

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **5467**

(13) **С1**

(51)⁷ **В 01D 53/02,
F 17C 11/00**

(54) **СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО
УГЛЕВОДОРОДА В СВЯЗАННОМ СОРБЕНТОМ СОСТОЯНИИ**

(21) Номер заявки: а 19991158

(22) 1999.12.27

(46) 2003.09.30

(71) Заявители: Васильев Леонард Леонидович; Мишкинис Донатас Альгирдо (ВУ)

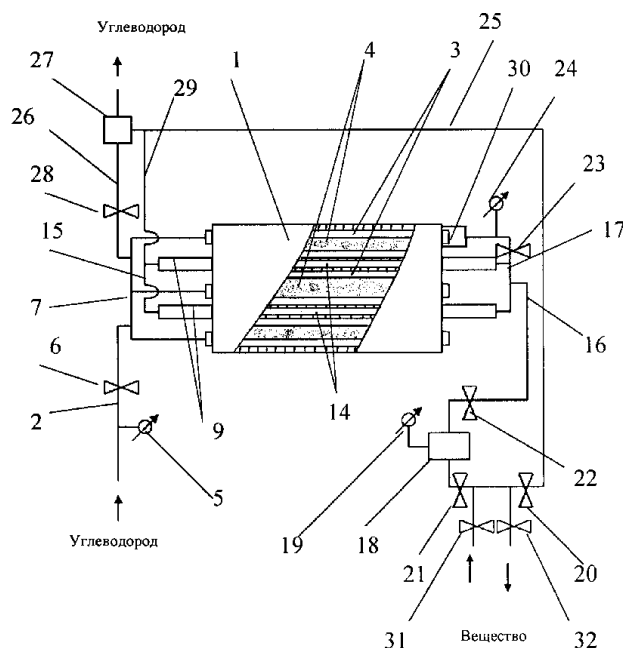
(72) Авторы: Васильев Леонард Леонидович; Мишкинис Донатас Альгирдо (ВУ)

(73) Патентообладатели: Васильев Леонард Леонидович; Мишкинис Донатас Альгирдо (ВУ)

(57)

1. Способ хранения газообразного углеводорода в связанном сорбентом состоянии, включающий очистку резервуара с сорбентом, в качестве которого используют проницаемый пористый сорбент, последующую заправку резервуара с сорбентом углеводородом при давлении выше атмосферного, выпуск углеводорода из резервуара, **отличающийся** тем, что при заправке резервуара углеводородом сорбент охлаждают, а при выпуске углеводорода из резервуара сорбент нагревают, при этом в качестве хладагента при охлаждении и теплоносителя при нагреве сорбента используют вещество, находящееся в однофазном или двухфазном состоянии.

2. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что при очистке резервуара с сорбентом осуществляют нагрев сорбента веществом, находящимся в однофазном или двухфазном состоянии, используемым при заправке резервуара углеводородом и выпуске углеводорода из резервуара.



Фиг. 4

BY 5467 C1

3. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что охлаждение сорбента при заправке резервуара углеводородом и нагрев сорбента при выпуске углеводорода из резервуара осуществляют веществом без поступления его в пространство резервуара, содержащее углеводород.

4. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что нагрев сорбента при выпуске углеводорода из резервуара осуществляют веществом, по меньшей мере, часть которого направляют в пространство резервуара, содержащее углеводород.

5. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что в качестве вещества, находящегося в двухфазном состоянии, используют систему "вода-водяной пар" или систему "жидкий углеводород-газообразный углеводород".

6. Устройство для хранения газообразного углеводорода в связанном сорбентом состоянии, включающее резервуар с сорбентом, представляющим собой проницаемый пористый сорбент, систему впуска и выпуска из резервуара углеводорода, систему перемещения по резервуару вещества, **отличающееся** тем, что пространство резервуара разделено на секции, при этом сорбент содержится в сообщающихся между собой секциях, связанных с системой впуска и выпуска углеводорода, а, по меньшей мере, одна из остальных секций образует отдающий в сорбент или отбирающий от сорбента тепло элемент системы перемещения вещества, которая также содержит средства, обеспечивающие подключение этого элемента к источнику тепла при очистке резервуара с сорбентом и выпуске углеводорода из резервуара или к стоку тепла при заправке резервуара углеводородом, при этом система перемещения вещества содержит вещество, находящееся в однофазном или двухфазном состоянии.

7. Устройство по п. 6, **отличающееся** тем, что секции резервуара, которые образуют элемент системы перемещения вещества, содержащей вещество, находящееся в двухфазном состоянии, выполнены в виде тепловых труб, одним из своих концов подключаемых к источнику тепла при очистке резервуара с сорбентом и выпуске углеводорода из резервуара или к стоку тепла при заправке резервуара с сорбентом углеводородом.

8. Устройство по п. 6, **отличающееся** тем, что секции резервуара, которые образуют элемент системы перемещения вещества, содержащей вещество, находящееся в однофазном состоянии, выполнены в виде каналов, расположенных между содержащими сорбент секциями.

9. Устройство по п. 6, **отличающееся** тем, что, по меньшей мере, одна из содержащих сорбент секций соединена с системой перемещения вещества.

10. Устройство по п. 9, **отличающееся** тем, что в системе впуска и выпуска углеводорода установлен соединенный с системой перемещения вещества конденсатор для отбора жидкофазного вещества, содержащегося в выпускаемом из резервуара углеводороде, и возврата его в систему перемещения вещества.

(56)

US 5323752 A, 1994.

US 4749384 A, 1988.

US 4817684 A, 1989.

US 4566281 A, 1986.

Изобретения относятся к области хранения и последующего использования газообразных углеводородов.

Изобретения могут быть использованы в большой газовой энергетике при создании высокоемких хранилищ природного газа с объемом хранения на миллиарды кубометров, для высокоэффективных котельных установок, цистерн для транспортировки газа потре-

ВУ 5467 С1

бителю, топливных систем для автомобильного, железнодорожного и воздушного транспорта, для бытовых газовых плит, обогревателей помещений и для многих других сфер деятельности.

Способы и устройства для заправки, хранения и использования газообразных углеводородов, основанные на сжижении или сжатии газа при высоких давлениях, характеризуются большой металлоемкостью резервуаров (баллонов) для хранения углеводородов, высокими энергозатратами на сжижение и сжатие газообразных углеводородов, необходимостью обучения обслуживающего персонала специальным требованиям по соблюдению техники безопасности при работе со сжиженными газами и сосудами высокого (25-35 МПа) давления.

Значительно эффективнее во многих сферах газовой энергетики могут быть использованы способы и устройства для заправки, хранения и последующего применения углеводородов, основанные на физическом явлении сорбции углеводородов, представляющем собой произвольно происходящее поглощение (связывание) газообразного вещества на поверхности раздела фаз веществом другой, твердой или жидкой фазы за счет сил взаимного притяжения молекул (адсорбция, абсорбция) и обратный процесс (десорбция), при котором происходит удаление молекул углеводорода из сорбирующего вещества.

Известен способ хранения углеводородов [1], согласно которому адсорбцию метана ведут на используемом в качестве сорбента цеолите при давлении в резервуаре в пределах 1,5-2,5 МПа. В этом диапазоне давления удается достичь такого же заполнения резервуара метаном как при давлении 5-15 МПа без сорбента. При давлении в 5 МПа объем хранения (связывания) газа в резервуаре с сорбентом в 2,5 раза превышает объем по газу такого же резервуара без сорбента.

Известен также способ хранения углеводорода [2], предложенный американской группой Atlanta Gas Light Adsorbent. Согласно этому способу, заправку и хранение природного газа проводят при температуре окружающей среды и давлении в резервуаре в 3,5 МПа, что обеспечивает коэффициент заполнения резервуара (объем газа, содержащегося в 1 единице объема резервуара) до $170 \text{ нм}^3/\text{м}^3$. В качестве размещаемого в резервуаре сорбента используется проницаемый, высокопористый спрессованный активированный уголь. Такой сорбент обладает пространственной эффективностью, механической прочностью и высокоразвитой поверхностью контакта с газовой фазой.

Основными недостатками данных способов хранения углеводородов является недостаточно высокая емкость связывания углеводорода сорбентом при температуре окружающей среды и низкая степень использования углеводорода при выпуске углеводорода из резервуара, которая может достигать 50-60 % от общего объема связанного углеводорода. Низкая степень использования углеводорода при операции выпуска углеводорода из резервуара связана с охлаждением резервуара и соответственно увеличением величины адсорбции углеводорода сорбентом. В работе [3] предложен внешний обдув резервуара теплым воздухом для нагрева резервуара и предотвращения конденсации на поверхности резервуара, содержащейся в атмосферном воздухе влаги.

Известен также способ хранения углеводородов [4], включающий очистку резервуара с сорбентом для последующего его наполнения углеводородом, заправку резервуара углеводородом при давлении выше атмосферного, хранение углеводорода в связанном сорбентом состоянии и выпуск углеводорода из резервуара. Для полного извлечения из сорбента связанного углеводорода в резервуар, при выпуске углеводорода, подают воздух, который вытесняет углеводород из пространства резервуара и частично из порового пространства сорбента. Основной проблемой, с которой сталкиваются при осуществлении данного способа, это неполное извлечение углеводорода из порового пространства сорбента при выпуске углеводорода из резервуара. Более того, все эти способы характеризуются тем, что операции очистки резервуара с сорбентом, заправки резервуара, выпуска углеводорода из резервуара, а также, при необходимости, и регенерацию сорбента ведут в

BY 5467 C1

разных местах, что связано с демонтажем резервуара, его перемещением, с обустройством отдельных различных технологических линий, обеспечивающих требуемый температурный режим при очистке резервуара с сорбентом, при регенерации сорбента, при заправке резервуара и при выпуске углеводорода. Также, весьма существенным недостатком известных способов является большая длительность операции заправки резервуара углеводородом, время которой может составлять от нескольких часов до нескольких суток.

Известно устройство [4] для хранения углеводородов, включающее резервуар с системой впуска в резервуар и выпуска из резервуара углеводорода, размещенный в резервуаре проницаемый пористый сорбент, систему перемещения по резервуару способствующего процессу сорбции углеводорода вещества. Система перемещения вещества по резервуару позволяет вводить в пространство, резервуара, содержащее углеводород, воздух и вытеснять углеводород из резервуара при выпуске углеводорода.

Данное устройство позволяет повысить выход углеводорода из резервуара, но, несмотря на уменьшение парциального давления углеводорода в резервуаре, часть углеводорода по-прежнему остается в поровом пространстве сорбента в связанном сорбентом состоянии.

Другим недостатком данного устройства является то, что устройство не позволяет выпускать из резервуара чистый углеводород, но только воздушно-углеводородную смесь, что не всегда приемлемо для технологических процессов, требующих использование чистого углеводорода.

В основу одного из изобретений группы поставлена задача создать способ хранения углеводородов, который благодаря использованию тепла и холода от одного и того же однофазного или двухфазного вещества, способствующего сорбции углеводородов, позволил бы обеспечить максимально полную заправку резервуара углеводородом в короткое время, а также достигнуть более полного извлечения углеводородов из сорбента при выпуске углеводородов из резервуара.

Поставленная задача решается тем, что в способе хранения углеводородов, включающем очистку резервуара с сорбентом для последующего его наполнения углеводородом, заправку резервуара углеводородом при давлении выше атмосферного, хранение углеводорода в связанном сорбентом состоянии и выпуск углеводорода из резервуара, согласно изобретению, нагрев сорбента и содержащегося в нем углеводорода при операции выпуска углеводорода из резервуара, а также охлаждение сорбента при операции заправки резервуара углеводородом ведут находящимся в однофазном или двухфазном состоянии веществом, используемым как в качестве теплоносителя, так и в качестве хладагента.

В практике использования хранимых в резервуарах газообразных углеводородов приходится иметь дело с разогревом сорбента и резервуара при заправке резервуара углеводородом. Адсорбция углеводородов, процесс экзотермический, и в зависимости от скорости заправки резервуара углеводородом температура разогрева сорбента и резервуара может достигать 353-373°K. С повышением температуры сорбента существенно снижается величина адсорбции углеводорода, что при естественном охлаждении резервуара и сорбента приводит к необходимости выдерживать резервуар длительное время для достижения максимально возможного коэффициента заполнения резервуара углеводородом.

Принудительное охлаждение сорбента и резервуара в процессе заправки резервуара углеводородом позволяет существенно сократить время заправки.

В противоположность адсорбции, при обратном процессе - десорбции углеводорода, происходит захлаживание сорбента, углеводорода и резервуара. Температура сорбента в зависимости от расхода выпускаемого углеводорода может снижаться на 20-50°K. При таком самопроизвольном понижении температуры повышается величина адсорбции углеводорода сорбентом и значительная часть углеводорода, оставаясь в связанном сорбентом состоянии, не выходит из резервуара, поскольку способность сорбента с понижением температуры поглощать углеводород быстро возрастает и десорбция прекращается. Если ре-

BY 5467 C1

резервуар не подогревать, то в нем при остаточном давлении в резервуаре, равном 0,1 Мпа, может оставаться до 30-50 % от объема первоначальной заправки. Подогревать сорбент с резервуаром при использовании сорбента для связывания газа необходимо также и в случае выпуска углеводорода при низкой (отрицательной) температуре окружающей среды.

В основу другого изобретения группы поставлена задача создать способ хранения углеводородов, который благодаря использованию тепла от однофазного или двухфазного вещества позволил бы производить операцию очистки сорбента с резервуаром, в том числе и регенерацию сорбента, в том месте, где производится заправка резервуара, без перемещения резервуара.

Очистку сорбента с резервуаром производят перед первой заправкой, при смене хранимого углеводорода, а также при попадании в баллон по каким-либо причинам масел, грязи и других посторонних включений.

Очистку сорбента, проводимую после нескольких сотен циклов адсорбция/десорбция, так называемую регенерацию сорбента, осуществляют для удаления из сорбента примесей, содержащихся в природном газе или в других углеводородах.

Очистку сорбента с резервуаром и регенерацию сорбента обычно ведут, нагревая резервуар с сорбентом до температуры 500-600°К. Для этого резервуар с сорбентом, например, автомобильный газовый баллон, демонтируют с автомобиля и отвозят на термообработку на специальную станцию, что неудобно и представляет определенные трудности.

Поставленная задача решается тем, что в способе хранения углеводородов, включающем очистку резервуара с сорбентом для последующего его наполнения углеводородом, заправку резервуара углеводородом при давлении выше атмосферного, хранение углеводорода в связанном сорбентом состоянии и выпуск углеводорода из резервуара, согласно изобретению, нагрев сорбента при операции очистки сорбента с резервуаром ведут находящимся в однофазном или двухфазном состоянии веществом, используемым при операциях заправки резервуара углеводородом и выпуске углеводорода из резервуара.

Очистку сорбента с резервуаром, в том числе и регенерацию сорбента как для стационарно размещенных резервуаров, так и для перемещаемых резервуаров, ведут тем же веществом, что и при операциях заправки и выпуска углеводорода, но с повышением температуры вещества до требуемой величины.

Очистка сорбента с резервуаром, регенерация сорбента и заправка резервуара углеводородом могут быть проведены в одном цикле, в одном месте, при одном подключении резервуара к системе перемещения вещества, используемого как теплоноситель, так и хладагент.

Нагрев сорбента при операциях очистки сорбента с резервуаром, выпуска углеводорода из резервуара, и при регенерации сорбента можно вести веществом, используемым как теплоноситель без поступления этого вещества в пространство резервуара, содержащее сорбент, так и вводя часть этого вещества в пространство резервуара, содержащее сорбент.

В основу третьего изобретения группы поставлена задача создать способ хранения углеводородов, который, благодаря использованию перемещающегося по резервуару вещества, как в качестве теплоносителя, разогревающего сорбент, так и в качестве вытеснителя, связанного сорбентом углеводорода, позволил бы при выпуске углеводорода из резервуара максимально снизить величину адсорбции, а при очистке сорбента с резервуаром или при регенерации сорбента достигнуть максимального освобождения сорбента и резервуара от примесей и посторонних включений.

Поставленная задача решается тем, что в способе хранения углеводородов, включающем очистку резервуара с сорбентом для последующего его наполнения углеводородом, заправку резервуара углеводородом при давлении выше атмосферного, хранение углеводорода в связанном сорбентом состоянии и выпуск углеводорода из резервуара, согласно изобретению, нагрев сорбента при операциях очистки сорбента и резервуара и выпуска углеводорода из резервуара ведут веществом, по крайней мере, часть которого направляют в пространство резервуара, содержащее углеводород.

ВУ 5467 С1

В данном способе вещество используется как теплоноситель, кондуктивно отдающий тепло пористому сорбенту, как теплоноситель, конвективно отдающий тепло содержащемуся в резервуаре углеводороду, как вытеснитель углеводорода из порового пространства сорбента и как смесеобразующий компонент.

В основу четвертого изобретения группы поставлена задача создать устройство для хранения углеводородов, которое благодаря использованию в системе перемещения по резервуару способствующего процессу сорбции углеводорода однофазного или двухфазного вещества, теплоотдающих и теплоотбирающих элементов и средств подключения системы перемещения веществ к источнику тепла и к холодильнику позволило бы вести нагрев и охлаждение сорбента одним веществом, используемым и как теплоноситель и как хладагент, в одном месте, при одном подключении резервуара, как для очистки резервуара, так и для выпуска углеводорода из резервуара, обеспечивая при этом максимально возможную заправку резервуара углеводородом в кратчайшее время и максимальное извлечение углеводорода из связанного сорбентом состояния.

Поставленная задача решается тем, что в устройстве для хранения углеводородов, включающем резервуар с системой впуска в резервуар и выпуска из резервуара углеводорода, размещенный в резервуаре проницаемый пористый сорбент, систему перемещения по резервуару способствующего процессу сорбции углеводорода вещества, согласно изобретению, пространство резервуара разделено на секции таким образом, что одна часть сообщающихся между собой секций сообщается с системой впуска и выпуска углеводорода, а остальные секции, по крайней мере одна, образуют отдающие в сорбент или отбирающие от сорбента тепло элементы системы перемещения способствующего процессу сорбции углеводорода вещества, причем система перемещения вещества содержит средства, обеспечивающие подключение этих элементов как к источнику тепла при операциях очистки резервуара и выпуска углеводорода из резервуара, так и к стоку тепла при операции заправки резервуара углеводородом.

Система перемещения по резервуару способствующего процессу сорбции углеводорода однофазного или двухфазного вещества может работать как в режиме нагрева сорбента и резервуара при очистке сорбента с резервуаром, регенерации сорбента и выпуске углеводорода, так и в режиме принудительного охлаждения сорбента и резервуара при заправке резервуара.

При очистке сорбента с резервуаром, регенерации сорбента и выпуске углеводорода предлагаемая система перемещения вещества обеспечивает минимальную величину адсорбции углеводорода при заданной температуре нагрева, а при заправке резервуара углеводородом - максимально возможный объем связывания углеводорода за минимальный период времени.

Использование однофазного или двухфазного вещества определяется разными факторами: рабочей температурой процесса, скоростью заправки резервуара и скоростью выпуска углеводорода из резервуара, дальнейшим использованием выпускаемого углеводорода, размерами резервуара, средствами подвода и отвода тепла от сорбента.

В качестве однофазного вещества наиболее целесообразно использовать воздух или воду как наиболее доступные и дешевые носители.

В качестве двухфазного вещества наиболее эффективна система "вода-водяной пар", поскольку вода обладает высокой скрытой теплотой парообразования. Для технологических процессов, в которых требуется применение углеводорода без примесей водяного пара, например чистого пропана, в качестве двухфазного вещества перспективно использование системы (жидкий пропан - газообразный пропан). Эту систему целесообразно так же использовать вместо системы "вода-водяной пар", при отрицательных температурах внешней окружающей среды.

Фазовый переход воды в пар и обратно из пара в воду способствует быстрому и эффективному отбору или выделению тепла в элементах системы перемещения вещества,

BY 5467 C1

образованных частью секций секционированного резервуара, что позволяет значительно сократить время заправки резервуара, а также выпускать углеводород из резервуара при форсированных режимах.

Поставленная задача решается также тем, что, по крайней мере, одна из содержащих сорбент секций соединена с системой перемещения способствующего процессу сорбции углеводорода вещества.

Данное обстоятельство позволяет еще больше повысить степень извлекаемости углеводорода из сорбента при выпуске углеводорода из резервуара за счет нагрева не только сорбента, содержащего углеводород и стенок секций резервуара, но и конвективного нагрева углеводорода и вытеснения его из порового пространства сорбента.

При использовании в системе перемещения вещества, находящегося в двухфазном состоянии, в случае ввода данного вещества в пространство резервуара, содержащего углеводород, на выходе из резервуара в системе выпуска углеводорода установлен конденсатор для отделения от выпускаемого углеводорода конденсирующейся фазы вещества и возврата его в систему перемещения вещества по резервуару.

На фиг. 1 изображена схема последовательности операций способа хранения углеводородов; на фиг. 2 - схема устройства с системой перемещения двухфазного вещества в закрытых тепловых трубах; на фиг. 3 разрез по АА на фиг. 2; на фиг. 4 - схема устройства с системой перемещения вещества, часть которого подается в пространство резервуара, содержащего углеводород; на фиг. 5 - схема устройства с системой перемещения вещества в пространстве резервуара, содержащего углеводород.

Способ хранения углеводородов, в общем виде, осуществляется следующим образом.

Перед первой заправкой резервуара углеводородом резервуар с сорбентом подвергают очистке. Для этого сорбент разогревают до температуры $400 \pm 50^\circ\text{K}$ (в зависимости от температуры окружающей среды и от материала пористого сорбента) путем кондуктивного подвода к сорбенту тепла от подогретого до температуры $420 \pm 50^\circ\text{K}$ водяного пара, часть которого при давлении 0,2 МПа с расходом 5-10 л/м продувают через резервуар в течение 20-90 мин. После прекращения подачи водяного пара сорбент дегазируют, создавая в резервуаре вакуум (5×10^{-2} тор) при $T = 473-523^\circ\text{K}$ в течение 1-5 ч. Подготовленный к заправке углеводородом резервуар принудительно охлаждают до температуры окружающей среды и при давлении 3, 5 МПа впускают в резервуар природный газ, содержащий 85-99 % CH_4 , в зависимости от месторождения, где добывается газ. Разогревающийся при адсорбции природного газа сорбент кондуктивно охлаждают, поддерживая температуру сорбента при запуске углеводорода в резервуар на уровне $285-290^\circ\text{K}$, сокращая время заправки резервуара до нескольких минут. После заправки резервуара углеводород хранят в связанном сорбентом состоянии при температуре окружающей среды и при давлении в резервуаре $3,5 \pm 0,5$ МПа (в зависимости от температуры окружающей среды) в течение требуемого времени.

При выпуске природного газа из резервуара, например, из автомобильного баллона, в режиме форсированного расхода углеводорода при падении давления в баллоне ниже 0,5 МПа, для предотвращения интенсивного захламления сорбента и охлаждения углеводорода и резервуара, к сорбенту для уменьшения величины адсорбции кондуктивно подводят тепло от перегретого до 393°K водяного пара, а для более полного извлечения углеводорода из сорбента и обеспечения постоянного расхода выпускаемого из резервуара газа часть водяного пара при постоянно поддерживаемом давлении 0,5 МПа подают в пространство резервуара, содержащее углеводород, для более интенсивного нагрева углеводорода и сорбента и вытесняют углеводород из сорбента и резервуара, обеспечивая извлекаемость углеводорода на уровне 95-98 % от первоначально заправленного объема.

Различные варианты кондуктивного и конвективного нагрева и охлаждения сорбента с углеводородом при использовании однофазного или двухфазного вещества более подробно будут раскрыты при описании работы устройств, позволяющих реализовывать предложенный способ хранения углеводородов.

ВУ 5467 С1

Устройство для хранения углеводородов (фиг. 2, 3) с использованием в качестве теплоносителя и хладагента двухфазного вещества содержит ряд конструктивных элементов и узлов, скомпонованных в следующей последовательности. Резервуар 1, выполненный из легкосплавного алюминиевого материала, связан с системой 2 впуска и выпуска углеводорода. Пространство резервуара 1 разделено на сообщающиеся между собой секции 3, которые сообщаются с системой 2 впуска и выпуска углеводорода. В секциях 3 размещен проницаемый пористый сорбент 4, изготовленный из активированного угля с высокоразвитой микропористой поверхностью. Система 2 впуска и выпуска углеводорода включает образцовый манометр 5 для контроля давления в системе, запорный вентиль 6 и коллектор 7 для распределения заправляемого углеводорода по секциям 3 резервуара 1. Помимо секций 3 в резервуаре 1 имеются секции 8 (фиг. 3), которые представляют собой теплоотдающие в сорбент 4 и теплоотбирающие от сорбента 4 элементы системы 9 перемещения способствующего процессу сорбции углеводорода вещества, например "вода-пар" по резервуару 1. Система перемещения вещества по резервуару 1 через секции 8 снабжена средствами 10 подвода или отвода тепла из секций 8 резервуара 1. Источник тепла и холодильник на фиг. 2 не показаны. Содержащие сорбент 4 секции 3 соединены между собой каналами 11 и образуют общее пространство резервуара 1, заполняемое углеводородом, а секции 8 образуют закрытые с обоих торцов теплотрубные элементы в виде размещенных в секциях 8 пористых полых цилиндров 12, имеющих центральные каналы 13, в которых, как и в порах полых цилиндров 12, содержится двухфазное вещество, например вода и насыщенный водяной пар.

В зависимости от сферы применения предлагаемое устройство может иметь различные средства 10 подключения системы 9 перемещения вещества по резервуару 1 к источнику тепла и к холодильнику. Так, например, средства 10 могут быть выполнены в виде соединенных с торцами закрытых теплотрубных элементов теплопроводящих шин, нагреваемых электрическим током при операциях очистки сорбента 4 с резервуаром 1 при выпуске углеводорода из резервуара 1, а также, при необходимости, для регенерации сорбента 4. А при операции заправки резервуара 1 углеводородом теплопроводящие шины охлаждаются, например проточной водой или потоком холодного воздуха.

Вышеописанное устройство работает следующим образом.

При операции очистки сорбента 4 и резервуара 1 средства 10, выполненные в виде теплопроводящих шин, соединенных с системой 9 разогреваются от электрического нагревателя (на фиг. 2,3 не показано), кондуктивно нагревая цилиндры 13, передающие тепло сорбенту 4, нагреваемому до температуры 473-523°K (средняя температура по слою сорбента 500°K), и при этом посредством системы 2 впуска и выпуска углеводорода, подключенного к вакуумному насосу (на чертежах не показан), секции 3 резервуара 1 вакуумируются до 5×10^{-2} тор для очистки резервуара 1 и дегазации сорбента 4 и выдерживаются при данной температуре в течение 1-5 ч. Для полной очистки резервуара 1 и сорбента 4 вакуумирование секций 3 чередуется с заполнением этих секций через систему 2 углеводородом. Число циклов "вакуумирование секций - заполнение секций углеводородом" не превышает 3-4 раза. Очистка резервуара 1 и сорбента 4 считаются законченными, если показания датчика 5 давления углеводорода, находящегося в резервуаре 1, не меняются в течение одного часа. После завершения очистки резервуара 1 и сорбента 4 в систему 2 при давлении 3,7 МПа через коллектор 7 в секции 3 резервуара 1 подается природный газ. При этом тепло, выделяющееся в сорбенте 4 при адсорбции углеводорода, передается через теплотрубные элементы к средствам 10 для отбора тепла от циркулирующего по каналу 13 перегретого водяного пара, конденсации его в области охлаждаемых торцов теплотрубных элементов, соединенных средствами 10 (теплоотводящими шинами) к холодильнику (на чертежах не показан). Образовавшийся конденсат посредством капиллярного эффекта заполняет пористые цилиндры 12, находящиеся в секциях 8, испаряется, поглощая выделяющееся при адсорбции углеводорода тепло, и опять по центральным каналам 13 пере-

ВУ 5467 С1

мещается в сторону охлаждаемых торцов теплотрубных элементов. Такое перемещение двухфазного вещества "вода-водяной пар" позволяет эффективно отбирать выделяющееся в секциях 8 тепло и отводить его посредством средств 10 к холодильнику, обеспечивая при этом поддержание температуры сорбента 4 на уровне температуры окружающей среды и, тем самым, обеспечивая полную заправку резервуара 1 в течение нескольких минут.

Значительное сокращение времени заправки, тем не менее, не снимает вопроса о том, как максимально извлечь адсорбированный сорбентом 4 углеводород. Для наиболее полного извлечения связанного сорбентом 4 углеводорода из резервуара 1 при выпуске углеводорода средства 10 отключаются от холодильника и подключаются к электрическому нагревателю для кондуктивной передачи тепла по теплопроводящим шинам к системе 9, а от нее к сорбенту 4, тем самым предотвращая имеющее место при эндотермическом процессе десорбции углеводорода охлаждение сорбента 4.

При вторичной и последующих заправках резервуара 1 углеводород подается в резервуар 1 через систему впуска 2, а средства 10 подключаются к холодильнику для отвода выделяющейся в сорбенте 4 тепловой энергии при адсорбции углеводорода.

Описанное устройство позволяет эффективно производить нагрев и охлаждение сорбента 4 двухфазным веществом без ввода вещества в пространство резервуара 1 в тех случаях, когда требуется использовать чистый углеводород, хранимый в связанном сорбентом состоянии без смешения углеводорода с другим веществом, например воздухом или водяным паром.

В отличие от устройства, схема которого приведена на фиг. 2, 3, предлагается устройство (фиг. 4), в работе которого также используется одно вещество в жидком или парообразном состоянии, но с запуском этого вещества в пространство резервуара, содержащего углеводород.

Это устройство, как и устройство, схема которого изображена на фиг. 2, включает резервуар 1, систему 2 впуска углеводорода, секции 3, содержащие пористый сорбент 4, манометр 5, запорный вентиль 6 и коллектор 7 для распределения углеводорода по секциям 3. Секции резервуара 1, по которым движется холодная вода или водяной пар, выполнены в виде каналов 14, расположенных между секциями 3. Каналы 14 герметично соединены с системой 9 перемещения вещества по резервуару 1, которая также включает выходной коллектор 15, напорный трубопровод 16, напорный коллектор 17, накопительный бак 18 с датчиком давления 19, систему запорных вентилях 20, 21, 22, 23, манометр 24, трубопровод 25 для возврата в накопительный бак 18 конденсата как из системы 26 выпуска углеводорода, содержащей бак 27 для сбора конденсата и запорный вентиль 28, так и из трубопровода 29, соединенного с выходным коллектором 15. Для ввода вещества в секции 3, содержащие углеводород, напорный коллектор 17 соединен, по крайней мере, с одной из секций 3 приспособлением 30, включающим в себя обратный клапан, пропускающим вещество в секцию 3, но не выпускающим смесь вещества с углеводородом обратно в коллектор 17 и терморегулируемый вентиль для впуска вещества в секции 3 (обратный клапан и терморегулируемый вентиль на чертеже не детализированы). Система 9 перемещения вещества по резервуару 1 со всеми остальными включенными в нее конструктивными элементами устройства выполнена как автономная и присоединена к внешним системам подачи вещества посредством напорного вентиля 31 и сливного вентиля 32.

Устройство, схема которого приведена на фиг. 4, работает следующим образом. При проведении операции очистки сорбента 4 и резервуара 1 первоначально открываются вентили 31 и 21, и вода наполняет бак 18, после чего вентиль 31 закрывается, а вода в баке 18 нагревается до получения насыщенного пара при температуре 623°К и давлении 0,5 МПа. После открытия вентиля 22 перегретый пар поступает по трубопроводу 16 и коллектору 17 в каналы 14, после прохождения которых, частично сконденсировавшись, собирается выходным коллектором 15 и по трубопроводам 29 и 25 возвращается в бак 18, для чего открывается вентиль 20. После прогрева сорбента 4 до температуры 523 К открывается

ВУ 5467 С1

вентиль 23 и вентиль 6 для продувки паром секций 3 резервуара 1. После перекрытия вентиля 23 систему 2 подключают к вакуумированному насосу (на чертежах не показан) - и секции 3 вакуумируются до давления 5×10^{-2} тор. Для дегазации сорбента 4 вакуумирование секций 3 чередуется 3-4 раза с наполнением секций 3 углеводородом. После завершения операции очистки для заправки резервуара 1 углеводородом перекрываются вентили 23 и 28, открываются вентили 31, 21, 22, при этом вода через отключенный от источника нагрева бак 18 принудительно от внешней магистрали (подключенной вентилем 31) подается по трубопроводу 16 в каналы 14. Подаваемая при температуре окружающей среды вода отбирает выделяющееся при адсорбции углеводорода в сорбенте 4 тепло и через трубопроводы 29 и 25 при открытых вентилях 20 и 32 поступает в сливную магистраль. Заправка резервуара 1 завершается перекрытием вентиля 6 в системе впуска 2 и отключением напорной и сливной магистралей перекрытием вентилей 31 и 32. При этом в накопительном баке 18 сохраняется объем воды, необходимый для получения насыщенного водяного пара, используемого в последующих операциях выпуска углеводорода из резервуара 1 для разогрева сорбента 4 углеводородом.

При такой организации охлаждения время полной заправки резервуара 1 также не превышает нескольких минут.

Для выпуска углеводорода из резервуара 1 открывается вентиль 28. При захолаживании сорбента 4, при охлаждении углеводорода в секциях 3 и при падении давления в секциях 3 ниже 0,5 МПа для обеспечения постоянства расхода выпускаемого углеводорода в систему дальнейшего использования, а также для повышения извлекаемости углеводорода из сорбента 4 открываются вентили 22 и 23 из накопительного бака 18, опять подключенного к источнику нагрева, подается насыщенный водяной пар, который через трубопровод 16 подается как в каналы 14, так и в секции 3 резервуара 1. Частично сконденсировавшийся в каналах 14 водяной пар через трубопровод 29 подается в трубопровод 25, а частично сконденсировавшийся в секциях 3 водяной пар вместе с углеводородом через трубопровод 26 подается в конденсатор 27, из которого углеводород поступает в систему дальнейшего потребления, а вода через трубопровод 25 при открытых вентилях 20 и 21 и закрытых вентилях 31 и 32 поступает опять в накопительный бак 18.

При такой организации нагрева сорбента 4 и углеводорода и вытеснения углеводорода из сорбента 4 водяным паром степень извлекаемости может достигать 95-98 % от объема первоначальной заправки.

Устройство, схема которого приведена на фиг. 5, отличается от устройства, схема которого приведена на фиг. 4 тем, что оно используется в последующих технологических линиях, в работе которых применяется чистый углеводород. В этом устройстве через напорный коллектор 17 теплоноситель или хладагент распределяется только по каналам 14 без их ввода в секции 3 пространства резервуара 1, содержащего углеводород.

При такой организации нагрева сорбента 4 и углеводорода степень извлекаемости может достигать 85-90 % от объема первоначальной заправки.

Серия исследований, проведенных при реализации предлагаемых способа и устройств для хранения углеводородов, позволила прийти к заключению, что предложенный способ позволяет:

1) все операции, а именно очистка сорбента и резервуара, в том числе регенерацию сорбента, заправка резервуара, выпуск углеводорода из резервуара, производить в одном месте, в одном цикле, одним рабочим веществом, используемым в качестве теплоносителя и хладагента;

2) существенно снизить время заправки резервуара до нескольких минут;

3) в зависимости от того или иного конструктивного решения повысить степень извлекаемости углеводорода из связанного сорбентом состояния до 95-98 % от объема первоначальной заправки;

4) в зависимости от условий хранения, объемов хранимого углеводорода, от параметров окружающей среды и от режимов выпуска углеводорода из резервуара использовать

BY 5467 C1

различные конструктивные решения с использованием рабочего вещества в однофазном или двухфазном состоянии;

5) обеспечить при высокой степени извлекаемости углеводорода выпуск углеводорода из резервуара без примесей воздуха или водяного пара;

6) автоматически, в зависимости от температурных условий, регулировать расход углеводорода при операции выпуска углеводорода из резервуара с обеспечением постоянства требуемого расхода углеводорода для последующего технологического применения.

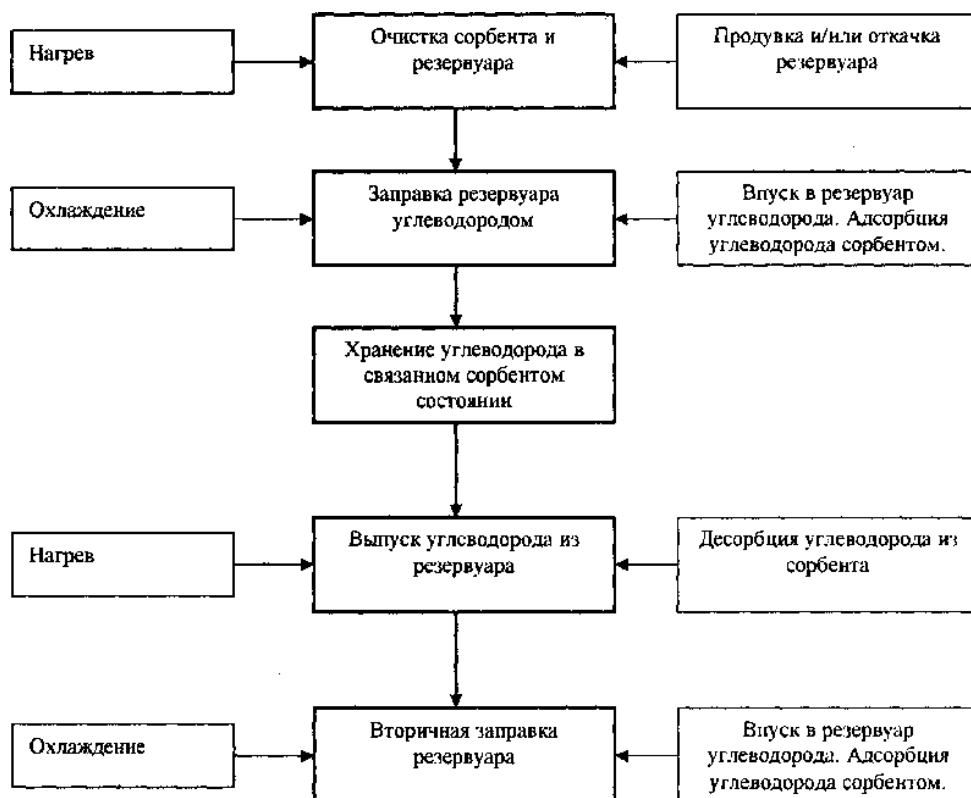
Источники информации:

1. Wakasugi Yuji, Ozawa Senatro, Ogino Yoshisada. Physical adsorption of gases at high pressure./Journal of Collaid and Interface Science, 79 (2). - P. 399-409 (1980).

2. Cook T.L., Komodromos C., Quinn D.F., Ragan S.A Low Pressure Natural Gas Vehicle Storage System. 1996 Windsor Workshop on Alternative Fuels. - P. 159-167.

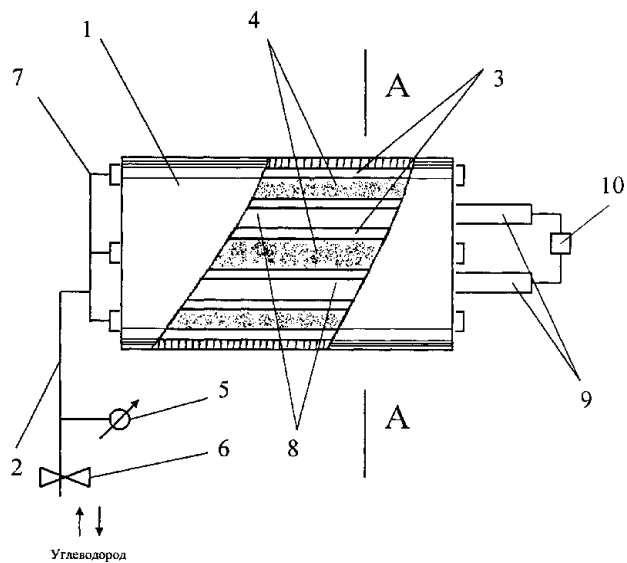
3. US Patent 4523548. Jun. 18, 1985/ Intl. Cl. F 02B 43/00. Gaseous hydrocarbon fuel storage system and power plant for vehicles.

4. US Patent 5323752. Jun. 28, 1994. Intl. Cl. F 02M 21/04. Utilization system for gaseous fuel powered vehicles.

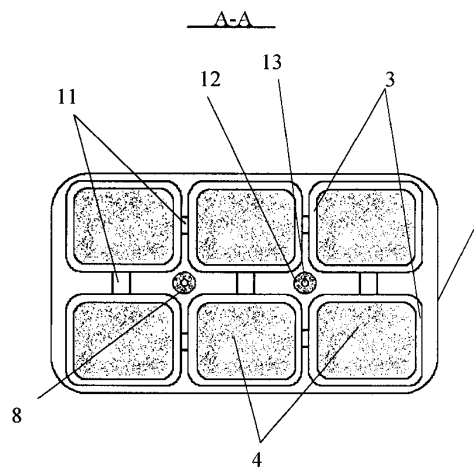


Фиг. 1

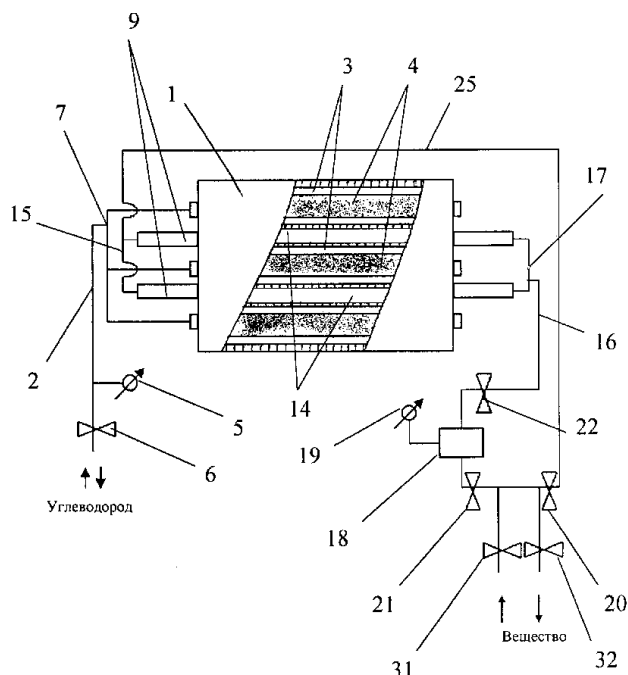
BY 5467 C1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 5