

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **047886**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2024.09.25**

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

(21) Номер заявки  
**202392834**

(22) Дата подачи заявки  
**2022.04.08**

---

(54) **РЕАКТОР С ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ, СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ  
ТЕМПЕРАТУРЫ ПСЕВДООЖИЖЕННОГО СЛОЯ В РЕАКТОРЕ И  
СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ НЕНАСЫЩЕННОГО НИТРИЛА В РЕАКТОРЕ С  
ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ**

---

(31) **202110384148.X; 202210111952.5**

(56) CN-A-106492711  
CN-A-104941529  
CN-A-101773808  
CN-A-107413285  
CN-A-108940137  
CN-A-110787737  
CN-A-102531958  
US-A-3983927

(32) **2021.04.09; 2022.01.29**

(33) **CN**

(43) **2023.12.01**

(86) **PCT/CN2022/085770**

(87) **WO 2022/214069 2022.10.13**

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

(72) Изобретатель:  
**Чжао Лэ, Ву Ляньхуа (CN)**

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

---

(57) Изобретение относится к реактору с псевдоожигенным слоем, способу регулирования температуры реактора с псевдоожигенным слоем и способу получения ненасыщенного нитрила в реакторе с псевдоожигенным слоем. Реактор с псевдоожигенным слоем включает набор теплоотводных труб, содержащий по меньшей мере одну первую теплоотводную трубу и по меньшей мере одну вторую теплоотводную трубу, при этом количество всех прямых трубок а первой теплоотводной трубы является таким же, как и количество всех прямых трубок б второй теплоотводной трубы, и отношение общей длины окружности L<sub>b</sub> наружных контуров всех прямых трубок б второй теплоотводной трубы в поперечном сечении к общей длине окружности L<sub>a</sub> внешних контуров всех прямых трубок а первой теплоотводной трубы в поперечном сечении составляет 1,25-2. Согласно изобретению, когда первая теплоотводная труба и вторая теплоотводная труба попарно переключаются скоординированным образом, может быть осуществлена точная регулировка температуры реакции.

---

**047886**  
**B1**

**047886**  
**B1**

### Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к реактору с псевдооживленным слоем. Изобретение также относится к способу регулирования температуры реакции реактора с псевдооживленным слоем и способу получения насыщенного нитрила в реакторе с псевдооживленным слоем.

### Уровень техники

Акрилонитрил является важным химическим сырьем для нефтехимической промышленности. Одностадийный способ получения акрилонитрила путем аммоксидирования пропилена широко применяется в различных странах мира, в частности, под действием катализатора аммоксидирования в псевдооживленном слое и при определенной температуре и давлении реакции пропилен подвергается аммоксидированию с образованием акрилонитрила, при этом образуются побочные продукты, такие как ацетонитрил, циановодородная кислота и тому подобное, и также образуются продукты глубокого окисления, такие как CO, CO<sub>2</sub>. Реакция является в высокой степени экзотермической и сопровождается выделением большого количества тепла.

Типичные внутренние компоненты реактора получения акрилонитрила с псевдооживленным слоем включают распределитель пропилен-аммиак, воздухо-распределительную пластину, теплоотводную трубу (также известную как охлаждающий змеевик) и циклонный сепаратор, при этом теплоотводная труба и погружной стояк циклонного сепаратора расположены в слое катализатора в качестве вертикальных элементов псевдооживленного слоя. Теплоотводная труба позволяет своевременно отводить большое количество образующегося тепла реакции из реакционной системы и поддерживать температуру реакции в стабильном состоянии, и циклонный сепаратор улавливает катализатор, переносимый движущимся вверх газом, и возвращает катализатор в слой катализатора через погружной стояк, чтобы уменьшить потери катализатора.

На фиг. 1 показан реактор получения акрилонитрила с псевдооживленным слоем, внутренние компоненты которого в основном включают в себя: распределительную пластину для кислородсодержащего газа, распределитель пропилен-аммиак, теплоотводную трубу и циклонный сепаратор. В существующем реакторе акрилонитрила, показанном на фиг. 1, 85% или более от общего количества теплоотводных труб находится в работе, т.е. эти теплоотводные трубы заполнены теплоотводящей средой, холодной относительно температуры реакции, и температура реакции поддерживается стабильной за счет теплообмена с теплоотводящей средой. Кроме того, цель точной регулировки температуры реактора обычно достигается переключением теплоотводных труб во время процесса реакции.

### Раскрытие изобретения

Авторы настоящей заявки обнаружили, что в реакторе с псевдооживленным слоем для изменения температуры реакции необходимо переключаться между теплоотводными трубами с различными величинами теплоотвода. Даже если переключение осуществляется между различными теплоотводными трубами с минимальной разницей в величине теплоотвода, амплитуда изменения температуры реакции все равно превышает 3°C, благодаря чему возникает проблема низкой точности контроля температуры реакции. Хотя выделяемое тепло реакции можно регулировать таким образом, чтобы оно было эквивалентно теплоотводной способности теплоотводной трубы в рабочем состоянии, путем увеличения или уменьшения скорости подачи сырьевого газа, а именно увеличивая или уменьшая тепло реакции, может происходить изменение скорости подачи сырьевого газа примерно на  $\pm 1\%$  или более, что приводит к увеличению факторов нестабильности из-за изменения рабочей нагрузки оборудования; или давление в паровом барабане можно регулировать, однако колебания давления в барабане могут повышать сложность эксплуатации оборудования, требующего паровой турбины, такого как воздушный компрессор, льдогенератор и тому подобное.

Авторы настоящей заявки также обнаружили, что в реакторе с псевдооживленным слоем, когда оборудование работает с полной нагрузкой, такие параметры, как скорость подачи сырьевого газа, температура реакции, давление реакции, давление в барабане и тому подобное, известны, и теплоотводную способность теплоотводных труб в реакторе с псевдооживленным слоем можно оценить. Таким образом, точной регулировки разницы между величинами теплоотвода различных теплоотводных труб можно добиться путем тщательной регулировки разницы между поверхностями теплообмена различных теплоотводных труб. Настоящее изобретение было осуществлено на основе данного обнаружения.

В частности, настоящее изобретение относится к техническим решениям следующих аспектов:

1. Набор теплоотводных труб (в частности, набор водных теплоотводных труб), отличающийся тем, что он выполнен с возможностью размещения в секции отвода тепла реактора с псевдооживленным слоем, причем секция отвода тепла расположена в псевдооживленном слое реактора с псевдооживленным слоем, причем набор теплоотводных труб содержит:

по меньшей мере одну первую теплоотводную трубу, которая содержит  $n_1$  ( $2 < n_1 < 30$ , предпочтительно  $2 < n_1 < 20$ , и более предпочтительно  $2 < n_1 < 10$ ) прямых трубок а, проходящих параллельно центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, и  $n_1 - 1$  соединительных фитингов для соединения двух соседних прямых трубок а последовательно и для обеспечения связи по текучей среде между ними;

и

по меньшей мере одну вторую теплоотводную трубу, которая содержит  $n_2$  ( $2 < n_2 < 30$ , предпочтительно

тельно  $2 < n_2 < 20$ , более предпочтительно  $2 < n_2 < 10$ ) прямых трубок  $b$ , проходящих параллельно центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, и  $n_2 - 1$  соединительных фитингов для соединения двух соседних прямых трубок  $b$  последовательно и для обеспечения связи по текучей среде между ними,

поперечное сечение получают путем пересечения вдоль направления, перпендикулярного центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, в любом положении секции отвода тепла (где длина секции отвода тепла в направлении центральной оси реактора с псевдооживленным слоем задана как  $L$  (в м), предпочтительно в пределах всей области длины  $L$  секции отвода тепла, более предпочтительно в пределах области от  $49\% L$  выше до  $49\% L$  ниже центральной точки секции отвода тепла реакции, более предпочтительно в пределах области от  $45\% L$  выше до  $38\% L$  ниже центральной точки секции отвода тепла реакции, более предпочтительно в пределах области от  $40\% L$  выше до  $8\% L$  ниже центральной точки секции отвода тепла реакции),

количество всех прямых трубок  $a$  первой теплоотводной трубы (где имеется множество первых теплоотводных труб, все из них первые теплоотводные трубы) является таким же, как и количество всех прямых трубок  $b$  второй теплоотводной трубы (где имеется множество вторых теплоотводных труб, все из них вторые теплоотводные трубы), и отношение общей длины окружности  $L_b$  наружных контуров всех прямых трубок  $b$  второй теплоотводной трубы (где имеется множество вторых теплоотводных труб, все из них вторые теплоотводные трубы) в поперечном сечении к общей длине окружности  $L_a$  внешних контуров всех прямых трубок  $a$  первой теплоотводной трубы (где имеется множество первых теплоотводных труб, все из них первые теплоотводные трубы) на поперечном сечении составляет 1,25-2 (предпочтительно 1,3-2 или 1,5-2).

2. Набор теплоотводных труб, как описано в любом из предыдущих или последующих аспектов, отличающийся тем, что соотношение  $|n_1 - n_2| < 5$  (предпочтительно  $|n_1 - n_2| < 3$ ) удовлетворяется.

3. Набор теплоотводных труб, как описано в любом из предыдущих или последующих аспектов, в котором более  $50\%$  (предпочтительно  $60\%$  или более, более предпочтительно  $70\%$  или более) от общего количества прямых трубок  $a$  первой теплоотводной трубы находится в пределах центральной части поперечного сечения секции отвода тепла реактора с псевдооживленным слоем, и менее  $50\%$  (предпочтительно  $40\%$  или менее, более предпочтительно  $30\%$  или менее) от общего количества прямых трубок  $b$  второй теплоотводной трубы находится в пределах центральной части поперечного сечения, и/или, если радиус поперечного сечения задан как  $R$  (в м), центральная часть представляет собой область на расстоянии  $3/4R$  (предпочтительно  $2/3R$ , более предпочтительно  $1/2R$ , и еще более предпочтительно  $1/3R$ ) от центра поперечного сечения.

4. Набор теплоотводных труб, как описано в любом из предыдущих или последующих аспектов, в котором отношение внешнего диаметра (в мм) прямой трубки  $a$  к внешнему диаметру (в мм) прямой трубки  $b$  составляет от 1 до 1,8, предпочтительно от 1 до 1,5; в качестве альтернативы, отношение внешнего диаметра (в мм) прямой трубки  $b$  к внешнему диаметру (в мм) прямой трубки  $a$  составляет от 1 до 1,8, предпочтительно от 1 до 1,5.

5. Набор теплоотводных труб, описанный в любом из предыдущих или последующих аспектов, отличающийся тем, что внешние диаметры прямых трубок  $a$  составляют соответственно и независимо 80-180 мм, предпочтительно 90-170 мм, длины прямых трубок  $a$  составляют соответственно и независимо 4-13 м, предпочтительно 5-12,0 м, расстояние между двумя соседними прямыми трубками  $a$  составляет 100-700 мм, предпочтительно 150-500 мм, и/или внешние диаметры прямых трубок  $b$  составляют соответственно и независимо 80-180 мм, предпочтительно 90-170 мм, длины прямых трубок  $b$  составляют соответственно и независимо 4-13 м, предпочтительно 5-12,0 м, расстояние между двумя соседними прямыми трубками  $b$  составляет 100-700 мм, предпочтительно 150-500 мм, и/или общая длина окружности внешнего контура одной первой теплоотводной трубы составляет 0,5-17 м, предпочтительно 2,5-11,3 м, и/или общая длина окружности внешнего контура одной второй теплоотводной трубы составляет 0,5-17 м, предпочтительно 2,5-11,3 м.

6. Набор теплоотводных труб по п.1, в котором длина  $L$  секции отвода тепла составляет 4-12,5 м, предпочтительно 5,5-11,5 м, и/или радиус  $R$  составляет 5-29 м, предпочтительно 7-20 м, и/или количество первых теплоотводных труб составляет от 1 до 4 или 1, и/или количество вторых теплоотводных труб составляет от 1 до 4 или 1, и/или набор теплоотводных труб содержит по меньшей мере одну пару (предпочтительно 1-20 пар, более предпочтительно 2-10 пар или 2-5 пар) теплоотводных труб, и каждая пара теплоотводных труб состоит из по меньшей мере одной первой теплоотводной трубы и по меньшей мере одной второй теплоотводной трубы.

7. Набор теплоотводных труб, как описано в любом из предыдущих или последующих аспектов, в котором, при одинаковых рабочих условиях реактора с псевдооживленным слоем разница (абсолютное значение) между величиной модуляции температуры реакции реактора с псевдооживленным слоем с помощью первой теплоотводной трубы (где имеется множество первых теплоотводных труб, все из них первые теплоотводные трубы) и величиной модуляции температуры реакции реактора с псевдооживленным слоем с помощью второй теплоотводной трубы (где имеется множество вторых теплоотводных труб, они объединены вместе) составляет  $0,5-3^\circ\text{C}$  (предпочтительно  $1-2^\circ\text{C}$ ), и/или, когда имеется множество первых теплоотводных труб, впуски для охлаждающей воды по меньшей мере 2 (предпочтительно

всех) первых теплоотводных труб объединены во впускной коллектор охлаждающей воды в секции отвода тепла, и/или, когда имеется множество первых теплоотводных труб, выпуски для охлаждающей воды по меньшей мере 2 (предпочтительно всех) первых теплоотводных труб объединены в выпускной коллектор охлаждающей воды в секции отвода тепла, и/или, когда имеется множество вторых теплоотводных труб, впуски для охлаждающей воды по меньшей мере 2 (предпочтительно всех) вторых теплоотводных труб объединены во впускной коллектор охлаждающей воды в секции отвода тепла, и/или, когда имеется множество вторых теплоотводных труб, выпуски для охлаждающей воды по меньшей мере 2 (предпочтительно всех) вторых теплоотводных труб объединены в выпускной коллектор охлаждающей воды в секции отвода тепла.

8. Реактор с псевдооживленным слоем, отличающийся тем, что он содержит головное пространство, зону разбавленной фазы, секцию отвода тепла, секцию предварительной реакции и конус, расположенные последовательно сверху вниз, в котором набор теплоотводных труб, как описано в любом из предыдущих или последующих аспектов, расположен в секции отвода тепла.

9. Способ регулирования температуры реактора с псевдооживленным слоем, описанный в любом из предыдущих или последующих аспектов, отличающийся тем, что он предусматривает переключение первой теплоотводной трубы (где имеется множество первых теплоотводных труб, все из них первые теплоотводные трубы) на вторую теплоотводную трубу (где имеется множество вторых теплоотводных труб, все из них вторые теплоотводные трубы) во время процесса реакции, чтобы повысить или понизить температуру реакции в реакторе с псевдооживленным слоем на  $0,5-3^{\circ}\text{C}$  (предпочтительно на  $1-2^{\circ}\text{C}$ ).

10. Способ получения ненасыщенного нитрила, предусматривающий стадию подвергания олефина (такого как пропилен) реакции аммоксидирования в реакторе с псевдооживленным слоем, как описано в любом из предыдущих или последующих аспектов, для получения ненасыщенного нитрила (такого как акрилонитрил).

11. Способ получения ненасыщенного нитрила, предусматривающий стадию подвергания олефина (такого как пропилен) реакции аммоксидирования в реакторе с псевдооживленным слоем для получения ненасыщенного нитрила (такого как акрилонитрил), в котором температуру реактора с псевдооживленным слоем регулируют в соответствии со способом регулирования температуры, описанным в любом из предыдущих или последующих аспектов.

12. Способ, описанный в любом из предыдущих или последующих аспектов, в котором молярное отношение пропилен/аммиак/воздух (в пересчете на молекулярный кислород) составляет 1:1,1-1,3:1,8-2,0, температура реакции составляет  $420-440^{\circ}\text{C}$ , давление реакции (манометрическое давление) составляет  $0,03-0,14$  МПа, и среднечасовая скорость подачи катализатора составляет  $0,04-0,15$  ч<sup>-1</sup>.

#### **Краткое описание чертежей**

На фиг. 1 представлен схематический вид спереди существующего реактора с псевдооживленным слоем.

На фиг. 2 представлен схематический вид сверху существующего набора теплоотводных труб реакции для псевдооживленного слоя.

На фиг. 3 представлен схематический вид набора теплоотводных труб в соответствии с настоящим изобретением.

На фиг. 4 и фиг. 5 представлены схематические изображения коллектора теплоотводных труб настоящего изобретения.

#### **Описание номеров ссылочных позиций:**

- 1: стенка реактора с псевдооживленным слоем;
- 2: теплоотводная труба реактора с псевдооживленным слоем;
- 3: впуск охлаждающей воды теплоотводной трубы;
- 4: выпуск охлаждающей воды теплоотводной трубы;
- 5: прямая трубка теплоотводной трубы;
- 6: соединительный фитинг теплоотводной трубы;
- 7: распределительная пластина для кислородсодержащего газа;
- 8: распределитель пропилен-аммиак;
- 9: высокоэффективный циклонный сепаратор;
- 10: первая теплоотводная труба;
- 20: вторая теплоотводная труба.

#### **Технические эффекты**

В соответствии с настоящей заявкой, путем тщательного регулирования разницы между количествами отводимого тепла различными теплоотводными трубами можно добиться точного регулирования температуры реакции, когда первая теплоотводная труба и вторая теплоотводная труба попарно переключаются скоординированным образом.

#### **Подробное описание изобретения**

Настоящая заявка будет подробно проиллюстрирована ниже со ссылкой на варианты ее осуществления, но следует отметить, что объем настоящей заявки не ограничивается этими вариантами осуществления, но определяется прилагаемой формулой изобретения.

Все публикации, патентные заявки, патенты и ссылки на другие материалы, цитируемые в данном документе, включены в настоящий документ посредством ссылки во всей своей полноте. Если не определено иное, все технические и научные термины, использованные в настоящем документе, имеют такое же значение, какое обычно понимается специалистами в данной области техники. В случае противоречия, содержание, описанное в данном документе, включающее определения, будет иметь преимущество.

Если материал, вещество, способ, стадия, устройство, компонент или тому подобное описаны здесь как "общеизвестные специалистам в данной области", "известный уровень техники" или тому подобное, следует понимать, что указанные материал, вещество, способ, стадия, устройство и компонент охватывают не только те, которые традиционно использовались в данной области на момент подачи настоящей заявки, но также и те, которые в настоящее время обычно не используются, но будут общеизвестными в данной области техники как пригодные для аналогичной цели.

В контексте настоящей заявки, термин "главным образом" означает, что может присутствовать отклонение, допустимое или признаваемое приемлемым специалистами, 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 настоящей заявки, если специально не указано иное, все процентные содержания, части, соотношения и т.д. выражены по массе, и все указанные давления являются манометрическими.

В контексте настоящей заявки любые два или более варианта осуществления настоящей заявки могут быть произвольно объединены, и образующееся в результате техническое решение составляет часть первоначального раскрытия настоящей заявки и попадает в пределы объема настоящей заявки.

В соответствии с вариантом осуществления настоящее изобретение относится к набору теплоотводных труб, в частности, набору водных теплоотводных труб. Согласно настоящей заявке, "набор теплоотводных труб" и "теплоотводная труба" могут использоваться для отвода избыточного тепла из реактора, в котором проводится экзотермическая реакция (или некоторые экзотермические стадии реакции), для поддержания реакции в определенном температурном диапазоне. Примеры реактора включают реактор с псевдооживленным слоем и, более конкретно, реактор с псевдооживленным слоем для получения акрилонитрила.

В соответствии с вариантом осуществления настоящей заявки набор теплоотводных труб выполнен с возможностью размещения в секции отвода тепла реактора с псевдооживленным слоем. Очевидно, что теплоотводная труба также выполнена с возможностью размещения в секции отвода тепла реактора с псевдооживленным слоем. В частности, прямые трубки в составе теплоотводных труб главным образом расположены в зоне плотной фазы реактора с псевдооживленным слоем и используются для своевременного отвода тепла реакции из системы и для поддержания стабильной работы системы. По этой причине, в контексте настоящего описания, "секция отвода тепла" относится к области реактора с псевдооживленным слоем, в которой расположены теплоотводные трубы, более конкретно, к области реактора с псевдооживленным слоем, в которой расположены прямые трубки в составе теплоотводных труб, более конкретно, к области плотной фазы реактора с псевдооживленным слоем, в которой расположены прямые трубки в составе теплоотводных труб.

В известном уровне техники наборы теплоотводных труб в секции отвода тепла обычно расположены так, как показано на фиг. 2, т.е. теплоотводные трубы расположены по прямой линии. С другой стороны, как показано на фиг. 1, другие внутренние компоненты, такие как погружной стояк циклона 9, также включены в секцию отвода тепла реактора с псевдооживленным слоем. Как правило, теплоотводные трубы содержат впуск для охлаждающей воды, прямые трубки и выпуск для охлаждающей воды, а также соединительные фитинги для соединения этих трубок по текучей среде. Как показано на фиг. 1 или фиг. 4, каждая теплоотводная труба содержит впуск 3 для охлаждающей воды, выпуск 4 для охлаждающей воды, множество прямых трубок, а также соединительный фитинг для последовательного соединения любых двух смежных прямых трубок и для обеспечения связи по текучей среде между ними.

В соответствии с вариантом осуществления настоящей заявки набор теплоотводных труб содержит по меньшей мере одну первую теплоотводную трубу. Здесь первая теплоотводная труба содержит  $n_1$  ( $2 < n_1 < 30$ , предпочтительно  $2 < n_1 < 20$ , и более предпочтительно  $2 < n_1 < 10$ ) прямых трубок а, проходящих параллельно центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, и  $n_1 - 1$  соединительных фитингов для соединения двух соседних прямых трубок а последовательно и для обеспечения связи по текучей среде между ними.

В соответствии с вариантом осуществления настоящей заявки, количество первых теплоотводных труб составляет от 1 до 4 или 1.

В соответствии с вариантом осуществления настоящей заявки набор теплоотводных труб содержит по меньшей мере одну вторую теплоотводную трубу. Здесь вторая теплоотводная труба содержит  $n_2$  ( $2 < n_2 < 30$ , предпочтительно  $2 < n_2 < 20$ , более предпочтительно  $2 < n_2 < 10$ ) прямых трубок б, проходящих параллельно центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, и  $n_2 - 1$  соединительных фитингов для соединения двух соседних прямых трубок б последовательно и для обеспечения связи по текучей среде между ними.

В соответствии с вариантом осуществления настоящей заявки количество вторых теплоотводных труб составляет от 1 до 4 или 1.

В соответствии с вариантом осуществления настоящей заявки, когда длина секции отвода тепла вдоль центральной оси реактора с псевдооживленным слоем задана как  $L$  (в м), поперечное сечение секции отвода тепла получают путем пересечения в направлении, перпендикулярном центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, в положении, расположенном в пределах всей области длины  $L$  секции отвода тепла. Здесь поперечное сечение секции отвода тепла относится к поперечному сечению внутреннего контура реактора с псевдооживленным слоем на уровне секции отвода тепла. Что касается области, то она предпочтительно находится в пределах области от 49%  $L$  выше до 49%  $L$  ниже центральной точки секции отвода тепла реакции, более предпочтительно в пределах области от 45%  $L$  выше до 38%  $L$  ниже центральной точки секции отвода тепла реакции, и еще более предпочтительно в пределах области от 40%  $L$  выше до 8%  $L$  ниже центральной точки секции отвода тепла реакции. Например, длина  $L$  секции отвода тепла составляет 4-12,5 м, предпочтительно 5,5-11,5 м.

В соответствии с вариантом осуществления настоящей заявки количество всех прямых трубок  $a$  первой теплоотводной трубы (где имеется множество первых теплоотводных труб, все из них первые теплоотводные трубы) является таким же, как и количество всех прямых трубок  $b$  второй теплоотводной трубы (где имеется множество вторых теплоотводных труб, все из них вторые теплоотводные трубы).

В соответствии с вариантом осуществления настоящей заявки отношение общей длины окружности  $L_b$  наружных контуров всех прямых трубок  $b$  второй теплоотводной трубы (где имеется множество вторых теплоотводных труб, все из них вторые теплоотводные трубы) в поперечном сечении к общей длине окружности  $L_a$  внешних контуров всех прямых трубок  $a$  первой теплоотводной трубы (где имеется множество первых теплоотводных труб, все из них первые теплоотводные трубы) в поперечном сечении составляет 1,25-2 (предпочтительно 1,3-2 или 1,5-2). В процессе переключения первой теплоотводной трубы и второй теплоотводной трубы, хотя  $L_b$  оказывается больше, чем  $L_a$  в области отвода тепла, теплопроводность в центральной области, где расположена теплоотводная труба  $a$ , выше, чем в периферийной области, где расположена теплоотводная труба  $b$ , следовательно, когда  $L_b/L_a$  меньше 1,25, амплитуда теплоотводной способности эквивалентна во время операции переключения, и набор теплоотводных труб не может обеспечить эффект точной регулировки температуры. Когда  $L_b/L_a$  превышает 2, увеличение теплоотводной способности, вызванное увеличением площади отвода тепла, оказывается выше, чем изменение теплоотводной способности, обусловленное разницей между теплоотводными способностями разных теплоотводных труб, которые также могут не соответствовать требованиям.

В соответствии с вариантом осуществления настоящей заявки, соотношение  $|n_1 - n_2| < 5$  (предпочтительно  $|n_1 - n_2| < 3$ ) удовлетворяется. Длина окружности внешнего контура одной теплоотводной трубы представляет собой сумму длин окружностей внешних контуров  $n$  ее прямых теплоотводных трубок, или длина окружности внешнего контура может быть непосредственно выражена с помощью соотношения  $n \times 3,14 \times D$  ( $D$  представляет собой средний внешний диаметр прямых теплоотводных трубок), и как правило, чем больше количество прямых трубок, тем длиннее длина окружности внешнего контура, и тем выше теплоотводная способность в процессе эксплуатации оборудования. Следовательно, для набора теплоотводных труб,  $|n_1 - n_2|$  является слишком большим, что означает, что разница между длинами окружностей внешних контуров первой теплоотводной трубы и второй теплоотводной трубы оказывается больше, что может легко вызвать сдвиг температуры реакции во время переключения пары теплоотводных труб, или могут использоваться разные внешние диаметры труб,  $|n_1 - n_2|$  оказывается слишком большим, разница между внешними диаметрами первой теплоотводной трубы и второй теплоотводной трубы является также большой, что, очевидно, является нецелесообразным и неэкономичным.

В соответствии с вариантом осуществления настоящей заявки отношение внешнего диаметра (в мм) прямой трубки  $a$  к внешнему диаметру (в мм) прямой трубки  $b$  составляет от 1 до 1,8, предпочтительно от 1 до 1,5.

В соответствии с вариантом осуществления настоящей заявки отношение внешнего диаметра (в мм) прямой трубки  $b$  к внешнему диаметру (в мм) прямой трубки  $a$  составляет от 1 до 1,8, предпочтительно от 1 до 1,5.

В соответствии с вариантом осуществления настоящей заявки внешний диаметр прямых трубок  $a$  составляет соответственно и независимо 80-180 мм, предпочтительно 90-170 мм, длины прямых трубок  $a$  составляют соответственно и независимо 4-13 м, предпочтительно 5-12,0 м, и расстояние между двумя соседними прямыми трубками  $a$  составляет 100-700 мм, предпочтительно 150-500 мм.

В соответствии с вариантом осуществления настоящей заявки внешние диаметры прямых трубок  $b$  составляют каждый независимо 80-180 мм, предпочтительно 90-170 мм, длины прямых трубок  $b$  составляют каждая независимо 4-13 м, предпочтительно 5-12,0 м, и расстояние между двумя соседними прямыми трубками  $b$  составляет 100-700 мм, предпочтительно 150-500 мм.

В соответствии с вариантом осуществления настоящей заявки общая длина окружности внешнего контура одной первой теплоотводной трубы составляет 0,5-17 м, предпочтительно 2,5-11,3 м.

В соответствии с вариантом осуществления настоящей заявки общая длина окружности внешнего контура одной второй теплоотводной трубы составляет 0,5-17 м, предпочтительно 2,5-11,3 м.

В соответствии с вариантом осуществления настоящей заявки набор теплоотводных труб содержит по меньшей мере одну пару (предпочтительно 1-20 пар, более предпочтительно 2-10 пар или 2-5 пар)

теплоотводных труб, и каждая пара теплоотводных труб состоит из по меньшей мере одной первой теплоотводной трубы и по меньшей мере одной второй теплоотводной трубы. Иными словами, согласно варианту осуществления настоящей заявки, набор теплоотводных труб содержит по меньшей мере одну (предпочтительно 1-20, более предпочтительно 2-10 или 2-5) пару теплоотводных труб, и каждая пара теплоотводных труб состоит из по меньшей мере одной первой теплоотводной трубы и по меньшей мере одной второй теплоотводной трубы. В следующем ниже контексте настоящего описания, если не указано иное, первая теплоотводная труба и вторая теплоотводная труба относятся к первой теплоотводной трубе и второй теплоотводной трубе в одной и той же паре теплоотводных труб. Настоящая заявка не предполагает установления каких-либо ограничений в различных парах теплоотводных труб на соотношение между первой теплоотводной трубой в одной паре теплоотводных труб и второй теплоотводной трубой в другой паре теплоотводных труб, или соотношение между первой теплоотводной трубой в одной паре теплоотводных труб и первой теплоотводной трубой в другой паре теплоотводных труб, или соотношение между второй теплоотводной трубой в одной паре теплоотводных труб и первой теплоотводной трубой в другой паре теплоотводных труб, или соотношение между второй теплоотводной трубой в одной паре теплоотводных труб и второй теплоотводной трубой в другой паре теплоотводных труб.

Согласно настоящей заявке по меньшей мере одна первая теплоотводная труба и по меньшей мере одна вторая теплоотводная труба не работают одновременно, а работают переключаемым образом в соответствии с потребностями производственной операции, то есть, когда по меньшей мере одна первая теплоотводная труба находится в рабочем состоянии отвода тепла, - по меньшей мере одна вторая теплоотводная труба находится в состоянии бездействия, и для первой теплоотводной трубы и второй теплоотводной трубы, когда клапан между внешним охлаждающим змеевиком реактора и первой теплоотводной трубой закрыт, циркуляция охлаждающего агента в первой теплоотводной трубе прерывается, благодаря чему первая теплоотводная труба из режима отвода тепла переводится в состояние бездействия, и тем временем, клапан между внешним охлаждающим змеевиком реактора и второй теплоотводной трубой открывают, благодаря чему циркуляция охлаждающего агента во второй теплоотводной трубе начинается, и вторая теплоотводная труба из состояния бездействия переводится в рабочее состояние отвода тепла; и наоборот, первая теплоотводная труба и вторая теплоотводная труба также могут переключаться в обратном направлении, когда клапан между внешним охлаждающим змеевиком реактора и первой теплоотводной трубой открыт, - циркуляция охлаждающего агента в первой теплоотводной трубе начинается, первая теплоотводная труба из состояния бездействия переводится в рабочее состояние отвода тепла, и тем временем, клапан между внешним охлаждающим змеевиком реактора и второй теплоотводной трубой закрывают, циркуляция охлаждающего агента во второй теплоотводной трубе прерывается, благодаря чему вторая теплоотводная труба из режима отвода тепла переводится в состояние бездействия. Очевидно, как указано выше, по меньшей мере одна первая теплоотводная труба и по меньшей мере одна вторая теплоотводная труба являются теплоотводными трубами в одной и той же паре теплоотводных труб.

Согласно настоящей заявке при одинаковых рабочих условиях реактора с псевдооживленным слоем разница (абсолютное значение) между величиной модуляции температуры реакции реактора с псевдооживленным слоем с помощью первой теплоотводной трубы (где имеется множество первых теплоотводных труб, все из них первые теплоотводные трубы) и величиной модуляции температуры реакции реактора с псевдооживленным слоем с помощью второй теплоотводной трубы (где имеется множество вторых теплоотводных труб, все из них вторые теплоотводные трубы) составляет  $0,5-3^{\circ}\text{C}$  (предпочтительно  $1-2^{\circ}\text{C}$ ). Благодаря такой конфигурации настоящее изобретение может реализовать точный контроль температуры реакции, когда теплоотводная труба переключается в ту же теплоотводную трубу.

В соответствии с предпочтительным вариантом осуществления настоящей заявки, на поперечном сечении секции отвода тепла, более 50% (предпочтительно 60% или более, более предпочтительно 70% или более) от общего количества прямых трубок а первой теплоотводной трубы находится в пределах центральной части поперечного сечения секции отвода тепла реактора с псевдооживленным слоем, и менее 50% (предпочтительно 40% или менее, более предпочтительно 30% или менее) от общего количества прямых трубок b второй теплоотводной трубы находится в пределах центральной части поперечного сечения. Например, когда первая теплоотводная труба 10 имеет 8 прямых трубок, 5 или более прямых трубок находятся в пределах центральной части поперечного сечения, или когда первая теплоотводная труба 10 имеет 7 прямых трубок, 4 или более прямых трубок находятся в пределах центральной части поперечного сечения. С другой стороны, например, когда вторая теплоотводная труба 20 имеет 6 прямых трубок, 2 или менее прямых трубок находятся в пределах центральной части поперечного сечения, или когда вторая теплоотводная труба 20 имеет 5 прямых трубок, 2 или менее прямых трубок находятся в пределах центральной части поперечного сечения.

В соответствии с предпочтительным вариантом осуществления настоящей заявки, когда радиус круглого поперечного сечения секции отвода тепла реактора с псевдооживленным слоем, показанного на фиг. 3, задан как R (в м), центральная часть поперечного сечения относится к области в пределах некоторого расстояния от центра круглого поперечного сечения (т.е. к области внутри пунктирной линии на фиг. 3), и периферийная область поперечного сечения относится к области за пределами центральной

части (т.е. к области от пунктирной линии на фиг. 3 до стенки 1 реактора). В соответствии с вариантом осуществления настоящей заявки центральная часть поперечного сечения относится к круглой области в пределах расстояния  $3/4R$  от центра поперечного сечения, предпочтительно в пределах расстояния  $2/3R$  от центра поперечного сечения, более предпочтительно в пределах расстояния  $1/2R$  от центра поперечного сечения, и еще более предпочтительно в пределах расстояния  $1/3R$  от центра поперечного сечения. Например, радиус  $R$  составляет от 5 до 29 м, предпочтительно от 7 до 20 м.

В соответствии с вариантом осуществления настоящей заявки когда имеется множество первых теплоотводных труб, выпуски для охлаждающей воды по меньшей мере 2 (предпочтительно всех) первых теплоотводных труб объединены во впускной коллектор охлаждающей воды в секции отвода тепла. Иными словами, множество теплоотводных труб (называемых ответвительными трубками) имеют один общий выпуск для охлаждающей воды. Согласно настоящей заявке впускной коллектор охлаждающей воды находится в сообщении по текучей среде с внешним источником подачи охлаждающей воды через стенку реактора с псевдооживленным слоем, в результате чего охлаждающая вода подается в соответствующие ответвительные трубки через впускной коллектор охлаждающей воды.

В соответствии с вариантом осуществления настоящей заявки когда имеется множество первых теплоотводных труб, выпуски для охлаждающей воды по меньшей мере 2 (предпочтительно всех) первых теплоотводных труб объединены в выпускной коллектор охлаждающей воды в секции отвода тепла. Иными словами, множество теплоотводных труб (называемых ответвительными трубками) имеет один общий выпуск для охлаждающей воды. Согласно настоящей заявке выпускной коллектор охлаждающей воды находится в сообщении по текучей среде с внешним устройством приема охлаждающей воды через стенку реактора с псевдооживленным слоем, в результате чего охлаждающая вода (обычно также содержащая водяной пар) после отвода тепла подается из соответствующих ответвительных трубок во внешнюю среду через выпускной коллектор охлаждающей воды.

В соответствии с вариантом осуществления настоящей заявки когда имеется множество вторых теплоотводных труб, выпуски для охлаждающей воды по меньшей мере 2 (предпочтительно всех) вторых теплоотводных труб объединены во впускной коллектор охлаждающей воды в секции отвода тепла. Иными словами, множество теплоотводных труб (называемых ответвительными трубками) имеют один общий выпуск для охлаждающей воды. Согласно настоящей заявке впускной коллектор охлаждающей воды находится в сообщении по текучей среде с внешним источником подачи охлаждающей воды через стенку реактора с псевдооживленным слоем, в результате чего охлаждающая вода подается в соответствующие ответвительные трубки через впускной коллектор охлаждающей воды.

В соответствии с вариантом осуществления настоящей заявки когда имеется множество вторых теплоотводных труб, выпуски для охлаждающей воды по меньшей мере 2 (предпочтительно всех) вторых теплоотводных труб объединены в выпускной коллектор охлаждающей воды в секции отвода тепла. Иными словами, множество теплоотводных труб (называемых ответвительными трубками) имеет один общий выпуск для охлаждающей воды. Согласно настоящей заявке выпускной коллектор охлаждающей воды находится в сообщении по текучей среде с внешним устройством приема охлаждающей воды через стенку реактора с псевдооживленным слоем, в результате чего охлаждающая вода (обычно также содержащая водяной пар) после отвода тепла подается из соответствующих ответвительных трубок во внешнюю среду через выпускной коллектор охлаждающей воды.

На фиг. 4 и фиг. 5 представлены схематические изображения расположения коллектора теплоотводных труб настоящей заявки. Как можно видеть из фигуры, выпуски/выпуски охлаждающей воды множества теплоотводных труб объединены в коллектор.

В соответствии с вариантом осуществления настоящей заявки отношение площади поперечного сечения коллектора (такого как впускной коллектор охлаждающей воды или выпускной коллектор охлаждающей воды) к сумме площадей поперечных сечений множества соответствующих им ответвительных трубок (в целом, с учетом впусков охлаждающей воды или выпусков охлаждающей воды множества ответвительных трубок) составляет от 0,5 до 1, предпочтительно от 0,55 до 0,95, и более предпочтительно от 0,6 до 0,9.

В соответствии с вариантом осуществления настоящей заявки также относится к набору теплоотводных труб, отличающемуся тем, что набор теплоотводных труб расположен в секции отвода тепла реактора с псевдооживленным слоем, причем секция отвода тепла расположена в псевдооживленном слое реактора с псевдооживленным слоем, и набор теплоотводных труб содержит: по меньшей мере одну первую теплоотводную трубу, которая содержит  $n_1$  ( $2 < n_1 < 30$ , предпочтительно  $2 < n_1 < 20$ , более предпочтительно  $2 < n_1 < 10$ ) прямых трубок  $a$ , проходящих параллельно центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, и  $n_1 - 1$  соединительных фитингов для соединения  $n_1$  прямых трубок последовательно и обеспечения связи по текучей среде между ними; и по меньшей мере одну вторую теплоотводную трубу, которая содержит  $n_2$  ( $2 < n_2 < 30$ , предпочтительно  $2 < n_2 < 20$ , более предпочтительно  $2 < n_2 < 10$ ) прямых трубок  $b$ , проходящих параллельно центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, и  $n_2 - 1$  соединительных фитингов для соединения  $n_2$  прямых трубок последовательно и обеспечения связи по текучей среде между ними, при этом в поперечном сечении, полученном путем пересечения вдоль направления, перпендикулярного центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, в любом положении секции отво-

да тепла, более 50% (предпочтительно 60% или более, более предпочтительно 70% или более) от общего количества прямых трубок а первой теплоотводной трубы находится в пределах центральной части поперечного сечения секции отвода тепла реактора с псевдооживленным слоем, и менее 50% (предпочтительно 40% или менее, более предпочтительно 30% или менее) от общего количества прямых трубок b второй теплоотводной трубы находится в пределах центральной части поперечного сечения, и отношение общей длины окружности Lb наружных контуров всех прямых трубок b второй теплоотводной трубы к общей длине окружности La внешних контуров всех прямых трубок а первой теплоотводной трубы составляет 1,5-2.

В соответствии с вариантом осуществления настоящая заявка также относится к реактору с псевдооживленным слоем, содержащему головное пространство, зону разбавленной фазы, секцию отвода тепла, секцию предварительной реакции и конус, расположенные последовательно сверху вниз. Здесь набор теплоотводных труб, описанный выше в данном документе, расположен в секции отвода тепла.

В соответствии с вариантом осуществления настоящая заявка также относится к способу регулирования температуры реактора с псевдооживленным слоем. Здесь реактор с псевдооживленным слоем предпочтительно представляет собой реактор с псевдооживленным слоем, описанный в данном документе выше.

В соответствии с вариантом осуществления настоящей заявки способ регулирования предусматривает переключение первой теплоотводной трубы (где имеется множество первых теплоотводных труб, они объединены вместе) на вторую теплоотводную трубу (где имеется множество вторых теплоотводных труб, все из них вторые теплоотводные трубы) во время процесса реакции, чтобы повысить или понизить температуру реакции реактора с псевдооживленным слоем на 0,5-3°C (предпочтительно 1-2°C).

В соответствии с вариантом осуществления настоящая заявка также относится к способу получения ненасыщенного нитрила, предусматривающему стадию подвергания олефина (такого как пропилен) реакции аммоксидирования в реакторе с псевдооживленным слоем для получения ненасыщенного нитрила (такого как акрилонитрил). Здесь температуру реактора с псевдооживленным слоем можно регулировать в соответствии со способом регулирования температуры, описанным выше, для поддержания температуры реакции в реакторе с псевдооживленным слоем по существу постоянной для достижения точной регулировки температуры реакции.

В соответствии с вариантом осуществления настоящая заявка также относится к способу получения ненасыщенного нитрила, предусматривающему стадию подвергания олефина (такого как пропилен) реакции аммоксидирования в реакторе с псевдооживленным слоем для получения ненасыщенного нитрила (такого как акрилонитрил). Здесь реактор с псевдооживленным слоем предпочтительно представляет собой реактор с псевдооживленным слоем, описанный в данном документе выше.

В соответствии с вариантом осуществления настоящей заявки реакция аммоксидирования может осуществляться любым образом и с помощью любого способа, традиционно известного в области техники, и такая информация известна специалистам и не будет описываться здесь подробно. Тем не менее, конкретные примеры условий для реакции аммоксидирования предусматривают молярное отношение пропилен:аммиак:воздух (в пересчете на молекулярный кислород) обычно 1:1,1-1,3:1,8-2,0, температуру реакции обычно 420-440°C, давление реакции (манометрическое давление) обычно 0,03-0,14 МПа и среднечасовую скорость подачи катализатора обычно 0,04-0,15 ч<sup>-1</sup>.

### Примеры

Настоящая заявка будет далее подробно проиллюстрирована со ссылкой на следующие примеры и сравнительные примеры, однако настоящая заявка не ограничивается этими примерами.

В следующих примерах и сравнительных примерах выход акрилонитрила и конверсия пропилена могут быть вычислены в соответствии со следующими уравнениями:

$$\text{Выход акрилонитрила } AN\% = C_{AN} / \Sigma C \times 100,$$

$$\text{Конверсия пропилена: } C_{C_3}\% = (1 - C_{C_{3out}} / C_{C_{3in}}) \times 100,$$

где C<sub>AN</sub>: молярное количество (мол.%) углерода, входящего в состав AN в газе на выходе из реактора;

ΣC: общее молярное количество (мол.%) углерода в газе на выходе из реактора;

C<sub>C<sub>3out</sub></sub>: молярное количество (мол.%) углерода, входящего в состав C<sub>3</sub> в газе на выходе из реактора;

C<sub>C<sub>3in</sub></sub>: молярное количество (мол.%) углерода, входящего в состав C<sub>3</sub> в газе на входе в реактор.

Пример 1.

Реактор с псевдооживленным слоем имел диаметр 9 м, его заполняли 180 т акрилонитриловых катализаторов серии SANC от Sinopec Shanghai Research Institute of Petrochemical Technology Co., Ltd., 584 прямые трубки одинаковой высоты расположили в реакторе, они были разделены на 62 теплоотводные трубы. Теплоотводные трубы были сформированы в 4 группы пар теплоотводных труб, в каждой паре теплоотводных труб одна теплоотводная труба была первой теплоотводной трубой, образованной путем соединения 4 прямых трубок а последовательно, и другая теплоотводная труба была второй теплоотводной трубой, образованной путем соединения 4 прямых трубок b последовательно. Отношение внешнего диаметра ответвительной трубки а к внешнему диаметру ответвительной трубки b было 0,53, и отноше-

ние общей длины окружности наружных контуров всех прямых трубок, составляющих вторую теплоотводную трубу, к общей длине окружности внешних контуров всех прямых трубок, составляющих первую теплоотводную трубу, было 1,89.

Скорость подачи пропилена составляла  $11800 \text{ н}\cdot\text{м}^3/\text{ч}$ , температура реакции составляла  $430^\circ\text{C}$ , давление реакции составляло  $0,04 \text{ МПа}$ , и соотношение пропилен:аммиак:воздух было 1:1,2:9,6, температуру реактора можно точно регулировать с амплитудой увеличения или уменьшения температуры на  $2,0^\circ\text{C}$  путем переключения между первой теплоотводной трубой и второй теплоотводной трубой.

#### Пример 2.

Реактор с псевдооживленным слоем имел диаметр 9 м, его заполняли 180 т акрилонитриловых катализаторов серии SANC от Sinopec Shanghai Research Institute of Petrochemical Technology Co., Ltd., 584 прямые трубки одинаковой высоты расположили в реакторе, они были разделены на 62 теплоотводные трубы. Теплоотводные трубы были сформированы в 4 группы пар теплоотводных труб, в каждой паре теплоотводных труб одна теплоотводная труба была первой теплоотводной трубой, образованной путем соединения 6 прямых трубок а последовательно, и другая теплоотводная труба была второй теплоотводной трубой, образованной путем соединения 6 прямых трубок б последовательно. Отношение внешнего диаметра ответвительной трубки а к внешнему диаметру ответвительной трубки б было 0,66, и отношение общей длины окружности наружных контуров всех прямых трубок, составляющих вторую теплоотводную трубу, к общей длине окружности внешних контуров всех прямых трубок, составляющих первую теплоотводную трубу, было 1,52.

Скорость подачи пропилена составляла  $11800 \text{ н}\cdot\text{м}^3/\text{ч}$ , температура реакции составляла  $430^\circ\text{C}$ , давление реакции составляло  $0,04 \text{ МПа}$ , и соотношение пропилен:аммиак:воздух было 1:1,2:9,6, температуру реактора можно точно регулировать с амплитудой увеличения или уменьшения температуры на  $1,3^\circ\text{C}$  путем переключения между первой теплоотводной трубой и второй теплоотводной трубой.

#### Пример 3.

Реактор с псевдооживленным слоем имел диаметр 9 м, его заполняли 180 т акрилонитриловых катализаторов серии SANC от Sinopec Shanghai Research Institute of Petrochemical Technology Co., Ltd., 584 прямые трубки одинаковой высоты расположили в реакторе, они были разделены на 62 теплоотводные трубы. Теплоотводные трубы были сформированы в 2 группы пар теплоотводных труб, в каждой паре теплоотводных труб одна теплоотводная труба была первой теплоотводной трубой, образованной путем соединения 8 прямых трубок а последовательно, и 5 прямых трубок а первой теплоотводной трубы были расположены в пределах области от  $2/3R$  до центра поперечного сечения секции отвода тепла реактора; другая теплоотводная труба была второй теплоотводной трубой, образованной путем соединения 8 прямых трубок б последовательно, и 6 прямых трубок б второй теплоотводной трубы были расположены за пределами области от  $2/3R$  до центра поперечного сечения секции отвода тепла реактора. Отношение внешнего диаметра ответвительной трубки б к внешнему диаметру ответвительной трубки а было 1,54, и отношение общей длины окружности наружных контуров всех прямых трубок, составляющих вторую теплоотводную трубу, к общей длине окружности внешних контуров всех прямых трубок, составляющих первую теплоотводную трубу, было 1,54.

Скорость подачи пропилена составляла  $11800 \text{ н}\cdot\text{м}^3/\text{ч}$ , температура реакции составляла  $430^\circ\text{C}$ , давление реакции составляло  $0,04 \text{ МПа}$ , и соотношение пропилен:аммиак:воздух было 1:1,2:9,6, температуру реактора можно точно регулировать с амплитудой увеличения или уменьшения температуры на  $1,4^\circ\text{C}$  путем переключения между первой теплоотводной трубой и второй теплоотводной трубой набора теплоотводных труб.

#### Пример 4.

Реактор с псевдооживленным слоем имел диаметр 9 м, его заполняли 180 т акрилонитриловых катализаторов серии SANC от Sinopec Shanghai Research Institute of Petrochemical Technology Co., Ltd., 732 прямые трубки одинаковой высоты расположили в реакторе, они были разделены на 70 теплоотводных труб. Теплоотводные трубы были сформированы в 4 группы пар теплоотводных труб, в каждой паре теплоотводных труб одна теплоотводная труба была первой теплоотводной трубой, образованной с помощью 12 прямых трубок а, соединенных последовательно, и 10 прямых трубок а, соединенных последовательно, и другая теплоотводная труба была второй теплоотводной трубой, образованной с помощью 12 прямых трубок б, соединенных последовательно, и 10 прямых трубок б, соединенных последовательно; отношение внешнего диаметра ответвительной трубки б к внешнему диаметру ответвительной трубки а было 1,35, и отношение общей длины окружности наружных контуров всех прямых трубок, составляющих вторую теплоотводную трубу, к общей длине окружности внешних контуров всех прямых трубок, составляющих первую теплоотводную трубу, было 1,35.

Скорость подачи пропилена составляла  $11800 \text{ н}\cdot\text{м}^3/\text{ч}$ , полная пропускная способность обработки пропилена при этом составляла  $349 \text{ кг пропилена}/\text{м}^2/\text{ч}$ , температура реакции составляла  $430^\circ\text{C}$ , давление реакции составляло  $0,04 \text{ МПа}$ , соотношение пропилен:аммиак:воздух было 1:1,2:9,6, температуру реактора можно точно регулировать с амплитудой увеличения или уменьшения температуры на  $1,6^\circ\text{C}$  путем переключения между первой теплоотводной трубой и второй теплоотводной трубой набора теплоотвод-

ных труб.

Пример 5.

Реактор с псевдооживленным слоем имел диаметр 9 м, его заполняли 180 т акрилонитриловых катализаторов серии SANC от Sinopec Shanghai Research Institute of Petrochemical Technology Co., Ltd., 732 прямые трубки одинаковой высоты расположили в реакторе, они были разделены на 70 теплоотводных труб. Теплоотводные трубы были сформированы в 5 группы пар теплоотводных труб, в каждой паре теплоотводных труб одна теплоотводная труба была первой теплоотводной трубой, образованной с помощью 12 прямых трубок а, соединенных последовательно, и 8 прямых трубок а, соединенных последовательно, и 14 прямых трубок а первой теплоотводной трубы были расположены в пределах области от  $2/3R$  до центра поперечного сечения секции отвода тепла реактора; и другая теплоотводная труба была второй теплоотводной трубой, образованной с помощью 10 прямых трубок б, соединенных последовательно, и 10 прямых трубок б, соединенных последовательно, и 15 прямых трубок б второй теплоотводной трубы были расположены за пределами области от  $2/3R$  до центра поперечного сечения секции отвода тепла реактора. Отношение внешнего диаметра ответвительной трубки б к внешнему диаметру ответвительной трубки а было 1,69, и отношение общей длины окружности наружных контуров всех прямых трубок, составляющих вторую теплоотводную трубу, к общей длине окружности внешних контуров всех прямых трубок, составляющих первую теплоотводную трубу, было 1,69.

Скорость подачи пропилена составляла  $11800 \text{ н}\cdot\text{м}^3/\text{ч}$ , температура реакции составляла  $430^\circ\text{C}$ , давление реакции составляло 0,04 МПа, и соотношение пропилен:аммиак:воздух было 1:1,2:9,6, температуру реактора можно точно регулировать с амплитудой увеличения или уменьшения температуры на  $1,8^\circ\text{C}$  путем переключения между первой теплоотводной трубой и второй теплоотводной трубой набора теплоотводных труб.

Пример 6.

Реактор с псевдооживленным слоем имел диаметр 9 м, его заполняли 180 т акрилонитриловых катализаторов серии SANC от Sinopec Shanghai Research Institute of Petrochemical Technology Co., Ltd., 732 прямые трубки одинаковой высоты расположили в реакторе, они были разделены на 70 теплоотводных труб. 4 группы было сформировано путем соединения 2 наборов теплоотводных труб параллельно, и теплоотводные трубы были сформированы в 2 группы пар теплоотводных труб, в каждой паре теплоотводных труб была первая теплоотводная труба, образованная с помощью 8 прямых трубок а, соединенных последовательно, и 8 прямых трубок а, соединенных последовательно, внешний диаметр теплоотводной трубы а составлял 89 мм, и другая теплоотводная труба была второй теплоотводной трубой, образованной с помощью 8 прямых трубок б, соединенных последовательно, и 8 прямых трубок б, соединенных последовательно; внешний диаметр теплоотводной трубы б составлял 120 мм, отношение внешнего диаметра ответвительной трубки а к внешнему диаметру ответвительной трубки б было 0,74, и отношение общей длины окружности наружных контуров всех прямых трубок, составляющих вторую теплоотводную трубу, к общей длине окружности внешних контуров всех прямых трубок, составляющих первую теплоотводную трубу, было 1,35. Внешний диаметр впускного коллектора теплоотводной трубы б составлял 140 мм, внешний диаметр выпускного коллектора теплоотводной трубы б составлял 150 мм, отношение площади поперечного сечения впускного коллектора к сумме площадей поперечных сечений теплоотводных ответвительных трубок составляло 0,68, отношение площади поперечного сечения выпускного коллектора к сумме площадей поперечных сечений теплоотводных ответвительных трубок составляло 0,78, внешний диаметр впускного коллектора теплоотводной трубы а составлял 120 мм, внешний диаметр выпускного коллектора теплоотводной трубы а составлял 120 мм, отношение площади поперечного сечения впускного коллектора к сумме площадей поперечных сечений теплоотводных ответвительных трубок составляло 0,90, и отношение площади поперечного сечения выпускного коллектора к сумме площадей поперечных сечений теплоотводных ответвительных трубок составляло 0,90.

Скорость подачи пропилена составляла  $11800 \text{ н}\cdot\text{м}^3/\text{ч}$ , полная пропускная способность обработки пропилена при этом составляла  $349 \text{ кг пропилена}/\text{м}^2/\text{ч}$ , температура реакции составляла  $430^\circ\text{C}$ , давление реакции составляло 0,04 МПа, соотношение пропилен:аммиак:воздух было 1:1,2:9,6, температуру реактора можно точно регулировать с амплитудой увеличения или уменьшения температуры на  $1,3^\circ\text{C}$  путем переключения между первой теплоотводной трубой и второй теплоотводной трубой набора теплоотводных труб.

Сравнительный пример 1.

Реактор с псевдооживленным слоем имел диаметр 9 м, его заполняли 180 т акрилонитриловых катализаторов серии SANC от Sinopec Shanghai Research Institute of Petrochemical Technology Co., Ltd., 584 прямые трубки одинаковой высоты расположили в реакторе, они были разделены на 60 теплоотводных труб. Теплоотводные трубы были сформированы в 4 группы пар теплоотводных труб, в каждой паре теплоотводных труб одна теплоотводная труба была первой теплоотводной трубой, образованной путем соединения 8 прямых трубок а последовательно, другая теплоотводная труба была второй теплоотводной трубой, образованной путем соединения 8 прямых трубок б последовательно, отношение внешнего диаметра ответвительной трубки б к внешнему диаметру ответвительной трубки а было 1,2, и отношение

общей длины окружности наружных контуров всех прямых трубок  $b$ , составляющих вторую теплоотводную трубу, к общей длине окружности внешних контуров всех прямых трубок  $a$ , составляющих первую теплоотводную трубу, было 1,20.

Скорость подачи пропилена составляла  $11800 \text{ н}\cdot\text{м}^3/\text{ч}$ , температура реакции составляла  $430^\circ\text{C}$ , давление реакции составляло  $0,04 \text{ МПа}$ , и соотношение пропилен:аммиак:воздух было 1:1,2:9,6, амплитуда изменения температуры реактора составляла  $0,7^\circ\text{C}$  путем переключения между первой теплоотводной трубой и второй теплоотводной трубой набора теплоотводных труб, при этом явного процесса повышения или понижения температуры не наблюдали.

Сравнительный пример 2.

Реактор с псевдооживленным слоем имел диаметр 9 м, его заполняли 180 т акрилонитриловых катализаторов серии SANC от Sinopec Shanghai Research Institute of Petrochemical Technology Co., Ltd., 584 прямые трубки одинаковой высоты расположили в реакторе, они были разделены на 60 теплоотводных труб. Теплоотводные трубы были сформированы в 2 группы пар теплоотводных труб, в каждой паре теплоотводных труб одна теплоотводная труба была первой теплоотводной трубой, образованной путем соединения 11 прямых трубок  $a$  последовательно, другая теплоотводная труба была второй теплоотводной трубой, образованной путем соединения 11 прямых трубок  $b$  последовательно, отношение внешнего диаметра ответвительной трубки  $b$  к внешнему диаметру ответвительной трубки  $a$  было 2,2, и отношение общей длины окружности наружных контуров всех прямых трубок  $b$ , составляющих вторую теплоотводную трубу, к общей длине окружности внешних контуров всех прямых трубок  $a$ , составляющих первую теплоотводную трубу, было 2,20.

Скорость подачи пропилена составляла  $11800 \text{ н}\cdot\text{м}^3/\text{ч}$ , температура реакции составляла  $430^\circ\text{C}$ , давление реакции составляло  $0,04 \text{ МПа}$ , и соотношение пропилен:аммиак:воздух было 1:1,2:9,6, температуру реактора можно было только грубо регулировать с амплитудой увеличения или уменьшения температуры на  $3,3^\circ\text{C}$  путем переключения между первой теплоотводной трубой и второй теплоотводной трубой набора теплоотводных труб.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Реактор с псевдооживленным слоем, содержащий набор теплоотводных труб,

отличающийся тем, что он выполнен с возможностью размещения в секции отвода тепла реактора с псевдооживленным слоем, причем секция отвода тепла расположена в псевдооживленном слое реактора с псевдооживленным слоем, причем набор теплоотводных труб содержит:

по меньшей мере одну первую теплоотводную трубу, которая содержит  $n_1$  прямых трубок  $a$ , проходящих параллельно центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, и  $n_1-1$  соединительных фитингов для соединения двух соседних прямых трубок  $a$  последовательно и для обеспечения связи по течению среде между ними,  $2 < n_1 < 30$ ; и

по меньшей мере одну вторую теплоотводную трубу, которая содержит  $n_2$  прямых трубок  $b$ , проходящих параллельно центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, и  $n_2-1$  соединительных фитингов для соединения двух соседних прямых трубок  $b$  последовательно и для обеспечения связи по течению среде между ними,  $2 < n_2 < 30$ ,

когда длину секции отвода тепла в направлении центральной оси реактора с псевдооживленным слоем задают как  $L$ , в м, то поперечное сечение получают путем пересечения вдоль направления, перпендикулярного центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, в пределах области от  $49\% L$  выше до  $49\% L$  ниже центральной точки секции отвода тепла реакции,

количество всех прямых трубок  $a$  первой теплоотводной трубы, где имеется множество первых теплоотводных труб, все из них - первые теплоотводные трубы, является таким же, как и количество всех прямых трубок  $b$  второй теплоотводной трубы, где имеется множество вторых теплоотводных труб, все из них - вторые теплоотводные трубы, и отношение общей длины окружности  $L_b$  наружных контуров всех прямых трубок  $b$  второй теплоотводной трубы, (где имеется множество вторых теплоотводных труб, все из них - вторые теплоотводные трубы, в поперечном сечении к общей длине окружности  $L_a$  внешних контуров всех прямых трубок  $a$  первой теплоотводной трубы, где имеется множество первых теплоотводных труб, все из них - первые теплоотводные трубы, на поперечном сечении составляет 1,25-2.

2. Реактор с псевдооживленным слоем по п.1, в котором указанный набор теплоотводных труб представляет собой набор теплоотводных труб и/или  $2 < n_1 < 10$ , и/или  $2 < n_2 < 10$ , и/или указанное поперечное сечение получают путем пересечения вдоль направления, перпендикулярного центральной оси реактора с псевдооживленным слоем, в пределах области от  $45\% L$  выше до  $38\% L$  ниже центральной точки секции отвода тепла реакции, и/или указанное отношение  $L_b$  к  $L_a$  составляет 1,3-2 или 1,5-2.

3. Реактор с псевдооживленным слоем по п.1, отличающийся тем, что соотношение  $|n_1-n_2| < 5$  удовлетворяется.

4. Реактор с псевдооживленным слоем по п.1, в котором более 50% от общего количества прямых трубок  $a$  первой теплоотводной трубы находится в пределах центральной части поперечного сечения

секции отвода тепла реактора с псевдооживленным слоем, и менее 50% от общего количества прямых трубок  $b$  второй теплоотводной трубы находится в пределах центральной части поперечного сечения, и/или, если радиус поперечного сечения задан как  $R$ , в м, центральная часть представляет собой область на расстоянии  $2/3R$ , от центра поперечного сечения.

5. Реактор с псевдооживленным слоем по п.4, в котором 60% или более, или 70% или более, от общего количества прямых трубок  $a$  первой теплоотводной трубы находится в пределах центральной части поперечного сечения секции отвода тепла реактора с псевдооживленным слоем, и/или 40% или менее, или 30% или менее от общего количества прямых трубок  $b$  второй теплоотводной трубы находится в пределах центральной части поперечного сечения, и/или центральная часть представляет собой область на расстоянии  $1/2R$  или  $1/3R$  по направлению к центру поперечного сечения.

6. Реактор с псевдооживленным слоем по п.1, в котором отношение внешнего диаметра, в мм, прямой трубки  $a$  к внешнему диаметру, в мм, прямой трубки  $b$  составляет от 1 до 1,8; в качестве альтернативы, отношение внешнего диаметра, в мм, прямой трубки  $b$  к внешнему диаметру, в мм, прямой трубки  $a$  составляет от 1 до 1,8.

7. Реактор с псевдооживленным слоем по п.6, в котором отношение внешнего диаметра, в мм, прямой трубки  $a$  к внешнему диаметру, в мм, прямой трубки  $b$  составляет от 1 до 1,5; и/или отношение внешнего диаметра, в мм, прямой трубки  $b$  к внешнему диаметру, в мм, прямой трубки  $a$  составляет от 1 до 1,5.

8. Реактор с псевдооживленным слоем по п.1, отличающийся тем, что внешний диаметр прямых трубок  $a$  составляет соответственно и независимо 80-180 мм, длины прямых трубок  $a$  составляют соответственно и независимо 4-13 м, расстояние между двумя соседними прямыми трубками  $a$  составляет 100-700 мм, и/или внешние диаметры прямых трубок  $b$  составляют соответственно и независимо 80-180 мм, длины прямых трубок  $b$  составляют соответственно и независимо 4-13 м, расстояние между двумя соседними прямыми трубками  $b$  составляет 100-700 мм, и/или общая длина окружности внешнего контура одной первой теплоотводной трубы составляет 0,5-17 м, и/или общая длина окружности внешнего контура одной второй теплоотводной трубы составляет 0,5-17 м.

9. Реактор с псевдооживленным слоем по п.8, отличающийся тем, что внешний диаметр прямых трубок  $a$  составляет соответственно и независимо 90-170 мм, длины прямых трубок  $a$  составляют соответственно и независимо 5-12,0 м, расстояние между двумя соседними прямыми трубками  $a$  составляет 150-500 мм, и/или внешние диаметры прямых трубок  $b$  составляют соответственно и независимо 90-170 мм, длины прямых трубок  $b$  составляют соответственно и независимо 5-12,0 м, расстояние между двумя соседними прямыми трубками  $b$  составляет 150-500 мм, и/или общая длина окружности внешнего контура одной первой теплоотводной трубы составляет 2,5-11,3 м, и/или общая длина окружности внешнего контура одной второй теплоотводной трубы составляет 2,5-11,3 м.

10. Реактор с псевдооживленным слоем по п.1, в котором длина  $L$  секции отвода тепла составляет 4-12,5 м, и/или радиус  $R$  составляет 5-29 м, и/или количество первых теплоотводных труб составляет от 1 до 4, и/или количество вторых теплоотводных труб составляет от 1 до 4, и/или набор теплоотводных труб содержит 1-20 пар теплоотводных труб, и каждая пара теплоотводных труб состоит из по меньшей мере одной первой теплоотводной трубы и по меньшей мере одной второй теплоотводной трубы.

11. Реактор с псевдооживленным слоем по п.10, в котором длина  $L$  секции отвода тепла составляет 5,5-11,5 м, и/или радиус  $R$  составляет 7-20 м, и/или количество первых теплоотводных труб равно 1, и/или количество вторых теплоотводных труб равно 1, и/или набор теплоотводных труб содержит 2-5 пар теплоотводных труб.

12. Реактор с псевдооживленным слоем по п.1, в котором при одинаковых рабочих условиях реактора с псевдооживленным слоем разница, абсолютное значение, между величиной модуляции температуры реакции реактора с псевдооживленным слоем с помощью первой теплоотводной трубы, где имеется множество первых теплоотводных труб, все из них первые теплоотводные трубы, и величиной модуляции температуры реакции реактора с псевдооживленным слоем с помощью второй теплоотводной трубы, где имеется множество вторых теплоотводных труб, они объединены вместе, составляет 0,5-3°C, и/или, когда имеется множество первых теплоотводных труб, выпуски для охлаждающей воды по меньшей мере 2 первых теплоотводных труб объединены во впускной коллектор охлаждающей воды в секции отвода тепла, и/или, когда имеется множество первых теплоотводных труб, выпуски для охлаждающей воды по меньшей мере 2 первых теплоотводных труб объединены в выпускной коллектор охлаждающей воды в секции отвода тепла, и/или, когда имеется множество вторых теплоотводных труб, выпуски для охлаждающей воды по меньшей мере 2 вторых теплоотводных труб объединены во впускной коллектор охлаждающей воды в секции отвода тепла, и/или, когда имеется множество вторых теплоотводных труб, выпуски для охлаждающей воды по меньшей мере 2 вторых теплоотводных труб объединены в выпускной коллектор охлаждающей воды в секции отвода тепла.

13. Реактор с псевдооживленным слоем по п.1, в котором разница, абсолютное значение, между величиной модуляции температуры реакции реактора с псевдооживленным слоем с помощью первой теплоотводной трубы, где имеется множество первых теплоотводных труб, все из них первые теплоотводные трубы, и величиной модуляции температуры реакции реактора с псевдооживленным слоем с помо-

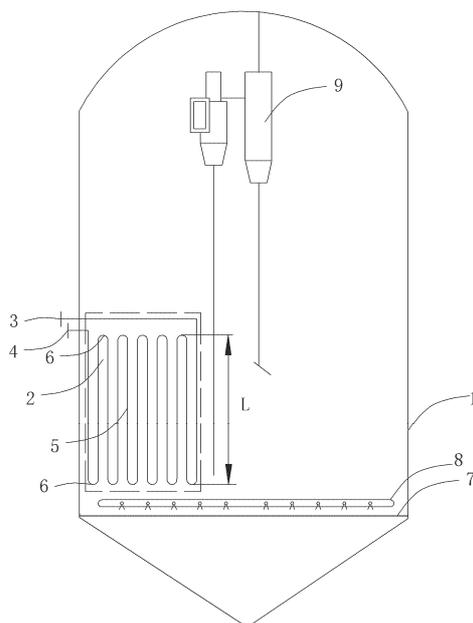
шью второй теплоотводной трубы, где имеется множество вторых теплоотводных труб, объединённых вместе, составляет от  $1^{\circ}\text{C}$  до  $2^{\circ}\text{C}$ , и/или, когда имеется множество первых теплоотводных труб, впуски для охлаждающей воды всех первых теплоотводных труб объединены во впускной коллектор охлаждающей воды в секции отвода тепла, и/или, когда имеется множество первых теплоотводных труб, впуски для охлаждающей воды всех первых теплоотводных труб объединены в выпускной коллектор охлаждающей воды в секции отвода тепла, и/или, когда имеется множество вторых теплоотводных труб, впуски для охлаждающей воды всех вторых теплоотводных труб объединены во впускной коллектор охлаждающей воды в секции отвода тепла, и/или, когда имеется множество вторых теплоотводных труб, впуски для охлаждающей воды всех вторых теплоотводных труб объединены в выпускной коллектор охлаждающей воды в секции отвода тепла.

14. Способ регулирования температуры псевдооживленного слоя реактора по п.1, отличающийся тем, что он предусматривает переключение первой теплоотводной трубы, где имеется множество первых теплоотводных труб, все из них первые теплоотводные трубы, на вторую теплоотводную трубу, где имеется множество вторых теплоотводных труб, все из них вторые теплоотводные трубы, во время процесса реакции, чтобы повысить или понизить температуру реакции в реакторе с псевдооживленным слоем на  $0,5-2^{\circ}\text{C}$ .

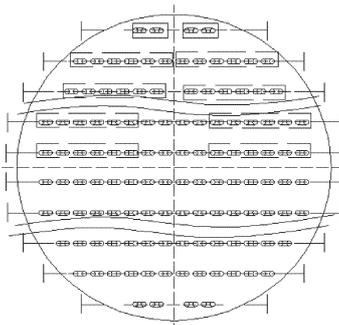
15. Способ получения ненасыщенного нитрила, предусматривающий стадию подвергания олефина реакции аммоксидирования в реакторе с псевдооживленным слоем по п.1 для получения ненасыщенного нитрила.

16. Способ получения ненасыщенного нитрила, предусматривающий стадию подвергания олефина реакции аммоксидирования в реакторе с псевдооживленным слоем для получения ненасыщенного нитрила, в котором температуру реактора с псевдооживленным слоем регулируют в соответствии со способом регулирования температуры по п.14.

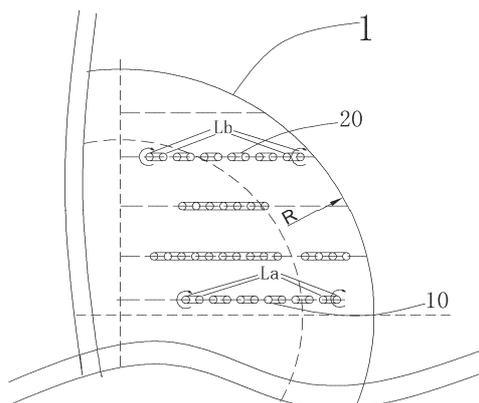
17. Способ по п.15 или 16, в котором молярное отношение пропилен/аммиак/воздух, в пересчете на молекулярный кислород, составляет 1: 1,1-1,3: 1,8-2,0, температура реакции составляет  $420-440^{\circ}\text{C}$ , давление реакции, манометрическое давление, составляет 0,03-0,14 МПа, и среднечасовая скорость подачи катализатора составляет  $0,04-0,15 \text{ ч}^{-1}$ .



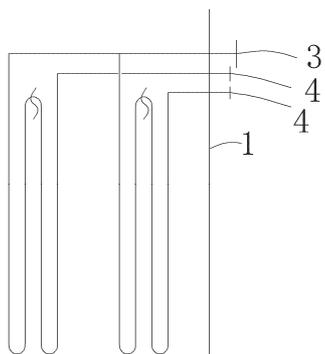
Фиг. 1



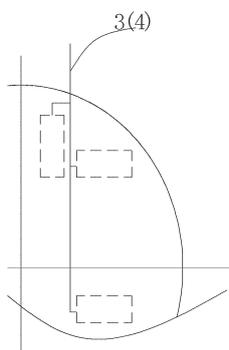
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5