

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(21) 202392832 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2023.12.01

(22) Дата подачи заявки  
2022.04.08

(51) Int. Cl. *B01J 8/24* (2006.01)  
*B01J 8/00* (2006.01)  
*C07C 253/18* (2006.01)  
*C07C 255/08* (2006.01)

(54) ПУЧОК ТРУБ ОТВОДА ТЕПЛОТЫ, СПОСОБ УВЕЛИЧЕНИЯ РЕАКЦИОННОЙ НАГРУЗКИ И СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА НЕНАСЫЩЕННОГО НИТРИЛА

(31) 202110382764.1; 202210111952.5

(32) 2021.04.09; 2022.01.29

(33) CN

(86) PCT/CN2022/085766

(87) WO 2022/214067 2022.10.13

(71) Заявитель:

ЧАЙНА ПЕТРОЛЕУМ ЭНД  
КЕМИКАЛ КОРПОРЕЙШН;  
ШАНХАЙ РЕСЕРЧ ИНСТИТУТ  
ОФ ПЕТРОКЕМИКАЛ  
ТЕКНОЛОДЖИ СИНОПЕК (CN)

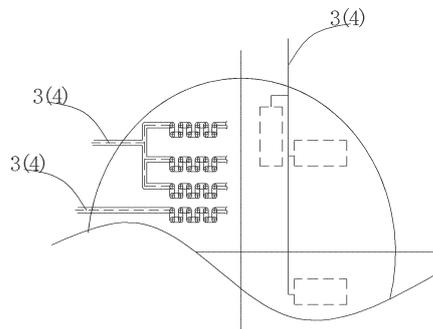
(72) Изобретатель:

Чжао Лэ, Ву Ляньхуа (CN)

(74) Представитель:

Медведев В.Н. (RU)

(57) Изобретение относится к пучку труб отвода теплоты, к способу увеличения реакционной нагрузки при использовании пучка труб отвода теплоты и его применению при производстве ненасыщенного нитрила. Пучок труб отвода теплоты включает по меньшей мере 10 труб отвода теплоты, и у по меньшей мере одной, а самое большее 88% от совокупности из труб отвода теплоты пучка труб отвода теплоты, угол, образованный между продленной линией центральной оси по меньшей мере одной соединительной арматуры и продленной линией центральной оси другой соединительной арматуры, составляет более чем  $0^\circ$  и менее чем  $180^\circ$ . В результате компоновки такого пучка труб отвода теплоты улучшают способность отвода теплоты и эффективность псевдооживления у реактора с псевдооживленным слоем, так что может быть полностью удовлетворена потребность в увеличении реакционной нагрузки.



A1

202392832

202392832

A1

## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

2420-579332EA/032

### **ПУЧОК ТРУБ ОТВОДА ТЕПЛОТЫ, СПОСОБ УВЕЛИЧЕНИЯ РЕАКЦИОННОЙ НАГРУЗКИ И СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА НЕНАСЫЩЕННОГО НИТРИЛА**

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящая заявка относится к пучку труб отвода теплоты, в особенности хорошо подходящему для использования в реакторе с псевдооживленным слоем. Настоящая заявка, кроме того, относится к способу увеличения реакционной нагрузки при использовании пучка труб отвода теплоты и его применению при производстве ненасыщенного нитрила.

#### **Уровень техники**

Акрилонитрил представляет собой важный химический сырьевой материал для нефтехимической промышленности. В различных странах мира широко используют одностадийный способ производства акрилонитрила в результате аммоксидирования пропилена, а именно: под действием катализатора аммоксидирования в псевдооживленном слое и при определенных температуре и давлении реакции пропилен подвергается аммоксидированию с образованием акрилонитрила и в то же самое время с образованием побочных продуктов, таких как ацетонитрил, цианистоводородная кислота и тому подобное, а также образуются и продукты глубокого окисления, подобные CO, CO<sub>2</sub>. Реакция является сильно экзотермической и сопровождается выработкой большого количества теплоты.

Типичная внутренняя оснастка акрилонитрильного реактора с псевдооживленным слоем включает распределитель пропилена-аммиака, воздухораспределительную пластину, трубу отвода теплоты (также известную под названием охлаждающего змеевика) и циклонный сепаратор, где трубу отвода теплоты и опускную трубу циклонного сепаратора располагают в слое катализатора в виде вертикальных элементов в псевдооживленном слое. Труба отвода теплоты может своевременно отводить большое количество выработанной теплоты реакции из реакционной системы и выдерживать температуру реакции в стабильном состоянии, а циклонный сепаратор улавливает катализатор, переносимый газом, движущимся снизу вверх, и возвращает катализатор в слой катализатора через опускную трубу для того, чтобы уменьшить потерю катализатора.

На фигуре 1 продемонстрирован акрилонитрильный реактор с псевдооживленным слоем, у которого внутренняя оснастка в основном включает: распределительную пластину для кислородсодержащего газа, распределитель пропилена-аммиака, трубу отвода теплоты и циклонный сепаратор. В существующем акрилонитрильном реакторе, продемонстрированном на фигуре 1, 85% и более совокупных труб отвода теплоты находятся в рабочем состоянии, то есть, данные трубы отвода теплоты заполняют теплоотводящей средой, холодной по отношению к температуре реакции, и температуру реакции выдерживают стабильной в результате теплообмена с теплоотводящей средой.

Улучшение эксплуатационных характеристик катализатора аммоксидирования

делает возможным функционирование реактора с псевдооживленным слоем при большей (например, на 50% большей) реакционной нагрузке при том же самом размере, а именно: подаваемое количество сырьевых материалов из пропилена, аммиака и кислородсодержащего газа увеличивают на 50%, что приводит к 50%-ному увеличению высвобожденной теплоты реакции. Хотя часть труб отвода теплоты в существующем реакторе с псевдооживленным слоем и находится в нерабочем состоянии, дополнительная теплота реакция не может быть отведена в достаточной степени, что приводит к выходу температуры реакции из-под контроля; или в альтернативном варианте, вследствие отсутствия достаточных труб отвода теплоты для поочередного использования несмотря на возможность выдерживания стабильной температуры реакции на начальной ступени эксплуатации оборудования будет нарастать молибденовая окалина на поверхностях труб отвода теплоты, эффективность теплопроводности будет уменьшаться, и потребуются большее количество труб отвода теплоты в рабочем состоянии, поскольку увеличивается рабочий период оборудования. Наконец, отсутствуют доступные трубы отвода теплоты в нерабочем состоянии для переключения, и стабильный контроль температуры реакции не может быть выдержан, так что требование долговременного стабильного функционирования оборудования не может быть удовлетворено. С другой стороны, поскольку увеличиваются первичные пузырьки, образующиеся при покидании газообразными сырьевыми материалами распределительной пластины/распределителя, и, таким образом, в случае существующего реактора с псевдооживленным слоем также относительно увеличиваются пузырьки по всему слою, выход акрилонитрила и степень превращения пропилена уменьшаются, что неблагоприятно с точки зрения экономичности оборудования. Существующие реакторы с псевдооживленным слоем ограничены производительностью по отводу теплоты и эффективностью псевдооживления и, таким образом, не могут удовлетворять потребности в увеличении реакционной нагрузки.

### **Раскрытие изобретения**

В акрилонитрильном реакторе с псевдооживленным слоем настоящей заявки трубы отвода теплоты компонуют параллельно друг другу с одним и тем же шагом или вертикально друг другу с выдерживанием технологического прохода в пределах шага между прямыми патрубками двух соседних труб отвода теплоты. Обычные трубы отвода теплоты характеризуются тем, что расположенная выше соединительная арматура, расположенная ниже соединительная арматура и прямой патрубок трубы отвода теплоты проецируются на одной и той же прямой линии на поперечном сечении реактора, и расположенная выше соединительная арматура и расположенная ниже соединительная арматура образуют угол 180 градусов; в то время как профилированные трубы отвода теплоты характеризуются тем, что, по меньшей мере, одна расположенная выше соединительная арматура образует определенный угол с расположенной ниже соединительной арматурой, и проекция прямых патрубков, находящихся в сообщении через текучую среду, на поперечное сечение реактора вдоль направления течения основного тела текучей среды представляет собой две близко соседствующие прямые

линии; поскольку профилированные трубы отвода теплоты имеют уплотненное соединение в сопоставлении с обычными трубами отвода теплоты, производительность по отводу теплоты непрерывно улучшается вместе с увеличением количества обычных труб отвода теплоты, замененных на профилированные трубы отвода теплоты, что также более выгодно для разбиения больших пузырьков. Между тем, все еще резервируется достаточное пространство между трубами отвода теплоты для технологического обслуживания и восстановления оборудования. Настоящая заявка была сделана на основании данного открытия и реализована в результате изменения конфигурации и количества труб отвода теплоты в реакторе с псевдооживленным слоем для улучшения производительности по отводу теплоты и эффективности псевдооживления у реактора с псевдооживленным слоем. Обычные трубы отвода теплоты и профилированные трубы отвода теплоты конфигурируют с предварительно определенной пропорцией в соответствии с эксплуатационными характеристиками катализатора аммоксидирования и реакционной нагрузкой, так что может быть реализовано высокоэффективное и долговременное стабильное функционирование оборудования.

Говоря конкретно, настоящая заявка относится к техническим решениям по следующим далее аспектам.

1. Пучок труб отвода теплоты (в частности, пучок водяных труб отвода теплоты), характеризующийся тем, что его конфигурируют для компоновки в секции отвода теплоты реактора с псевдооживленным слоем, при этом упомянутый пучок труб отвода теплоты включает, по меньшей мере, 10 (предпочтительно от 10 до 100, более предпочтительно от 20 до 80) труб отвода теплоты, причем упомянутая труба отвода теплоты включает  $N$  ( $N$  составляет ровно или более, чем 3, предпочтительно  $N$  находится в диапазоне от 3 до 30, более предпочтительно  $N$  находится в диапазоне от 3 до 20) прямых патрубков и  $N-1$  соединительных арматур для последовательного соединения любых двух соседних своих прямых патрубков и обеспечения сообщения между ними через текучую среду,

где длину секции отвода теплоты вдоль центральной оси реактора с псевдооживленным слоем задают как  $H$  (в м), поперечное сечение секции отвода теплоты (обозначаемое как поперечное сечение  $A$ ) получают в результате рассечения вдоль направления, перпендикулярного центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, в позиции в пределах всей области длиной  $H$  секции отвода теплоты (предпочтительно в пределах области, ограниченной позициями на 49%  $H$  выше и на 49%  $H$  ниже центральной точки секции отвода теплоты реакции, более предпочтительно в пределах области, ограниченной позициями на 45%  $H$  выше и на 38%  $H$  ниже центральной точки секции отвода теплоты реакции, более предпочтительно в пределах области, ограниченной позициями на 40%  $H$  выше и на 8%  $H$  ниже центральной точки секции отвода теплоты реакции),

для, по меньшей мере, одной (предпочтительно 1, 2 или 3 или, по меньшей мере, 20%, по меньшей мере, 50% или, по меньшей мере, 65% от совокупности) из труб отвода

теплоты (обозначаемых как профилированные трубы отвода теплоты) пучка труб отвода теплоты и, самое большее, до 88% (предпочтительно 75% или 70%) от совокупности из труб отвода теплоты пучка труб отвода теплоты угол, образованный между продленной линией центральной оси проекции, по меньшей мере, одной (предпочтительно, по меньшей мере, 2, 3 или 4, а, самое большее, 80%, 90% или 100% от совокупности) из соединительных арматур профилированной трубы отвода теплоты (предпочтительно за исключением первой соединительной арматуры профилированной трубы отвода теплоты) на поперечное сечение А и продленной линией центральной оси проекции, по меньшей мере, одной другой соединительной арматуры (предпочтительно другой соединительной арматуры на профилированной трубе отвода теплоты в позиции, расположенной по ходу технологического потока непосредственно выше упомянутой соединительной арматуры и находящейся в сообщении с ней через текучую среду) на поперечное сечение А, составляет более, чем  $0^\circ$  и менее, чем  $180^\circ$  (предпочтительно находится в диапазоне  $30^\circ$ - $150^\circ$ , более предпочтительно  $60^\circ$ - $120^\circ$ , а, кроме того, предпочтительно составляет приблизительно  $90^\circ$ ).

2. Пучок труб отвода теплоты в соответствии с описанием изобретения по любому из предшествующих или последующих аспектов, где площадь поперечного сечения А задают как  $S1$  (в  $m^2$ ), и где сумму длин окружностей внешних контуров поперечных сечений всех прямых патрубков пучка труб отвода теплоты на поперечном сечении А задают как  $L1$  (в м),  $L1/S1$  находится в диапазоне от 1,0 до  $6,0 m^{-1}$  (предпочтительно от 2,4 до  $5,6 m^{-1}$ , более предпочтительно от 2,9 до  $5,3 m^{-1}$ ), и/или площадь  $S1$  находится в диапазоне от 20 до  $700 m^2$  (предпочтительно от 35 до  $350 m^2$ ), и/или  $L1$  находится в диапазоне от 20 до 4200 м, предпочтительно от 87,5 до 1225 м.

3. Пучок труб отвода теплоты в соответствии с описанием изобретения по любому из предшествующих или последующих аспектов, где совокупное количество прямых патрубков в пучке труб отвода теплоты задают как  $Nt$ , количество прямых патрубков на единицу площади поперечного сечения А, то есть,  $Nt/S1$ , находится в диапазоне  $4$ - $16/m^2$  (предпочтительно  $5$ - $14/m^2$ , а более предпочтительно  $7$ - $13/m^2$ ), и/или профиль поперечного сечения А является круглым, эллиптическим или овальным, а предпочтительно круглым или по существу круглым, и/или внутренний профиль и внешний контур поперечного сечения прямого патрубка являются круглыми, эллиптическими или овальными, а предпочтительно круглыми или по существу круглыми.

4. Пучок труб отвода теплоты в соответствии с описанием изобретения по любому из предшествующих или последующих аспектов, характеризующийся тем, что пучок труб отвода теплоты способен рекуперировать насыщенный водяной пар при 1-10 МПа (предпочтительно насыщенный водяной пар при 2-8 МПа, более предпочтительно насыщенный водяной пар при 3-5 МПа) и/или характеризуется производительностью по отводу теплоты в диапазоне 0,5-3,0 тн насыщенного водяного пара на единицу площади поперечного сечения ( $m^2$ ) в час, предпочтительно 1,0-2,8 тн насыщенного водяного пара на единицу площади поперечного сечения ( $m^2$ ) в час, более предпочтительно 1,2-2,4 тн

насыщенного водяного пара на единицу площади поперечного сечения ( $\text{м}^2$ ) в час, при оценке согласно рекуперации насыщенного водяного пара при 4,5 МПа, где упомянутая единица площади поперечного сечения относится к единице площади поперечного сечения А.

5. Пучок труб отвода теплоты в соответствии с описанием изобретения по любому из предшествующих или последующих аспектов, где для трубы (труб) отвода теплоты упомянутого пучка труб отвода теплоты, отличной от упомянутой профилированной трубы отвода теплоты, угол, образованный между продленной линией центральной оси проекции любой соединительной арматуры на упомянутое поперечное сечение А и продленной линией центральной оси проекции другой соединительной арматуры на упомянутой трубе отвода теплоты в позиции, расположенной по ходу технологического потока непосредственно выше или ниже упомянутой соединительной арматуры и находящейся в сообщении с ней через текучую среду, на упомянутое поперечное сечение А составляет  $180^\circ$ , и/или где упомянутая труба отвода теплоты включает впускное отверстие для охлаждающей воды, и впускные отверстия для охлаждающей воды множества (предпочтительно 2-8, 2-6 или 2-4) упомянутых труб отвода теплоты объединяются во впускной коллектор для охлаждающей воды в упомянутой секции отвода теплоты, и/или где упомянутая труба отвода теплоты включает выпускное отверстие для охлаждающей воды, и выпускные отверстия для охлаждающей воды множества (предпочтительно 2-8, 2-6 или 2-4) упомянутых труб отвода теплоты объединяются в выпускной коллектор для охлаждающей воды в секции отвода теплоты.

6. Пучок труб отвода теплоты в соответствии с описанием изобретения по любому из предшествующих или последующих аспектов, характеризующийся тем, что внешние диаметры прямых патрубков находятся в диапазоне, соответственно, 80-180 мм, предпочтительно 90-170 мм, и/или внутренние диаметры прямых патрубков находятся в диапазоне, соответственно, 60-150 мм, предпочтительно 70-140 мм, и/или длины прямых патрубков находятся в диапазоне, соответственно, 4-13 м, предпочтительно 5-12,0 м, и/или шаг между двумя соседними прямыми патрубками на каждой трубе отвода теплоты находится в диапазоне 100-700 мм, предпочтительно 150-300 мм, и/или длина Н секции отвода теплоты находится в диапазоне 4-13 м (предпочтительно 5-12 м).

7. Пучок труб отвода теплоты в соответствии с описанием изобретения по любому из предшествующих или последующих аспектов, характеризующийся тем, что

(1) где полная производительность по обработке пропилена в час у реактора с псевдооживленным слоем находится в диапазоне 140-290 кг пропилена/ $\text{м}^2$  поперечного сечения А за исключением граничной точки 290,  $L1/S1$  находится в диапазоне  $1,0-2,5 \text{ м}^{-1}$  (за исключением граничной точки 2,5), предпочтительно  $1,4-2,2 \text{ м}^{-1}$ , или

(2) где полная производительность по обработке пропилена в час у реактора с псевдооживленным слоем находится в диапазоне 200-370 кг пропилена/ $\text{м}^2$  поперечного сечения А,  $L1/S1$  находится в диапазоне  $1,8-4,6 \text{ м}^{-1}$ , предпочтительно  $2,0-4,1 \text{ м}^{-1}$ , или

(3) где полная производительность по обработке пропилена в час у реактора с

псевдооживленным слоем находится в диапазоне 290-445 кг пропилена/м<sup>2</sup> поперечного сечения А, L1/S1 находится в диапазоне 2,5-6,0 м<sup>-1</sup>, предпочтительно 2,9-5,3 м<sup>-1</sup>.

8. Реактор с псевдооживленным слоем, характеризующийся тем, что он последовательно включает сверху вниз верхнее днище, зону разбавленной фазы, секцию отвода теплоты, секцию предварительной реакции и коническое днище, где в секции отвода теплоты компонуют пучок труб отвода теплоты в соответствии с описанием изобретения по любому из предшествующих или последующих аспектов.

9. Способ производства ненасыщенного нитрила, включающий стадию проведения для олефина (такого как пропилен) реакции аммоксидирования в реакторе с псевдооживленным слоем в соответствии с описанием изобретения по любому из предшествующих или последующих аспектов для получения ненасыщенного нитрила (такого как акрилонитрил).

10. Способ увеличения нагрузки на реактор с псевдооживленным слоем, где полная производительность по обработке пропилена в час у реактора с псевдооживленным слоем находится в диапазоне 140-290 кг пропилена/м<sup>2</sup> поперечного сечения А (за исключением граничной точки 290), и L1/S1 находится в диапазоне 1,0-2,5 м<sup>-1</sup> (за исключением граничной точки 2,5), при этом способ включает увеличение L1/S1 до 2,5-6,0 м<sup>-1</sup>, предпочтительно до 2,9-5,3 м<sup>-1</sup>, при одновременном увеличении полной производительности по обработке пропилена в час у реактора с псевдооживленным слоем до 290-445 кг пропилена/м<sup>2</sup> поперечного сечения А.

11. Способ производства ненасыщенного нитрила, включающий стадию проведения для олефина (такого как пропилен) реакции аммоксидирования в реакторе с псевдооживленным слоем для получения ненасыщенного нитрила (такого как акрилонитрил), где нагрузку на реактор с псевдооживленным слоем увеличивают в соответствии со способом увеличения нагрузки в соответствии с описанием изобретения по любому из предшествующих или последующих аспектов.

12. Способ в соответствии с описанием изобретения по любому из предшествующих или последующих аспектов, где молярное соотношение пропилен/аммиак/воздух (в пересчете на молекулярный кислород) составляет 1:1,1-1,3:1,8-2,0, температура реакции находится в диапазоне 420-440°C, давление реакции (манометрическое давление) находится в диапазоне 0,03-0,14 МПа, среднечасовая скорость подачи катализатора находится в диапазоне 0,06-0,15 ч<sup>-1</sup>.

#### **Краткое описание чертежей**

Фигура 1 представляет собой схематическое изображение вида спереди для существующего реактора с псевдооживленным слоем.

Фигура 2 представляет собой схематическое изображение вида сверху для существующего пучка труб отвода теплоты реакции для псевдооживленного слоя.

Фигура 3 представляет собой схематическое изображение вида сверху для пучка труб отвода теплоты реакции для псевдооживленного слоя, соответствующего настоящей заявке.

Фигуры 4А-4D представляют собой схематические изображения компоновок труб отвода теплоты пучка труб отвода теплоты, соответствующего настоящей заявке.

Фигура 5 представляет собой диаграмму интенсивности пульсации давления.

Фигуры 6 и 7 представляют собой схематические изображения компоновки коллекторов труб отвода теплоты настоящей заявки.

Описание позиционных обозначений:

- 1: стенка реактора с псевдооживленным слоем
- 2: труба отвода теплоты
- 3: впускное отверстие для охлаждающей воды трубы отвода теплоты
- 4: выпускное отверстие для охлаждающей воды трубы отвода теплоты
- 5: расположенная ниже соединительная арматура трубы отвода теплоты
- 6: расположенная выше соединительная арматура трубы отвода теплоты
- 7: распределительная пластина для кислородсодержащего газа
- 8: распределитель пропилена-аммиака
- 9: высокоэффективный циклонный сепаратор

### **Технические эффекты**

При использовании пучка труб отвода теплоты и реактора с псевдооживленным слоем, соответствующих настоящей заявке, может быть улучшена производительность по производству целевого продукта у оборудования, может быть полностью удовлетворено требование по улучшению реакционной нагрузки, и могут быть уменьшены эксплуатационные расходы для оборудования.

В пучке труб отвода теплоты, соответствующем настоящей заявке, может быть реализована уплотненная компоновка, а именно: на единицу площади поперечного сечения реактора может быть скомпоновано больше прямых патрубков, что, тем самым, улучшает возможности по отводу теплоты.

При использовании пучка труб отвода теплоты и реактора с псевдооживленным слоем, соответствующих настоящей заявке, может быть ускорено изменение схемы течения в псевдооживленном слое, и может быть улучшена эффективность массопереноса.

При использовании пучка труб отвода теплоты и реактора с псевдооживленным слоем, соответствующих настоящей заявке, может быть эффективно подавлен рост пузырьков, так что может быть улучшена скорость превращения подаваемого газа, и может быть увеличен выход целевого продукта реакции.

При использовании пучка труб отвода теплоты и реактора с псевдооживленным слоем, соответствующих настоящей заявке, может быть уменьшена степень обратного смешения газовой и твердой фаз, и может быть понижено образование продуктов глубокого окисления.

При использовании пучка труб отвода теплоты и реактора с псевдооживленным слоем, соответствующих настоящей заявке, может быть улучшена эффективность теплопередачи, и может быть продлен рабочий период оборудования.

### **Подробное описание изобретения**

Настоящая заявка будет подробно проиллюстрирована ниже в настоящем документе при обращении к ее вариантам осуществления, но, как это необходимо отметить, на объем настоящей заявки данными вариантами осуществления ограничений не накладывают, но он определяется прилагающейся формулой изобретения.

Все публикации, патентные заявки, патенты и другие литературные источники, процитированные в настоящем документе, посредством ссылки на них включаются в настоящий документ во всей своей полноте. Если только не будет определено другого, то все научные и технические термины, использованные в настоящем документе, имеют то же самое значение, что и понимаемое широкими кругами специалистов в соответствующей области техники. В случае конфликта должно превалировать содержание, описанное в настоящем документе, в том числе определения.

Где в настоящем документе некие материал, способ, компонент, устройство или оборудование описываются как «известные для специалистов в соответствующей области техники», «обычно известные на современном уровне техники» и так далее, как это должно быть понятно, упомянутые материал, способ, компонент, устройство или оборудование охватывают не только тех их представителей, которые обычно используют на современном уровне техники на момент времени подачи настоящей заявки, но также и тех их представителей, которые широко не используют в настоящее время, но которые станут широко известными на современном уровне техники как подходящие для использования в подобных целях.

В контексте настоящей заявки термин «по существу» обозначает возможность наличия отклонения, приемлемого или рассматриваемого в качестве разумного для специалистов в соответствующей области техники, такого как отклонение в пределах  $\pm 10\%$ , в пределах  $\pm 5\%$ , в пределах  $\pm 1\%$ , в пределах  $\pm 0,5\%$  или в пределах  $\pm 0,1\%$ .

В контексте настоящей заявки, если только конкретно не будет утверждаться другого, то все уровни процентного содержания, части, соотношения и тому подобное выражаются при расчете на массу, а все приведенные давления являются манометрическими давлениями.

В контексте настоящей заявки любые два и более варианта осуществления настоящей заявки могут быть объединены произвольным образом, и получающееся в результате техническое решение образует часть начального раскрытия изобретения настоящей заявки и попадает в пределы объема настоящей заявки.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящая заявка относится к пучку труб отвода теплоты, в частности, к пучку водяных труб отвода теплоты. В соответствии с настоящей заявкой «пучок труб отвода теплоты» и «труба отвода теплоты» могут быть использованы для удаления избытка теплоты из реактора, в котором проводят экзотермическую реакцию (или некоторые экзотермические ступени реакции), для выдерживания реакции в пределах определенного диапазона температур. Примеры реактора включают реактор с псевдооживленным слоем, а, говоря более конкретно, реактор с псевдооживленным слоем для производства акрилонитрила.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки пучок труб отвода теплоты включает, по меньшей мере, 10 (предпочтительно от 10 до 100, более предпочтительно от 20 до 80) труб отвода теплоты. В типичном случае трубы отвода теплоты включают впускное отверстие для охлаждающей воды, прямые патрубки и выпускное отверстие для охлаждающей воды и соединительные арматуры для соединения данных патрубков при обеспечении сообщения через текучую среду. Предпочтительно труба отвода теплоты включает  $N$  ( $N$  составляет ровно или более, чем 3, предпочтительно  $N$  находится в диапазоне от 3 до 30, а более предпочтительно  $N$  находится в диапазоне от 3 до 20) прямых патрубков и  $N-1$  соединительных арматур для последовательного соединения любых двух соседних ее прямых патрубков и обеспечения сообщения между ними через текучую среду. Как это продемонстрировано на фигуре 3, каждая труба отвода теплоты 2 включает: впускное отверстие для охлаждающей воды 3, выпускное отверстие для охлаждающей воды 4, по меньшей мере, 3 соседних прямых патрубка и соединительные арматуры для последовательного соединения любых двух соседних ее прямых патрубков и обеспечения сообщения между ними через текучую среду. Как это продемонстрировано на фигуре 4, где соединительная арматура для соединения любых двух прямых патрубков располагается ниже прямых патрубков (что ниже в настоящем документе иногда просто обозначается как «расположенная ниже соединительная арматура 5»), другая соединительная арматура, соседняя с ней, располагается выше прямых патрубков (что ниже в настоящем документе иногда просто обозначается как «расположенная ниже соединительная арматура 6»).

В контексте настоящей заявки прямой патрубок, ближайший к впускному отверстию для охлаждающей воды трубы отвода теплоты, обозначается как первая соединительная арматура. В дополнение к этому, в трубе отвода теплоты каждый прямой патрубок демонстрирует относительное расположение «выше-ниже по ходу технологического потока» вдоль направления течения охлаждающей воды. В настоящей заявке позиция, которая является соседней и располагается выше по ходу технологического потока, обозначается как позиция, расположенная непосредственно выше по ходу технологического потока, а позиция, которая является соседней и располагается ниже по ходу технологического потока, обозначается как позиция, расположенная непосредственно ниже по ходу технологического потока.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки пучок труб отвода теплоты конфигурируют для компоновки в секции отвода теплоты реактора с псевдооживленным слоем. Очевидно, что трубу отвода теплоты также конфигурируют для компоновки в секции отвода теплоты реактора с псевдооживленным слоем. Говоря конкретно, прямые патрубки труб отвода теплоты в основном размещают на участке плотной фазы реактора с псевдооживленным слоем и используют для своевременного отвода теплоты реакции от системы и выдерживания стабильного функционирования системы. По данной причине в контексте настоящего описания изобретения термин «секция отвода теплоты» относится к области реактора с псевдооживленным слоем, в

которой располагают трубы отвода теплоты, говоря более конкретно, к области реактора с псевдооживленным слоем, в которой располагают прямые патрубки труб отвода теплоты, говоря более конкретно, к области в области плотной фазы реактора с псевдооживленным слоем, в которой располагают прямые патрубки труб отвода теплоты.

На предшествующем уровне техники пучки труб отвода теплоты в секции отвода теплоты в типичном случае компонуют по варианту, продемонстрированному на фигуре 2, то есть, трубы отвода теплоты компонуют в виде прямой линии. С другой стороны, как это продемонстрировано на фигуре 1, в секцию отвода теплоты реактора с псевдооживленным слоем также включают другие внутренние компоненты, такие как опускная труба циклона 9. По данной причине в целях дополнительного улучшения условий псевдооживления и требований по высокой производительности у оборудования возможной является недостаточность существующих пучков труб отвода теплоты для обеспечения нормального функционирования оборудования.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки, где длину секции отвода теплоты вдоль центральной оси реактора с псевдооживленным слоем задают как  $H$  (в м), поперечное сечение секции отвода теплоты (обозначаемое как поперечное сечение  $A$ ) получают в результате рассечения вдоль направления, перпендикулярного центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, в позиции в пределах всей области длиной  $H$  секции отвода теплоты. В данном случае термин «поперечное сечение секции отвода теплоты» относится к поперечному сечению внутреннего контура реактора с псевдооживленным слоем в секции отвода теплоты. Что касается данной области, то предпочтительным является ее нахождение в пределах области, ограниченной позициями на 49%  $H$  выше и на 49%  $H$  ниже центральной точки секции отвода теплоты реакции, более предпочтительно в пределах области, ограниченной позициями на 45%  $H$  выше и на 38%  $H$  ниже центральной точки секции отвода теплоты реакции, а еще более предпочтительно в пределах области, ограниченной позициями на 40%  $H$  выше и на 8%  $H$  ниже центральной точки секции отвода теплоты реакции.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки пучок труб отвода теплоты включает профилированную трубу отвода теплоты. В данном случае количество профилированных труб отвода теплоты в пучке труб отвода теплоты составляет, по меньшей мере, 1, предпочтительно 1, 2 или 3 или, по меньшей мере, 20%, по меньшей мере, 50% или, по меньшей мере, 65% от совокупности из труб отвода теплоты пучка труб отвода теплоты. В дополнение к этому, с точки зрения оптимального достижения технических эффектов настоящей заявки количество профилированных труб отвода теплоты доходит до 88%, предпочтительно 75% или 70%, от совокупности из труб отвода теплоты пучка труб отвода теплоты. Теоретически в целях выдерживания согласованности радиальной температуры реакции желательным является равномерное распределение по поперечному сечению реактора прямых патрубков отвода теплоты, находящихся в работе. Однако, собственно говоря, теплота реакции изменяется вместе с

изменением подаваемого количества подаваемого газа, и для прямых патрубков отвода теплоты, зафиксированных в ярусе слое реактора, прямые патрубки отвода теплоты, находящиеся в работе, не могут быть распределены совершенно равномерно, но предпочтительным является по возможности наиболее равномерное распределение данных прямых патрубков отвода теплоты, так чтобы разница радиальной температуры реакции была бы по возможности наименьшей, например, находящейся в пределах  $3^{\circ}\text{C}$ . Теплота, выделяемая в химической реакции, может быть оценена, также заранее могут быть рассчитаны требующиеся прямые патрубки отвода теплоты. Вследствие значительного увеличения производительности по отводу теплоты в области, в которой располагается профилированная труба отвода теплоты, увеличивается расстояние между соседними профилированными трубами отвода теплоты, находящимися в работе, и несмотря на высокую эффективность теплопередачи в псевдооживленном слое существует риск невозможности своевременного отвода теплоты реакции с участка между двумя профилированными трубами отвода теплоты. В случае наличия всех (100%) труб отвода теплоты в пучке труб отвода теплоты в виде профилированных труб отвода теплоты не может быть эффективно достигнут желательный технический эффект настоящей заявки.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки термин «профилированная труба отвода теплоты» относится к трубе отвода теплоты, у которой угол (то есть, угол А), образованный между продленной линией центральной оси проекции, по меньшей мере, одной соединительной арматуры (обозначаемой как специальная соединительная арматура) на поперечное сечение А и продленной линией центральной оси проекции, по меньшей мере, одной другой соединительной арматуры на поперечное сечение А составляет более, чем  $0^{\circ}$  и менее, чем  $180^{\circ}$ . Угол А предпочтительно находится в диапазоне  $30^{\circ}$ - $150^{\circ}$ , более предпочтительно  $60^{\circ}$ - $120^{\circ}$ . С точки зрения реализации оптимального технического эффекта настоящей заявки угол А наиболее предпочтительно составляет приблизительно  $90^{\circ}$ , так что может быть реализована плотная компоновка прямых патрубков отвода теплоты. В дополнение к этому, количество специальных соединительных арматур в профилированной трубе отвода теплоты предпочтительно составляет, по меньшей мере, 2, 3 или 4 и составляет, самое большее, 80%, 90% или 100% от совокупности из соединительных арматур в профилированной трубе отвода теплоты. С точки зрения реализации оптимального технического эффекта количество специальных соединительных арматур предпочтительно составляет 100% от совокупности из соединительных арматур в профилированных трубах отвода теплоты, так чтобы трубы отвода теплоты были бы скомпонованы параллельно друг другу с одним и тем же шагом при одновременном выдерживании достаточных технологических проходов в оборудовании.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки, что касается упомянутой, по меньшей мере, одной другой соединительной арматуры, то ей является предпочтительная другая соединительная арматура на профилированной трубе отвода теплоты в позиции, расположенной по ходу технологического потока непосредственно

выше упомянутой соединительной арматуры и находящейся в сообщении с ней через текучую среду. В дополнение к этому, первую соединительную арматуру профилированной трубы отвода теплоты в нормальном случае исключают с учетом ситуации отсутствия какой-либо позиции, расположенной непосредственно по ходу технологического потока выше первой соединительной арматуры. Тем не менее, угол (то есть, угол  $A1$ ), образованный между продленной линией центральной оси проекции первой соединительной арматуры на поперечное сечение  $A$  и продленной линией центральной оси проекции впускного отверстия для охлаждающей воды на поперечное сечение  $A$ , может иметь любое значение, например, находящееся в диапазоне  $30^\circ$ - $180^\circ$ ,  $60^\circ$ - $180^\circ$ , составляющее  $90^\circ$  или  $180^\circ$ . По той же самой причине, что и в представленном выше описании изобретения, угол  $A1$  также предпочтительно составляет  $90^\circ$ .

Говоря конкретно, в проекции на поперечное сечение прямые патрубки и соединительные арматуры одной и той же трубы отвода теплоты 2 могут быть скомпонованы по варианту, продемонстрированному, например, на фигурах от 4A до 4D.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки прямые патрубки трубы отвода теплоты 2 в пучке труб отвода теплоты имеют по существу круглый внешний контур поперечного сечения при длине окружности внешнего контура  $3,14 \times D$ . В данном случае  $D$  представляет собой диаметр внешнего контура прямого патрубка. Поэтому у поперечного сечения секции отвода теплоты, продемонстрированного на фигуре 3, сумма  $L1$  длины окружности внешнего контура поперечных сечений всех прямых патрубков пучка труб отвода теплоты является суммой длин окружностей внешних контуров всех прямых патрубков у поперечного сечения секции отвода теплоты.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки, где площадь поперечного сечения  $A$  задают как  $S1$  (в  $m^2$ ), а сумму длин окружностей внешних контуров поперечных сечений всех прямых патрубков пучка труб отвода теплоты на поперечном сечении  $A$  задают как  $L1$  (в м),  $L1/S1$  находится в диапазоне от 1,0 до  $6,0 m^{-1}$  (предпочтительно от 2,4 до  $5,6 m^{-1}$ , более предпочтительно от 2,9 до  $5,3 m^{-1}$ ). В данном случае  $L1/S1$  представляет собой плотность распределения всех труб отвода теплоты (или прямых патрубков) на поперечном сечении  $A$ , у которой имеется оптимальный диапазон для достижения технического эффекта настоящей заявки. В случае плотности распределения  $L1/S1$ , составляющей менее, чем 1,0, рабочая реакционная нагрузка на оборудование является низкой, так что производственная себестоимость является высокой, и экономичность для предприятий является неудовлетворительной, а в случае плотности распределения  $L1/S1$ , составляющей более, чем 6,0, оборудование может функционировать при высокой реакционной нагрузке, так что может быть удовлетворено требование по отводу большей теплоты реакции, может быть увеличено количество профилированных труб отвода теплоты, и в процессе функционирования может быть нанесен ущерб стабильности температуры реакции, и может быть сжато пространство для технического обслуживания.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящая заявка относится к пучку труб отвода теплоты, характеризующемуся тем, что пучок труб отвода теплоты компонуют в секции отвода теплоты реактора с псевдооживленным слоем, пучок труб отвода теплоты включает, по меньшей мере, одну (предпочтительно от 10 до 100, а более предпочтительно от 20 до 80) из труб отвода теплоты, трубы отвода теплоты включают  $N$  ( $N$  составляет более, чем или ровно 3, предпочтительно  $N$  находится в диапазоне от 3 до 30, а более предпочтительно  $N$  находится в диапазоне от 3 до 20) прямых патрубков и  $N-1$  соединительных арматур для последовательного соединения любых двух своих соседних прямых патрубков и обеспечения сообщения между ними через текучую среду, где длину секции отвода теплоты вдоль центральной оси реактора с псевдооживленным слоем задают как  $H$  (в м), а площадь поперечного сечения секции отвода теплоты, полученного в результате рассечения вдоль направления, перпендикулярного центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, в позиции в пределах всей области длиной  $H$  секции отвода теплоты (предпочтительно в пределах области, ограниченной позициями на 49%  $H$  выше и на 49%  $H$  ниже центральной точки секции отвода теплоты реакции, более предпочтительно в пределах области, ограниченной позициями на 45%  $H$  выше и на 38%  $H$  ниже центральной точки секции отвода теплоты реакции, более предпочтительно в пределах области, ограниченной позициями на 40%  $H$  выше и на 8%  $H$  ниже центральной точки секции отвода теплоты реакции), задают как  $S1$  (в  $m^2$ ),  $\gamma$  трубы отвода теплоты угол, образованный между продленной линией центральной оси проекции, по меньшей мере, одной соединительной арматуры на поперечное сечение  $A$  и продленной линией центральной оси проекции, по меньшей мере, одной другой соединительной арматуры на поперечное сечение  $A$ , составляет более, чем  $0^\circ$  и менее, чем  $180^\circ$  (предпочтительно находится в диапазоне  $30^\circ$ - $150^\circ$ , более предпочтительно  $60^\circ$ - $120^\circ$ , более предпочтительно составляет  $90^\circ$ ), и в поперечном сечении сумма длин окружностей внешних контуров поперечных сечений всех прямых патрубков пучка труб отвода теплоты задают как  $L1$  (в м), тогда  $L1/S1$  находится в диапазоне  $1,0$ - $6,0 m^{-1}$  (предпочтительно  $2,0$ - $4,0 m^{-1}$ , более предпочтительно  $2,5$ - $3,5 m^{-1}$ ).

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки упомянутая площадь  $S1$  находится в диапазоне от 20 до  $700 m^2$  (предпочтительно между 35 и  $350 m^2$ ).

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки  $L1$  находится в диапазоне от 20 до 4200 м, предпочтительно от 87,5 до 1225 м.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки, где совокупное количество прямых патрубков в пучке труб отвода теплоты задают как  $Nt$ , количество прямых патрубков на единицу площади поперечного сечения  $A$ , то есть,  $Nt/S1$ , находится в диапазоне  $4$ - $16/m^2$  (предпочтительно  $5$ - $14/m^2$ , а более предпочтительно  $7$ - $13/m^2$ ). В данном случае  $Nt/S1$  также представляет собой плотность распределения труб отвода теплоты (или прямых патрубков) на поперечном сечении  $A$ , у которой имеется оптимальный диапазон для достижения технического эффекта настоящей заявки. В случае плотности распределения  $Nt/S1$ , составляющей менее, чем 4, это невыгодно для разбиения

пузырьков в псевдооживленном слое, так что вместе газом из реактора уносится больше подаваемого газа, не принимая участия в реакции, и это оказывает влияние на результат реакции; а в случае плотности распределения  $Nt/S1$ , составляющей более, чем 16, может быть реализовано функционирование реакции при высокой нагрузке, но существует риск нестабильной температуры реакции во время процесса функционирования и сжатия пространства для технического обслуживания вследствие увеличения профилированных труб отвода теплоты.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки профиль поперечного сечения  $A$  является круглым, эллиптическим или овальным, предпочтительно круглым или по существу круглым.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки внутренний и внешний контуры поперечного сечения прямого патрубка являются круглыми, эллиптическими или овальными, предпочтительно круглыми или по существу круглыми.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки пучок труб отвода теплоты способен рекуперировать насыщенный водяной пар в диапазоне от 1 до 10 МПа, предпочтительно насыщенный водяной пар в диапазоне от 2 до 8 МПа, более предпочтительно насыщенный водяной пар в диапазоне от 3 до 5 МПа. В частности, производительность по отводу теплоты у пучка труб отвода теплоты при оценке согласно рекуперации насыщенного водяного пара при 4,5 МПа находится в диапазоне от 0,5 до 3,0 тн насыщенного водяного пара на единицу площади поперечного сечения ( $m^2$ ) в час, предпочтительно от 1,0 до 2,8 тн насыщенного водяного пара на единицу площади поперечного сечения ( $m^2$ ) в час, более предпочтительно от 1,2 до 2,4 тн насыщенного водяного пара на единицу площади поперечного сечения ( $m^2$ ) в час, где единица площади поперечного сечения относится к единице площади поперечного сечения  $A$ . В сопоставлении с предшествующим уровнем техники пучок труб отвода теплоты может рекуперировать больше насыщенного водяного пара, демонстрируя, тем самым, более высокую производительность по отводу теплоты и удовлетворяя требование по высокой реакционной нагрузке.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки пучок труб отвода теплоты, кроме того, включает обычную трубу отвода теплоты, и обычные трубы отвода теплоты и профилированные трубы отвода теплоты совместно образуют пучок труб отвода теплоты. В данном случае у обычной трубы отвода теплоты угол, образованный между продленной линией центральной лоси проекции любой одной из соединительных арматур на поперечное сечение  $A$  и продленной линией центральной оси проекции другой соединительной арматуры на трубе отвода теплоты в позиции, расположенной по ходу технологического потока непосредственно выше или ниже соединительной арматуры и находящейся в сообщении с ней через текучую среду, на поперечное сечение  $A$ , составляет  $180^\circ$ . Говоря вкратце, что касается обычной трубы отвода теплоты, то все прямые патрубки располагают в одной и той же плоскости.

В контексте настоящей заявки труба отвода теплоты охватывает как

профилированную трубу отвода теплоты, так и обычную трубу отвода теплоты, если только однозначно не будет указываться на другое.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки множество (предпочтительно 2-8, 2-6 или 2-4) впускных отверстий для охлаждающей воды труб отвода теплоты объединяются во впускной коллектор для охлаждающей воды в секции отвода теплоты. Говоря другими словами, множество труб отвода теплоты сообща разделяют одно впускное отверстие для охлаждающей воды. В соответствии с настоящей заявкой впускной коллектор для охлаждающей воды находится в сообщении через текучую среду с внешним источником подачи охлаждающей воды через стенку реактора с псевдооживленным слоем, в результате чего охлаждающую воду подают в каждую трубу отвода теплоты через впускной коллектор для охлаждающей воды. В данном случае труба отвода теплоты (обозначаемая как ответвляющий патрубок отвода теплоты) может быть обычной трубой отвода теплоты, профилированной трубой отвода теплоты или любой их комбинацией, и на нее особенных ограничений не накладывают.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки множество (предпочтительно 2-8, 2-6 или 2-4) выпускных отверстий для охлаждающей воды труб отвода теплоты объединяются в выпускной коллектор для охлаждающей воды в секции отвода теплоты. Говоря другими словами, множество труб отвода теплоты сообща разделяют одно выпускное отверстие для охлаждающей воды. В соответствии с настоящей заявкой выпускной коллектор для охлаждающей воды находится в сообщении через текучую среду с внешним устройством приема охлаждающей воды через стенку реактора с псевдооживленным слоем, в результате чего охлаждающую воду (в типичном случае, кроме того, содержащую водяной пар) после отвода теплоты доставляют из труб отвода теплоты во внешнюю среду через выпускной коллектор для охлаждающей воды. В данном случае труба отвода теплоты (обозначаемая как ответвляющий патрубок отвода теплоты) может быть обычной трубой отвода теплоты, профилированной трубой отвода теплоты или любой их комбинацией, и на нее особенных ограничений не накладывают.

Фигуры 6 и 7 представляют собой схематические изображения компоновки коллекторов труб отвода теплоты настоящей заявки. Как это можно видеть исходя из фигур, впускные/выпускные отверстия для охлаждающей воды множества труб отвода теплоты объединяются в один коллектор.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки соотношение между площадью поперечного сечения коллектора (такого как впускной коллектор для охлаждающей воды или выпускной коллектор для охлаждающей воды) и суммой площадей поперечных сечений множества ответвляющих патрубков отвода теплоты (в общем случае при расчете на впускные отверстия для охлаждающей воды или выпускные отверстия для охлаждающей воды множества ответвляющих патрубков отвода теплоты), соответствующих ему, находится в диапазоне от 0,5 до 1, предпочтительно от 0,55 до 0,95, а более предпочтительно от 0,6 до 0,9. Доля ответвляющих патрубков отвода теплоты в совокупности из труб отвода теплоты в типичном случае составляет 66% и менее,

предпочтительно 50% и менее, а более предпочтительно 33% и менее.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки внешние диаметры прямых патрубков в каждом случае независимо находятся в диапазоне 80-180 мм, предпочтительно 90-170 мм.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки внутренние диаметры прямых патрубков в каждом случае независимо находятся в диапазоне 60-150 мм, предпочтительно 70-140 мм.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки длины прямых патрубков в каждом случае независимо находятся в диапазоне от 4 до 13 м, предпочтительно от 5 до 12,0 м.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки расстояние между двумя соседними прямыми патрубками на каждой трубе отвода теплоты находится в диапазоне 100-700 мм, предпочтительно 150-300 мм.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки длина Н секции отвода теплоты находится в диапазоне 4-13 м (предпочтительно 5-12 м).

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки, где полная производительность по обработке пропилена в час у реактора с псевдооживленным слоем находится в диапазоне 140-290 кг пропилена/м<sup>2</sup> поперечного сечения А (за исключением граничной точки 290), L1/S1 находится в диапазоне 1,0-2,5 м<sup>-1</sup> (за исключением граничной точки 2,5), предпочтительно 1,4-2,2 м<sup>-1</sup>. Это представляет собой рабочее состояние реактора с псевдооживленным слоем при нижней рабочей нагрузке.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки, где полная производительность по обработке пропилена в час у реактора с псевдооживленным слоем находится в диапазоне 200-370 кг пропилена/м<sup>2</sup> поперечного сечения А, L1/S1 находится в диапазоне 1,8-4,6 м<sup>-1</sup>, предпочтительно 2,0-4,1 м<sup>-1</sup>. Это представляет собой рабочее состояние реактора с псевдооживленным слоем при средней рабочей нагрузке.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки, где полная производительность по обработке пропилена в час у реактора с псевдооживленным слоем находится в диапазоне 290-445 кг пропилена/м<sup>2</sup> поперечного сечения А, L1/S1 находится в диапазоне 2,5-6,0 м<sup>-1</sup>, предпочтительно 2,9-5,3 м<sup>-1</sup>. Это представляет собой рабочее состояние реактора с псевдооживленным слоем при верхней рабочей нагрузке и является наиболее предпочтительным рабочим состоянием настоящей заявки.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящая заявка также относится к реактору с псевдооживленным слоем. Реактор последовательно включает сверху вниз верхнее днище, зону разбавленной фазы, секцию отвода теплоты, секцию предварительной реакции и коническое днище, где в секции отвода теплоты komponуют пучок труб отвода теплоты в соответствии с описанием изобретения по любому одному из предшествующих вариантов осуществления в настоящей заявке.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящая заявка также относится к способу производства ненасыщенного нитрила, в частности, к способу

производства акрилонитрила. Способ включает стадию проведения для олефина (такого как пропилен) реакции аммоксидирования в реакторе с псевдооживленным слоем в соответствии с описанием изобретения по любому одному из предшествующих вариантов осуществления для получения ненасыщенного нитрила (такого как акрилонитрил).

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящая заявка также относится к способу увеличения реакционной нагрузки на реактор с псевдооживленным слоем. В данном случае в том, что касается начальной реакционной нагрузки на реактор с транспортированием в псевдооживленном слое, то полная производительность по обработке пропилена в час у реактора с транспортированием в псевдооживленном слое находится в диапазоне 140-290 кг пропилена/м<sup>2</sup> поперечного сечения А (за исключением граничной точки 290), и начальное значение L1/S1 у реактора с псевдооживленным слоем находится в диапазоне 1,0-2,5 м<sup>-1</sup> (за исключением граничной точки 2,5). В целях достижения увеличенной реакционной нагрузки способ включает увеличение полной производительности по обработке пропилена у реактора с псевдооживленным слоем от начальной реакционной нагрузки до 290-445 кг пропилена/м<sup>2</sup> поперечного сечения А в час, и в целях обеспечения данной увеличенной реакционной нагрузки для гарантированной возможности беспрепятственного проведения реакции необходимо увеличить L1/S1 от начального значения до 2,5-6,0 м<sup>-1</sup>, предпочтительно до 2,9-5,3 м<sup>-1</sup>.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящая заявка также относится к способу производства ненасыщенного нитрила, включающему стадию проведения для олефина (такого как пропилен) реакции аммоксидирования в реакторе с псевдооживленным слоем для получения ненасыщенного нитрила (такого как акрилонитрил), где нагрузку на реактор с псевдооживленным слоем увеличивают в соответствии со способом увеличения нагрузки в соответствии с описанием изобретения по любому из предшествующих вариантов осуществления, описанных в настоящем описании изобретения.

В соответствии с одним вариантом осуществления настоящей заявки реакция аммоксидирования может быть проведена любым образом и по любому способу, обычно известному на современном уровне техники, и такая информация известна для специалистов в соответствующей области техники и не будет описываться подробно в настоящем документе. Тем не менее, что касается условий реакции аммоксидирования, то их конкретные примеры включают те варианты, в которых молярное соотношение пропилен/аммиак/воздух (в пересчете на молекулярный кислород) составляет 1:1,1-1,3:1,8-2,0, температура реакции находится в диапазоне 420-440°C, давление реакции (манометрическое давление) находится в диапазоне 0,03-0,14 МПа, среднечасовая скорость подачи катализатора находится в диапазоне 0,06-0,15 ч<sup>-1</sup>.

### **Примеры**

Настоящая заявка будет, кроме того, подробно проиллюстрирована при обращении к следующим далее примерам и сравнительным примерам, но на настоящую заявку данными примерами ограничений не накладывают.

В следующих далее примерах и сравнительных примерах выход акрилонитрила и степень превращения пропилена могут быть рассчитаны в соответствии со следующими далее уравнениями:

$$\text{Выход акрилонитрила: } AN\% = C_{AN} / \Sigma C * 100$$

$$\text{Степень превращения пропилена} = C_{C_3}\% = (1 - C_{C_{3out}} / C_{C_{3in}}) * 100$$

где:

$C_{AN}$ : молярное количество (моль) углерода, содержащегося в AN в газе на выпускном отверстии реактора

$\Sigma C$ : совокупное молярное количество (моль) углерода в газе на выпускном отверстии реактора

$C_{C_{3out}}$ : молярное количество (моль) углерода, содержащегося в  $C_3$  в газе на выпускном отверстии реактора

$C_{C_{3in}}$ : молярное количество (моль) углерода, содержащегося в  $C_3$  в газе на впускном отверстии реактора

Как это известно на современном уровне техники, качество псевдооживления может быть оценено как хорошее, если интенсивность пульсации давления в псевдооживленном слое демонстрирует «высокочастотную низкоамплитудную» характеристику, как это продемонстрировано на фигуре 5. Во всех следующих далее примерах интенсивность пульсации давления в псевдооживленном слое подобна той, что и на фигуре 5.

В следующих далее примерах и сравнительных примерах трубы отвода теплоты, которые не komponуют специально, являются обычными трубами отвода теплоты.

#### Пример 1

Реактор с псевдооживленным слоем имел диаметр 9 метров, его заполняли 180-ью тоннами акрилонитрильных катализаторов SANC series от компании Sinopec Shanghai Research Institute of Petrochemical Technology Co., Ltd., в реакторе компоновали 480 прямых патрубков с одной и той же высотой, которые разделяли на 44 трубы отвода теплоты, 12 труб отвода теплоты компоновали по варианту, который продемонстрирован на фигуре 4А, количество прямых патрубков на единицу площади поперечного сечения секции отвода теплоты в ее центральной точке составляло  $7,6/\text{м}^2$ , внешний диаметр труб отвода теплоты составлял 89 мм, а значение  $L1/S1$  составляло 2,1/м.

Расход при подаче пропилена составлял  $7700 \text{ н.м}^3/\text{ч}$ , полная производительность по обработке пропилена на данное время составляла  $227 \text{ кг пропилена}/\text{ч}/\text{м}^2$  поперечного сечения А, температура реакции составляла  $430^\circ\text{C}$ , давление реакции составляло 0,04 МПа, соотношение пропилен:аммиак:воздух составляло 1:1,2:9,6, реакция могла стабильно функционировать на протяжении длительного времени (такого как 10000 ч), и количество теплоты, отводимое в час, составляло 1,24 тн насыщенного водяного пара при  $4,5 \text{ МПа}/\text{м}^2$ .

#### Пример 2

Реактор с псевдооживленным слоем имел диаметр 9 метров, его заполняли 180-ью

тоннами акрилонитрильных катализаторов SANC series от компании Sinopec Shanghai Research Institute of Petrochemical Technology Co., Ltd., в реакторе компоновали 572 прямых патрубка с одной и той же высотой, которые разделяли на 56 труб отвода теплоты, 36 труб отвода теплоты компоновали по варианту, который продемонстрирован на фигуре 4А, количество прямых патрубков на единицу площади поперечного сечения секции отвода теплоты в ее центральной точке составляло  $9,0/\text{м}^2$ , каждую группу образовали в результате последовательного соединения 6, 10 и 12 прямых патрубков трубы отвода теплоты при использовании соединительных арматур прямых патрубков, внешний диаметр каждой трубы отвода теплоты составлял 140 мм, а значение L1/S1 составляло 4,0.

Расход при подаче пропилена составлял  $11800 \text{ н.м}^3/\text{ч}$ , полная производительность по обработке пропилена на данное время составляла  $349 \text{ кг пропилена}/\text{ч}/\text{м}^2$  поперечного сечения А, температура реакции составляла  $430^\circ\text{C}$ , давление реакции составляло 0,04 МПа, а соотношение пропилен:аммиак:воздух составляло 1:1,2:9,6, реакция могла стабильно функционировать на протяжении длительного времени (такого как 10000 ч), и количество теплоты, отводимое в час, составляло 1,98 тн водяного пара при  $4,5 \text{ МПа}/\text{м}^2$ .

#### Пример 3

Реактор с псевдооживленным слоем имел диаметр 9 метров, его заполняли 180-ью тоннами акрилонитрильных катализаторов SANC series от компании Sinopec Shanghai Research Institute of Petrochemical Technology Co., Ltd., в реакторе компоновали 732 прямых патрубка с одной и той же высотой, которые разделяли на 70 труб отвода теплоты, 42 трубы отвода теплоты компоновали по варианту, который продемонстрирован на фигуре 4А, количество прямых патрубков на единицу площади поперечного сечения секции отвода теплоты в ее центральной точке составляло  $11,5/\text{м}^2$ , каждую группу образовали в результате последовательного соединения 6, 10 и 12 прямых патрубков трубы отвода теплоты при использовании соединительных арматур прямых патрубков, внешний диаметр каждой трубы отвода теплоты составлял 114 мм, а значение L1/S1 составляло 4,1.

Расход при подаче пропилена составлял  $11800 \text{ н.м}^3/\text{ч}$ , полная производительность по обработке пропилена на данное время составляла  $349 \text{ кг пропилена}/\text{ч}/\text{м}^2$  поперечного сечения А, температура реакции составляла  $430^\circ\text{C}$ , давление реакции составляло 0,04 МПа, а соотношение пропилен:аммиак:воздух составляло 1:1,2:9,6, реакция могла стабильно функционировать на протяжении длительного времени (такого как 10000 ч), и количество теплоты, отводимое в час, составляло  $2,01 \text{ тн водяного пара}$  при  $4,5 \text{ МПа}/\text{м}^2$ .

#### Пример 4

Реактор с псевдооживленным слоем имел диаметр 9 метров, его заполняли 180-ью тоннами акрилонитрильных катализаторов SANC series от компании Sinopec Shanghai Research Institute of Petrochemical Technology Co., Ltd., в реакторе компоновали 584 прямых патрубка с одной и той же высотой, которые разделяли на 58 труб отвода теплоты, 36 труб отвода теплоты компоновали по варианту, который продемонстрирован

на фигуре 4В, количество прямых патрубков на единицу площади поперечного сечения секции отвода теплоты в ее центральной точке составляло  $9,18/\text{м}^2$ , каждую группу образовали в результате последовательного соединения 6, 10 и 12 прямых патрубков трубы отвода теплоты при использовании соединительных арматур прямых патрубков, внешний диаметр каждой трубы отвода теплоты составлял 114 мм, а значение  $L1/S1$  составляло 3,3.

Расход при подаче пропилена составлял  $11800 \text{ н.м}^3/\text{ч}$ , полная производительность по обработке пропилена на данное время составляла  $349 \text{ кг пропилена}/\text{ч}/\text{м}^2$  поперечного сечения А, температура реакции составляла  $430^\circ\text{C}$ , давление реакции составляло 0,04 МПа, а соотношение пропилен:аммиак:воздух составляло 1:1,2:9,6, реакция могла стабильно функционировать на протяжении длительного времени (такого как 10000 ч), и количество теплоты, отводимое в час, составляло 1,98 тн водяного пара при 4,5 МПа/м<sup>2</sup>.

#### Пример 5

Реактор с псевдооживленным слоем имел диаметр 9 метров, его заполняли 180-ью тоннами акрилонитрильных катализаторов SANC series от компании Sinopec Shanghai Research Institute of Petrochemical Technology Co., Ltd., в реакторе компоновали 732 прямых патрубка с одной и той же высотой, которые разделяли на 72 трубы отвода теплоты, 52 трубы отвода теплоты компоновали по варианту, который продемонстрирован на фигуре 4А, количество прямых патрубков на единицу площади поперечного сечения секции отвода теплоты в ее центральной точке составляло  $11,5/\text{м}^2$ , каждую группу образовали в результате последовательного соединения 6, 10 и 12 прямых патрубков трубы отвода теплоты при использовании соединительных арматур прямых патрубков, внешний диаметр каждой трубы отвода теплоты составлял 140 мм, а значение  $L1/S1$  составляло 5,1.

Расход при подаче пропилена составлял  $14400 \text{ н.м}^3/\text{ч}$ , полная производительность по обработке пропилена на данное время составляла  $425 \text{ кг пропилена}/\text{ч}/\text{м}^2$  поперечного сечения А, температура реакции составляла  $430^\circ\text{C}$ , давление реакции составляло 0,04 МПа, а соотношение пропилен:аммиак:воздух составляло 1:1,2:9,6, реакция могла стабильно функционировать на протяжении длительного времени (такого как 10000 ч), и количество теплоты, отводимое в час, составляло 2,40 тн водяного пара при 4,5 МПа/м<sup>2</sup>.

#### Пример 6

Реактор с псевдооживленным слоем имел диаметр 9 метров, его заполняли 180-ью тоннами акрилонитрильных катализаторов SANC series от компании Sinopec Shanghai Research Institute of Petrochemical Technology Co., Ltd., в реакторе компоновали 584 прямых патрубка с одной и той же высотой, которые разделяли на 56 труб отвода теплоты, 32 трубы отвода теплоты компоновали по варианту, который продемонстрирован на фигуре 4С, количество прямых патрубков на единицу площади поперечного сечения секции отвода теплоты в ее центральной точке составляло  $9,18/\text{м}^2$ , каждую группу образовали в результате последовательного соединения 6, 10 и 12 прямых патрубков трубы отвода теплоты при использовании соединительных арматур прямых патрубков,

внешний диаметр каждой трубы отвода теплоты составлял 140 мм, а значение  $L1/S1$  составляло 4,04/м.

Расход при подаче пропилена составлял 11800 н.м<sup>3</sup>/ч, полная производительность по обработке пропилена на данное время составляла 349 кг пропилена/ч/м<sup>2</sup> поперечного сечения А, температура реакции составляла 430°С, давление реакции составляло 0,04 МПа, а соотношение пропилен:аммиак:воздух составляло 1:1,2:9,6, реакция могла стабильно функционировать на протяжении длительного времени (такого как 10000 ч), и количество теплоты, отводимое в час, составляло 1,93 тн водяного пара при 4,5 МПа/м<sup>2</sup>.

#### Пример 7

Реактор с псевдооживленным слоем имел диаметр 9 метров, его заполняли 180-ью тоннами акрилонитрильных катализаторов SANC series от компании Sinopec Shanghai Research Institute of Petrochemical Technology Co., Ltd., в реакторе компоновали 584 прямых патрубка с одной и той же высотой, которые разделяли на 56 труб отвода теплоты, 36 труб отвода теплоты компоновали по варианту, который продемонстрирован на фигуре 4D, количество прямых патрубков на единицу площади поперечного сечения секции отвода теплоты в ее центральной точке составляло 9,18/м<sup>2</sup>, каждую группу образовали в результате последовательного соединения 6, 10 и 12 прямых патрубков трубы отвода теплоты при использовании соединительных арматур прямых патрубков, внешний диаметр каждой трубы отвода теплоты составлял 140 мм, а значение  $L1/S1$  составляло 4,04/м.

Расход при подаче пропилена составлял 11800 н.м<sup>3</sup>/ч, полная производительность по обработке пропилена на данное время составляла 349 кг пропилена/ч/м<sup>2</sup> поперечного сечения А, температура реакции составляла 430°С, давление реакции составляло 0,04 МПа, а соотношение пропилен:аммиак:воздух составляло 1:1,2:9,6, реакция могла стабильно функционировать на протяжении длительного времени (такого как 10000 ч), и количество теплоты, отводимое в час, составляло 1,94 тн водяного пара при 4,5 МПа/м<sup>2</sup>.

#### Пример 8

Реактор с псевдооживленным слоем имел диаметр 9 метров, его заполняли 180-ью тоннами акрилонитрильных катализаторов SANC series от компании Sinopec Shanghai Research Institute of Petrochemical Technology Co., Ltd., в реакторе компоновали 584 прямых патрубков с одной и той же высотой, которые разделяли на 56 труб отвода теплоты, 48 труб отвода теплоты компоновали по варианту, который продемонстрирован на фигуре 4А, количество прямых патрубков на единицу площади поперечного сечения секции отвода теплоты в ее центральной точке составляло 9,18/м<sup>2</sup>, каждую группу образовали в результате последовательного соединения 6, 10 и 12 прямых патрубков трубы отвода теплоты при использовании соединительных арматур прямых патрубков, внешний диаметр каждой трубы отвода теплоты составлял 140 мм, а значение  $L1/S1$  составляло 4,04.

Расход при подаче пропилена составлял 11800 н.м<sup>3</sup>/ч, полная производительность по обработке пропилена на данное время составляла 349 кг пропилена/ч/м<sup>2</sup> поперечного

сечения А, температура реакции составляла 430°C, давление реакции составляло 0,04 МПа, а соотношение пропилен:аммиак:воздух составляло 1:1,2:9,6, реакция могла стабильно функционировать на протяжении длительного времени (такого как 10000 ч), и количество теплоты, отводимое в час, составляло 1,98 тн водяного пара при 4,5 МПа/м<sup>2</sup>.

#### Сравнительный пример 1

Реактор с псевдооживленным слоем имел диаметр 9 метров, его заполняли 180-ью тоннами акрилонитрильных катализаторов SANC series от компании Sinopec Shanghai Research Institute of Petrochemical Technology Co., Ltd., в реакторе компоновали 380 прямых патрубков с одной и той же высотой, которые разделяли на 36 групп и компоновали по варианту пучка труб отвода теплоты, который продемонстрирован на фигуре 2, количество прямых патрубков на единицу площади поперечного сечения секции отвода теплоты в ее центральной точке составляло 6,0/м<sup>2</sup>, внешний диаметр каждой трубы отвода теплоты составлял 89 мм, а значение L1/S1 составляло 1,67/м.

Расход при подаче пропилена составлял 11800 н.м<sup>3</sup>/ч, полная производительность по обработке пропилена на данное время составляла 349 кг пропилена/ч/м<sup>2</sup> поперечного сечения А, температура реакции составляла 430°C, давление реакции составляло 0,04 МПа, а соотношение пропилен:аммиак:воздух составляло 1:1,2:9,6, во время процесса функционирования оборудования температуру реакции невозможно было стабильно контролировать при использовании пучка труб отвода теплоты, и долговременного стабильного функционирования оборудования невозможно было добиться вследствие недостаточного количества труб отвода теплоты.

#### Сравнительный пример 2

Реактор с псевдооживленным слоем имел диаметр 9 метров, его заполняли 180-ью тоннами акрилонитрильных катализаторов SANC series от компании Sinopec Shanghai Research Institute of Petrochemical Technology Co., Ltd., в реакторе компоновали 584 прямых патрубка с одной и той же высотой, которые разделяли на 56 групп и компоновали по варианту пучка труб отвода теплоты, который продемонстрирован на фигуре 2, количество прямых патрубков на единицу площади поперечного сечения секции отвода теплоты в ее центральной точке составляло 9,18/м<sup>2</sup>, каждую группу образовали в результате последовательного соединения 6, 10 и 12 прямых патрубков трубы отвода теплоты при использовании соединительных арматур прямых патрубков, внешний диаметр каждой трубы отвода теплоты составлял 140 мм, а значение L1/S1 составляло 4,04/м.

Расход при подаче пропилена составлял 11800 н.м<sup>3</sup>/ч, полная производительность по обработке пропилена на данное время составляла 349 кг пропилена/ч/м<sup>2</sup> поперечного сечения А, температура реакции составляла 430°C, давление реакции составляло 0,04 МПа, а соотношение пропилен:аммиак:воздух составляло 1:1,2:9,6, и отводимое количество теплоты составляло 1,98 тн водяного пара/м<sup>2</sup>.

Несмотря на возможность достижения нормального функционирования оборудования при остановке работы оборудования требования по техническому

обслуживанию и восстановлению внутренних компонентов не могли быть удовлетворены.

### Сравнительный пример 3

Реактор с псевдооживленным слоем имел диаметр 9 метров, его заполняли 180-ью тоннами акрилонитрильных катализаторов SANC series от компании Sinopec Shanghai Research Institute of Petrochemical Technology Co., Ltd., в реакторе компоновали 532 прямых патрубка с одной и той же высотой, которые разделяли на 46 труб отвода теплоты, все трубы отвода теплоты компоновали по варианту, который продемонстрирован на фигуре 4А, количество прямых патрубков на единицу площади поперечного сечения секции отвода теплоты в ее центральной точке составляло  $8,37/\text{м}^2$ , каждую группу образовали в результате последовательного соединения 6, 10 и 12 прямых патрубков трубы отвода теплоты при использовании соединительных арматур прямых патрубков, внешний диаметр каждой трубы отвода теплоты составлял 89 мм, а значение  $L1/S1$  составляло 2,34.

Расход при подаче пропилена составлял  $11800 \text{ н.м}^3/\text{ч}$ , полная производительность по обработке пропилена на данное время составляла  $349 \text{ кг пропилена}/\text{ч}/\text{м}^2$  поперечного сечения А, температура реакции составляла  $430^\circ\text{C}$ , давление реакции составляло 0,04 МПа, а соотношение пропилен:аммиак:воздух составляло 1:1,2:9,6, реакция могла стабильно функционировать на протяжении длительного времени (такого как 10000 ч), и количество теплоты, отводимое в час, составляло 1,88 тн водяного пара при  $4,5 \text{ МПа}/\text{м}^2$ . В сопоставлении с примером 2 качество псевдооживления было неудовлетворительным, что в результате приводило к уменьшению степени превращения пропилена и уменьшению выхода продукта реакции и поэтому к уменьшению экзотермической теплоты реакции.

### Пример 8

Реактор с псевдооживленным слоем имел диаметр 9 метров, его заполняли 180-ью тоннами акрилонитрильных катализаторов SANC series от компании Sinopec Shanghai Research Institute of Petrochemical Technology Co., Ltd., в реакторе компоновали 732 прямых патрубка с одной и той же высотой, которые разделяли на 70 труб отвода теплоты, 4 группы образовали в результате параллельного соединения 3 пучков труб отвода теплоты, внешний диаметр впускного коллектора каждой трубы отвода теплоты составлял 140 мм, внешний диаметр выпускного коллектора каждой трубы отвода теплоты составлял 150 мм, количество прямых патрубков на единицу площади поперечного сечения каждой секции отвода теплоты в ее центральной точке составляло  $11,5/\text{м}^2$ , каждую трубу отвода теплоты образовали в результате последовательного соединения 6, 10 и 12 прямых патрубков трубы отвода теплоты при использовании соединительных арматур прямых патрубков, внешний диаметр каждой трубы отвода теплоты составлял 89 мм, значение  $L1/S1$  составляло 3,2, соотношение между площадью поперечного сечения впускного коллектора и суммой площадей поперечных сечений ответвляющих патрубков отвода теплоты составляло 0,82, а соотношение между площадью поперечного сечения выпускного коллектора и суммой площадей поперечных сечений ответвляющих патрубков отвода теплоты составляло 0,95.

Расход при подаче пропилена составлял 11800 н.м<sup>3</sup>/ч, полная производительность по обработке пропилена на данное время составляла 349 кг пропилена/ч/м<sup>2</sup> поперечного сечения А, температура реакции составляла 430°С, давление реакции составляло 0,04 МПа, а соотношение пропилен:аммиак:воздух составляло 1:1,2:9,6, реакция могла стабильно функционировать на протяжении длительного времени (такого как 10000 ч), и количество теплоты, отводимое в час, составляло 1,98 тн водяного пара при 4,5 МПа/м<sup>2</sup>.

#### Пример 9

Реактор с псевдоожиженным слоем имел диаметр 9 метров, его заполняли 180-ью тоннами акрилонитрильных катализаторов SANC series от компании Sinopec Shanghai Research Institute of Petrochemical Technology Co., Ltd., в реакторе компоновали 732 прямых патрубка с одной и той же высотой, которые разделяли на 70 труб отвода теплоты, 10 групп образовали в результате параллельного соединения 3 пучков труб отвода теплоты, внешний диаметр впускного коллектора каждой трубы отвода теплоты составлял 180 мм, внешний диаметр выпускного коллектора каждой трубы отвода теплоты составлял 180 мм, количество прямых патрубков на единицу площади поперечного сечения каждой секции отвода теплоты в ее центральной точке составляло 11,5/м<sup>2</sup>, каждую группу образовали в результате последовательного соединения 6, 10 и 12 прямых патрубков трубы отвода теплоты при использовании соединительных арматур прямых патрубков, внешний диаметр каждой трубы отвода теплоты составлял 140 мм, значение L1/S1 составляло 5,1. Соотношение между площадью поперечного сечения впускного коллектора и суммой площадей поперечных сечений ответвляющих патрубков отвода теплоты составляло 0,83, а соотношение между площадью поперечного сечения выпускного коллектора и суммой площадей поперечных сечений ответвляющих патрубков отвода теплоты составляло 0,83.

Расход при подаче пропилена составлял 14400 н.м<sup>3</sup>/ч, полная производительность по обработке пропилена на данное время составляла 425 кг пропилена/ч/м<sup>2</sup> поперечного сечения А, температура реакции составляла 430°С, давление реакции составляло 0,04 МПа, соотношение пропилен:аммиак:воздух составляло 1:1,2:9,6, реакция могла стабильно функционировать на протяжении длительного времени (такого как 10000 ч), и количество теплоты, отводимое в час, составляло 2,40 тн водяного пара при 4,5 МПа/м<sup>2</sup>.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Пучок труб отвода теплоты (в частности, пучок водяных труб отвода теплоты), отличающийся тем, что его конфигурируют для компоновки в секции отвода теплоты реактора с псевдооживленным слоем, при этом упомянутый пучок труб отвода теплоты включает, по меньшей мере, 10 (предпочтительно от 10 до 100, более предпочтительно от 20 до 80) труб отвода теплоты, причем упомянутая труба отвода теплоты включает  $N$  ( $N$  составляет ровно или более, чем 3, предпочтительно  $N$  находится в диапазоне от 3 до 30, более предпочтительно  $N$  находится в диапазоне от 3 до 20) прямых патрубков и  $N-1$  соединительных арматур для последовательного соединения любых двух соседних прямых патрубков и обеспечения сообщения между ними через текучую среду,

где длину секции отвода теплоты вдоль центральной оси реактора с псевдооживленным слоем задают как  $H$  (в м), поперечное сечение секции отвода теплоты (обозначаемое как поперечное сечение  $A$ ) получают в результате рассечения вдоль направления, перпендикулярного центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, в позиции в пределах всей области длиной  $H$  секции отвода теплоты (предпочтительно в пределах области, ограниченной позициями на 49%  $H$  выше и на 49%  $H$  ниже центральной точки секции отвода теплоты реакции, более предпочтительно в пределах области, ограниченной позициями на 45%  $H$  выше и на 38%  $H$  ниже центральной точки секции отвода теплоты реакции, более предпочтительно в пределах области, ограниченной позициями на 40%  $H$  выше и на 8%  $H$  ниже центральной точки секции отвода теплоты реакции),

для, по меньшей мере, одной (предпочтительно 1, 2 или 3 или, по меньшей мере, 20%, по меньшей мере, 50% или, по меньшей мере, 65% от совокупности) из труб отвода теплоты (обозначаемых как профилированные трубы отвода теплоты) пучка труб отвода теплоты и, самое большее, до 88% (предпочтительно 75% или 70%) от совокупности из труб отвода теплоты пучка труб отвода теплоты угол, образованный между продленной линией центральной оси проекции на поперечное сечение  $A$ , по меньшей мере, одной (предпочтительно, по меньшей мере, 2, 3 или 4, а, самое большее, 80%, 90% или 100% от совокупности) из соединительных арматур профилированной трубы отвода теплоты (предпочтительно за исключением первой соединительной арматуры профилированной трубы отвода теплоты) и продленной линией центральной оси проекции на поперечное сечение  $A$ , по меньшей мере, одной другой соединительной арматуры (предпочтительно другой соединительной арматуры на профилированной трубе отвода теплоты в позиции, расположенной по ходу технологического потока непосредственно выше упомянутой соединительной арматуры и находящейся в сообщении с ней через текучую среду), составляет более, чем  $0^\circ$  и менее, чем  $180^\circ$  (предпочтительно находится в диапазоне  $30^\circ$ - $150^\circ$ , более предпочтительно  $60^\circ$ - $120^\circ$ , а, кроме того, предпочтительно составляет приблизительно  $90^\circ$ ).

2. Пучок труб отвода теплоты по п. 1, где площадь поперечного сечения  $A$  задают как  $S_1$  (в  $m^2$ ), и где сумму длин окружностей внешних контуров поперечных сечений всех

прямых патрубков пучка труб отвода теплоты на поперечном сечении  $A$  задают как  $L1$  (в м),  $L1/S1$  находится в диапазоне от 1,0 до  $6,0 \text{ м}^{-1}$  (предпочтительно от 2,4 до  $5,6 \text{ м}^{-1}$ , более предпочтительно от 2,9 до  $5,3 \text{ м}^{-1}$ ), и/или площадь  $S1$  находится в диапазоне от 20 до  $700 \text{ м}^2$  (предпочтительно от 35 до  $350 \text{ м}^2$ ), и/или  $L1$  находится в диапазоне от 20 до 4200 м, предпочтительно от 87,5 до 1225 м.

3. Пучок труб отвода теплоты по п. 1, где совокупное количество прямых патрубков в пучке труб отвода теплоты на поперечном сечении  $A$  задают как  $Nt$ , количество прямых патрубков на единицу площади поперечного сечения  $A$ , то есть,  $Nt/S1$ , составляет 4-  $16/\text{м}^2$  (предпочтительно 5-14  $/\text{м}^2$ , а более предпочтительно 7-13/ $\text{м}^2$ ), и/или профиль поперечного сечения  $A$  является круглым, эллиптическим или овальным, а предпочтительно круглым или по существу круглым, и/или внутренний профиль и внешний контур поперечного сечения прямого патрубка являются круглыми, эллиптическими или овальными, а предпочтительно круглыми или по существу круглыми.

4. Пучок труб отвода теплоты по п. 1, отличающийся тем, что пучок труб отвода теплоты способен рекуперировать насыщенный водяной пар при 1-10 МПа (предпочтительно насыщенный водяной пар при 2-8 МПа, более предпочтительно насыщенный водяной пар при 3-5 МПа) и/или характеризуется производительностью по отводу теплоты в диапазоне 0,5-3,0 тн насыщенного водяного пара на единицу площади поперечного сечения ( $\text{м}^2$ ) в час, предпочтительно 1,0-2,8 тн насыщенного водяного пара на единицу площади поперечного сечения ( $\text{м}^2$ ) в час, более предпочтительно 1,2-2,4 тн насыщенного водяного пара на единицу площади поперечного сечения ( $\text{м}^2$ ) в час, при оценке согласно рекуперации насыщенного водяного пара при 4,5 МПа, где упомянутая единица площади поперечного сечения относится к единице площади поперечного сечения  $A$ .

5. Пучок труб отвода теплоты по п. 1, где для трубы (труб) отвода теплоты упомянутого пучка труб отвода теплоты, отличной от упомянутой профилированной трубы отвода теплоты, угол, образованный между продленной линией центральной оси проекции любой соединительной арматуры на упомянутое поперечное сечение  $A$  и продленной линией центральной оси проекции другой соединительной арматуры на упомянутой трубе отвода теплоты в позиции, расположенной по ходу технологического потока непосредственно выше или ниже упомянутой соединительной арматуры и находящейся в сообщении с ней через текучую среду, на упомянутое поперечное сечение  $A$  составляет  $180^\circ$ , и/или где упомянутая труба отвода теплоты включает впускное отверстие для охлаждающей воды, и впускные отверстия для охлаждающей воды множества (предпочтительно 2-8, 2-6 или 2-4) упомянутых труб отвода теплоты объединяются во впускной коллектор для охлаждающей воды в упомянутой секции отвода теплоты, и/или где упомянутая труба отвода теплоты включает выпускное отверстие для охлаждающей воды, и выпускные отверстия для охлаждающей воды множества (предпочтительно 2-8, 2-6 или 2-4) упомянутых труб отвода теплоты

объединяются в выпускной коллектор для охлаждающей воды в секции отвода теплоты.

6. Пучок труб отвода теплоты по п. 1, отличающийся тем, что внешние диаметры прямых патрубков составляют, соответственно, 80-180 мм, предпочтительно 90-170 мм, и/или внутренние диаметры прямых патрубков составляют, соответственно, 60-150 мм, предпочтительно 70-140 мм, и/или длины прямых патрубков составляют, соответственно, 4-13 м, предпочтительно 5-12,0 м, и/или шаг между двумя соседними прямыми патрубками на каждой трубе отвода теплоты составляет 100-700 мм, предпочтительно 150-300 мм, и/или длина Н секции отвода теплоты составляет 4-13 м (предпочтительно 5-12 м).

7. Пучок труб отвода теплоты по п. 1, отличающийся тем, что

(1) где полная производительность по обработке пропилена в час у реактора с псевдооживленным слоем составляет 140- 290 кг пропилена/м<sup>2</sup> поперечного сечения А за исключением граничной точки 290, L1/S1 составляет 1,0- 2,5 м<sup>-1</sup> (за исключением граничной точки 2,5), предпочтительно 1,4- 2,2 м<sup>-1</sup>, или

(2) где полная производительность по обработке пропилена в час у реактора с псевдооживленным слоем составляет 200- 370 кг пропилена/м<sup>2</sup> поперечного сечения А, L1/S1 составляет 1,8- 4,6 м<sup>-1</sup>, предпочтительно 2,0- 4,1 м<sup>-1</sup>, или

(3) где полная производительность по обработке пропилена в час у реактора с псевдооживленным слоем составляет 290- 445 кг пропилена/м<sup>2</sup> поперечного сечения А, L1/S1 составляет 2,5- 6,0 м<sup>-1</sup>, предпочтительно 2,9- 5,3 м<sup>-1</sup>.

8. Реактор с псевдооживленным слоем, отличающийся тем, что он последовательно включает сверху вниз верхнее днище, зону разбавленной фазы, секцию отвода теплоты, секцию предварительной реакции и коническое днище, где в секции отвода теплоты компонуют пучок труб отвода теплоты по п. 1.

9. Способ производства ненасыщенного нитрила, включающий стадию проведения для олефина (такого как пропилен) реакции аммоксидирования в реакторе с псевдооживленным слоем по п. 8 для получения ненасыщенного нитрила (такого как акрилонитрил).

10. Способ увеличения загрузки реактора с псевдооживленным слоем, где полная производительность по обработке пропилена в час у реактора с псевдооживленным слоем составляет 140- 290 кг пропилена/м<sup>2</sup> поперечного сечения А (за исключением граничной точки 290), и L1/S1 составляет 1,0- 2,5 м<sup>-1</sup> (за исключением граничной точки 2,5), при этом способ включает увеличение L1/S1 до 2,5- 6,0 м<sup>-1</sup>, предпочтительно до 2,9- 5,3 м<sup>-1</sup>, при одновременном увеличении полной производительности по обработке пропилена в час у реактора с псевдооживленным слоем до 290- 445 кг пропилена/м<sup>2</sup> поперечного сечения А.

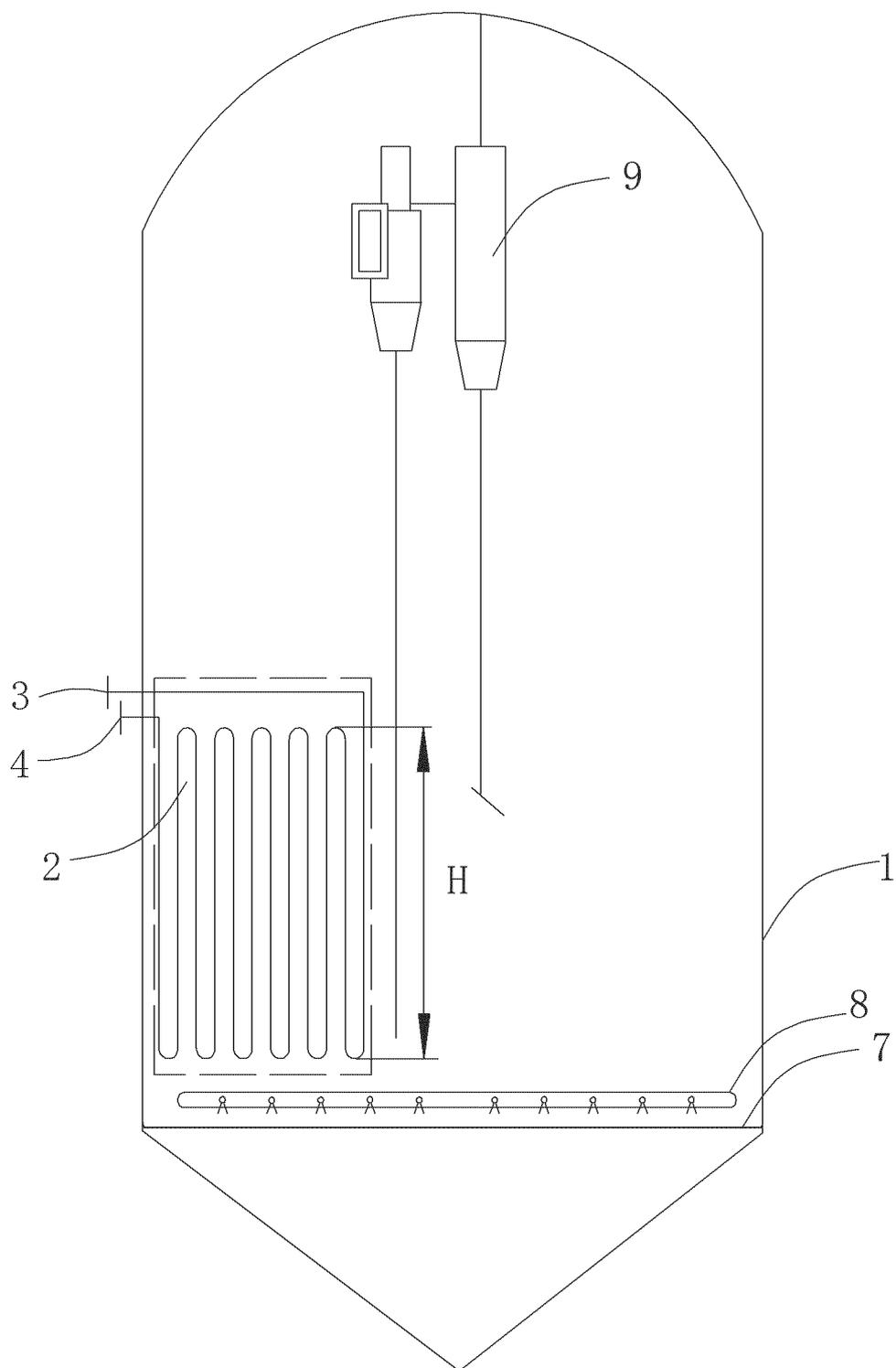
11. Способ производства ненасыщенного нитрила, включающий стадию проведения для олефина (такого как пропилен) реакции аммоксидирования в реакторе с псевдооживленным слоем для получения ненасыщенного нитрила (такого как акрилонитрил), где загрузку реактора с псевдооживленным слоем увеличивают в

соответствии со способом увеличения нагрузки по п. 10.

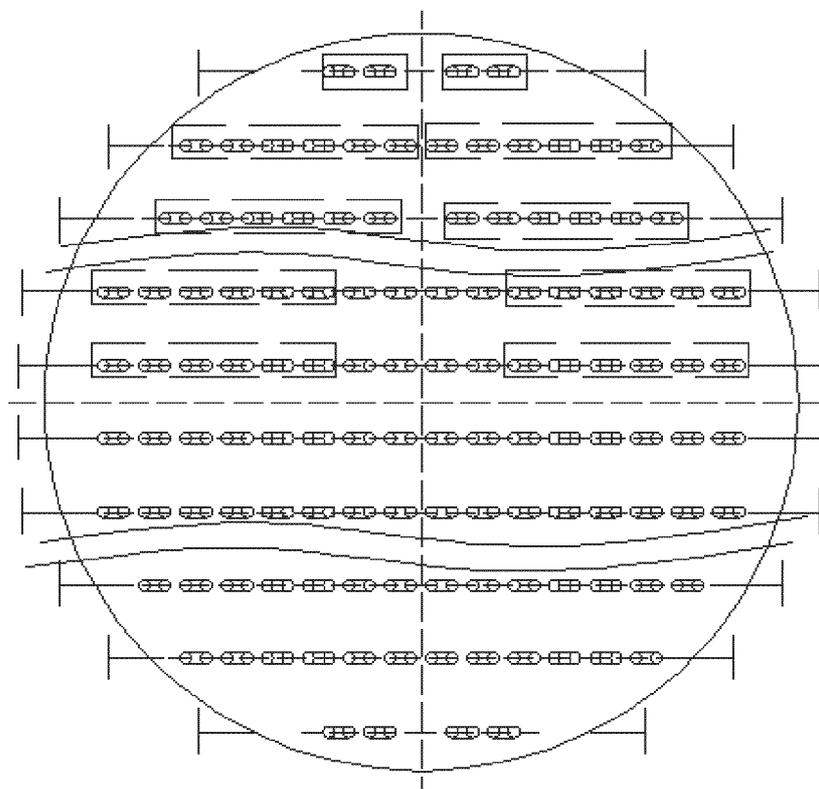
12. Способ по пп. 9 или 11, где молярное соотношение пропилен/аммиак/воздух (в пересчете на молекулярный кислород) составляет 1: 1,1-1,3: 1,8-2,0, температура реакции составляет 420- 440°C, давление реакции (манометрическое давление) составляет 0,03- 0,14 МПа, и среднечасовая скорость подачи катализатора составляет 0,06- 0,15 ч<sup>-1</sup>.

По достоверности

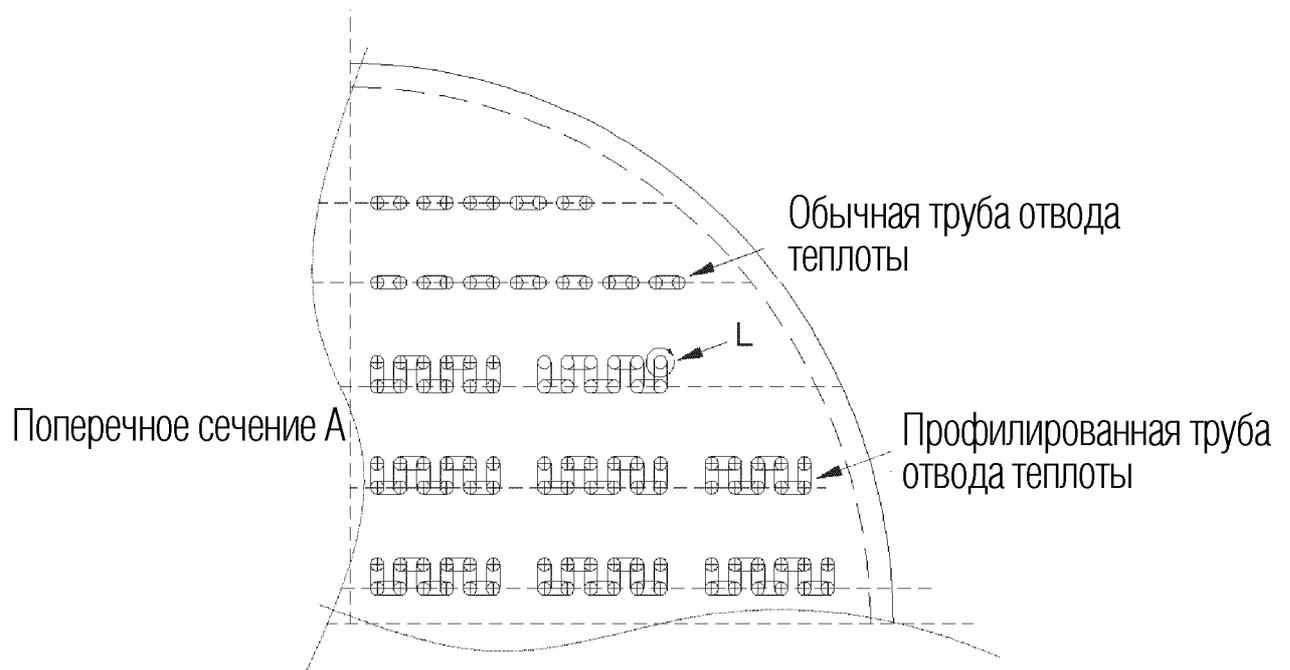
1/6



ФИГ. 1

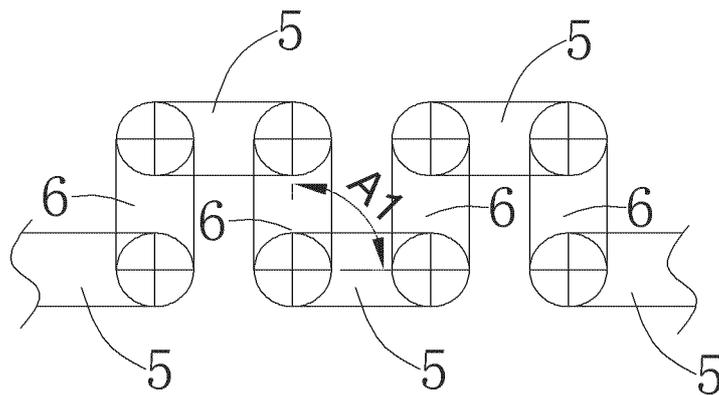


ФИГ. 2

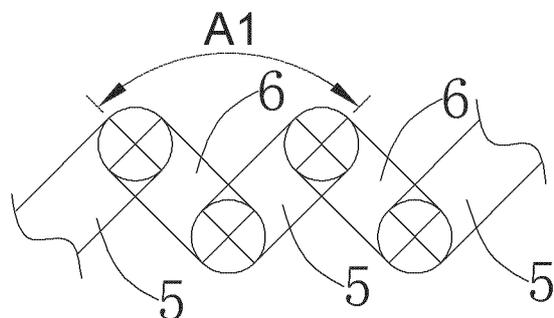


Реактор с псевдооживленным слоем

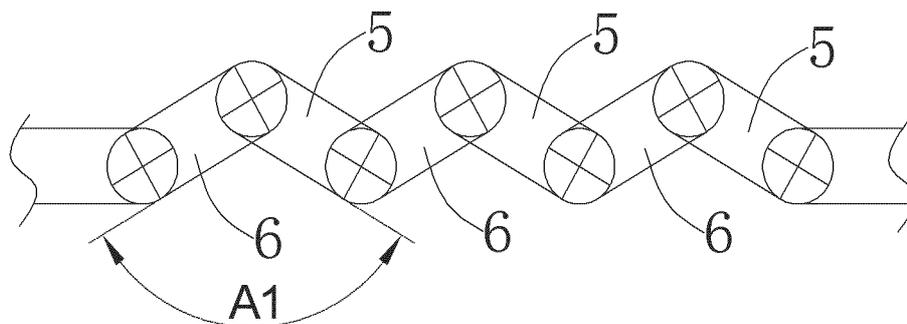
ФИГ. 3



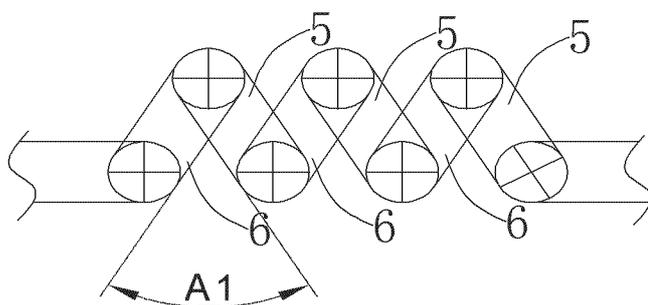
ФИГ. 4А



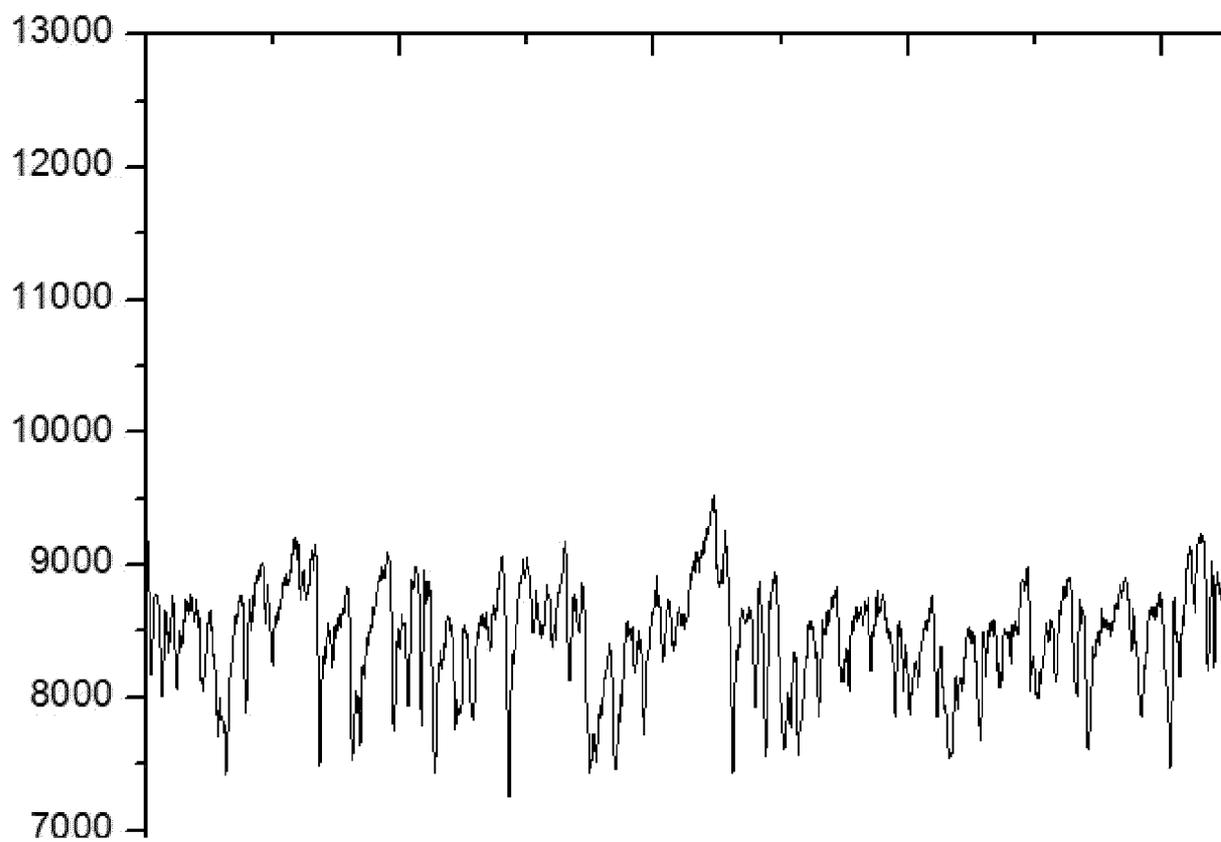
ФИГ. 4В



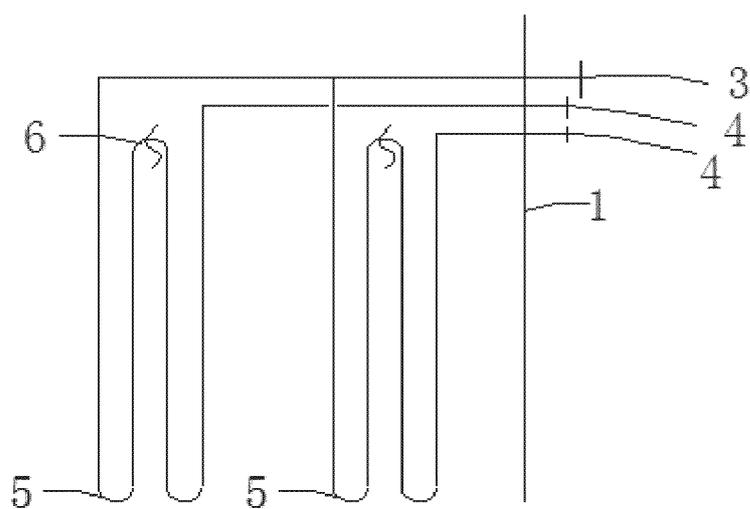
ФИГ. 4С



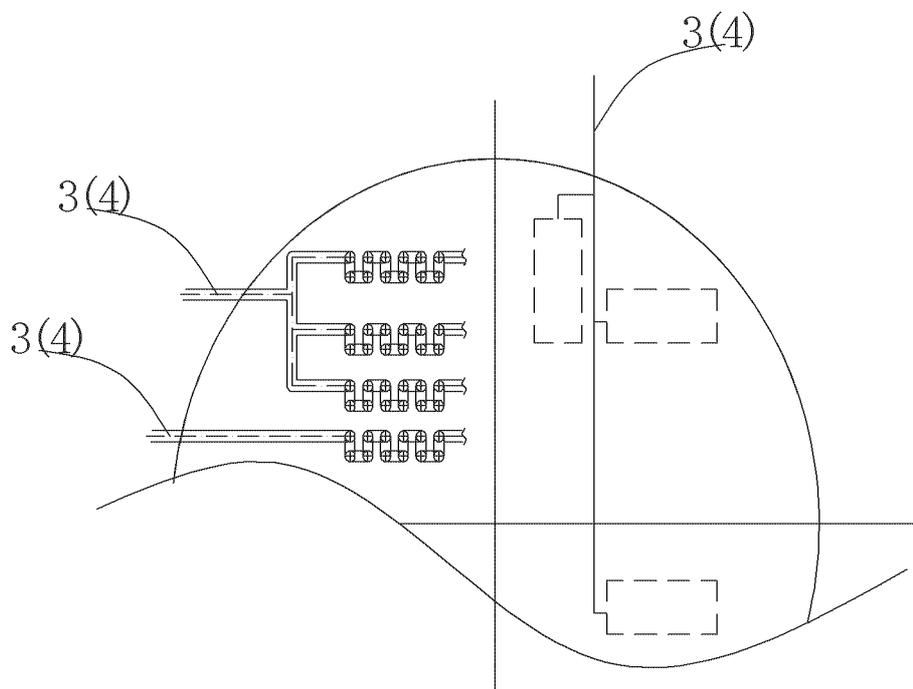
ФИГ. 4D



ФИГ. 5



ФИГ. 6



ФИГ. 7