шамильевич,
Иванов Константин Дмитриевич,
Ниязов Саид-Али Сабирович (RU)**

(57) Раскрыт дожигатель водорода, входящего в состав газовой среды, состоящий из корпуса, имеющего отверстия для подвода и отвода газовой среды, и наполнителя в форме оксида висмута и/или оксида свинца, размещенного в корпусе. Также раскрыта система очистки газовой среды от водорода, имеющая такой дожигатель водорода, и способ повторяющейся эксплуатации подобной системы. Дожигатель и система могут применяться в ядерной реакторной установке.

B1

038468

038468

B1

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к системам и устройствам очистки газовой среды от водорода, в частности к дожигателю водорода.

Уровень техники

Одной из проблем задач обеспечения безопасной работы ядерного реактора является выведение из газовых контуров ядерного реактора газообразного водорода, поскольку накопление газообразного водорода может привести к образованию в контуре опасной концентрации газообразного водорода, а это может вызвать нежелательное взаимодействие водорода с конструкционными материалами, что приводит к деградации свойств этих материалов (прежде всего защитной оксидной пленки на внешней поверхности элементов контура). Кроме того накопление водорода в газовых контурах создает предпосылки к образованию взрывоопасных концентраций газообразного водорода.

Для выведения газообразного водорода из газового контура можно использовать различные средства.

Из патента RU2430876 известно устройство для выделения водорода из водородсодержащей газовой смеси. В основу работы устройств данной схемы положена диффузия водорода через проницаемую мембрану. В результате в замембранной полости собирается чистый водород, а остальная рабочая среда с уменьшенным содержанием водорода передается в выходной патрубок. Данная схема имеет низкую эффективность, когда требуется вывести газообразный водород из газовой смеси с низким содержанием водорода, так как требуется длительное время для диффузии водорода через мембрану и большие площади проницаемой мембраны.

Известно устройство для выведения газообразного водорода из водородсодержащей газовой смеси, описанное в патенте US6356613. В известном устройстве газовая смесь, содержащая газообразный водород пропускается через каталитический пакет, в котором происходит низкотемпературное окисление газообразного водорода до воды, обработанная газовая смесь выводится за пределы устройства. Окисление водорода до воды (водяного пара) дает возможность быстро и эффективно удалять водород из газовых контуров, так как окислившийся водород (вода, водяной пар) может быть легко удален из газового контура, используя хорошо отработанную технологию осушения газовых сред. Однако использование данного устройства возможно только в газовой среде, содержащей кислород. При обработке бескислородной газовой среды данное устройство не способно очистить водородсодержащую бескислородную газовую среду от газообразного водорода.

В газовых контурах реактора с жидкометаллическим теплоносителем используются бескислородные газовые среды и имеется необходимость в разработке эффективных средств для выведения водорода и подобных газов из бескислородной газовой среды газовых контуров.

Для поддержания требуемого примесного состава защитного газа (газовой среды), обычно представляющего собой инертный газ, при эксплуатации ядерных реакторных установок также требуется удаление из защитного газа водорода. Очистку защитного газа от водорода возможно осуществлять с помощью дожигателя водорода.

Из патента RU2253915 известен дожигатель водорода, имеющий в своем составе оксид меди и выполненный с возможностью пропускания через него потока инертного газа (газовой среды), содержащего водород. Водород на оксиде меди окисляется до воды, которая увлекается потоком инертного газа.

При очистке газовой среды (защитного газа) от водорода с помощью такого дожигателя возможно загрязнение защитного газа примесями меди или оксида меди. Такие примеси могут оказывать негативное воздействие на конструктивные элементы реакторной установки, а также на теплоноситель, например, загрязнять его.

Ввиду того, что вода, образовавшаяся в результате окисления водорода на оксиде меди, не удаляется из потока газовой среды, результирующая защитная газовая среда насыщается водяными парами, концентрация которых может превысить допустимое значение.

Кроме того, поскольку дожигание водорода происходит во время реакции восстановления оксида меди до меди, то после того, как весь или эффективно используемый оксид меди будет в процессе эксплуатации дожигателя водорода восстановлен до меди, потребуется извлечение из дожигателя меди и размещение в нем новой порции оксида меди.

Также необходимо отметить относительно низкую эффективность дожигателя водорода на основе оксида меди.

Раскрытие изобретения

Задачей настоящего изобретения является получение дожигателя водорода, который не будет загрязнять газовую среду (например, защитный газ) примесями, вредными для конструктивных элементов реакторной установки и/или теплоносителя, в частности, свинцово-висмутового теплоносителя. Дополнительной задачей настоящего изобретения является повышение эффективности дожигателя водорода. Другой дополнительной задачей настоящего изобретения является удаление из газовой среды, прошедшей через дожигатель водорода в соответствии с настоящим изобретением, паров воды, образовавшихся в результате дожигания водорода.

Коме того, задачей настоящего изобретения является получение системы очистки газовой среды от

водорода путем дожигания, которая не будет загрязнять газовую среду (например, защитный газ) примесями, вредными для конструктивных элементов реакторной установки и/или теплоносителя, в частности свинцово-висмутового теплоносителя. Настоящее изобретение также имеет задачу, заключающуюся в обеспечении продолжительной эксплуатации системы без необходимости замены/пополнения вещества, используемого для дожигания водорода.

Задача настоящего изобретения решается с помощью дожигателя водорода, входящего в состав газовой среды, состоящий из корпуса, имеющего отверстия для подвода и отвода газовой среды, и наполнителя, содержащего оксид висмута и/или оксид свинца, размещенного в корпусе. В одном из вариантов оксид висмута представляет собой Bi_2O_3 , а наполнитель предпочтительно имеет гранулированную форму.

В корпусе дожигателя может быть размещена, по меньшей мере, одна реакционная емкость, в которой размещается наполнитель. В преимущественном варианте выполнения в корпусе также установлена распределительная труба, проходящая от отверстия для подвода газовой среды через по меньшей мере одну реакционную емкость, причем распределительная труба предпочтительно имеет отверстия в боковых стенках в местах прохождения через реакционные емкости. Кроме того, по меньшей мере одна реакционная емкость преимущественно имеет отверстия для подвода и отвода газовой среды.

Корпус дожигателя может быть снабжен нагревателем. В предпочтительном варианте осуществления корпус имеет дно, крышки и боковую стенку, причем отверстие для подвода газовой среды выполнено в крышке, причем отверстие для отвода газовой среды выполнено в дне, а нагреватель установлен на боковой стенке корпуса.

Задача настоящего изобретения также решается с помощью системы очистки газовой среды от водорода, имеющей в своем составе любой из вышеописанных вариантов дожигателя водорода, подводящий трубопровод, соединенный с корпусом дожигателя водорода с обеспечением возможности подачи газовой среды в отверстие для подвода газовой среды, отводящий трубопровод, соединенный с корпусом дожигателя водорода с обеспечением возможности отвода газовой среды из отверстия для отвода газовой среды, запорную арматуру, установленную на подводящем трубопроводе с обеспечением возможности управления подачей газовой среды, содержащей водород, и запорную арматуру, установленную на подводящем трубопроводе с обеспечением возможности управления подачей газовой среды, содержащей кислород.

Подводящий трубопровод может быть снабжен нагревателем. Газовая среда, пропускаемая через дожигатель, преимущественно включает в свой состав инертный газ.

В преимущественном варианте выполнения система имеет в своем составе также холодильник и конденсатор, причем корпус дожигателя водорода и холодильник соединены отводящим трубопроводом с обеспечением возможности отвода газовой среды из отверстия для отвода газовой среды в холодильник и конденсатор.

Система может содержать запорную арматуру, установленную на отводящем трубопроводе с обеспечением возможности управления отводом газовой среды.

На решение задач настоящего изобретения направлена также реакторная установка, имеющая в своем составе любой из вышеописанных вариантов дожигателя водорода или систему очистки газовой среды от водорода по любому из вышеописанных вариантов. В преимущественном варианте осуществления реакторная установка является ядерной, а в качестве теплоносителя в ней предпочтительно используется свинцово-висмутовый теплоноситель.

На решение задач настоящего изобретения направлен способ повторяющейся эксплуатации системы очистки газовой среды от водорода, имеющей дожигатель водорода, состоящий из корпуса, имеющего отверстия для подвода и отвода газовой среды, и кислородосодержащего наполнителя, размещенного в корпусе, подводящий трубопровод, соединенный с корпусом дожигателя водорода с обеспечением возможности подачи газовой среды в отверстие для подвода газовой среды, отводящий трубопровод, соединенный с корпусом дожигателя водорода с обеспечением возможности отвода газовой среды из отверстия для отвода газовой среды, запорную арматуру, установленную на подводящем трубопроводе с обеспечением возможности управления подачей газовой среды, содержащей водород, и запорную арматуру, установленную на подводящем трубопроводе с обеспечением возможности управления подачей газовой среды, содержащей кислород.

Способ содержит следующие шаги: подают в дожигатель водорода газовую среду, содержащую водород; прекращают подачу в дожигатель водорода газовой среды, содержащей водород; подают в дожигатель водорода газовую среду, содержащую кислород; прекращают подачу в дожигатель водорода газовой среды, содержащей кислород. При подаче в дожигатель водорода газовой среды, содержащей водород, могут осуществлять отвод из дожигателя водорода газовой среды. При подаче в дожигатель водорода газовой среды, содержащей кислород, поданную газовую среду, содержащую кислород, могут удерживать в дожигателе водорода, а после окончания операции окисления висмута и/или оксида висмута могут отводить газовую среду, содержащую или содержащую кислород.

В преимущественном варианте осуществления кислородосодержащий наполнитель содержит оксид металла. Оксид металла может представлять собой оксид висмута BiO и/или Bi_2O_3 и/или оксид свинца.

Кислородосодержащий наполнитель преимущественно имеет гранулированную форму.

В корпусе дожигателя предпочтительно размещена по меньшей мере одна реакционная емкость, в которой находится кислородосодержащий наполнитель. Кроме того, в корпусе дожигателя может быть установлена распределительная труба, проходящая от отверстия для подвода газовой среды через по меньшей мере одну реакционную емкость, причем распределительная труба может иметь отверстия в боковых стенках в местах прохождения через реакционные емкости. По меньшей мере одна реакционная емкость также может иметь отверстия для подвода и отвода газовой среды.

Корпус может быть снабжен нагревателем. В предпочтительном варианте корпус имеет дно, крышки и боковую стенку, причем отверстие для подвода газовой среды выполнено в крышке, причем отверстие для отвода газовой среды выполнено в дне, а нагреватель установлен на боковой стенке корпуса. Подводящий трубопровод может быть снабжен нагревателем. В предпочтительном варианте газовая среда включает в свой состав инертный газ.

Система дополнительно может иметь холодильник и конденсатор, причем корпус дожигателя водорода может быть соединен с холодильником с помощью отводящего трубопровода с обеспечением возможности отвода газовой среды из отверстия для отвода газовой среды в холодильник и конденсатор.

В преимущественном варианте система содержит запорную арматуру, установленную на отводящем трубопроводе с обеспечением возможности управления отводом газовой среды.

Благодаря настоящему изобретению удалось получить дожигатель водорода и систему очистки газовой среды, которые обеспечивают такой технический результат, как отсутствие загрязнения газовой среды примесями, вредными для конструктивных элементов реакторной установки и/или теплоносителя, в частности свинцово-висмутового теплоносителя. Это позволяет повысить надежность конструкции реактора, в котором используется такой дожигатель водорода и/или система очистки газа, и безопасность эксплуатации такого реактора.

Кроме того, благодаря настоящему изобретению удалось достигнуть такой технический результат, как повышение эффективности дожигателя водорода, что дает возможность снизить массо-габаритные характеристики дожигателя водорода и устройств, использующих его в своем составе, а также снизить стоимостные параметры.

Настоящее изобретение также обеспечивает технический результат, заключающийся в увеличении продолжительности эксплуатации системы очистки газовой среды без необходимости замены/пополнения вещества, используемого для дожигания водорода, что снижает расход вещества, используемого для дожигания водорода, и устраняет необходимость выполнения операций по замене/пополнению, что в целом приводит к снижению эксплуатационных затрат как в смысле трудовых затрат, так и в смысле финансовых расходов.

Настоящее изобретение обеспечило получение и такого технического результата, как удаление из газовой среды, прошедшей через дожигатель водорода в соответствии с настоящим изобретением, паров воды, образовавшихся в результате дожигания водорода. Это повышает надежность работы устройств, в которых применяется газовая среда, а также увеличивает срок службы самой газовой среды, что снижает как трудовые затраты на ее замену, так и улучшает финансовые показатели ввиду снижения денежных затрат на заменяемую газовую среду.

Краткое описание чертежей

На фигуре представлен дожигатель водорода в соответствии с настоящим изобретением с трубопроводами для подвода и отвода газовой среды и арматурой для управления подводом и отводом газовой среды.

Осуществление изобретения

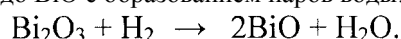
Настоящее изобретение раскрывает дожигатель водорода, входящего в состав газовой среды, выполненной предпочтительно с использованием инертного газа, например, гелия, неона, аргона, криптона, ксенона и/или радона. Использование инертного газа в качестве основного компонента газовой среды позволяет повысить эффективность использования дожигателя и снизить расход наполнителя, так как дожигатель будет дожигать только примеси (в частности, водород), а взаимодействие с инертным газом будет отсутствовать в силу инертных химических свойств таких газов. Использование инертного газа также снижает воздействие на конструктивные элементы дожигателя, такие как корпус и т.п., что повышает срок его службы и снижает расходы на обслуживание.

Дожигатель состоит из корпуса, имеющего отверстия для подвода и отвода газовой среды, и наполнителя, содержащего оксид висмута и/или оксид свинца, размещенного в корпусе. В том случае, если в корпусе размещен висмут и/или свинец не в форме оксида, а например, в виде металла, то такое выполнение также может считаться одной из форм реализации настоящего изобретения, так как из металлического висмута может быть легко получен оксид висмута, а из свинца оксид свинца при пропускании через дожигатель кислорода или газовой среды, содержащей кислород. Благодаря применению металла наполнитель может оставаться в концентрированной форме, а не испаряться в газовую среду. В качестве металла, входящего в состав оксида металла, могут использоваться различные металлы, обеспечивающие протекание реакций восстановления-окисления в заданных условиях, например медь. Однако в случае применения дожигателя водорода в составе ядерной реакторной установки со свинцово-висмутовым на-

полнителем, предпочтительно использование в качестве металла висмута или свинца (то есть оксидов Bi_2O_3 , BiO или PbO).

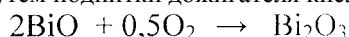
В корпусе дожигателя размещен наполнитель, который в соответствии с изобретением представляет собой оксид висмута и/или оксид свинца. Благодаря тому, что висмут и свинец являются более тяжелыми металлами, чем медь, удается снизить загрязнение газовой среды, проходящей через оксид висмута и/или оксид свинца, так как более тяжелые атомы и их соединения меньше подвержены уносу газовой средой. Кроме того, в случае применения дожигателя в системе очистки газовой среды от водорода, применяемой, например, в ядерном реакторе со свинцово-висмутовым теплоносителем, наличие висмута или свинца в газовой среде, используемой, например, в качестве защитного газа, не будет восприниматься в качестве загрязнения для теплоносителя. Кроме того, сам теплоноситель через газовую среду также не будет загрязнять наполнитель дожигателя. Все это позволяет повысить срок службы как теплоносителя, так и наполнителя дожигателя.

Принцип действия дожигателя преимущественно основан на химической реакции частичного восстановления оксида висмута Bi_2O_3 до BiO с образованием паров воды:



Применение оксида висмута вместо оксида меди само по себе повышает эффективность дожигания, однако применение реакции частичного восстановления оксида висмута позволяет дополнительно повысить эффективность дожигания. Соответственно, в дожигателе предпочтительно наличие оксида висмута Bi_2O_3 , а не оксида висмута BiO , так как наличие первого позволяет осуществлять химическую реакцию частичного восстановления, а при наличии второго будет происходить реакция полного восстановления с получением висмута в металлической форме.

Для того чтобы дожигатель водорода можно было использовать без замены прореагировавшего наполнителя, он может быть окислен путем подпитки дожигателя кислородом по реакции



Это позволяет обеспечить практическую обратимость процесса и, следовательно, высокий ресурс работы дожигателя без замены оксидного наполнителя. Если был получен чистый висмут Bi , то при реакции с кислородом будет получен сначала оксид BiO , а затем оксид Bi_2O_3 .

В соответствии с настоящим изобретением эксплуатация системы очистки газовой среды от водорода преимущественно осуществляется в повторяющейся форме, при которой циклически повторяют следующие операции:

подают в дожигатель водорода газовую среду, содержащую водород (при этом предпочтительно отводят из дожигателя водорода газовую среду, прореагировавшую с наполнителем и содержащую пары воды - это позволяет осуществлять подачу газовой среды в продолжительном или непрерывном режиме, что позволяет повысить эффективность и скорость дожигания по сравнению с режимом попеременных подачи-отвода газовой среды с водородом);

прекращают подачу в дожигатель водорода газовой среды, содержащей водород, это может происходить, например, когда будет определено снижение эффективности дожигания водорода или по расписанию выполнения работ по приведению дожигателя в рабочее состояние;

для приведения наполнителя в рабочее состояние, то есть для окисления наполнителя, в дожигатель водорода подают газовую среду, содержащую кислород;

прекращают подачу в дожигатель водорода газовой среды, содержащей кислород.

В предпочтительном варианте подаваемую газовую среду с кислородом удерживают в дожигателе, то есть не отводят - это позволяет снизить расход газовой среды с кислородом, повысить эффективность ее применения и уменьшить или предотвратить воздействие кислорода на оборудование, находящееся далее за запорной арматурой (вентилем) 9, например, на холодильник и/или конденсатор. После окончания операции окисления наполнителя, который может представлять собой висмут и/или оксида висмута, газовую среду, содержащую или содержавшую кислород, преимущественно отводят - это позволяет снизить риск прямого взаимодействия остатков кислорода в газовой среде с водородом, имеющимся во вновь подаваемой газовой среде, которое может быть взрывоопасным.

Описанные операции цикла могут повторяться значительное число раз, что позволяет многократно использовать один и тот же наполнитель, что повышает срок службы дожигателя ввиду отсутствия операций сборки-разборки и снижает трудовые и финансовые затраты на замену наполнителя.

Применение подобного цикла также упрощает задачу обеспечения протекания в дожигателе более эффективной реакции частичного восстановления, описанной выше, так как при достижении концентрации оксида висмута BiO в наполнителе определенной величины может быть осуществлена операция его окисления до первоначальной формы оксида Bi_2O_3 , предотвращая осуществление операции полного восстановления оксида BiO до висмута в виде металла Bi .

На удержание реакции восстановления в частичной форме, обеспечивающей более высокую эффективность, направлено выполнение наполнителя в гранулированной форме, например, в виде шариков. Это позволяет предотвратить спекание наполнителя и, тем самым, повышает срок эксплуатации наполнителя. Выполнение наполнителя в виде гранул обеспечивает технологичность изготовления наполните-

ля и удобство обращения с наполнителем на этапах размещения и извлечения наполнителя из корпуса дожигателя, что снижает затраты труда и стоимость дожигателя в целом, повышает удобство осуществления работ по обслуживанию дожигателя. Кроме того, выполнение наполнителя в виде гранул обеспечивает большую площадь взаимодействия оксида висмута и водорода (кислорода), а значит и более высокую эффективность процесса, поскольку гранулированный наполнитель будет иметь зазоры между гранулами, между которыми может протекать газовая среда - при выполнении гранул в шарообразной форме эти зазоры будут иметь гарантированный и наибольший размер.

На фигуре представлен предпочтительный вариант выполнения системы очистки газовой среды от водорода в соответствии с настоящим изобретением, имеющей в своем составе дожигатель водорода с трубопроводами для подвода и отвода газовой среды и арматурой для управления подводом и отводом газовой среды.

Корпус дожигателя водорода, показанного на фигуре, состоит из боковой стенки 1, дна 2 и крышки 3. В показанном на фигуре варианте осуществления дожигателя корпус выполнен в виде специально предназначенного для выполнения своих функций изделия, однако, корпус дожигателя может быть представлен элементами корпусов других устройств, например, при размещении наполнителя в межкорпусном пространстве устройств, входящих в состав системы очистки газовой среды от водорода или реакторной установки.

Корпус дожигателя может быть выполнен из металлических, композитных или полимерных материалов, обеспечивающих достаточную механическую прочность, температурную устойчивость, химическую нейтральность к газовой среде и наполнителю (оксиду висмута) и отсутствие или незначительность выделений, которые могут загрязнять газовую среду. В предпочтительном варианте корпус выполнен с использованием стали. Корпус преимущественно выполнен герметичным для того, чтобы газовая среда, поступающая через отверстие для подвода, выходила только из отверстия для отвода газовой среды. В этом случае обеспечивается более полное взаимодействие газовой среды с наполнителем и более эффективное дожигание водорода, а также отсутствие утечек во внешнюю среду, благодаря чему повышается безопасность использования дожигателя и снижается загрязнение окружающей среды.

В крышке 3 выполнено отверстие для подвода газовой среды, через это отверстие внутрь дожигателя подается газовая среда из подводящего трубопровода 7, соединенного с корпусом дожигателя водорода с обеспечением возможности подачи газовой среды в отверстие для подвода газовой среды для реализации процесса дожигания. В дне 2 выполнено отверстие для отвода газовой среды, через это отверстие из дожигателя отводится газовая среда через отводящий трубопровод 8, соединенный с корпусом дожигателя водорода с обеспечением возможности отвода газовой среды из отверстия для отвода газовой среды для реализации процесса дожигания в проходном потоке газовой среды.

Показанные на фигуре отверстия выполнены в крышке и дне корпуса и имеют относительно малое поперечное сечение, однако в других вариантах размеры отверстий могут быть значительно больше вплоть до того, что в дожигателе отсутствуют крышка и дно и газовая среда подводится и отводится через полное поперечное сечение корпуса. Такой вариант выполнения корпуса также входит в объем защиты настоящего изобретения. В некоторых вариантах отводящее отверстие может отсутствовать, однако, при этом снижается эффективность работы дожигателя, поскольку при наличии отводящего отверстия удастся обеспечить более эффективную работу дожигателя в проходном потоке газовой среды. В других вариантах отводящее отверстие может быть расположено рядом с подводящим отверстием или разные части одного отверстия могут применяться для подвода и отвода газовой среды - такой вариант выполнения отверстий также входит в объем защиты настоящего изобретения.

Подводящий и отводящий трубопровод могут быть присоединены к корпусу сваркой или любым другим известным из уровня техники способом, обеспечивающим достаточную механическую, тепловую и химическую прочность, а также не загрязняющим газовую среду или наполнитель. Достаточно герметичное присоединение трубопроводов к корпусу позволяет подавать газовую среду в дожигатель без потерь. Часть трубопроводов или трубопроводы полностью могут быть выполнены в виде единого целого с корпусом дожигателя на стадии изготовления корпуса, например, в виде участков труб, отходящих от отверстий, для соединения с трубопроводами. Такие варианты позволяют упростить соединение дожигателя с трубопроводами и входят в объем защиты настоящего изобретения.

В показанном на фигуре варианте осуществления изобретения на подводящем трубопроводе 7 установлена запорная арматура 10 для управления подачей газовой среды, содержащей водород, и запорная арматура 11 для управления подачей газовой среды, содержащей кислород. На отводящем трубопроводе 8 может быть установлена запорная арматура 9 для управления отводом газовой среды. Запорная арматура 9-11 может быть выполнена, например, в виде газовых вентилях и может использоваться для реализации вышеописанного способа повторной эксплуатации дожигателя водорода. Подводящий трубопровод может иметь в своем составе тройник (разветвитель), с которым соединены трубопровод для подвода газовой среды с водородом и трубопровод для подвода газовой среды с кислородом (они также могут считаться входящими в подводящий трубопровод). Запорная арматура 10 и 11 может быть установлена на трубопроводе для подвода газовой среды с водородом и трубопроводе для подвода газовой среды с кислородом, соответственно.

Для подвода газовой среды, содержащей водород, арматура 10 должна быть открыта, а для реализации проходного режима протекания газовой среды арматура 9 также должна быть открыта. Для прекращения подвода газовой среды, содержащей водород, арматуру 10 закрывают. Отвод газовой среды через отводящий трубопровод может быть прекращен одновременно или после прекращения подвода газовой среды через арматуру 10 путем перекрытия запорной арматуры 9. Подача и отвод газовой среды, содержащей кислород, предпочтительно осуществляются через запорную арматуру 11, которая должна быть для этого открыта. Запорная арматура 9 в это время закрыта, однако, возможен и такой вариант, когда окисление наполнителя осуществляют в проходном потоке газовой смеси с кислородом, для чего арматура 9 должна быть открыта. После прекращения подачи газовой среды с кислородом или после ее отвода арматура 11 может быть закрыта.

Кислородосодержащий наполнитель 5 может иметь в своем составе соединения кислорода, например, кислоты, оксиды, пероксиды, озониды и т.п. предпочтительно в твердой или жидкой форме. В преимущественном варианте осуществления кислородосодержащий наполнитель выполнен в виде оксида металла, поскольку в такой форме кислородосодержащий материал имеет преимущественно твердую форму и при расходе кислорода на дожигание водорода (восстановлении металла, входящего в оксид) результат реакции также в основном имеет твердую форму, а не газовую или жидкую, что позволяет удерживать наполнитель в корпусе без применения дополнительных мер для последующего насыщения наполнителя кислородом (в случае оксида металла - окисления металла). Кроме того, наполнитель в твердой форме упрощает обращение с ним, поскольку в таком случае он может быть выполнен в виде гранул, которые могут легко перемещаться, удерживаться и пропускать через себя газовую среду. В то же время кислородосодержащий наполнитель может иметь жидкую форму; в этом случае потребуются дополнительные меры по обеспечению реагирования газовой среды с наполнителем - например, пропускание газовой среды через жидкий кислородосодержащий наполнитель.

Наполнитель 5 в виде оксида висмута может быть размещен в корпусе дожигателя водорода, например, на его дне 2, однако, в преимущественном варианте выполнения настоящего изобретения оксид 5 висмута, например, в форме гранул, размещается в одной или более реакционных емкостях (корзинах) 4. Это позволяет повысить технологичность изготовления и обслуживания дожигателя, так как сначала наполнитель 5 может размещаться в реакционных емкостях 4, а емкости 4 затем могут размещаться в корпусе дожигателя, что устраняет необходимость выполнения более трудоемкой операции размещения наполнителя непосредственно внутри корпуса. Кроме того, применение реакционных емкостей позволяет повысить эффективность использования объема корпуса путем реализации нескольких уровней размещения наполнителя.

Как показано на фигуре, в преимущественном варианте выполнения дожигателя в корпусе установлена распределительная труба 12, проходящая от отверстия для подвода газовой среды в крышке 3 через по меньшей мере одну реакционную емкость 4. Распределительная труба может подводить газовую среду к реакционной емкости, находящейся за той емкостью, через которую она проходит, для подачи, например, из конца трубы, однако, в предпочтительном варианте распределительная труба имеет отверстия в боковых стенках в местах прохождения через реакционные емкости, что позволяет повысить эффективность подачи газовой среды путем ее распределения по всем реакционным емкостям.

При наличии нескольких уровней реакционных емкостей, как показано на фигуре, распределительная труба может иметь открытое отверстие, из которого газовая среда непосредственно поступает в нижнюю реакционную емкость, или проходит до дна нижней реакционной емкости, где она может быть заглушена дном емкости или специальной заглушкой, а газовая среда может поступать в нижнюю реакционную емкость в таком случае через боковые отверстия в распределительной трубе. Благодаря этому обеспечивается более полное прохождение газовой среды через реакционные емкости и наполнитель, в результате чего повышается эффективность дожигателя водорода, так как газовая среда не имеет возможности походить к отверстию для отвода газовой среды помимо наполнителя, не прореагировав с ним.

Реакционные емкости 4 преимущественно имеют отверстия для подвода и отвода газовой среды. В том случае, если емкости 4 расположены в несколько уровней и через них, например, в центре емкостей, проходит распределительная труба 12, как это показано на фигуре, то газовая среда будет наиболее эффективно проходить через наполнитель, который будет располагаться между донными элементами емкостей (в верхней емкости наполнитель будет располагаться между дном емкости и крышкой дожигателя), и выходить через боковые поверхности емкостей, например, на периферию емкостей 4 к стенкам 1 корпуса, откуда будет спускаться к отверстию для отвода газовой среды в дне 2, как это показано на фигуре. Показанная на фигуре структура дожигателя оптимальна с точки зрения организации потока газовой среды для повышения эффективности дожигания водорода на наполнителе и обеспечения максимально возможной равномерности превращения исходного запаса металла и в случае использования в качестве металла, входящего в оксид висмута, структура дожигателя позволяет уменьшать или исключать превращение BiO в металлический Bi , удерживая реакцию в рамках частичного восстановления Bi_2O_3 до BiO .

Дополнительно повысить эффективность дожигания водорода возможно путем повышения температуры газовой среды, и/или наполнителя, и/или реакционных емкостей, и/или корпуса вплоть до 500°C .

Это может быть сделано путем размещения на корпусе, например, на боковой стенке 1, нагревателя 6, состоящего из одной или более секций, как это показано на фигуре. Нагреватель может быть электрическим или в другой форме. Нагретый корпус будет нагревать газовую среду и посредством нагретой газовой среды и/или через распределительную трубу и реакционные емкости будет нагреваться наполнитель.

В некоторых случаях может быть полезно установить нагревать на подводящий трубопровод для предварительного нагрева газовой среды, подаваемой в корпус дожигателя - это позволит подавать газовую среду уже нагретой, что будет означать отсутствие необходимости нагрева газа внутри корпуса, в результате чего дожигание водорода может начинаться сразу же после подачи газовой среды в корпус к наполнителю, что повышает эффективность дожигателя.

В результате дожигания водорода происходит образование паров воды, которые в составе газовой среды выводятся из дожигателя. Пары воды в некоторых случаях могут быть нежелательными примесями и необходима очистка газовой среды от них. Для этого система очистки газовой среды от водорода может иметь в своем составе, помимо дожигателя водорода, холодильник, конденсатор и отводящий трубопровод, соединенный с корпусом дожигателя водорода и холодильником с обеспечением возможности отвода газовой среды из отверстия для отвода газовой среды в холодильник и конденсатор. В холодильнике происходит охлаждение газовой среды и водяные пары конденсируются в конденсаторе, а газовая среда беспрепятственно выходит из холодильника и конденсатора и может вновь использоваться по назначению в очищенном виде. Холодильник может быть выполнен совместно с конденсатором или это могут быть два последовательно установленных устройства, соединенных с помощью трубопровода, который может считаться частью отводящего трубопровода, или без использования трубопровода. Помимо дополнительной очистки газовой среды от паров воды применение холодильника позволяет снизить температуру газовой среды, например, после нагрева в дожигателе, до рабочей температуры.

Описанный дожигатель водорода и система очистки газовой среды от водорода, имеющая в своем составе дожигатель водорода, в соответствии с настоящим изобретением может использоваться для очистки газовой среды от водорода, например, в реакторной установке, которая может быть ядерной и в которой в качестве теплоносителя может использоваться свинцово-висмутовый теплоноситель. Применение дожигателя водорода, имеющего в качестве наполнителя оксид висмута и/или оксид свинца, обеспечит минимальное загрязнение свинцово-висмутового теплоносителя в такой ядерной реакторной установке.

Настоящее изобретение также может быть представлено как устройство для выведения водорода из бескислородных газовых сред, способное эффективно выводить газообразный водород, за счет химической реакции окисления водорода до воды с последующим выведением его в составе парогазовой смеси, без использования проницаемых мембран с обеспечением восстановления свойств устройства без его разборки.

Устройство удаления газообразного водорода из бескислородных газовых сред содержит герметичный обогреваемый корпус, размещенную внутри него реакционную камеру, заполненную наполнителем из кислородсодержащего материала, систему подвода в реакционную камеру обрабатываемой бескислородной газовой среды, содержащей водород, систему отвода обработанной газовой среды из реакционной камеры, систему восстановления окислительных свойств кислородсодержащего материала и систему переключения режимов работы устройства. Внутри корпуса могут быть размещены распределительный проницаемый коллектор, в качестве которого используется распределительный трубопровод, и реакционная камера, охватывающая распределительный трубопровод.

При этом реакционная камера имеет по меньшей мере одну перфорированную секцию с кислородсодержащим материалом, а в перегородке, разделяющей смежные перфорированные секции, выполнены отверстия. Реакционная камера преимущественно имеет несколько расположенных друг над другом перфорированных секций, заполненных гранулами из кислородсодержащего материала, предпочтительно, из оксида висмута. Реакционная камера установлена в корпусе с зазором относительно его боковой стенки, крышки и/или днища.

При этом в боковой стенке реакционной камеры могут быть выполнены отверстия, обеспечивающие соединение перфорированных секций с кислородсодержащим материалом с полостью корпуса. Размеры перфорации предпочтительно предотвращают свободный выход гранул из твердых оксидов висмута из секций реакционной камеры.

При этом система подвода в реакционную камеру обрабатываемой бескислородной газовой среды, содержащей водород, содержит входной патрубок, к которому с одной стороны подсоединен распределительный проницаемый коллектор, а с противоположной стороны подсоединен трубопровод подачи в устройство обрабатываемой бескислородной газовой среды, содержащей водород.

При этом распределительный проницаемый коллектор выполнен в виде распределительного трубопровода и реакционной камеры, охватывающей распределительный трубопровод.

Участок распределительного трубопровода, погруженный в реакционную камеру (охватываемый реакционной камерой), выполнен с перфорированной боковой стенкой, т.е. имеет отверстия соединяющие полость распределительного трубопровода с внутренними полостями перфорированных секций с кислородсодержащим материалом реакционной камеры. На нижнем торце распределительного трубо-

провода имеется заглушка, предотвращающая перетекание обрабатываемого газового потока в обход реакционной камеры. Боковая стенка реакционной камеры перфорирована. Перфорация соединяет полость корпуса с внутренней полостью секций реакционной камеры. Между собой секции разделены перегородками, которые также выполнены с перфорацией. Перфорация обеспечивает проточность реакционной камеры для прохода через нее газообразного рабочего тела.

Входной патрубок для подвода в устройство обрабатываемой газовой среды, подсоединен сверху к распределительному трубопроводу. Снаружи корпуса к входному патрубку могут быть подсоединены трубопровод подачи водородсодержащей бескислородной газовой среды и трубопровод подачи кислородсодержащей газовой среды.

Система отвода обработанной газовой среды из реакционной камеры может состоять из выходного трубопровода отвода обработанной газовой среды, подсоединенного к корпусу устройства, для отвода из устройства прореагировавшей газовой среды - газовой среды с водяным паром, образовавшимся в реакционной камере при взаимодействии газообразного водорода (метана и подобных газов) и кислорода в гранулах кислородсодержащего наполнителя.

Работа устройства регулируется запорными клапанами и изменением температуры обогреваемого корпуса, для чего на внешней поверхности корпуса расположен электронагреватель.

Устройство содержит средства управления его работой устройства, содержащее три запорных вентиля. Запорный клапан установлен в трубопроводе системы подвода водородсодержащей бескислородной газовой среды. Второй запорный клапан установлен в трубопроводе системы подвода кислородсодержащей газовой среды. Третий запорный клапан установлен в выходном трубопроводе.

В режиме выведения водорода из бескислородной газовой среды запорный клапан 11 закрыт и открыты запорные клапаны 10 и 9. Поток водородсодержащей газовой среды через открытый запорный клапан 10 из трубопровода 7 подают в распределительный трубопровод и через перфорацию в стенке распределительного трубопровода этот поток газа поступает в секции реакционной камеры. В реакционной камере водородсодержащий газовый поток обтекает гранулы из кислородсодержащего материала, предпочтительно из оксида висмута, при этом водород взаимодействует с кислородом, находящимся в оксиде висмута, и практически полностью окисляется с образованием водяного пара. Обработанная в реакционной камере газовая смесь через перфорацию в стенке реакционной камеры поступает в корпус в зазор между реакционной камерой и стенками корпуса. Далее обработанная газовая смесь с водяным паром удаляется из устройства через открытый запорный клапан 9. Водяной пар можно легко удалить из обработанной газовой среды различными средствами, используемыми для удаления паров воды из газов.

При обнаружении, что кислородсодержащий материал в реакционной камере потерял свою активность, проводят восстановление окислительной способности гранул в секциях реакционной камеры кислородсодержащей газовой средой. В режиме окисления гранул кислородсодержащей газовой средой закрывают запорные клапаны 10 и 9 и открывают запорный клапан 11. Через трубопровод подают в устройство для выведения водорода из бескислородных газовых сред кислородсодержащую газовую среду, заполняют объем реакционной камеры и корпуса кислородсодержащей газовой средой и выдерживают указанную газовую смесь в корпусе и реакционной камере до срабатывания кислорода в ней. Кислород взаимодействует с материалом гранул, предпочтительно висмутом, и окисляет его с образованием оксида висмута. По завершении восстановления окислительной способности висмута, удаляют остатки кислородсодержащей газовой среды, переводят устройство в режим выведения водорода из бескислородной газовой среды и возобновляют выведение водорода.

Предпочтительно, что в качестве кислородсодержащего материала используются гранулы оксида висмута (Bi_2O_3).

Использование для выведения газообразного водорода наполнителя из гранулированного кислородсодержащего материала дает возможность удалять водород из бескислородной газовой среды путем прямого химического окисления газообразного водорода на поверхности гранул, при этом обеспечивается большая поверхность контакта газообразного водорода с кислородсодержащим материалом, что обеспечивает быстрое эффективное удаление водорода из газовой среды, даже при полном отсутствии в ней кислорода. Устройство обеспечивает восстановление окислительных свойств гранул путем периодического воздействия на них кислородсодержащей газовой средой. Контроль за окислением водорода до водяного пара можно вести любыми известными средствами и в рамках данной заявки этот контроль не рассматривается.

Использование гранул из оксида висмута исключает загрязнение газовой среды посторонними элементами, так как висмут входит в состав жидкометаллического теплоносителя ядерного реактора.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Дожигатель водорода, входящего в состав газовой среды, состоящий из корпуса, имеющего отверстия для подвода и отвода газовой среды, при этом в корпусе размещена по меньшей мере одна реакционная емкость, в которой находится наполнитель, содержащий оксид висмута Bi_2O_3 и/или оксид свин-

ца, и которая имеет отверстия для подвода и отвода газовой среды, и установлена распределительная труба, проходящая от отверстия для подвода газовой среды через по меньшей мере одну реакционную емкость, причем распределительная труба имеет отверстия в боковых стенках в местах прохождения через реакционную емкость.

2. Дожигатель по п.1, отличающийся тем, что наполнитель имеет гранулированную форму.

3. Дожигатель по п.1, отличающийся тем, что корпус снабжен нагревателем.

4. Дожигатель по п.3, отличающийся тем, что корпус имеет дно, крышки и боковую стенку, причем отверстие для подвода газовой среды выполнено в крышке, причем отверстие для отвода газовой среды выполнено в дне, а нагреватель установлен на боковой стенке корпуса.

5. Система очистки газовой среды от водорода, имеющая дожигатель водорода по любому из пп.1-4, подводящий трубопровод, соединенный с корпусом дожигателя водорода с обеспечением возможности подачи газовой среды в отверстие для подвода газовой среды, отводящий трубопровод, соединенный с корпусом дожигателя водорода с обеспечением возможности отвода газовой среды из отверстия для отвода газовой среды, запорную арматуру, установленную на подводящем трубопроводе с обеспечением возможности управления подачей газовой среды, содержащей водород, и запорную арматуру, установленную на подводящем трубопроводе с обеспечением возможности управления подачей газовой среды, содержащей кислород.

6. Система по п.5, отличающаяся тем, что подводящий трубопровод снабжен нагревателем.

7. Система по п.5, отличающаяся тем, что газовая среда включает в свой состав инертный газ.

8. Система по п.5, отличающаяся тем, что дополнительно имеет холодильник и конденсатор, причем, корпус дожигателя водорода соединен с холодильником с помощью отводящего трубопровода с обеспечением возможности отвода газовой среды из отверстия для отвода газовой среды в холодильник и конденсатор.

9. Система по п.5, отличающаяся тем, что содержит запорную арматуру, установленную на отводящем трубопроводе с обеспечением возможности управления отводом газовой среды.

10. Реакторная установка, имеющая в своем составе дожигатель водорода по любому из пп. 1-4 или систему очистки газовой среды от водорода по любому из пп.5-9, в которой в качестве теплоносителя используется свинцово-висмутовый теплоноситель.

11. Реакторная установка по п.10, отличающаяся тем, что является ядерной.

12. Способ повторяющейся эксплуатации системы очистки газовой среды от водорода по п.5, состоящей из корпуса, имеющего отверстия для подвода и отвода газовой среды, причем газовая среда включает в свой состав инертный газ, и кислородосодержащего наполнителя оксида висмута Bi_2O_3 и/или оксида свинца, размещенного в корпусе, подводящего трубопровод, соединенного с корпусом дожигателя водорода с обеспечением возможности подачи газовой среды в отверстие для подвода газовой среды, отводящего трубопровод, соединенного с корпусом дожигателя водорода с обеспечением возможности отвода газовой среды из отверстия для отвода газовой среды, запорной арматуры, установленной на подводящем трубопроводе с обеспечением возможности управления подачей газовой среды, содержащей водород, и запорной арматуры, установленной на подводящем трубопроводе с обеспечением возможности управления подачей газовой среды, содержащей кислород, способ содержит следующие шаги:

подают в дожигатель водорода газовую среду, содержащую водород;

прекращают подачу в дожигатель водорода газовой среды, содержащей водород;

подают в дожигатель водорода газовую среду, содержащую кислород;

прекращают подачу в дожигатель водорода газовой среды, содержащей кислород;

поданную газовую среду, содержащую кислород, удерживают в дожигателе водорода,

а после окончания операции окисления висмута и/или оксида висмута отводят газовую среду, содержащую или содержащую кислород.

13. Способ по п.12, отличающийся тем, что кислородосодержащий наполнитель имеет гранулированную форму.

14. Способ по п.12, отличающийся тем, что корпус снабжен нагревателем.

15. Способ по п.14, отличающийся тем, что корпус имеет дно, крышки и боковую стенку, причем отверстие для подвода газовой среды выполнено в крышке, причем отверстие для отвода газовой среды выполнено в дне, а нагреватель установлен на боковой стенке корпуса.

16. Способ по п.12, отличающийся тем, что подводящий трубопровод снабжен нагревателем.

17. Способ по п.12, отличающийся тем, что система дополнительно имеет холодильник и конденсатор, причем корпус дожигателя водорода соединен с холодильником с помощью отводящего трубопровода с обеспечением возможности отвода газовой среды из отверстия для отвода газовой среды в холодильник и конденсатор.

18. Способ по п.12, отличающийся тем, что система содержит запорную арматуру, установленную на отводящем трубопроводе с обеспечением возможности управления отводом газовой среды.

