

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **046737**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2024.04.17**

(21) Номер заявки  
**202291213**

(22) Дата подачи заявки  
**2020.11.18**

(51) Int. Cl. **B01J 8/24** (2006.01)  
**C07C 253/26** (2006.01)  
**C07C 255/08** (2006.01)

---

(54) **РЕАКТОР С ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ, ТЕПЛОПРОВОДЯЩИЙ ВОДОПРОВОД И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ АКРИЛОНИТРИЛА**

---

(31) **201911152105.8**

(32) **2019.11.20**

(33) **CN**

(43) **2022.08.22**

(86) **PCT/CN2020/129820**

(87) **WO 2021/098729 2021.05.27**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ЧАЙНА ПЕТРОЛЕУМ ЭНД  
КЕМИКАЛ КОРПОРЕЙШН;  
ШАНХАЙ РИСЕРЧ ИНСТИТЮТ ОФ  
ПЕТРОКЕМИКАЛ ТЕКНОЛОДЖИ  
СИНОПЕК (CN)**

(56) CN-A-104624401  
CN-A-104624401  
CN-A-104624401  
CN-A-108940137  
CN-A-108940137  
CN-A-108940137  
CN-A-105758245  
JP-A-2005077035  
WO-A2-2019197907

(72) Изобретатель:  
**Чжао Лэ, У Лянхуа (CN)**

(74) Представитель:  
**Медведев В.Н. (RU)**

(57) Раскрыты реактор с псевдоожигенным слоем и теплоотводящий водопровод и их применение в производстве акрилонитрила. Реактор с псевдоожигенным слоем содержит по меньшей мере секцию охлаждения реакции и вертикальный внутренний компонент, присутствующий в секции охлаждения реакции. При этом в поперечном сечении, проходящем перпендикулярно по отношению к центральной оси реактора с псевдоожигенным слоем, площадь поперечного сечения секции охлаждения реакции обозначена как S1 (выражена в единицах "м<sup>2</sup>") и окружность наружного контура поперечного сечения вертикального внутреннего компонента обозначена как L1 (выражена в единицах "м"),  $L1/S1 = 2,0-4,3 \text{ м}^{-1}$ . Реактор с псевдоожигенным слоем может ускорять разрушение пузырьков так быстро, насколько это возможно, и эффективно ограничивать рост пузырьков.

**B1****046737****046737****B1**

### **Область техники настоящего изобретения**

Изобретение относится к реактору с псевдооживленным слоем и к теплоотводящему водопроводу, который является особенно подходящим для расположения в реакторе с псевдооживленным слоем. Кроме того, настоящее изобретение относится к применению реактора с псевдооживленным слоем и теплоотводящего водопровода в производстве акрилонитрила.

### **Предшествующий уровень техники изобретения**

Акрилонитрил представляет собой важный химический исходный материал в нефтехимической промышленности. Во всем мире находит широкое применение одностадийный способ производства акрилонитрила посредством аммоксидирования пропилена, в котором под действием катализатора аммоксидирования в псевдооживленном слое и в определенных условиях, представляющих собой температуру и давление реакции, пропилен подвергают аммоксидированию с получением акрилонитрила наряду с побочными продуктами, такими как ацетонитрил, цианистоводородная кислота и другие, а также CO и CO<sub>2</sub>, представляющие собой продукты глубокого окисления. Эта реакция является в высокой степени экзотермической и сопровождается выделением большого количества тепла.

Внутри типичного реактора с псевдооживленным слоем для получения акрилонитрила содержатся распределитель пропилена и аммиака, воздухораспределительная плита, теплоотводящий водопровод (также известный как охлаждающий змеевик) и циклонный сепаратор, причем теплоотводящий водопровод и спускной стояк циклонного сепаратора расположены в каталитическом слое в качестве вертикальных компонентов псевдооживленного слоя. Теплоотводящий водопровод может отводить большое количество тепла, которое выделяется в процессе реакции из реакционной системы с течением времени, и поддерживать температуру реакции в устойчивом состоянии, и циклонный сепаратор может захватывать катализатор, уносимый газом, который движется вверх, и возвращать катализатор в каталитический слой через спускной стояк, в результате чего уменьшаются потери катализатора.

Традиционные вертикальные компоненты реактора с псевдооживленным слоем представлены на фиг. 1 и 2. На фиг. 1 проиллюстрировано аксиальное изображение вертикальных компонентов, и на фиг. 2 проиллюстрировано изображение в поперечном сечении расположения вертикальных компонентов. Вертикальные компоненты представляют собой теплоотводящие водопроводы и спускные стояки циклонных сепараторов. Теплоотводящие водопроводы содержат охлаждающий водопровод и перегревающий водопровод, и при этом пар высокого давления, производимый перегревающим водопроводом, обычно находит применение в турбинах воздушного компрессора и холодильнике. В качестве альтернативы, теплоотводящий водопровод может содержать только охлаждающий водопровод, в зависимости от фактических условий устройства. Здесь в теплоотводящем водопроводе, как правило, содержатся впуск, прямая трубопроводная секция и выпуск, и две соседние прямые трубопроводные секции находятся в сообщении с возможностью переноса текучей среды через U-образную трубу.

В патентных заявках КНР CN104941532A и CN104941529A раскрыта конструкция охлаждающего змеевика для реактора аммоксидирования. Охлаждающий змеевик может находиться в более плотной упаковке посредством устройства индивидуальных трубопроводов, которые определяют охлаждающий змеевик в поперечной конфигурации, а не в линейной конфигурации.

В патентной заявке КНР CN104624401A раскрыта улучшенная конфигурация циклонных сепараторов. В каждой многоступенчатой системе циклонных сепараторов присутствуют циклонный сепаратор первой ступени, содержащий впуск первой ступени, выполненный с возможностью приема из реактора потока, движущегося вверх из псевдооживленного каталитического слоя в реакторе, и выделения по меньшей мере части катализатора, содержащегося в потоке из реактора. Соотношение выраженной в квадратных метрах площади впуска первой ступени и выраженной в квадратных метрах доступной площади поперечного сечения реактора составляет от приблизительно 0,03 до приблизительно 0,05.

### **Краткое раскрытие изобретения**

Когда реактор с псевдооживленным слоем находит применение в реакции аммоксидирования пропилена с получением акрилонитрила, реакция аммоксидирования пропилена представляет собой гетерогенную каталитическую реакцию с участием газовой и твердой фаз, причем состояние течения газа в реакторе отличается от состояния свободного кипящего слоя, и пузырьки, которые образуются при прохождении газа через распределительную плиту, становятся крупнее в процессе подъема слоя. Авторами настоящего изобретения было обнаружено, что присутствие вертикальных внутренних компонентов способствует разрушению пузырьков, и что мелкие пузырьки обладают более высокой проводимостью в отношении массопереноса, чем крупные пузырьки, и, таким образом, являются благоприятными в целях увеличения производства пригодных для применения продуктов. Кроме того, авторами настоящего изобретения было обнаружено, что теплоотводящие водопроводы и циклонные сепараторы, выступающие в качестве вертикальных компонентов, выполняют функцию разрушения пузырьков в дополнение к своим основным функциям, а также могут вносить свой вклад в уменьшение обратного перемешивания газовой и твердой фаз и в сокращение образования продуктов глубокого окисления. Распределение указанных вертикальных компонентов по поперечному сечению реактора производит непосредственное воздействие на возможное достижение эффективного ограничения роста пузырьков или эффективного разрушения пузырьков и, таким образом, производит непосредственное воздействие на результаты реакции. На-

стоящее изобретение было выполнено на основании обнаружения данного факта.

В частности, настоящее изобретение относится к следующим аспектам:

1. Реактор с псевдооживленным слоем, в котором содержатся по меньшей мере секция охлаждения реакции и вертикальный внутренний компонент, присутствующий в секции охлаждения реакции, при этом, если длина секции охлаждения реакции в направлении вдоль центральной оси реактора с псевдооживленным слоем обозначена как  $L$  (выражена в единицах "м"), и, в поперечном сечении, проходящем перпендикулярно по отношению к центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, в произвольном положении в пределах области всей длины  $L$  секции охлаждения реакции, предпочтительно в пределах области от 49%  $L$  выше до 49%  $L$  ниже центральной точки секции охлаждения реакции (предпочтительнее в пределах области от 45%  $L$  выше до 38%  $L$  ниже центральной точки секции охлаждения реакции, и еще предпочтительнее в пределах области от 40%  $L$  выше до 8%  $L$  ниже центральной точки секции охлаждения реакции), площадь поперечного сечения секции охлаждения реакции обозначена как  $S1$  (выражена в единицах "м<sup>2</sup>"), и окружность наружного контура поперечного сечения вертикального внутреннего компонента (когда присутствует множество поперечных сечений, это означает сумму окружностей наружного контура всех поперечных сечений) обозначена как  $L1$  (выражена в единицах "м"),  $L1/S1 = 2,0-4,3 \text{ м}^{-1}$ , предпочтительно  $L1/S1 = 2,2-4,1 \text{ м}^{-1}$  и предпочтительнее  $L1/S1 = 2,4-3,9 \text{ м}^{-1}$ .

2. Реактор с псевдооживленным слоем согласно любому из предшествующих или последующих аспектов, в котором вертикальный внутренний компонент представляет собой теплоотводящий водопровод или сочетание теплоотводящего водопровода и сепаратора газовой и твердой фаз (предпочтительно циклонный сепаратор).

3. Реактор с псевдооживленным слоем согласно любому из предшествующих или последующих аспектов, в котором вертикальный внутренний компонент представляет собой теплоотводящий водопровод, при этом в поперечном сечении, проходящем перпендикулярно по отношению к центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, площадь поперечного сечения секции охлаждения реакции обозначена как  $S1$  (выражена в единицах "м<sup>2</sup>"), и окружность наружного контура поперечного сечения теплоотводящего водопровода (в пересчете на прямую трубопроводную секцию) (когда присутствует множество поперечных сечений, это означает сумму окружностей наружного контура всех поперечных сечений) обозначена как  $L2$  (выражена в единицах "м"),  $L2/S1 = 1,7-3,6 \text{ м}^{-1}$ , предпочтительно  $L2/S1 = 1,9-3,5 \text{ м}^{-1}$  и предпочтительнее  $L2/S1 = 2,1-3,3 \text{ м}^{-1}$ , и вертикальный внутренний компонент необязательно дополнительно содержит сепаратор газовой и твердой фаз (предпочтительно циклонный сепаратор), при этом в поперечном сечении, проходящем перпендикулярно по отношению к центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, площадь поперечного сечения секции охлаждения реакции обозначена как  $S1$  (выражена в единицах "м<sup>2</sup>"), и окружность наружного контура поперечного сечения сепаратора газовой и твердой фаз (в пересчете на спускной стояк) (когда присутствует множество поперечных сечений, это означает сумму окружностей наружного контура всех поперечных сечений) обозначена как  $L3$  (выражена в единицах "м"),  $L3/S1 = 0,25-0,85 \text{ м}^{-1}$ , предпочтительно  $L3/S1 = 0,30-0,75 \text{ м}^{-1}$  и предпочтительнее  $L3/S1 = 0,35-0,65 \text{ м}^{-1}$ .

4. Реактор с псевдооживленным слоем согласно любому из предшествующих или последующих аспектов, в котором число теплоотводящих водопроводов (в пересчете на прямую трубопроводную секцию) составляет 220-5000, предпочтительно 300-2400, и/или число сепараторов газовой и твердой фаз (в пересчете на спускной стояк) составляет 16-516 и предпочтительно 16-210, и/или соотношение числа прямых трубопроводных секций и числа спускных стояков составляет 8,5-24,0, предпочтительно 10,0-23,0 и предпочтительнее 11,5-21,0.

5. Реактор с псевдооживленным слоем согласно любому из предшествующих или последующих аспектов, в котором наружные диаметры прямых трубопроводных секций, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют от 80 до 180 мм, предпочтительно от 90 до 170 мм, и/или внутренние диаметры прямых трубопроводных секций, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют от 60 до 150 мм и предпочтительно от 70 до 140 мм, и/или длины прямых трубопроводных секций, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют от 4,0 до 13 м и предпочтительно от 5,5 до 12,0 м, и/или наружные диаметры спускных стояков, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют от 150 до 410 мм и предпочтительно от 200 до 360 мм, и/или внутренние диаметры спускных стояков, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют от 130 до 400 мм и предпочтительно от 180 до 350 мм, и/или длины спускных стояков, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют от 6 до 14 м и предпочтительно от 10 до 13 м, и/или секция охлаждения реакции имеет диаметр от 5 до 29 и, предпочтительно от 7 до 20 м, площадь  $S1$  составляет от 19,6 до 660 м<sup>2</sup>, предпочтительно от 38,5 до 314 м<sup>2</sup>, и/или длина  $L$  составляет от 4 до 12,5 м и предпочтительно от 5,5 до 11,5 м.

6. Реактор с псевдооживленным слоем согласно любому из предшествующих или последующих аспектов, в котором содержатся головная секция, зона разбавленной фазы, секция охлаждения реакции, предварительная реакционная секция и конус в последовательности сверху вниз, а также дополнительно

содержатся газораспределительная плита и необязательно распределитель текучей среды, присутствующий в предварительной реакционной секции.

7. Реактор с псевдооживленным слоем согласно любому из предшествующих или последующих аспектов, в котором секция охлаждения реакции имеет практически круглое поперечное сечение, и/или поперечное сечение вертикального внутреннего компонента имеет практически круглый внутренний контур и практически круглый наружный контур, и/или поперечное сечение вертикального внутреннего компонента имеет практически круглый внутренний контур и практически круглый наружный контур, содержащий один или несколько выступов, и/или вертикальный внутренний компонент содержит теплоотводящий водопровод, теплоотводящий водопровод имеет впуск теплоотводящей среды,  $n$  прямых трубопроводных (предпочтительно прямых круглых трубопроводных) секций и выпуск теплоотводящей среды, причем головной конец первой прямой трубопроводной секции находится в сообщении с впуском теплоотводящей среды, хвостовой конец  $n$ -й прямой трубопроводной секции находится в сообщении с выпуском теплоотводящей среды, хвостовой конец  $i$ -й прямой трубопроводной секции находится в сообщении с головным концом  $(i+1)$ -й прямой трубопроводной секции через U-образную трубу, при этом  $n$  представляет собой целое число от 2 до 100 (предпочтительно целое число от 2 до 20),  $i$  представляет собой произвольное целое число между 1 и  $n-1$ , и присутствуют один или несколько выступов на наружной стенке некоторых или всех (в том числе 1-100%, 5-80% или 10-40%) прямых трубопроводных секций.

8. Теплоотводящий водопровод, содержащий впуск теплоотводящей среды,  $n$  прямых трубопроводных (предпочтительно прямых круглых трубопроводных) секций и выпуск теплоотводящей среды, в котором головной конец первой прямой трубопроводной секции находится в сообщении с впуском теплоотводящей среды, хвостовой конец  $n$ -й прямой трубопроводной секции находится в сообщении с выпуском теплоотводящей среды, хвостовой конец  $i$ -й прямой трубопроводной секции находится в сообщении с головным концом  $(i+1)$ -й прямой трубопроводной секции через U-образную трубу,  $n$  представляет собой целое число от 2 до 100 (предпочтительно целое число от 2 до 20),  $i$  представляет собой произвольное целое число между 1 и  $n-1$ , и присутствуют один или несколько выступов на наружной стенке некоторых или всех (в том числе 1-100%, 5-80% или 10-40%) прямых трубопроводных секций.

9. Теплоотводящий водопровод согласно любому из предшествующих или последующих аспектов, в котором наружные диаметры прямых трубопроводных секций, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют 80-180 мм и предпочтительно 90-170 мм, и/или внутренние диаметры прямых трубопроводных секций, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют 60-150 мм и предпочтительно 70-140 мм, и/или длины прямых трубопроводных секций, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют 4,0-13,0 м и предпочтительно 5,5-12,0 м, и/или центральные линии любых двух соседних прямых трубопроводных секций являются параллельными по отношению друг к другу и расстояния между центральными линиями любых двух соседних прямых трубопроводных секций являются одинаковыми или отличаются друг от друга (предпочтительно являются одинаковыми по отношению друг к другу), и в каждом случае они независимо составляют 160-540 мм и предпочтительно 180-430 мм.

10. Теплоотводящий водопровод согласно любому из предшествующих или последующих аспектов, в котором один или несколько выступов проходят непрерывным или прерывистым образом в направлении вдоль центральной линии прямой трубопроводной секции, и/или один или несколько выступов проходят непрерывным или прерывистым образом вокруг центральной линии прямой трубопроводной секции (например, в форме кольца или спирали).

11. Теплоотводящий водопровод согласно любому из предшествующих или последующих аспектов, в котором когда один или несколько выступов проходят непрерывным или прерывистым образом в направлении вдоль центральной линии прямой трубопроводной секции, длина прохождения  $L_t$  одного или нескольких выступов составляет не более чем длина  $L_z$  прямой трубопроводной секции (предпочтительно  $L_t/L_z$  составляет от 0,05 до 0,95 и предпочтительнее от 0,1 до 0,6), и/или когда один или несколько выступов проходят непрерывным или прерывистым образом вокруг центральной линии прямой трубопроводной секции в форме кольца, высота  $H_h$  кольца составляет не более чем длина  $L_z$  прямой трубопроводной секции (предпочтительно  $H_h/L_z$  составляет от 0 до 0,5 и предпочтительнее от 0,01 до 0,3), или когда один или несколько выступов проходят непрерывным или прерывистым образом вокруг центральной линии прямой трубопроводной секции в форме спирали, высота  $H_t$  спирали составляет не более чем длина  $L_z$  прямой трубопроводной секции (предпочтительно  $H_t/L_z$  составляет от 0,1 до 0,95 и предпочтительнее от 0,2 до 0,6), и/или высота одного или нескольких выступов составляет от 0,005-кратного до 0,3-кратного (предпочтительно от 0,008-кратного до 0,1-кратного) наружного диаметра прямой трубопроводной секции, и/или ширина одного или нескольких выступов составляет от 0,005-кратного до 0,3-кратного (предпочтительно от 0,008-кратного до 0,2-кратного) наружного диаметра прямой трубопроводной секции.

12. Теплоотводящий водопровод согласно любому из предшествующих или последующих аспектов, в котором один или несколько выступов проходят непрерывным или прерывистым образом вокруг цен-

тральной линии прямой трубопроводной секции, и существует угол между центральной линией одного или нескольких выступов и центральной линией прямой трубопроводной секции, который составляет более чем  $0^\circ$  и не более чем  $90^\circ$  (предпочтительно не менее чем  $5^\circ$  и не более чем  $75^\circ$  и предпочтительнее не менее чем  $10^\circ$  и не более чем  $60^\circ$ ).

13. Реактор с псевдооживленным слоем, в котором содержатся головная секция, зона разбавленной фазы, зона плотной фазы и конус в последовательности сверху вниз, причем зона плотной фазы содержит по меньшей мере один теплоотводящий водопровод согласно любому из предшествующих или последующих аспектов.

14. Применение реактора с псевдооживленным слоем согласно любому из предшествующих или последующих аспектов в производстве эпоксидного соединения (такого как пропиленоксид) или ненасыщенного нитрила (такого как акрилонитрил) из олефина (такого как пропилен) способом окисления или способом аммоксидирования.

15. Способ производства ненасыщенного нитрила, в котором предусмотрена стадия введения олефина (такого как пропилен) в реакцию аммоксидирования в реакторе с псевдооживленным слоем согласно любому из предшествующих или последующих аспектов с получением ненасыщенного нитрила (такого как акрилонитрил).

### Краткое описание фигур

На фиг. 1 представлено схематическое изображение спереди реактора с псевдооживленным слоем предшествующего уровня техники.

На фиг. 2 представлено схематическое изображение поперечного сечения секции охлаждения реакции реактора с псевдооживленным слоем предшествующего уровня техники.

На фиг. 3 представлено схематическое изображение поперечного сечения секции охлаждения реакции реактора с псевдооживленным слоем согласно настоящему изобретению.

На фиг. 4 представлено схематическое изображение спереди реактора с псевдооживленным слоем согласно настоящему изобретению.

На фиг. 5 представлено схематическое изображение теплоотводящего водопровода согласно примерному варианту осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 6 представлен график интенсивности пульсаций давления в сравнительном примере 1.

На фиг. 7 представлен график интенсивности пульсаций давления в сравнительном примере 2.

На фиг. 8 представлен график интенсивности пульсаций давления в примере 1.

На фиг. 9 представлен график интенсивности пульсаций давления в примере 2.

На фиг. 10 представлен график интенсивности пульсаций давления в примере 3.

### Список условных обозначений

1 - Реактор с псевдооживленным слоем;

2 - Питающий трубопровод для смешанного исходного газа;

3 - Впуск циклонного сепаратора;

4 - Теплоотводящий водопровод;

5 - Цилиндр циклонного сепаратора;

6 - Конус циклонного сепаратора;

7 - Зольный ковш циклонного сепаратора;

8 - Спускной стояк циклонного сепаратора второй ступени (третьей ступени);

9 - Спускной стояк циклонного сепаратора первой ступени.

### Технические эффекты

Посредством применения реактора с псевдооживленным слоем согласно настоящему изобретению изменение картины потока в псевдооживленном слое может быть ускорено так быстро, насколько это возможно, и может быть ускорено разрушение пузырьков.

Посредством применения реактора с псевдооживленным слоем согласно настоящему изобретению рост пузырьков может быть эффективно ограничен, таким образом, что может быть повышена степень превращения исходного газа, и может быть увеличен выход целевого продукта реакции.

Посредством применения реактора с псевдооживленным слоем согласно настоящему изобретению может быть сокращено обратное перемешивание газовой фазы и твердой фазы и образование продуктов глубокого окисления.

Посредством применения реактора с псевдооживленным слоем согласно настоящему изобретению может быть повышена эффективность теплопереноса, и может быть увеличен период эксплуатации устройства.

### Подробное раскрытие изобретения

Изобретение будет подробно проиллюстрировано далее в настоящем документе со ссылкой на соответствующие варианты осуществления, но следует отметить, что объем настоящего изобретения не ограничивается данными вариантами осуществления, но определяется прилагаемой формулой изобретения.

Все публикации, патентные заявки, патенты и другие документы, процитированные в настоящем

документе, во всей своей полноте включены в него посредством ссылки. Если не определено иное условие, все технические и научные термины, используемые в настоящем документе, имеют такие значения, которые обычно понимают специалисты в данной области техники. В случае противоречия преобладающую силу имеет содержание описания в настоящем документе, включая определения.

Когда материалы, способы, компоненты, устройства или системы, которые описаны в настоящем документе определены выражениями "известные специалистам в данной области техники", "общеизвестные в технике" или подобными выражениями, следует понимать, что вышеупомянутые материалы, способы, компоненты, устройства или системы представляют собой не только те, которые традиционно находят применение в технике во время подачи настоящей заявки, но также те, которые обычно не находят применение в настоящее время, но станут общеизвестными в технике в качестве подходящих для аналогичной цели.

В контексте настоящего изобретения термин "практически" означает, что допустимым является отклонение, которое является приемлемым или считается обоснованным специалистами в данной области техники, такое 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 настоящего изобретения, если определено не указано иное условие, все процентные доли, части, соотношения и другие величины выражены как массовые, и все представленные величины давления представляют собой манометрическое давление.

В контексте настоящего изобретения любые два или более вариантов осуществления настоящего изобретения могут быть произвольным образом объединены, и получаемое в результате техническое решение составляет часть первоначального раскрытия настоящего изобретения и находится в пределах объема настоящего изобретения.

Согласно варианту осуществления настоящее изобретение относится к реактору с псевдооживленным слоем, в частности, к реактору с псевдооживленным слоем для производства акрилонитрила. При этом реактор с псевдооживленным слоем содержит по меньшей мере секцию охлаждения реакции и вертикальный внутренний компонент, расположенный в секции охлаждения реакции.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения, когда длина секции охлаждения реакции в направлении вдоль центральной оси реактора с псевдооживленным слоем обозначена как  $L$  (выражена в единицах "м"), поперечное сечение секции охлаждения реакции и поперечное сечение вертикального внутреннего компонента могут быть получены в плоскости поперечного сечения, которая проходит перпендикулярно по отношению к центральной оси реактора с псевдооживленным слоем в произвольном положении в пределах области всей длины  $L$  секции охлаждения реакции. Кроме того, когда присутствует множество вертикальных внутренних компонентов, могут быть получены поперечные сечения множества вертикальных внутренних компонентов. Указанные поперечные сечения имеют наружный контур с площадью и окружностью (упоминаемой как окружность наружного контура), такой как круги, представленные номерами 4, 8 и 9 на фиг. 3. При этом, когда площадь поперечного сечения секции охлаждения реакции обозначена как  $S1$  (выражена в единицах "м<sup>2</sup>"), и окружность наружного контура поперечного сечения вертикального внутреннего компонента (когда присутствует множество поперечных сечений, это означает сумму окружностей наружного контура всех поперечных сечений) обозначена как  $L1$  (выражена в единицах "м"),  $L1/S1 = 2,0-4,3 \text{ м}^{-1}$ . Здесь оказывается предпочтительным, что  $L1/S1 = 2,0-4,3 \text{ м}^{-1}$  в пределах области от  $49\% L$  выше до  $49\% L$  ниже центральной точки секции охлаждения реакции, более предпочтительным в пределах области от  $45\% L$  выше до  $38\% L$  ниже центральной точки секции охлаждения реакции и еще более предпочтительным в пределах области от  $40\% L$  выше до  $8\% L$  ниже центральной точки секции охлаждения реакции. Предпочтительно  $L1/S1 = 2,2-4,1 \text{ м}^{-1}$  и предпочтительнее  $L1/S1 = 2,4-3,9 \text{ м}^{-1}$ . Когда  $L1/S1$  составляет менее чем  $2,0 \text{ м}^{-1}$ , может возникнуть неустойчивая эксплуатация устройства, а когда  $L1/S1$  составляет более чем  $4,3 \text{ м}^{-1}$ , в реакторе может быть занято чрезмерно большое пространство для обслуживания. Согласно варианту осуществления настоящего изобретения в конкретных примерах вертикального внутреннего компонента присутствуют теплоотводящий водопровод и сепаратор газовой и твердой фаз, и в частности, сочетание теплоотводящего водопровода и сепаратора газовой и твердой фаз.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения площадь поперечного сечения  $S1$  секции охлаждения реакции составляет, как правило, от  $19,6$  до  $660 \text{ м}^2$  и предпочтительно от  $38,5$  до  $314 \text{ м}^2$ .

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения, когда наружный контур является практически круглым по форме, длина окружности наружного контура составляет  $3,14 \cdot D$ , при этом  $D$  представляет собой диаметр (выраженный в единицах "м") наружного контура, которому соответствует наружный диаметр (выраженный в единицах "м") соответствующего вертикального внутреннего компонента (например, такого как прямая трубопроводная секция теплоотводящего трубопровода или спусковой стоик циклонного сепаратора).

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения длина  $L$  секции охлаждения реакции в направлении центральной оси реактора с псевдооживленным слоем составляет, как правило, от  $4$  до  $12,5$  м и предпочтительно  $5,5$  до  $11,5$  м.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения теплоотводящий водопровод содержит охлаждающий водопровод для отвода тепла, которое выделяется в процессе реакции, из реакционной системы посредством применения скрытой теплоты фазового перехода охлаждающей среды в трубопроводе, и перегревающий водопровод для отвода тепла, которое выделяется в процессе реакции, из реакционной системы посредством применения сухого тепла охлаждающей среды в трубопроводе. Здесь диаметры охлаждающего водопровода и перегревающего водопровода могут быть одинаковыми или различными, и они могут представлять собой трубопроводы, которые традиционно находят применение в технике, без какого-либо конкретного ограничения.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения прямая трубопроводная секция теплоотводящего водопровода практически расположена в зоне плотной фазы реактора с псевдооживленным слоем и находит применение для своевременного отвода теплоты реакции из системы и поддержания устойчивой эксплуатации системы. Для этой цели в контексте описания настоящего изобретения термин "секция охлаждения реакции" означает область реактора с псевдооживленным слоем, в которой расположен теплоотводящий водопровод, более конкретно область в реакторе с псевдооживленным слоем, в которой расположена прямая трубопроводная секция теплоотводящего водопровода, еще более конкретно область в зоне плотной фазы реактора с псевдооживленным слоем, в которой расположена прямая трубопроводная секция теплоотводящего водопровода.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения в теплоотводящем водопроводе содержатся впуск, прямая трубопроводная секция и выпуск, и два соседние прямые трубопроводные секции, как правило, соединяются через U-образную трубу и находятся в сообщении с возможностью переноса текучей среды друг с другом. В теплоотводящем водопроводе может содержаться только одна прямая трубопроводная секция, может содержаться только одна U-образная труба, а также он может быть образован посредством последовательного соединения множества U-образных труб. Чем больше число U-образных труб, тем больше окружность наружного контура L1. Кроме того, теплоотводящие водопроводы, как правило, равномерно распределены внутри реактора с псевдооживленным слоем. В качестве конкретного примера, если реактор с псевдооживленным слоем разделен на четыре квадранта ABCD, окружности наружного контура теплоотводящих водопроводов во всех квадрантах являются практически одинаковыми.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения циклонный сепаратор может быть упомянут в качестве сепаратора газовой и твердой фаз. Здесь циклонный сепаратор имеет газовый впуск, конус, зольный ковш, спускной стояк и газовый выпуск, причем спускной стояк присутствует в качестве вертикального компонента в каталитическом слое, представляющем собой зону плотной фазы реактора с псевдооживленным слоем, и другие компоненты расположены в зоне разбавленной фазы в верхней части реактора с псевдооживленным слоем. Здесь циклонный сепаратор может представлять собой одноступенчатый циклонный сепаратор, или два или более циклонных сепаратора могут быть соединены последовательно, и при этом один циклонный сепаратор содержит один соответствующий спускной стояк. Как правило, спускной стояк циклонного сепаратора первой ступени проходит до определенного положения в нижней части каталитического слоя (соответствующей нижней части зоны плотной фазы), и спускной стояк циклонный сепаратор второй ступени (третьей ступени) проходит до определенного положения в нижней части, средней части или верхней части каталитического слоя (соответствующей нижней части, средней части или верхней части зоны плотной фазы).

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения циклонные сепараторы, как правило, расположены таким образом, что два или более циклонных сепараторов соединены последовательно. В процессе эксплуатации реактора с псевдооживленным слоем некоторые тонкие частицы катализатора уносятся из каталитического слоя реакционным газом, уносимые газом частицы катализатора поступают в циклонный сепаратор через впуск циклонного сепаратора первой ступени, после прохождения через циклонный сепаратор первой ступени большинство частиц катализатора попадают обратно в каталитический слой через спускной стояк циклонного сепаратора первой ступени, остальные немногочисленные частицы катализатора поступают в циклонный сепаратор второй ступени вместе с газом для осуществления дополнительного разделения газовой и твердой фаз, отделенные частицы катализатора возвращаются в каталитический слой через спускной стояк циклонного сепаратора второй ступени, при этом хвостовой конец спускного стояка циклонного сепаратора второй ступени содержит двухстворчатый клапан, циклонный сепаратор второй ступени может далее находиться в последовательном соединении с циклонным сепаратором третьей ступени для осуществления дополнительного разделения газовой и твердой фаз, отделенные частицы катализатора возвращаются в каталитический слой через спускной стояк, а газ движется вверх через газосборную камеру и затем выходит из реактора. Каждый циклонный сепаратор содержит спускной стояк для возвращения отделенного катализатора в каталитический слой. Во множестве многоступенчатых циклонных сепараторов присутствует множество спускных стояков.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения вертикальный внутренний компонент представляет собой теплоотводящий водопровод, и при этом в поперечном сечении, проходящем перпендикулярно по отношению к центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, площадь поперечного сечения секции охлаждения реакции обозначена как S1 (выражена в единицах "м<sup>2</sup>"), и окружность

наружного контура поперечного сечения теплоотводящего водопровода (в пересчете на прямую трубопроводную секцию) (когда присутствует множество поперечных сечений, это означает сумму окружностей наружного контура всех поперечных сечений) обозначена как  $L2$  (выражена в единицах "м"),  $L2/S1 = 1,7-3,6 \text{ м}^{-1}$ , предпочтительно  $L2/S1 = 1,9-3,5 \text{ м}^{-1}$  и предпочтительнее  $L2/S1 = 2,1-3,3 \text{ м}^{-1}$ . Когда соотношение составляет менее чем  $1,7 \text{ м}^{-1}$ , в процессе долгосрочной устойчивой эксплуатации реактора могут возникать проблемы, например, коэффициент теплопередачи может уменьшаться вследствие адгезии молибденовых листов к стенкам теплоотводящего водопровода, и может нарушаться регулирование температуры, а когда данное соотношение составляет более чем  $3,6 \text{ м}^{-1}$ , это означает, что число теплоотводящих водопроводов увеличивается, что может представлять собой преимущество для разрушения пухляков, но будет вызывать неудобство для техников в процессе обслуживания устройства.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения число теплоотводящих водопроводов (в пересчете на прямую трубопроводную секцию) в реакторе с псевдооживленным слоем составляет, как правило, 220-5000 и предпочтительно 300-2400.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения наружные диаметры прямых трубопроводных секций теплоотводящего водопровода, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют 80-180 мм и предпочтительно 90-170 мм.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения внутренние диаметры прямых трубопроводных секций теплоотводящего водопровода, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют 60-150 мм и предпочтительно 70-140 мм.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения длины прямых трубопроводных секций теплоотводящего водопровода, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют 4,0-13 м и предпочтительно 5,5-12,0 м.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения вертикальный внутренний компонент представляет собой сепаратор газовой и твердой фаз, в частности, циклонный сепаратор. Для этой цели при этом в поперечном сечении, проходящем перпендикулярно по отношению к центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, площадь поперечного сечения секции охлаждения реакции обозначена как  $S1$  (выражена в единицах "м<sup>2</sup>"), и окружность наружного контура поперечного сечения сепаратора газовой и твердой фаз (в пересчете на спускной стояк) (когда присутствует множество поперечных сечений, это означает сумму окружностей наружного контура всех поперечных сечений) обозначена как  $L3$  (выражена в единицах "м"),  $L3/S1 = 0,25-0,85 \text{ м}^{-1}$ , предпочтительно  $L3/S1 = 0,30-0,75 \text{ м}^{-1}$  и предпочтительнее  $L3/S1 = 0,35-0,65 \text{ м}^{-1}$ . Когда данное соотношение составляет менее чем  $0,25 \text{ м}^{-1}$ , может присутствовать риск недостаточного отделения катализатора или блокирования спускного стояка. Напротив, когда данное соотношение составляет более чем  $0,85 \text{ м}^{-1}$ , с одной стороны, будет увеличиваться стоимость оборудования, с другой стороны, будет занято более эффективное пространство в реакторе, и в таких же условиях реакции будет увеличиваться линейная скорость эксплуатации реактора, что может вызывать дополнительное увеличение уноса катализатора.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения число сепараторов газовой и твердой фаз (в пересчете на спускной стояк) в реакторе с псевдооживленным слоем составляет от 16 до 516 и предпочтительно от 16 до 210.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения в реакторе с псевдооживленным слоем соотношение числа прямых трубопроводных секций и числа спускных стояков составляет от 8,5 до 24,0, предпочтительно от 10,0 до 23,0 и предпочтительнее от 11,5 до 21,0.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения наружные диаметры спускных стояков сепаратора газовой и твердой фаз, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют 150-410 мм и предпочтительно 200-360 мм.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения внутренние диаметры спускных стояков сепаратора газовой и твердой фаз, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют 130-400 мм и предпочтительно 180-350 мм.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения длины спускных стояков сепаратора газовой и твердой фаз, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют от 6 до 14 м и предпочтительно от 10 до 13 м.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения в реакторе с псевдооживленным слоем содержатся головная секция, зона разбавленной фазы, секция охлаждения реакции, предварительная реакционная секция и конус в последовательности сверху вниз, и дополнительно содержатся газораспределительная плита и необязательно распределитель текучей среды, присутствующий в предварительной реакционной секции. Здесь реактор с псевдооживленным слоем для производства акрилонитрила может быть предпочтительно упомянут в качестве реактора с псевдооживленным слоем. В этом случае вышеупомянутая другая распределительная плита представляет собой воздухораспределительную плиту, и распределитель текучей среды представляет собой распределитель пропилена и аммиака. Чтобы сконструировать и эксплуатировать реактор с псевдооживленным слоем, в частности, реактор с псевдооживленным слоем для производства акрилонитрила и т. д., соответствующая техническая информация, известная в данной области техники, может быть непосредственно использована специалистами в данной об-



ласти техники, и соответствующее подробное описание отсутствует в настоящем документе.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения поперечное сечение секции охлаждения реакции имеет практически круглую форму. Кроме того, диаметр секции охлаждения реакции составляет, как правило, от 5 до 29 м и предпочтительно от 7 до 20 м, но в некоторых случаях не ограничивается этими значениями.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения внутренний и наружный контуры поперечного сечения вертикального внутреннего компонента имеют практически круглую форму. Для этой цели вертикальный внутренний компонент имеет форму практически круглой трубы и, в частности, прямой круглой трубы.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения вертикальный внутренний компонент имеет практически круглый внутренний контур и практически круглый наружный контур, содержащий один или несколько выступов. Для этой цели внешний вид вертикального внутреннего компонента представляет собой практически круглую трубу, содержащий один или несколько выступов, и внутреннее пространство вертикального внутреннего компонента представляет собой трубу практически круглой формы. В качестве вертикального внутреннего компонента такой конструкции может быть упомянут, в частности, теплоотводящий водопровод согласно настоящему изобретению, который описан далее в настоящем документе, и который отличается тем, что присутствует выступ на наружной стенке некоторых или всех прямой трубопроводной секции.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения вертикальный внутренний компонент содержит теплоотводящий водопровод согласно настоящему изобретению, который описан далее в настоящем документе. Что касается вертикального внутреннего компонента, имеющего такую специфическую конструкцию, наружный контур его поперечное сечение больше не является практически круглым по форме, но имеет практически круглую форму с одним или несколькими выступами, которая представляет собой профилированную форму. По этой причине окружность наружного контура должна быть вычислена согласно практическому положению профилированной формы. Тем не менее, вне зависимости от того, какой является профилированная форма, специалисты в данной области техники могут с применением известных математических методов геометрии вычислять окружность наружного контура вышеупомянутой формы, и в настоящем документе отсутствует соответствующее подробное описание.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения предложен теплоотводящий водопровод, в котором содержатся впуск теплоотводящей среды,  $n$  прямых трубопроводных секций и выпуск теплоотводящей среды. Здесь прямая круглая труба может быть предпочтительно упомянута в качестве прямой трубы.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения в теплоотводящем водопроводе головной конец первой прямой трубопроводной секции находится в сообщении с впуском теплоотводящей среды, хвостовой конец  $n$ -й прямой трубопроводной секции находится в сообщении с выпуском теплоотводящей среды, хвостовой конец  $i$ -й прямой трубопроводной секции находится в сообщении с головным концом  $(i+1)$ -й прямой трубопроводной секции через U-образную трубу, и некоторые или все из наружных стенок прямых трубопроводных секций содержат выступы. Здесь  $n$  представляет собой целое число от 2 до 100 и предпочтительно 2 до 20, и  $i$  представляет собой произвольное целое число между 1 и  $n-1$ . Кроме того, термин "некоторые или все" означает, например, от 1 до 100%, от 5 до 80% или от 10 до 40% полного количества, но в некоторых случаях не ограничивается этими значениями.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения один или несколько выступов соединяются с наружной стенкой прямой трубопроводной секции. Здесь способ соединения не ограничивается определенным образом, и могут находить применение точечная сварка, непрерывная сварка, цельное формование или другие способы.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения наружные диаметры прямых трубопроводных секций теплоотводящего водопровода, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют 80-180 мм и предпочтительно 90-170 мм.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения внутренние диаметры прямых трубопроводных секций теплоотводящего водопровода, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют 60-150 мм и предпочтительно 70-140 мм.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения длины прямых трубопроводных секций теплоотводящего водопровода, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют от 4,0 до 13,0 м и предпочтительно от 5,5 до 12,0 м.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения в теплоотводящем водопроводе центральные трубопроводы любых двух соседних прямых трубопроводных секций являются параллельными по отношению друг к другу, и расстояния между центральными трубопроводами любых двух соседних прямых трубопроводных секций являются одинаковыми или различными (предпочтительно являются одинаковыми по отношению друг к другу), и в каждом случае они независимо составляют 160-540 мм и предпочтительно 180-430 мм.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения в теплоотводящем водопроводе один или несколько выступов проходят непрерывным или прерывистым образом вдоль (параллельно) направ-

ления центральной линии прямой трубопроводной секции. Здесь число одного или нескольких выступов может составлять от 1 до 10, от 1 до 4, 1 или 2.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения в теплоотводящем водопроводе один или несколько выступов проходят непрерывным или прерывистым образом вокруг центральной линии прямой трубопроводной секции, например, в форме кольца или спирали. Здесь число одного или нескольких выступов может составлять от 1 до 20, от 1 до 10, от 1 до 4, 1 или 2.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения в теплоотводящем водопроводе, когда один или несколько выступов проходят непрерывным или прерывистым образом в направлении вдоль центральной линии прямой трубопроводной секции, длина прохождения  $L_t$  выступа составляет не более чем длина  $L_z$  прямой трубопроводной секции, при этом соотношение  $L_t/L_z$  составляет предпочтительно 0,05-0,95 и предпочтительнее 0,1-0,6. В случае присутствия множества выступов различные выступы могут проходить параллельно по отношению друг к другу или под углом друг к другу, предпочтительно параллельно по отношению друг к другу, и предпочтительнее они располагаются равномерно в радиальном направлении вышеупомянутой прямой трубопроводной секции.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения в теплоотводящем водопроводе, где один или несколько выступов проходят непрерывным или прерывистым образом вокруг центральной линии прямой трубопроводной секции в форме кольца, высота  $H_h$  кольца составляет не более чем длина  $L_z$  прямой трубопроводной секции,  $H_h/L_z$  составляет предпочтительно от 0 до 0,9 и предпочтительнее от 0,01 до 0,6. Здесь высота  $H_h$  означает длину соответствующей секции прямой трубопроводной секции, имеющей один или несколько выступов. В случае присутствия множества из одного или нескольких выступов вертикальный промежуток  $H$  между различными выступами составляет не более чем длина  $L_z$  прямой трубопроводной секции,  $H/L_z$  составляет предпочтительно 0,01-0,5 и предпочтительнее 0,03-0,4. Угол  $\alpha_1$  между центральной линией одного или нескольких выступов и центральной линией прямой трубопроводной секции составляет предпочтительно более чем  $0^\circ$  и не более чем  $90^\circ$ , предпочтительнее не менее чем  $5^\circ$  и не более чем  $75^\circ$  и еще предпочтительнее не менее чем  $10^\circ$  и не более чем  $60^\circ$ .

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения в теплоотводящем водопроводе, когда один или несколько выступов проходят непрерывным или прерывистым образом вокруг центральной линии прямой трубопроводной секции в форме спирали, высота  $H_t$  спирали составляет не более чем длина  $L_z$  прямой трубопроводной секции,  $H_t/L_z$  составляет предпочтительно 0,1-0,95 и предпочтительнее 0,2-0,6. Здесь высота  $H_t$  означает длину соответствующей секции прямой трубопроводной секции, имеющей один или несколько выступов. Кроме того, шаг винта  $H$  спирали составляет не более чем длина  $L_z$  прямой трубопроводной секции,  $H/L_z$  составляет предпочтительно 0,01-0,5 и предпочтительнее 0,03-0,4. Угол  $\alpha_1$  между центральной линией одного или нескольких выступов и центральной линией прямой трубопроводной секции составляет предпочтительно более чем  $0^\circ$  и не более чем  $90^\circ$ , предпочтительнее не менее чем  $5^\circ$  и не более чем  $75^\circ$  и еще предпочтительнее не менее чем  $10^\circ$  и не более чем  $60^\circ$ . Кроме того, угол  $\alpha_2$  между касательной линией одного или нескольких выступов вдоль прямой трубопроводной секцией и центральной линией прямой трубопроводной секции составляет предпочтительно не менее чем  $0^\circ$  и не более чем  $90^\circ$ , предпочтительнее не менее чем  $5^\circ$  и не более чем  $75^\circ$  и еще предпочтительнее не менее чем  $10^\circ$  и не более чем  $60^\circ$ .

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения в теплоотводящем водопроводе высота одного или нескольких выступов составляет от 0,005-кратного до 0,3-кратного и предпочтительно от 0,008-кратного до 0,1-кратного наружного диаметра прямой трубопроводной секции.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения в теплоотводящем водопроводе ширина одного или нескольких выступов составляет от 0,005-кратного до 0,3-кратного и предпочтительно от 0,008-кратного до 0,2-кратного наружного диаметра прямой трубопроводной секции.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения оно также относится к реактору с псевдоожиженным слоем, в котором содержатся головная секция, зона разбавленной фазы, зона плотной фазы и конус в последовательности сверху вниз. Здесь по меньшей мере один теплоотводящий водопровод согласно любому из предшествующих аспектов настоящего изобретения находится в зоне плотной фазы. Предпочтительно теплоотводящие водопроводы равномерно распределены в реакторе с псевдоожиженным слоем. В качестве конкретного примера, если реактор с псевдоожиженным слоем разделен на четыре квадранта ABCD, окружности наружного контура теплоотводящих водопроводов во всех квадрантах являются практически одинаковыми. Кроме того, реактор с псевдоожиженным слоем для производства акрилонитрила может быть предпочтительно упомянут в качестве реактора псевдоожиженным слоем. Чтобы сконструировать и эксплуатировать реактор с псевдоожиженным слоем, в частности, реактор с псевдоожиженным слоем для производства акрилонитрила и т. д., соответствующая техническая информация, известная в данной области техники, может быть непосредственно использована специалистами в данной области техники, и соответствующее подробное описание отсутствует в настоящем документе.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения в реакторе с псевдоожиженным слоем теплоотводящий водопровод, имеющий традиционную конструкцию, которая известна в технике, может присутствовать в качестве дополнения к теплоотводящему водопроводу, имеющему конкретную конст-

рукцию согласно настоящему изобретению. Предпочтительно число теплоотводящих водопроводов, имеющих конкретную конструкцию согласно настоящему изобретению, составляет, например, 1-100%, 5-80% или 10-40% по отношению к полному числу всех теплоотводящих водопроводов, в пересчете на прямую трубопроводную секцию. Предпочтительно теплоотводящие водопроводы равномерно распределены в реакторе с псевдооживленным слоем. Например, если реактор с псевдооживленным слоем разделен на четыре квадранта ABCD, окружности наружного контура теплоотводящих водопроводов во всех квадрантах являются практически одинаковыми.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения оно также относится к применению реактора с псевдооживленным слоем согласно любому из представленных выше аспектов настоящего изобретения в производстве эпоксидного соединения или ненасыщенного нитрила с применением олефина способом окисления или способом аммоксидирования. Здесь в качестве олефина может быть упомянут, в частности, пропилен; в качестве эпоксида может быть упомянут, в частности, пропиленоксид; и в качестве ненасыщенного нитрила может быть упомянут, в частности, акрилонитрил.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения оно относится, в частности, к способу производства акрилонитрила, в котором предусмотрена стадия введения в реакцию аммоксидирования в реакторе с псевдооживленным слоем согласно любому из представленных выше аспектов настоящего изобретения с получением акрилонитрила.

Согласно варианту осуществления настоящего изобретения способ окисления или аммоксидирования олефинов может быть осуществлен любым образом и в любом режиме, который традиционно является известным в технике, и поскольку такая информация известна специалистам в данной области техники, соответствующее подробное описание не представлено в настоящем документе. Однако в конкретных примерах реакция аммоксидирования осуществляется в следующих условиях: молярное соотношение пропилена, аммиака и воздуха (в пересчете на молекулярный кислород) составляет, как правило, 1:1,1-1,3:1,8-2,0, температура реакции составляет, как правило, 420-440°C, давление реакции (манометрическое давление) составляет, как правило, 0,03-0,14 МПа, и часовая скорость подачи исходных материалов составляет, как правило, 0,04-0,10 ч<sup>-1</sup>.

#### Примеры

Далее настоящее изобретение будет описано с дополнительными подробностями и ссылками на примеры и сравнительные примеры, но настоящее изобретение не ограничено следующими примерами.

В следующих примерах и сравнительных примерах выход акрилонитрила и степень превращения пропилена могут быть вычислены с применением следующих уравнений:

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

$$\text{Степень превращения пропилена: } C_{C3}\% = (1 - C_{C3in}/C_{C3out}) \cdot 100,$$

при этом:

$C_{AN}$  - молярное количество (моль) углерода, содержащегося в акрилонитриле в составе газа на выпуске реактора;

$\Sigma C$  - полное молярное количество (моль) углерода, содержащегося в составе газа на выпуске реактора;

$C_{C3out}$  - молярное количество (моль) углерода, содержащегося в пропилене в составе газа на выпуске реактора;

$C_{C3in}$  - молярное количество (моль) углерода, содержащегося в пропилене в составе газа на впуске реактора.

В следующих примерах и сравнительных примерах псевдооживленное состояние псевдооживленного слоя также может быть охарактеризовано графиком интенсивности пульсаций давления или соответствующими данными.

#### Сравнительный пример 1

Как проиллюстрировано на фиг. 1, в реакторе с псевдооживленным слоем диаметр составлял 1,5 м, тангенциальная высота составляла 16 м (т. е. полная высота зоны плотной фазы и зоны разбавленной фазы, которые проиллюстрированы на фиг. 1), наполнение представляло собой 3,8 тонн катализатора синтеза акрилонитрила серии SANC, который поставляет Шанхайский научно-исследовательский институт нефтехимической технологии SINOPEC, и внутри присутствовали 13 U-образных теплоотводящих водопроводов, причем наружный диаметр прямой трубопроводной секции каждого теплоотводящего водопровода составлял 30 мм, и длина прямой трубопроводной секции составляла 10 м; присутствовали два набора циклонных сепараторов, и внутри каждого из них присутствовали две ступени циклонных сепараторов, соединенных последовательно, причем наружные диаметры спускных стояков первой ступени и второй ступени составляли, соответственно, 50 мм и 50 мм, длина спускного стояка первой ступени составляла 15,5 м, и длина спускного стояка второй ступени составляла 14,7 м.

В секции охлаждения реакции реактора с псевдооживленным слоем диаметр составлял 1,5 м, и длина L составляла 8,5 м. В центральной точке секции охлаждения реакции  $L1/S1 = 1,74 \text{ м}^{-1}$ ,  $L2/S1 = 1,39 \text{ м}^{-1}$  и  $L3/S1 = 0,36 \text{ м}^{-1}$ .

Эксплуатацию устройства осуществляли в следующих условиях: скорость подачи воздуха состав-

ляла  $3200 \text{ Нм}^3/\text{ч}$ , температура представляла собой комнатную температуру, и давление представляло собой атмосферное давление.

Данные интенсивности пульсаций давления измерены при  $H_0 = 2 \text{ м}$  и проиллюстрированы на фиг. 6. Сравнительный пример 2

Как проиллюстрировано на фиг. 1, в реакторе с псевдооживленным слоем диаметр составлял  $1,5 \text{ м}$ , тангенциальная высота составляла  $16 \text{ м}$  (т. е. полная высота зоны плотной фазы и зоны разбавленной фазы, которые проиллюстрированы на фиг. 1), наполнение представляло собой  $3,8 \text{ тонн}$  катализатора синтеза акрилонитрила серии SANC, который поставляет Шанхайский научно-исследовательский институт нефтехимической технологии SINOPEC, и внутри присутствовали  $39 \text{ U-образных}$  теплоотводящих водопроводов, причем наружный диаметр прямой трубопроводной секции каждого теплоотводящего водопровода составлял  $30 \text{ мм}$ , и длина прямой трубопроводной секции составляла  $10 \text{ м}$ ; присутствовали два набора циклонных сепараторов, и внутри каждого из них присутствовали ступени циклонных сепараторов, соединенных последовательно, причем наружные диаметры спускных стояков первой ступени и второй ступени составляли, соответственно,  $50 \text{ мм}$  и  $50 \text{ мм}$ , длина спускного стояка первой ступени составляла  $15,5 \text{ м}$ , и длина спускного стояка второй ступени составляла  $14,7 \text{ м}$ .

В секции охлаждения реакции реактора с псевдооживленным слоем диаметр составлял  $1,5 \text{ м}$ , и длина  $L$  составляла  $8,5 \text{ м}$ . В центральной точке секции охлаждения реакции  $L1/S1 = 4,52 \text{ м}^{-1}$ ,  $L2/S1 = 4,16 \text{ м}^{-1}$  и  $L3/S1 = 0,36 \text{ м}^{-1}$ .

Эксплуатацию устройства осуществляли в следующих условиях: скорость подачи воздуха составляла  $3200 \text{ Нм}^3/\text{ч}$ , температура представляла собой комнатную температуру, и давление представляло собой атмосферное давление.

Данные интенсивности пульсаций давления измерены при  $H_0 = 2 \text{ м}$  и проиллюстрированы на фиг. 7.

В процессе эксплуатации устройства было обнаружено, что увеличивалась концентрация тонких частиц катализатора в газовой фазе на выпуске устройства, что свидетельствовало об относительно серьезном абразивном износе катализатора.

Пример 1

Как проиллюстрировано на фиг. 1, в реакторе с псевдооживленным слоем диаметр составлял  $1,5 \text{ м}$ , тангенциальная высота составляла  $16 \text{ м}$  (т. е. полная высота зоны плотной фазы и зоны разбавленной фазы, которые проиллюстрированы на фиг. 1), наполнение представляло собой  $3,8 \text{ тонн}$  катализатора синтеза акрилонитрила серии SANC, который поставляет Шанхайский научно-исследовательский институт нефтехимической технологии SINOPEC, и внутри присутствовали  $30 \text{ U-образных}$  теплоотводящих водопроводов, причем наружный диаметр прямой трубопроводной секции каждого теплоотводящего водопровода составлял  $30 \text{ мм}$ , и длина прямой трубопроводной секции составляла  $10 \text{ м}$ ; присутствовали два набора циклонных сепараторов, и внутри каждого из них присутствовали ступени циклонных сепараторов, соединенных последовательно, причем наружные диаметры спускных стояков первой ступени и второй ступени составляли, соответственно,  $50 \text{ мм}$  и  $50 \text{ мм}$ , длина спускного стояка первой ступени составляла  $15,5 \text{ м}$ , и длина спускного стояка второй ступени составляла  $14,7 \text{ м}$ .

В секции охлаждения реакции реактора с псевдооживленным слоем диаметр составлял  $1,5 \text{ м}$ , и длина  $L$  составляла  $8,5 \text{ м}$ . В центральной точке секции охлаждения реакции  $L1/S1 = 3,56 \text{ м}^{-1}$ ,  $L2/S1 = 3,20 \text{ м}^{-1}$  и  $L3/S1 = 0,36 \text{ м}^{-1}$ .

Эксплуатацию устройства осуществляли в следующих условиях: скорость подачи воздуха составляла  $3200 \text{ Нм}^3/\text{ч}$ , температура представляла собой комнатную температуру, и давление представляло собой атмосферное давление.

Данные интенсивности пульсаций давления измерены при  $H_0 = 2 \text{ м}$  и проиллюстрированы на фиг. 8.

Пример 2

Как проиллюстрировано на фиг. 1, в реакторе с псевдооживленным слоем диаметр составлял  $1,5 \text{ м}$ , тангенциальная высота составляла  $16 \text{ м}$  (т. е. полная высота зоны плотной фазы и зоны разбавленной фазы, которые проиллюстрированы на фиг. 1), наполнение представляло собой  $3,8 \text{ тонн}$  катализатора синтеза акрилонитрила серии SANC, который поставляет Шанхайский научно-исследовательский институт нефтехимической технологии SINOPEC, и присутствовали  $18 \text{ U-образных}$  теплоотводящих водопроводов, причем наружный диаметр прямой трубопроводной секции каждого теплоотводящего водопровода составлял  $30 \text{ мм}$ , и длина прямой трубопроводной секции составляла  $10 \text{ м}$ ; присутствовали два набора циклонных сепараторов, и внутри каждого из них присутствовали ступени циклонных сепараторов, соединенных последовательно, причем наружные диаметры спускных стояков первой ступени и второй ступени составляли, соответственно,  $50 \text{ мм}$  и  $50 \text{ мм}$ , длина спускного стояка первой ступени составляла  $15,5 \text{ м}$ , и длина спускного стояка второй ступени составляла  $14,7 \text{ м}$ .

В секции охлаждения реакции реактора с псевдооживленным слоем диаметр составлял  $1,5 \text{ м}$ , и длина  $L$  составляла  $8,5 \text{ м}$ . В центральной точке секции охлаждения реакции  $L1/S1 = 2,28 \text{ м}^{-1}$ ,  $L2/S1 = 1,92 \text{ м}^{-1}$  и  $L3/S1 = 0,36 \text{ м}^{-1}$ .

Эксплуатацию устройства осуществляли в следующих условиях: скорость подачи воздуха составляла  $3200 \text{ Нм}^3/\text{ч}$ , температура представляла собой комнатную температуру, и давление представляло собой атмосферное давление.

Данные интенсивности пульсаций давления измерены при  $H_0 = 2$  м и проиллюстрированы на фиг. 9.

#### Пример 3

Как проиллюстрировано на фиг. 1, в реакторе с псевдооживленным слоем диаметр составлял 1,5 м, тангенциальная высота составляла 16 м (т. е. полная высота зоны плотной фазы и зоны разбавленной фазы, которые проиллюстрированы на фиг. 1), наполнение представляло собой 3,8 тонн катализатора синтеза акрилонитрила серии SANC, который поставляет Шанхайский научно-исследовательский институт нефтехимической технологии SINOPEC, и присутствовали 36 U-образных теплоотводящих водопроводов, причем наружный диаметр прямой трубопроводной секции каждого теплоотводящего водопровода составлял 30 мм, и длина прямой трубопроводной секции составляла 10 м; присутствовали два набора циклонных сепараторов, и внутри каждого из них присутствовали ступени циклонных сепараторов, соединенных последовательно, причем наружные диаметры спускных стояков первой ступени и второй ступени составляли, соответственно, 50 мм и 50 мм, длина спускного стояка первой ступени составляла 15,5 м, и длина спускного стояка второй ступени составляла 14,7 м.

В секции охлаждения реакции реактора с псевдооживленным слоем диаметр составлял 1,5 м, и длина L составляла 8,5 м. В центральной точке секции охлаждения реакции  $L1/S1 = 4,20 \text{ м}^{-1}$ ,  $L2/S1 = 3,84 \text{ м}^{-1}$  и  $L3/S1 = 0,36 \text{ м}^{-1}$ .

Эксплуатацию устройства осуществляли в следующих условиях: скорость подачи воздуха составляла  $3200 \text{ Нм}^3/\text{ч}$ , температура представляла собой комнатную температуру, и давление представляло собой атмосферное давление.

Данные интенсивности пульсаций давления измерены при  $H_0 = 2$  м и проиллюстрированы на фиг. 10.

В процессе эксплуатации устройства концентрация тонких частиц катализатора в газовой фазе на выпуске устройства находилась в пределах приемлемого диапазона.

#### Сравнительный пример 3

Как проиллюстрировано на фиг. 1, в реакторе с псевдооживленным слоем диаметр составлял 8 м, тангенциальная высота составляла 18 м (т. е. полная высота зоны плотной фазы и зоны разбавленной фазы, которые проиллюстрированы на фиг. 1), наполнение представляло собой 160 тонн катализатора синтеза акрилонитрила серии SANC, который поставляет Шанхайский научно-исследовательский институт нефтехимической технологии SINOPEC, и внутри присутствовали 100 U-образных теплоотводящих водопроводов, которые были разделены на 18 групп, причем каждая группа была образована посредством соединения двух U-образных, пяти U-образных и шести U-образных теплоотводящих водопроводов, расположенных последовательно, причем наружный диаметр прямой трубопроводной секции каждого теплоотводящего водопровода составлял 114 мм, и длина прямой трубопроводной секции составляла 8 м; и внутри присутствовали 18 циклонных сепараторов, которые были разделены на 9 наборов, причем в каждом из них содержались две ступени циклонных сепараторов, соединенных последовательно, причем наружные диаметры спускных стояков первой ступени и второй ступени составляли 326 мм и 219 мм, соответственно, длина спускного стояка первой ступени составляла 12,0 м, и длина спускного стояка второй ступени составляла 10,1 м.

Соотношение числа охлаждающих водопроводов и числа спускных стояков циклонных сепараторов в реакторе с псевдооживленным слоем составляло 11,11.

В секции охлаждения реакции реактора с псевдооживленным слоем диаметр составлял 8 м, и длина L составляла 6,9 м. В центральной точке секции охлаждения реакции  $L1/S1 = 1,73 \text{ м}^{-1}$ ,  $L2/S1 = 1,43 \text{ м}^{-1}$  и  $L3/S1 = 0,31 \text{ м}^{-1}$ .

Данные интенсивности пульсаций давления измерены при  $H_0 = 2$  м, и график данных интенсивности пульсаций давления был аналогичным графику в сравнительном примере 1.

Эксплуатацию устройства осуществляли в следующих условиях: скорость введения пропилена составляла  $5900 \text{ Нм}^3/\text{ч}$ , температура реакции составляла  $430^\circ\text{C}$ , давление реакции составляло 0,055 МПа, и соотношение пропилена, аммиака и воздуха составляло 1:1,2:9,6.

В результате эксплуатации устройства были получены следующие данные: выход акрилонитрила составлял 78,3%, и степень превращения пропилена составляла 95,4%.

#### Пример 4

Как проиллюстрировано на фиг. 4, в реакторе с псевдооживленным слоем диаметр составлял 8 м, тангенциальная высота составляла 18 м (т. е. полная высота зоны плотной фазы и зоны разбавленной фазы, которые проиллюстрированы на фиг. 1), наполнение представляло собой 160 тонн катализатора синтеза акрилонитрила серии SANC, который поставляет Шанхайский научно-исследовательский институт нефтехимической технологии SINOPEC, и внутри присутствовали 225 U-образных теплоотводящих водопроводов, которые были разделены на 40 групп, причем каждая группа была образована посредством соединения двух U-образных, пяти U-образных и шести U-образных теплоотводящих водопроводов, расположенных последовательно, причем наружный диаметр прямой трубопроводной секции каждого теплоотводящего водопровода составлял 114 мм, длина прямой трубопроводной секции составляла 10 м, и при этом промежуток между трубами составлял 220 мм; и внутри присутствовали 20 циклонных сепараторов, которые были разделены на 11 наборов, в каждом из которых содержались две ступени циклон-

ных сепараторов, соединенных последовательно, причем наружные диаметры спускных стояков первой ступени и второй ступени составляли 326 мм и 219 мм, соответственно, длина спускного стояка первой ступени составляла 12,0 м, и длина спускного стояка второй ступени составляла 10,1 м.

Соотношение числа охлаждающих водопроводов и числа спускных стояков циклонных сепараторов в реакторе с псевдооживленным слоем составляло 20,45.

В секции охлаждения реакции реактора с псевдооживленным слоем диаметр составлял 8 м, и длина  $L$  составляла 7,4 м. В центральной точке секции охлаждения реакции  $L1/S1 = 3,58 \text{ м}^{-1}$ ,  $L2/S1 = 3,21 \text{ м}^{-1}$  и  $L3/S1 = 0,37 \text{ м}^{-1}$ .

Данные интенсивности пульсаций давления измерены при  $H_0 = 2$  м, и график данных интенсивности пульсаций давления был аналогичным графику в примере 1.

Эксплуатацию устройства осуществляли в следующих условиях: скорость введения пропилена составляла  $5900 \text{ Нм}^3/\text{ч}$ , температура реакции составляла  $430^\circ\text{C}$ , давление реакции составляло 0,04 МПа, и соотношение пропилена, аммиака и воздуха составляло 1:1,2:9,6.

В результате эксплуатации устройства были получены следующие данные: выход акрилонитрила составлял 80,5%, и степень превращения пропилена составляла 98,5%.

#### Пример 5

Как проиллюстрировано на фиг. 4, в реакторе с псевдооживленным слоем диаметр составлял 8 м, тангенциальная высота составляла 18 м (т. е. полная высота зоны плотной фазы и зоны разбавленной фазы, которые проиллюстрированы на фиг. 1), наполнение представляло собой 160 тонн катализатора синтеза акрилонитрила серии SANC, который поставляет Шанхайский научно-исследовательский институт нефтехимической технологии SINOPEC, и внутри присутствовали 110 U-образных теплоотводящих водопроводов, которые были разделены на 20 групп, причем каждая группа была образована посредством соединения двух U-образных, пяти U-образных и шести U-образных теплоотводящих водопроводов, расположенных последовательно, причем наружный диаметр прямой трубопроводной секции каждого теплоотводящего водопровода составлял 114 мм, длина прямой трубопроводной секции составляла 10 м, и при этом промежуток между трубами составлял 220 мм; и внутри присутствовали 28 циклонных сепараторов, которые были разделены на 14 наборов, в каждом из которых содержались две ступени циклонных сепараторов, соединенных последовательно, причем наружные диаметры спускных стояков первой ступени и второй ступени составляли 326 мм и 219 мм, соответственно, длина спускного стояка первой ступени составляла 12,0 м, и длина спускного стояка второй ступени составляла 10,1 м.

Соотношение числа охлаждающих водопроводов и числа спускных стояков циклонных сепараторов в реакторе с псевдооживленным слоем составляло 7,85.

В секции охлаждения реакции реактора с псевдооживленным слоем диаметр составлял 8 м, и длина  $L$  составляла 7,4 м. В центральной точке секции охлаждения реакции  $L1/S1 = 2,04 \text{ м}^{-1}$ ,  $L2/S1 = 1,57 \text{ м}^{-1}$  и  $L3/S1 = 0,48 \text{ м}^{-1}$ .

Данные интенсивности пульсаций давления измерены при  $H_0 = 2$  м, и график данных интенсивности пульсаций давления был аналогичным графику в примере 2.

Эксплуатацию устройства осуществляли в следующих условиях: скорость введения пропилена составляла  $5900 \text{ Нм}^3/\text{ч}$ , температура реакции составляла  $430^\circ\text{C}$ , давление реакции составляло 0,04 МПа, и соотношение пропилена, аммиака и воздуха составляло 1:1,2:9,6.

В результате эксплуатации устройства были получены следующие данные: выход акрилонитрила составлял 79,3%, и степень превращения пропилена составляла 96,8%.

#### Пример 6

Как проиллюстрировано на фиг. 4, в реакторе с псевдооживленным слоем диаметр составлял 8 м, тангенциальная высота составляла 18 м (т. е. полная высота зоны плотной фазы и зоны разбавленной фазы, которые проиллюстрированы на фиг. 1), наполнение представляло собой 160 тонн катализатора синтеза акрилонитрила серии SANC, который поставляет Шанхайский научно-исследовательский институт нефтехимической технологии SINOPEC, и внутри присутствовали 266 U-образных теплоотводящих водопроводов, которые были разделены на 48 групп, причем каждая группа была образована посредством соединения двух U-образных, пяти U-образных и шести U-образных теплоотводящих водопроводов, расположенных последовательно, причем наружный диаметр прямой трубопроводной секции каждого теплоотводящего водопровода составлял 114 мм, длина прямой трубопроводной секции составляла 10 м, и при этом промежуток между трубами составлял 215 мм; и внутри присутствовали 18 циклонные сепараторы, которые были разделены на 9 наборов, в каждом из которых содержались две ступени циклонных сепараторов, соединенных последовательно, причем наружные диаметры спускных стояков первой ступени и второй ступени составляли 326 мм и 219 мм, соответственно, длина спускного стояка первой ступени составляла 12,0 м, и длина спускного стояка второй ступени составляла 10,1 м.

Соотношение числа охлаждающих водопроводов и числа спускных стояков циклонных сепараторов в реакторе с псевдооживленным слоем составляло 29,55.

В секции охлаждения реакции реактора с псевдооживленным слоем диаметр составлял 8 м, и длина  $L$  составляла 7,4 м. В центральной точке секции охлаждения реакции  $L1/S1 = 4,10 \text{ м}^{-1}$ ,  $L2/S1 = 3,79 \text{ м}^{-1}$  и  $L3/S1 = 0,31 \text{ м}^{-1}$ .

Данные интенсивности пульсаций давления измерены при  $H_0 = 2$  м, и график данных интенсивности пульсаций давления был аналогичным графику в примере 3.

Эксплуатацию устройства осуществляли в следующих условиях: скорость введения пропилена составляла  $5900 \text{ Нм}^3/\text{ч}$ , температура реакции составляла  $430^\circ\text{C}$ , давление реакции составляло  $0,04 \text{ МПа}$ , и соотношение пропилена, аммиака и воздуха составляло  $1:1,2:9,6$ .

В результате эксплуатации устройства были получены следующие данные: выход акрилонитрила составлял  $80,5\%$ , и степень превращения пропилена составляла  $98,6\%$ .

#### Пример 7

Как проиллюстрировано на фиг. 4, в реакторе с псевдооживленным слоем диаметр составлял  $8$  м, тангенциальная высота составляла  $18$  м (т. е. полная высота зоны плотной фазы и зоны разбавленной фазы, которые проиллюстрированы на фиг. 1), наполнение представляло собой  $160$  тонн катализатора синтеза акрилонитрила серии SANC, который поставляет Шанхайский научно-исследовательский институт нефтехимической технологии SINOPEC, и внутри присутствовали  $225$  U-образных теплоотводящих водопроводов, которые были разделены на  $40$  групп, причем каждая группа была образована посредством соединения двух U-образных, пяти U-образных и шести U-образных теплоотводящих водопроводов, расположенных последовательно, причем наружный диаметр прямой трубопроводной секции каждого теплоотводящего водопровода составлял  $114$  мм, длина прямой трубопроводной секции составляла  $10$  м, и при этом промежуток между трубами составлял  $220$  мм; и внутри присутствовали  $12$  циклонных сепараторов, которые были разделены на  $4$  наборов, в каждом из которых содержались три ступени циклонных сепараторов, соединенных последовательно, причем наружные диаметры спускных стояков первой ступени, второй ступени и третьей ступени составляли  $326$  мм,  $219$  мм и  $219$  мм, соответственно, длина спускного стояка первой ступени составляла  $12,0$  м, и длина спускных стояков второй ступени и третьей ступени составляла  $10,1$  м.

В секции охлаждения реакции реактора с псевдооживленным слоем диаметр составлял  $8$  м, и длина  $L$  составляла  $7,4$  м. В центральной точке секции охлаждения реакции  $L1/S1 = 3,40 \text{ м}^{-1}$ ,  $L2/S1 = 3,21 \text{ м}^{-1}$  и  $L3/S1 = 0,19 \text{ м}^{-1}$ .

Данные интенсивности пульсаций давления измерены при  $H_0 = 2$  м, и график данных интенсивности пульсаций давления был аналогичным графику в примере 1.

Эксплуатацию устройства осуществляли в следующих условиях: скорость введения пропилена составляла  $5900 \text{ Нм}^3/\text{ч}$ , температура реакции составляла  $430^\circ\text{C}$ , давление реакции составляло  $0,04 \text{ МПа}$ , и соотношение пропилена, аммиака и воздуха составляло  $1:1,2:9,6$ .

В результате эксплуатации устройства были получены следующие данные: выход акрилонитрила составлял  $79,5\%$ , и степень превращения пропилена составляла  $97,6\%$ .

#### Пример 8

Как проиллюстрировано на фиг. 4, в реакторе с псевдооживленным слоем диаметр составлял  $8$  м, тангенциальная высота составляла  $18$  м (т. е. полная высота зоны плотной фазы и зоны разбавленной фазы, которые проиллюстрированы на фиг. 1), наполнение представляло собой  $160$  тонн катализатора синтеза акрилонитрила серии SANC, который поставляет Шанхайский научно-исследовательский институт нефтехимической технологии SINOPEC, и внутри присутствовали  $225$  U-образных теплоотводящих водопроводов, которые были разделены на  $40$  групп, причем каждая группа была образована посредством соединения двух U-образных, пяти U-образных и шести U-образных теплоотводящих водопроводов, расположенных последовательно, причем наружный диаметр прямой трубопроводной секции каждого теплоотводящего водопровода составлял  $114$  мм, длина прямой трубопроводной секции составляла  $10$  м, и при этом промежуток между трубами составлял  $220$  мм; и внутри присутствовали  $24$  циклонных сепаратора, которые были разделены на  $8$  наборов, в каждом из которых содержались три ступени циклонных сепараторов, соединенных последовательно, причем наружные диаметры спускных стояков первой ступени, второй ступени и третьей ступени составляли  $326$  мм,  $219$  мм и  $219$  мм, соответственно, длина спускного стояка первой ступени составляла  $12,0$  м, и длина спускных стояков второй ступени и третьей ступени составляла  $10,1$  м.

В секции охлаждения реакции реактора с псевдооживленным слоем диаметр составлял  $8$  м, и длина  $L$  составляла  $7,4$  м. В центральной точке секции охлаждения реакции  $L1/S1 = 3,23 \text{ м}^{-1}$ ,  $L2/S1 = 2,85 \text{ м}^{-1}$  и  $L3/S1 = 0,38 \text{ м}^{-1}$ .

Данные интенсивности пульсаций давления измерены при  $H_0 = 2$  м, и график данных интенсивности пульсаций давления был аналогичным графику в примере 1.

Эксплуатацию устройства осуществляли в следующих условиях: скорость введения пропилена составляла  $5900 \text{ Нм}^3/\text{ч}$ , температура реакции составляла  $430^\circ\text{C}$ , давление реакции составляло  $0,04 \text{ МПа}$ , и соотношение пропилена, аммиака и воздуха составляло  $1:1,2:9,6$ .

В результате эксплуатации устройства были получены следующие данные: выход акрилонитрила составлял  $80,2\%$ , и степень превращения пропилена составляла  $98,1\%$ .

#### Пример 9

Как проиллюстрировано на фиг. 4, в реакторе с псевдооживленным слоем диаметр составлял  $8$  м, тангенциальная высота составляла  $18$  м (т. е. полная высота зоны плотной фазы и зоны разбавленной

фазы, которые проиллюстрированы на фиг. 1), наполнение представляло собой 160 тонн катализатора синтеза акрилонитрила серии SANC, который поставляет Шанхайский научно-исследовательский институт нефтехимической технологии SINOPEC, и присутствовали 140 U-образных теплоотводящих водопроводов, которые были разделены на 26 групп, причем каждая группа была образована посредством соединения двух U-образных, пяти U-образных и шести U-образных теплоотводящих водопроводов, расположенных последовательно, причем наружный диаметр прямой трубопроводной секции каждого теплоотводящего водопровода составлял 114 мм, и длина прямой трубопроводной секции составляла 8 м; и внутри присутствовали 18 циклонных сепараторов, которые были разделены на 9 наборов, в каждом из которых содержались две ступени циклонных сепараторов, соединенных последовательно, причем наружные диаметры спускных стояков первой ступени и второй ступени составляли 326 мм и 219 мм, соответственно, длина спускного стояка первой ступени составляла 12,0 м, и длина спускного стояка второй ступени составляла 10,1 м.

В секции охлаждения реакции реактора с псевдоожиженным слоем диаметр составлял 8 м, и длина L составляла 7,2 м. В центральной точке секции охлаждения реакции  $L1/S1 = 2,28 \text{ м}^{-1}$ ,  $L2/S1 = 2,00 \text{ м}^{-1}$  и  $L3/S1 = 0,29 \text{ м}^{-1}$ .

Данные интенсивности пульсаций давления измерены при  $H_0 = 2 \text{ м}$ , и график данных интенсивности пульсаций давления был аналогичным графику в примере 2.

Эксплуатацию устройства осуществляли в следующих условиях: скорость введения пропилена составляла  $5900 \text{ Нм}^3/\text{ч}$ , температура реакции составляла  $430^\circ\text{C}$ , давление реакции составляло 0,04 МПа, и соотношение пропилена, аммиака и воздуха составляло 1:1,2:9,6.

В результате эксплуатации устройства были получены следующие данные: выход акрилонитрила составлял 79,6%, и степень превращения пропилена составляла 97,3%.

#### Пример 10

Как проиллюстрировано на фиг. 4, в реакторе с псевдоожиженным слоем диаметр составлял 8 м, и тангенциальная высота составляла 18 м (т. е. полная высота зоны плотной фазы и зоны разбавленной фазы, которые проиллюстрированы на фиг. 1), наполнение представляло собой 160 тонн катализатора синтеза акрилонитрила серии SANC, который поставляет Шанхайский научно-исследовательский институт нефтехимической технологии SINOPEC, и внутри присутствовали 190 U-образных теплоотводящих водопроводов, которые были разделены на 34 групп, причем каждая группа была образована посредством соединения двух U-образных, пяти U-образных и шести U-образных теплоотводящих водопроводов, расположенных последовательно, причем наружный диаметр прямой трубопроводной секции каждого теплоотводящего водопровода составлял 114 мм, длина (Lz) прямой трубопроводной секции составляла 8 м, и присутствовали ребра снаружи трубных стенок 95 прямых трубопроводных секций, как проиллюстрировано на фиг. 5f, при этом 4 ребра были равномерно распределены по наружной трубной стенке, и у ребер длина (Lt) составляла 3000 мм, высота составляла 10 мм, и ширина составляла 20 мм. Кроме того, внутри реактора с псевдоожиженным слоем присутствовали 22 циклонных сепаратора, которые были разделены на 11 наборов, в каждом из которых содержались две ступени циклонных сепараторов, соединенных последовательно, причем наружные диаметры спускных стояков первой ступени и второй ступени составляли 326 мм и 219 мм, соответственно, длина спускного стояка первой ступени составляла 12,0 м, и длина спускного стояка второй ступени составляла 10,1 м.

В секции охлаждения реакции реактора с псевдоожиженным слоем диаметр составлял 8 м, и длина L составляла 7,4 м. В центральной точке секции охлаждения реакции  $L1/S1 = 3,12 \text{ м}^{-1}$ ,  $L2/S1 = 2,75 \text{ м}^{-1}$  и  $L3/S1 = 0,37 \text{ м}^{-1}$ .

Данные интенсивности пульсаций давления измерены при  $H_0 = 2 \text{ м}$ , и график данных интенсивности пульсаций давления был аналогичным графику в примере 1.

Эксплуатацию устройства осуществляли в следующих условиях: скорость введения пропилена составляла  $5900 \text{ Нм}^3/\text{ч}$ , температура реакции составляла  $430^\circ\text{C}$ , давление реакции составляло 0,04 МПа, и соотношение пропилена, аммиака и воздуха составляло 1:1,2:9,6.

В результате эксплуатации устройства были получены следующие данные: выход акрилонитрила составлял 80,7%, и степень превращения пропилена составляла 98,8%.

#### Пример 11

Как проиллюстрировано на фиг. 4, в реакторе с псевдоожиженным слоем диаметр составлял 8 м, и тангенциальная высота составляла 18 м (т. е. полная высота зоны плотной фазы и зоны разбавленной фазы, которые проиллюстрированы на фиг. 1), наполнение представляло собой 160 тонн катализатора синтеза акрилонитрила серии SANC, который поставляет Шанхайский научно-исследовательский институт нефтехимической технологии SINOPEC, и внутри присутствовали 190 U-образных теплоотводящих водопроводов, которые были разделены на 34 групп, причем каждая группа была образована посредством соединения двух U-образных, пяти U-образных и шести U-образных теплоотводящих водопроводов, расположенных последовательно, причем наружный диаметр прямой трубопроводной секции каждого теплоотводящего водопровода составлял 114 мм, длина (Lz) прямой трубопроводной секции составляла 8 м, и присутствовали ребра снаружи трубных стенок 95 прямых трубопроводных секций, как проиллюстрировано на фиг. 5a, при этом 8 ребер были распределены по наружной трубной стенке, и вертикаль-



ный промежуток между ребрами составлял 500 мм, и угол  $\alpha_1$  составлял  $50^\circ$ . У ребер длина ( $L_t$ ) составляла 3500 мм, высота составляла 10 мм, и ширина составляла 20 мм. Кроме того, внутри реактора с псевдоожиженным слоем присутствовали 20 циклонных сепараторов, которые были разделены на 10 наборов, в каждом из которых содержались две ступени циклонных сепараторов, соединенных последовательно, причем наружные диаметры спускных стояков первой ступени и второй ступени составляли 326 мм и 219 мм, соответственно, длина спускного стояка первой ступени составляла 12,0 м, и длина спускного стояка второй ступени составляла 10,1 м.

В секции охлаждения реакции реактора с псевдоожиженным слоем диаметр составлял 8 м, и длина  $L$  составляла 7,4 м. В центральной точке секции охлаждения реакции  $L_1/S_1 = 3,15 \text{ м}^{-1}$ ,  $L_2/S_1 = 2,78 \text{ м}^{-1}$  и  $L_3/S_1 = 0,37 \text{ м}^{-1}$ .

Данные интенсивности пульсаций давления измерены при  $H_0 = 2$  м, и график данных интенсивности пульсаций давления был аналогичным графику в примере 1.

Эксплуатацию устройства осуществляли в следующих условиях: скорость введения пропилена составляла  $5900 \text{ Нм}^3/\text{ч}$ , температура реакции составляла  $430^\circ\text{C}$ , давление реакции составляло 0,04 МПа, и соотношение пропилена, аммиака и воздуха составляло 1:1,2:9,6.

В результате эксплуатации устройства были получены следующие данные: выход акрилонитрила составлял 80,6%, и степень превращения пропилена составляла 98,7%.

#### Пример 12

Как проиллюстрировано на фиг. 4, в реакторе с псевдоожиженным слоем диаметр составлял 8 м, тангенциальная высота составляла 18 м (т. е. полная высота зоны плотной фазы и зоны разбавленной фазы, которые проиллюстрированы на фиг. 1), наполнение представляло собой 160 тонн катализатора синтеза акрилонитрила серии SANC, который поставляет Шанхайский научно-исследовательский институт нефтехимической технологии SINOPEC, и внутри присутствовали 225 U-образных теплоотводящих водопроводов, которые были разделены на 40 групп, причем каждая группа была образована посредством соединения двух U-образных, пяти U-образных и шести U-образных теплоотводящих водопроводов, расположенных последовательно, причем наружный диаметр прямой трубопроводной секции каждого теплоотводящего водопровода составлял 114 мм, и длина прямой трубопроводной секции составляла 8 м; и внутри присутствовали 42 циклонных сепаратора, которые были разделены на 21 наборов, в каждом из которых содержались две ступени циклонных сепараторов, соединенных, расположенных последовательно, причем наружные диаметры спускных стояков первой ступени и второй ступени составляли, соответственно, 400 мм и 325 мм, длина спускного стояка первой ступени составляла 12,0 м, и длина спускного стояка второй ступени составляла 10,1 м.

В секции охлаждения реакции реактора с псевдоожиженным слоем диаметр составлял 8 м, и длина  $L$  составляла 7,2 м. В центральной точке секции охлаждения реакции  $L_1/S_1 = 4,16 \text{ м}^{-1}$ ,  $L_2/S_1 = 3,21 \text{ м}^{-1}$  и  $L_3/S_1 = 0,95 \text{ м}^{-1}$ .

Данные интенсивности пульсаций давления измерены при  $H_0 = 2$  м, и график данных интенсивности пульсаций давления был аналогичным графику в примере 1.

Эксплуатацию устройства осуществляли в следующих условиях: скорость введения пропилена составляла  $5900 \text{ Нм}^3/\text{ч}$ , температура реакции составляла  $430^\circ\text{C}$ , давление реакции составляло 0,04 МПа, и соотношение пропилена, аммиака и воздуха составляло 1:1,2:9,6.

В результате эксплуатации устройства были получены следующие данные: выход акрилонитрила составлял 80,1%, и степень превращения пропилена составляла 98,7%.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Реактор с псевдооживленным слоем, содержащий по меньшей мере секцию охлаждения реакции и вертикальный внутренний компонент, присутствующий в секции охлаждения реакции, при этом, если длина секции охлаждения реакции в направлении вдоль центральной оси реактора с псевдооживленным слоем обозначена как  $L$ , выраженная в единицах "м", то в произвольном положении в пределах области от 49%  $L$  выше центральной точки секции охлаждения реакции до 49%  $L$  ниже центральной точки секции охлаждения реакции, площадь поперечного сечения, проходящего перпендикулярно центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, секции охлаждения реакции обозначена как  $S1$ , выраженная в единицах "м<sup>2</sup>", и длина окружности наружного контура поперечного сечения, проходящего перпендикулярно центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, вертикального внутреннего компонента обозначена как  $L1$ , выраженная в единицах "м", причем когда присутствует множество поперечных сечений, это означает сумму длин окружностей наружного контура всех поперечных сечений, то  $L1/S1 = 2,0-4,3 \text{ м}^{-1}$ , причем вертикальный внутренний компонент представляет собой теплоотводящий трубопровод или сочетание теплоотводящего трубопровода и сепаратора газовой и твердой фаз.

2. Реактор с псевдооживленным слоем по п.1, в котором вертикальный внутренний компонент представляет собой теплоотводящий трубопровод, при этом площадь поперечного сечения секции охлаждения реакции обозначена как  $S1$ , выраженная в единицах "м<sup>2</sup>", и длина окружности наружного контура поперечного сечения, проходящего перпендикулярно центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, теплоотводящего трубопровода в пересчете на прямую трубопроводную секцию обозначена как  $L2$ , выраженная в единицах "м", причем когда присутствует множество поперечных сечений, это означает сумму длин окружностей наружного контура всех поперечных сечений, то  $L2/S1 = 1,7-3,6 \text{ м}^{-1}$ , и вертикальный внутренний компонент необязательно дополнительно содержит сепаратор газовой и твердой фаз, при этом площадь поперечного сечения секции охлаждения реакции обозначена как  $S1$ , выраженная в единицах "м<sup>2</sup>", и длина окружности наружного контура поперечного сечения, проходящего перпендикулярно центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, сепаратора газовой и твердой фаз в пересчете на спускной стояк обозначена как  $L3$ , выраженная в единицах "м", причем когда присутствует множество поперечных сечений, это означает сумму длин окружностей наружного контура всех поперечных сечений, то  $L3/S1 = 0,25-0,85 \text{ м}^{-1}$ .

3. Реактор с псевдооживленным слоем по п.2, в котором поперечные сечения получены в произвольном положении в пределах области от 45%  $L$  выше центральной точки секции охлаждения реакции до 38%  $L$  ниже центральной точки секции охлаждения реакции, и/или  $L1/S1 = 2,2-4,1 \text{ м}^{-1}$ , и/или  $L2/S1 = 1,9-3,5 \text{ м}^{-1}$ , и/или сепаратор газовой и твердой фаз представляет собой циклонный сепаратор, и/или  $L3/S1 = 0,30-0,75 \text{ м}^{-1}$ .

4. Реактор с псевдооживленным слоем по п.1, в котором число теплоотводящих трубопроводов в пересчете на прямую трубопроводную секцию составляет 220-5000, и/или число сепараторов газовой и твердой фаз в пересчете на спускной стояк составляет 16-516, и/или соотношение числа прямых трубопроводных секций к числу спускных стояков составляет 8,5-24,0.

5. Реактор с псевдооживленным слоем по п.4, в котором число теплоотводящих трубопроводов в пересчете на прямую трубопроводную секцию составляет 300-2400, и/или число сепараторов газовой и твердой фаз в пересчете на спускной стояк составляет 16-210, и/или соотношение числа прямых трубопроводных секций к числу спускных стояков составляет 11,5-21,0.

6. Реактор с псевдооживленным слоем по п.4, в котором наружные диаметры прямых трубопроводных секций, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют от 80 до 180 мм, и/или внутренние диаметры прямых трубопроводных секций, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют от 60 до 150 мм, и/или длины прямых трубопроводных секций, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют от 4,0 до 13 м, и/или наружные диаметры спускных стояков, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют от 150 до 410 мм, и/или внутренние диаметры спускных стояков, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют от 130 до 400 мм, и/или длины спускных стояков, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют от 6 до 14 м, и/или секция охлаждения реакции имеет диаметр от 5 до 29 м, площадь  $S1$  составляет от 19,6 до 660 м<sup>2</sup>, и/или длина  $L$  составляет от 4 до 12,5 м.

7. Реактор с псевдооживленным слоем по п.6, в котором наружные диаметры прямых трубопроводных секций в каждом случае независимо составляют от 90 до 170 мм, и/или внутренние диаметры прямых трубопроводных секций в каждом случае независимо составляют от 70 до 140 мм, и/или длины прямых трубопроводных секций в каждом случае независимо составляют от 5,5 до 12,0 м, и/или наружные диаметры спускных стояков в каждом случае независимо составляют от 200 до 360 мм, и/или внутренние диаметры спускных стояков в каждом случае независимо составляют от 180 до 350 мм, и/или длины спускных стояков в каждом случае независимо составляют от 10 до 13 м, и/или секция охлаждения реакции

имеет диаметр от 7 до 20 м, и/или площадь  $S_1$  составляет от 38,5 до 314 м<sup>2</sup>, и/или длина  $L$  составляет от 5,5 до 11,5 м.

8. Реактор с псевдооживленным слоем по п.1, в котором содержатся головная секция, зона разбавленной фазы, секция охлаждения реакции, предварительная реакционная секция и конус в последовательности сверху вниз, и дополнительно содержатся газораспределительная плита и необязательно распределитель текучей среды, присутствующий в предварительной реакционной секции.

9. Реактор с псевдооживленным слоем по п.1, в котором секция охлаждения реакции имеет практически круглое поперечное сечение, и/или поперечное сечение вертикального внутреннего компонента имеет практически круглый внутренний контур и практически круглый наружный контур, и/или поперечное сечение вертикального внутреннего компонента имеет практически круглый внутренний контур и практически круглый наружный контур, содержащий один или несколько выступов, и/или вертикальный внутренний компонент содержит теплоотводящий трубопровод, теплоотводящий трубопровод имеет впуск теплоотводящей среды,  $n$  прямых трубопроводных секций и выпуск теплоотводящей среды, причем головной конец первой прямой трубопроводной секции находится в сообщении с впуском теплоотводящей среды, хвостовой конец  $n$ -й прямой трубопроводной секции находится в сообщении с выпуском теплоотводящей среды, хвостовой конец  $i$ -й прямой трубопроводной секции находится в сообщении с головным концом  $(i+1)$ -й прямой трубопроводной секции через U-образную трубу, при этом  $n$  представляет собой целое число от 2 до 100,  $i$  представляет собой произвольное целое число между 1 и  $n-1$ , и присутствуют один или несколько выступов на наружной стенке некоторых или всех прямых трубопроводных секций.

10. Реактор с псевдооживленным слоем по п.9, в котором указанная прямая трубопроводная секция представляет собой прямую круглую трубопроводную секцию, и/или  $n$  представляет собой целое число от 2 до 20, и/или один или несколько выступов присутствуют на наружной стенке 10-40% прямых трубопроводных секций.

11. Реактор с псевдооживленным слоем по п.9, в котором наружные диаметры прямых трубопроводных секций, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют 80-180 мм, и/или внутренние диаметры прямых трубопроводных секций, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют 60-150 мм, и/или длины прямых трубопроводных секций, которые являются одинаковыми или отличаются друг от друга, в каждом случае независимо составляют 4,0-13,0 м, и/или центральные линии любых двух соседних прямых трубопроводных секций являются параллельными по отношению друг к другу, и расстояния между центральными линиями любых двух соседних прямых трубопроводных секций являются одинаковыми или отличаются друг от друга, и в каждом случае независимо составляют 160-540 мм.

12. Реактор с псевдооживленным слоем по п.11, в котором наружные диаметры прямых трубопроводных секций в каждом случае независимо составляют 90-170 мм, и/или внутренние диаметры прямых трубопроводных секций в каждом случае независимо составляют 70-140 мм, и/или длины прямых трубопроводных секций в каждом случае независимо составляют 5,5-12,0 м, и/или расстояния между центральными линиями любых двух соседних прямых трубопроводных секций являются одинаковыми, и/или в каждом случае независимо составляют 180-430 мм.

13. Реактор с псевдооживленным слоем по п.9, в котором один или несколько выступов проходят непрерывным или прерывистым образом в направлении вдоль центральной линии прямой трубопроводной секции, и/или один или несколько выступов проходят непрерывным или прерывистым образом вокруг центральной линии прямой трубопроводной секции.

14. Реактор с псевдооживленным слоем по п.13, в котором один или несколько выступов проходят непрерывным или прерывистым образом вокруг центральной линии прямой трубопроводной секции в форме кольца или спирали.

15. Реактор с псевдооживленным слоем по п.9, в котором в случае, когда один или несколько выступов проходят непрерывным или прерывистым образом в направлении вдоль центральной линии прямой трубопроводной секции, длина прохождения  $L_t$  одного или нескольких выступов составляет не более чем длина  $L_z$  прямой трубопроводной секции, и/или когда один или несколько выступов проходят непрерывным или прерывистым образом вокруг центральной линии прямой трубопроводной секции в форме кольца, высота  $H_h$  кольца составляет не более чем длина  $L_z$  прямой трубопроводной секции, или когда один или несколько выступов проходят непрерывным или прерывистым образом вокруг центральной линии прямой трубопроводной секции в форме спирали, высота  $H_t$  спирали составляет не более чем длина  $L_z$  прямой трубопроводной секции, и/или высота одного или нескольких выступов составляет от 0,005-кратного до 0,3-кратного наружного диаметра прямой трубопроводной секции, и/или ширина одного или нескольких выступов составляет от 0,005-кратного до 0,3-кратного наружного диаметра прямой трубопроводной секции.

16. Реактор с псевдооживленным слоем по п.15, в котором  $L_t/L_z$  составляет от 0,1 до 0,6, и/или  $H_h/L_z$  составляет от 0,01 до 0,3, и/или  $H_t/L_z$  составляет от 0,2 до 0,6, и/или высота одного или нескольких выступов составляет от 0,008-кратного до 0,1-кратного наружного диаметра прямой трубопроводной секции, и/или ширина одного или нескольких выступов составляет от 0,008-кратного до 0,2-кратного

наружного диаметра прямой трубопроводной секции.

17. Реактор с псевдоожиженным слоем по п.9, в котором один или несколько выступов проходят непрерывным или прерывистым образом вокруг центральной линии прямой трубопроводной секции, и существует угол между центральной линией одного или нескольких выступов и центральной линией прямой трубопроводной секции, который составляет более чем  $0^\circ$  и не более чем  $90^\circ$ .

18. Реактор с псевдоожиженным слоем по п.17, в котором угол между центральной линией одного или нескольких выступов и центральной линией прямой трубопроводной секции составляет не менее чем  $10^\circ$  и не более чем  $60^\circ$ .

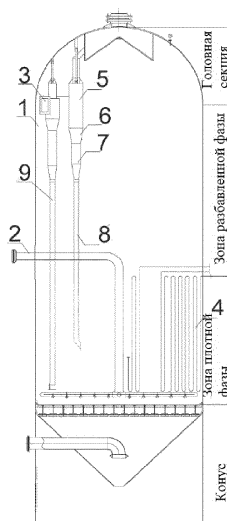
19. Реактор с псевдоожиженным слоем по п.1, в котором поперечные сечения получены в произвольном положении в пределах области от 40% L выше центральной точки секции охлаждения реакции до 8% L ниже центральной точки секции охлаждения реакции, и/или  $L1/S1 = 2,4-3,9 \text{ м}^{-1}$ , и/или  $L2/S1 = 2,1-3,3 \text{ м}^{-1}$ , и/или сепаратор газовой и твердой фаз представляет собой циклонный сепаратор, и/или  $L3/S1 = 0,35-0,65 \text{ м}^{-1}$ .

20. Применение реактора с псевдоожиженным слоем по п.1 в качестве реактора при производстве эпоксидного соединения или ненасыщенного нитрила способом окисления олефина или способом аммоксидирования.

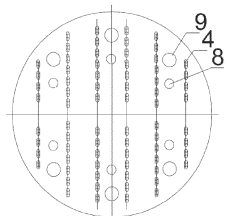
21. Применение по п.20, причем указанное эпоксидное соединение представляет собой пропиленоксид, и/или указанный ненасыщенный нитрил представляет собой акрилонитрил, и/или указанный олефин представляет собой пропилен.

22. Способ производства ненасыщенного нитрила, в котором предусмотрена стадия введения олефина в реакцию аммоксидирования в реакторе с псевдоожиженным слоем по п.1 с получением ненасыщенного нитрила.

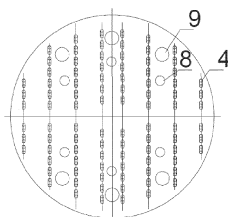
23. Способ по п.22, в котором указанный олефин представляет собой пропилен, и/или указанный ненасыщенный нитрил представляет собой акрилонитрил.



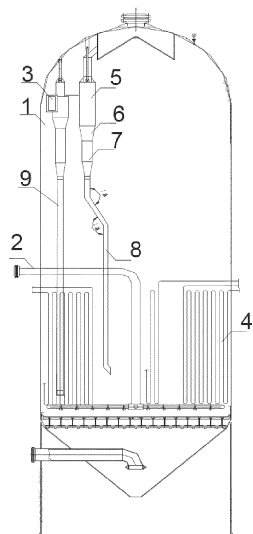
Фиг. 1



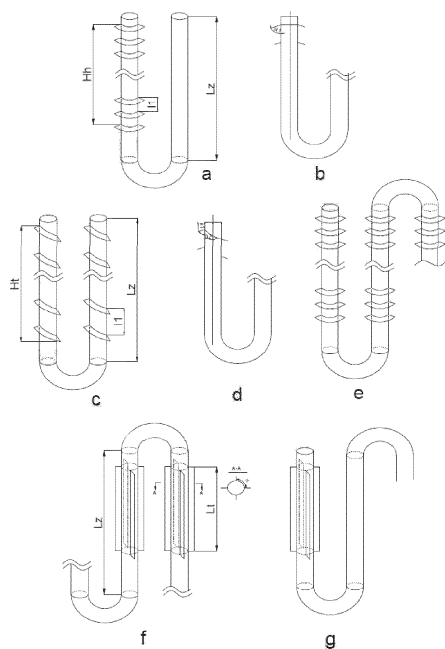
Фиг. 2



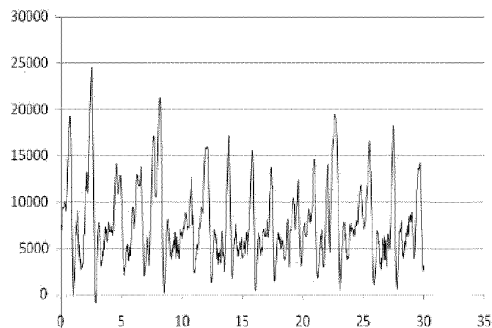
Фиг. 3



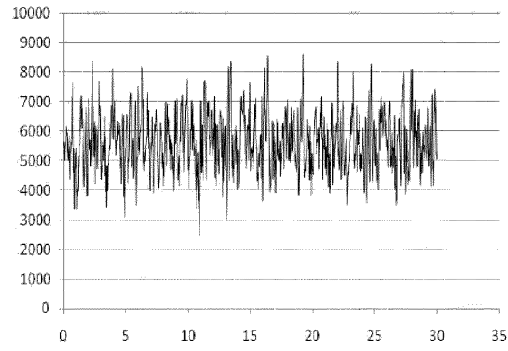
Фиг. 4



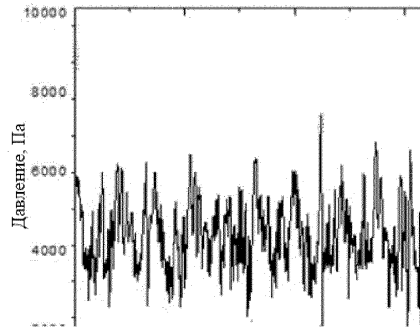
Фиг. 5



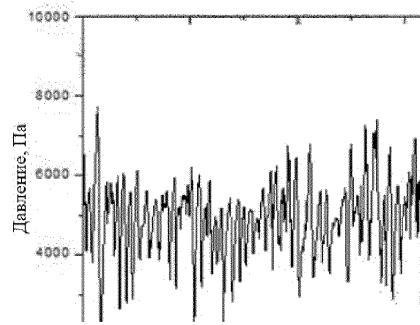
Фиг. 6 (сравнительный пример 1)



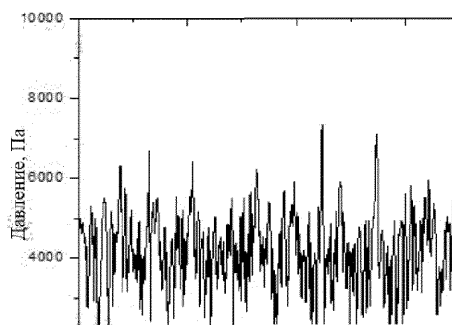
Фиг. 7 (сравнительный пример 2)



Фиг. 8 (пример 1)



Фиг. 9 (пример 2)



Фиг. 10 (пример 3)

