

Общество с ограниченной ответственностью  
« Научно-производственное предприятие «Р.О.С.КОМТЕХ»

УТВЕРЖДАЮ

Директор

\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

РЕАКТОР МАЛОТОННАЖНОГО СИНТЕЗА

СОГЛАСОВАНО

Представители  
Предприятия-разработчика



Уфа 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....   | 3  |
| 1 НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ .....                                | 5  |
| 2 ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ .....                                     | 6  |
| 2.1 Описание процесса полимеризации .....                              | 8  |
| 2.2 Материалы, применяемые для изготовления реактора .....             | 9  |
| 2.3 Расчет прочности и жесткости ротора .....                          | 11 |
| 2.4 Определение конструкции ротора .....                               | 12 |
| 2.5 Определение конструкция рубашки реактора.....                      | 13 |
| 2.6 Определение конструкции уплотнителя вала .....                     | 15 |
| 2.7 Определение мощности электродвигателя для реактора.....            | 15 |
| 2.8 Расчет температурных расширений при работе .....                   | 17 |
| 2.9 Расчет шпоночного соединения муфты электродвигателя с ротором..... | 18 |
| 2.10 Расчет коэффициента прочности сварных швов .....                  | 20 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....   | 21 |
| ИСТОЧНИКИ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ .....                         | 23 |

|               |  |
|---------------|--|
| Перв. примен. |  |
| Справ. №      |  |

|              |  |
|--------------|--|
| Подп. и дата |  |
| Ине. № дубл. |  |
| Взам. инв. № |  |
| Подп. и дата |  |

|              |  |
|--------------|--|
| Ине. № подл. |  |
| Разраб.      |  |
| Пров.        |  |
| Н. контр.    |  |
| Утв.         |  |

|      |      |          |       |      |                                      |      |      |        |
|------|------|----------|-------|------|--------------------------------------|------|------|--------|
|      |      |          |       |      | <b>ПЗ</b>                            |      |      |        |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | РЕАКТОР<br>МАЛОТОННАЖНОГО<br>СИНТЕЗА | Лит. | Лист | Листов |
|      |      |          |       |      |                                      |      |      | 8      |
|      |      |          |       |      |                                      |      |      |        |
|      |      |          |       |      |                                      |      |      |        |
|      |      |          |       |      |                                      |      |      |        |

## ВВЕДЕНИЕ

Научно-производственным предприятием «Р.О.С.КОМТЕХ» рег. № 1190280002450 разработана эскизная документация по объекту «Реактора малотоннажного синтеза» для ООО «Радуга».

Эскизная документация выполнена на основании технического задания на проектирование.

Изыскания выполнены для стадии «эскизный проект» с целью выяснения:

- оптимальных условий для проведения процесса химического превращения с целью получения заданного выхода и качества целевых продуктов;

- расчета химического реактора с учетом не только кинетики химических превращений, но и влияния на результат процесса гидродинамической области, условий массообмена и теплообмена в аппарате.

При подготовке эскизной документации реактора учитывались нижеследующие факторы:

- агрегатное состояние обрабатываемых материалов;
- давление, влияющее на форму аппарата и его материал;
- температура процесса и точность ее регулирования, обуславливающая способ обогрева реактора и выбора теплоносителя;

- интенсивность теплообмена, от которой зависят размеры и вид теплопередающей поверхности, а также конструкция изоляции;

- консистенция обрабатываемых материалов, определяющая конструктивное оформление расчетной поверхности теплообмена и конструкцию приспособлений для перемешивания;

- интенсивность перемешивания, от ее степени зависит устройство специальных перегородок, мешалок с большим числом оборотов;

|              |              |
|--------------|--------------|
| Ине.№ подл.  | Подп. и дата |
| Взам. инв. № | Подп. и дата |
| Ине.№ дубл.  | Подп. и дата |
| Подп. и дата |              |

|      |      |          |       |      |           |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | <b>ПЗ</b> | Лист |
|      |      |          |       |      |           | 3    |

- агрегатное состояние применяемого катализатора, поскольку реакторы с твердым катализатором резко отличаются от реакторов с жидким катализатором;

- мощность производства, так как при большой мощности целесообразно применять сложный реактор непрерывного действия;

- химические свойства перерабатываемых материалов, от которых зависит выбор материала реактора;

- вид материала: чугун или сталь, от которого зависит способ изготовления реактора - литой или сварной.

|              |              |              |              |              |           |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата | Лист      |
|              |              |              |              |              |           |
| Изм.         | Лист         | № докум.     | Подп.        | Дата         | <b>ПЗ</b> |

# 1 НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Основным аппаратом любой реакторной установки является реактор. Назначением реактора является создание оптимальных условий для проведения процесса химического превращения с целью получения заданного выхода и качества целевых продуктов.

При химической переработке нефтяного и углеводородного сырья, например, в таких процессах, как каталитический крекинг, риформинг, коксование, пиролиз, алкилирование, применяют реакционные аппараты, значительно различающиеся по конструкции, принципу действия. Сложность расчета химических реакторов определяется необходимостью учета не только кинетики химических превращений, но также и влияние на результат процесса гидродинамической области, условий массообмена и теплообмена в аппарате.

Тип реактора, его конструктивное оформление в основном определяется характером осуществляемой в нем реакции, фазовым состоянием реагентов, наличием и видом катализатора, увеличенной и знаком теплоты реакций, температурой и давлением, при которых осуществляется реакция. В конечном счете, выбранная конструкция реактора должна обеспечить показатели.

- Высокие экономические показатели, высокие выходы целевых продуктов, малые капитальные и эксплуатационные расходы.

- Надежность и безопасность работы. Невысокая температура в реакторе.

Исполнение реактора в форме трубы, в лежачем положении, то есть имеет по существу горизонтальную центральную геометрическую ось корпуса. Благодаря этому избегается обусловленное силой тяжести поток в направлении течения и против него. Допустимы любой наклон и любое направление. Под «по существу горизонтальной» центральной геометрической осью подразумевают ось, направление которой отклоняется от горизонтального максимум на  $10^\circ$ , а предпочтительно менее чем на  $5^\circ$ .

|              |              |
|--------------|--------------|
| Ине.№ подл.  | Подп. и дата |
| Взам. инв. № | Ине.№ дубл.  |
| Подп. и дата | Подп. и дата |

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|

**ПЗ**

Лист

5

## 2 ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Таблица 1 - Габаритные размеры, масса и материал реактора

| Параметр   | Значение   |
|--|--|
| Габаритные размеры, мм, (не более)   | 1700x273   |
| Масса, кг, не более  | 500  |
| Материал стенок реактора   | нержавеющая сталь марки 1,4571 или сходных, применяемых в химической промышленности и устойчивых, сталей.  |
| Внутренние стенки реактора которые вступают в контакт с реакционной средой | нержавеющая сталь марки 1.4404 (со сниженной долей титана)   |
| Материала для изготовления теплообменной рубашки                           | сталь марки 15ХМ   |
| Конструкционный материал изготовления вала реактора                        | легированная сталь марок 20Х, 40Х, 40ХН, 18Х2Н4А, 40ХН2МА, 38ХМЮА, 30ХГТ, 12ХН3А и др. ( или аналогичные). |
| Диаметр рабочей части вала реактора  | 200мм ±5%  |
| Расстояние между стенками вала и внешнего цилиндра                         | 25 мм ± 5%   |
| Материала для изготовления крепёжных элементов фланцевых соединений        | сталь 20   |
| Материал для прокладки во фланцевом соединении                             | Фторопласт-4   |

|              |              |
|--------------|--------------|
| Име. № подл. | Подп. и дата |
| Взам. инв. № | Име. № дубл. |
| Подп. и дата | Подп. и дата |

|      |      |          |       |      |           |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | <b>ПЗ</b> | Лист |
|      |      |          |       |      |           | 6    |

Необходимо принять единую для всех марок сталей прибавку на различные виды разрушений, которая соответствует 2 мм.

Реактор представляет собой конструкцию типа «труба в трубе».

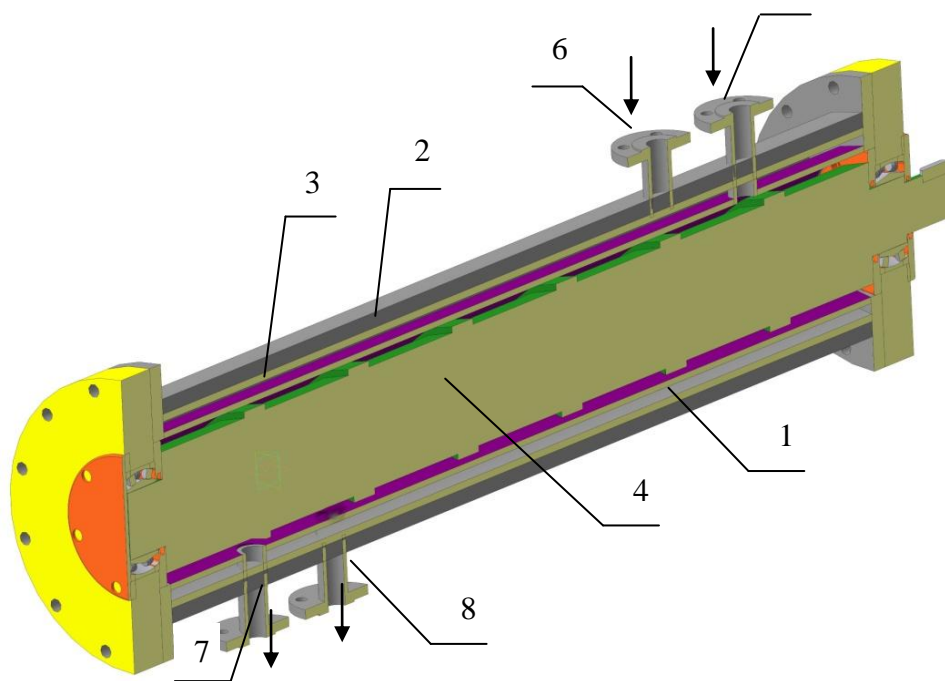


Рисунок 1 – Внешний вид реактора

1 – рубашка; 2 – труба внешняя; 3 – труба внутренняя; 4 – вал реактора полый; 5 – ввод компонента полимеризации; 6 – ввод теплоносителя; 7– вывод продукта полимеризации; 8– вывод теплоносителя.

Реактор представляет собой цилиндрический горизонтальный сосуд, снабженный обогревающей рубашкой с теплоносителем. Перемешивание и транспортировка массы вдоль корпуса реактора осуществляется вращающимся валом реактора (№4). В реакторе обеспечен хороший подогрев массы и большая поверхность зеркала испарения. Для этого реактор заполняют массой до оси вала реактора. Процесс протекает в тонком слое. Масса покрывает тонким слоем диски и попадает в паровое пространство реактора, где создается разрежение. При этом достигается эффективное удаление

|              |              |
|--------------|--------------|
| Ине.№ подл.  | Подп. и дата |
| Взам. инв. № | Ине.№ дубл.  |
| Подп. и дата |              |

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|

**ПЗ**

Лист

7

низкомолекулярного соединения, которое выделяется в ходе реакции. Масса полимера со стенок удаляется потоком, который формируется насечками на валу реактора. Насечки вала представляют собой проволоку, намотанную по спирали и закрепленную точечной сваркой. ( расчет прочности сварных швов представлен ниже).

Рубашка 1 служит для нагрева полимеризата и для поддержания режимной температуры в полимеризаторе. Температура нагрева до 250°C. Внутри аппарата закреплен одношнековый полый вал 4, соединенный с двигателем, который обеспечивает равномерное распределение концентрационных и температурных полей во всем объеме аппарата, что повышает качество полимера. Число оборотов мешалки составляет до 1500 об/мин.

Для герметизации вала в реакторе применяется торцевое уплотнение. В этом уплотнении герметичность достигается за счет плотного поджатия по торцевым плоскостям двух деталей – вращающейся и неподвижной. Торцевое уплотнение включает в себя кольцо, которое получает вращение от вала через водило. Вал соединен через муфту с двигателем. Торцевое уплотнение одновременно является опорой для вала.

## 2.1 Описание процесса полимеризации

Через ввод 6 осуществляется подача нагревающего реагента.

Во ввод 5 реактора подается компонент полимера и растворитель.

Основное назначение растворителя - снижение вязкости системы, что облегчает перемешивание реакционной массы и отвод от нее избыточного тепла. Растворители, применяемые при процессах: диоксан, диметилформаид, диметилацетамид, ацетонитрил, диметилсульфоксид, тетрагидрофуран, 4-бутиролактон, сульфолан, гексаметапол, этиленкарбонат, пропиленкарбонат,

|              |              |
|--------------|--------------|
| Ине. № подл. | Подп. и дата |
| Взам. инв. № | Подп. и дата |
| Ине. № дубл. | Подп. и дата |

|      |      |          |       |      |           |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | <b>ПЗ</b> | Лист |
|      |      |          |       |      |           | 8    |



нитрометан, метиленхлорид, N-метилпирролидон. Реакционная среда - растворы органических соединений в апротонных растворителях с динамической вязкостью до 1,8 МПа \* с.

При помощи одношнекового полого вала 4, соединенного с двигателем, происходит интенсивное перемешивание, что обеспечивает стационарный тепловой режим и высокую скорость реакции.

Через вывод 7 осуществляется выход продукта полимеризации.

Для обеспечения оптимального тепломассообмена частота вращения мешалки регулируется (0,3-1500 об/мин), что при постоянном остаточном давлении обеспечивает образование полимерной пленки. При достижении предельно допустимого значения мощности потребляемой электроэнергии мешалка автоматически останавливается. Запуск мешалки в работу производится на минимальной скорости.

## 2.2 Материалы, применяемые для изготовления реактора

Материалы, применяемые для изготовления реакторов синтеза, должны быть стойки к действию водорода и оксида углерода в производственных условиях. Обычные стали и железо уже при сравнительно низких температурах ( $\approx 150^{\circ}\text{C}$ ) корродируются оксидом углерода с образованием пентакарбонила железа. Чем выше парциальное давление CO, тем сильнее образование пентакарбонила. (может образовываться уже при комнатной температуре). С другой стороны, выше  $350^{\circ}\text{C}$  взаимодействие оксида углерода с железом по существу прекращается.

Чтобы предотвратить хрупкость стали, необходимо футеровать теплообменники и внутренние стенки реактора медью, легированной 1,5—2% марганца. Медь, однако, при сбросах давления может растрескиваться. В данном реакторе давление незначительное, поэтому данная технология может быть применена.

|             |              |          |       |      |           |      |
|-------------|--------------|----------|-------|------|-----------|------|
| Ине.№ подл. | Подп. и дата |          |       |      |           |      |
|             | Ине.№ дубл.  |          |       |      |           |      |
|             | Взам. инв. № |          |       |      |           |      |
|             | Подп. и дата |          |       |      |           |      |
|             | Ине.№ инв.   |          |       |      |           |      |
| Изм.        | Лист         | № докум. | Подп. | Дата | <b>ПЗ</b> | Лист |
|             |              |          |       |      |           | 9    |

Для парциальных давлений СО до 3 МПа разработаны специальные стали, достаточно стабильные к действию водорода и оксида углерода. Для этой цели пригодны хромистые стали с незначительным содержанием углерода и добавками молибдена, вольфрама и ванадия; надежно ведут себя хромоникелевая сталь 18-8, стали V2AE и NCT-3. Для изготовления реакторов применяют сталь V2A, стабилизированную титаном, танталом или ниобием; для подогревателей 3%-ную хромистую сталь с 0,5% (Mo + W) [84]; пригодна также аустенитная сталь 18-8, стабилизированная ниобием.

Используемую оцинкованную листовую сталь изготавливают не обычным способом (т.е. методом горячего цинкования), а газофазным цинкованием.

**Запрещено применять сталь FF-30, несмотря на ее устойчивость к хрупкости, сталь CF-87212, хромованадиевые стали (недостаточно стабильные).**

Для сооружения реакторов низкого давления, где условия синтеза более мягкие, можно применять менее легированные стали, чем на установках высокого давления, например, вполне пригодны стали, содержащие «0,5% молибдена. Однако и в этих условиях для узлов конденсации необходимо использовать хромоникелевые стали, так как обычные углеродистые стали корродируются метанолом-сырцом. При синтезе низкого давления тоже надо избегать образования пентакарбонила железа, так как это приводит к отложению железа на катализаторе. Хотя здесь и не существует, как при высоком давлении, опасности высокоэкзотермического метанообразования, но отложение карбониллов помимо повышения сопротивления реактора ведет к образованию нежелательных парафинов.

|              |              |
|--------------|--------------|
| Ине.№ подл.  | Подп. и дата |
| Взам. инв. № | Ине.№ дубл.  |
| Подп. и дата | Подп. и дата |

|      |      |          |       |      |           |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | <b>ПЗ</b> | Лист |
|      |      |          |       |      |           | 10   |

### 2.3 Расчет прочности и жесткости вала

Критериями работоспособности валов являются их прочность и жесткость. Под прочностью понимают способность валов сопротивляться действию постоянных и переменных по величине и направлению нагрузок без разрушения. Прочность валов оценивается следующими способами:

- сравнением фактического напряжения  $\sigma_{\text{факт}}$  с допускаемым  $[\sigma]$ ,  $\sigma_{\text{факт}} \leq [\sigma]$ ;
- сравнением фактического запаса прочности  $n$  с допускаемым  $[n]$ ,  $n \geq [n]$ ;
- по вероятности неразрушения  $P$ , %.

Для их реализации необходимо определить наибольшее напряжение в опасном сечении детали. При этом нужно знать предельное напряжение для материала.

Вал данного реактора должен быть изготовлен из углеродистых сталей марок 20, 30, 35, 40, 45, 50, или легированных сталей марок 20Х, 40Х, 40ХН, 18Х2Н4А, 40ХН2МА, 38ХМЮА, 30ХГТ, 12ХН3А ( или аналогичных по своим свойствам).

Участки вала, контактирующие с уплотнительными манжетами, должны иметь твердость поверхности не менее 30 HRC.

|             |              |              |             |              |
|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| Ине.№ подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Ине.№ дубл. | Подп. и дата |
|             |              |              |             |              |

|      |      |          |       |      |           |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | <b>ПЗ</b> | Лист |
|      |      |          |       |      |           | 11   |

Таблица 2-механические характеристики сталей

**Механические характеристики сталей**

| Марка стали | Диаметр заготовки, мм (не более) | Твердость НВ, (не менее) | Механические характеристики |            |          |               |             | $\Psi_T$ |
|-------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------|----------|---------------|-------------|----------|
|             |                                  |                          | $\sigma_B$                  | $\sigma_T$ | $\tau_T$ | $\sigma_{-1}$ | $\tau_{-1}$ |          |
| Ст 5        | Любой                            | 190                      | 520                         | 280        | 150      | 220           | 130         | 0,06     |
| 45          | 120                              | 240                      | 780                         | 540        | 290      | 360           | 200         | 0,09     |
|             | 80                               | 270                      | 900                         | 650        | 390      | 410           | 230         | 0,10     |
| 40 X        | 200                              | 240                      | 790                         | 640        | 380      | 370           | 210         | 0,09     |
|             | 120                              | 270                      | 900                         | 750        | 450      | 410           | 240         | 0,10     |
| 40 ХН       | 200                              | 270                      | 920                         | 750        | 450      | 420           | 230         | 0,10     |
| 20 X        | 120                              | 197                      | 650                         | 400        | 240      | 310           | 170         | 0,07     |
| 12ХН3А      | 120                              | 260                      | 950                         | 700        | 490      | 430           | 240         | 0,10     |
| 18ХГТ       | 60                               | 330                      | 1150                        | 950        | 660      | 500           | 280         | 0,12     |

**2.4 Определение конструкции вала.**

Вал реактора изготавливается из полой трубы, диаметром рабочей части ротора 200 мм ± 5%. Крепится на торцевые уплотнители. На концах вала применяется балансир для стабилизации его вращения. Балансир крепится точечной сваркой на расстоянии не менее 10 мм от края вала. Применения балансира на валу реактора обязательно. Балансир представляет собой пластину, изготовленную из такого же материала, что и вал реактора. Вес балансира подбирается после изготовления, установки и запуска вала реактора на оборотах от 250 до 1500 об/мин. Место прикрепления балансира определяется прибором Балком-1А (или аналогом). Балансировка вала реактора осуществляется в одной или двух плоскостях коррекции. При динамической балансировке уменьшаются как моментная, так и статическая неуравновешенности вала.

Динамическую балансировку вала достаточно проводить в двух плоскостях коррекции.

|              |              |
|--------------|--------------|
| Ине.№ подл.  | Подп. и дата |
| Взам. ине. № | Ине.№ дубл.  |
| Подп. и дата |              |

|      |      |          |       |      |           |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | <b>ПЗ</b> | Лист |
|      |      |          |       |      |           | 12   |

Шнек вала изготавливается из проволоки 2 мм(+/-10%) из легированной стали марок: 20X, 40X, 40ХН, 18Х2Н4А, 40ХН2МА, 38ХМЮА, 30ХГТ, 12ХН3А (или аналогичных), которая наматывается по спирали и закрепляется импульсно-дуговой сваркой. Шаг обмотки спирали не более 100 мм.

Таблица 3 - Габаритные размеры и характеристики вала реактора

| Наименование                                    | Параметр   |
|---|------------|
| Длина вала, мм.                                 | 2014       |
| Диаметр вала реактора, мм.                      | 203        |
| Расстояние между торцевыми соединениями, мм.    | 1584       |
| Диаметр шкива подключения электродвигателя, мм. | 110        |
| Диаметр шнека вала, мм.                         | 202 +/-10% |
| Шаг шнека, мм.                                  | 100        |

### 2.5 Определение конструкция рубашки реактора

Благодаря мерам, которые с конструкторской точки зрения просто реализовать, можно добиться, чтобы среда теплообмена текла вдоль корпуса реактора по спиралевидной траектории, и благодаря этому могла долго осуществлять теплообмен с потоком внутри корпуса реактора. Это создает возможность особо высокого потока теплообмена между течением внутри корпуса реактора и средой теплообмена (теплоносителем). Такое исполнение теплообменника со спиральным каналом теплообмена особо удобно для однофазных теплоносителей, которые не осуществляют фазовый переход (например, испарение и/или конденсацию) при поглощении и/или выделении теплоты. В случае сред теплообмена (теплоносителей), которые при поглощении и/или выделении теплоты подвергаются фазовому переходу,

|              |              |
|--------------|--------------|
| Ине.№ подл.  | Подп. и дата |
| Взам. инв. № | Ине.№ дубл.  |
| Подп. и дата |              |

|      |      |          |       |      |           |      |
|------|------|----------|-------|------|-----------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | <b>ПЗ</b> | Лист |
|      |      |          |       |      |           | 13   |

например, испарению и/или конденсации, обходятся, в частности, без разделительной стенки, чтобы внутри теплообменника благодаря фазовому переходу могла формироваться максимальная турбулентность. Внутренней границей теплообменника в то же время служит сам корпус реактора. Это позволяет избежать дополнительного теплового сопротивления между потоком внутри корпуса реактора и теплообменником. Среду теплообмена можно, например, направить по спиралевидному каналу теплообмена противотоком к потоку внутри корпуса реактора либо же в направлении потока, например, когда требуется высокая мощность охлаждения в начале полимеризации, то есть сверху по течению.

Особо предпочтительно, чтобы отношение внутренней площади корпуса реактора, имеющего форму трубы, к объему  $V$  корпуса реактора, имеющего форму трубы, составляло  $0,1 \text{ м}^2/\text{м}^3 \leq A/V \leq 100 \text{ м}^2/\text{м}^3$ , предпочтительно  $1 \text{ м}^2/\text{м}^3 \leq A/V \leq 50 \text{ м}^2/\text{м}^3$ , особо предпочтительно  $5 \text{ м}^2/\text{м}^3 \leq A/V \leq 30 \text{ м}^2/\text{м}^3$ , крайне предпочтительно  $10 \text{ м}^2/\text{м}^3 \leq A/V \leq 30 \text{ м}^2/\text{м}^3$ . Благодаря наличию насечек на валу реактора, которые предотвращают формирование граничных слоев на внутренней стенке корпуса реактора, возможно предусмотреть (спроектировать) реактор в виде сравнительно тонкой трубы, корпус которого имеет сравнительно большую внутреннюю площадь, отнесенную к заключенному в нем объему, в особенности если вал также выполнен охлаждаемым, и его в свою очередь скребут или очищают статоры. Благодаря сравнительно большой внутренней поверхности корпуса реактора в форме трубы можно установить соответственно высокую мощность теплообмена через наружную сторону корпуса реактора. В то же время оказывается легче добиться по существу однородного распределения температуры в радиальном направлении. Одновременно реактор в виде трубы может выдерживать более высокие значения внутреннего давления без необходимости выбирать слишком

|              |              |
|--------------|--------------|
| Ине.№ подл.  | Подп. и дата |
| Взам. инв. № | Ине.№ дубл.  |
| Подп. и дата | Подп. и дата |

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|

большую толщину стенок. Это дает возможность задавать и контролировать параметры реакции, в том числе и в широком диапазоне давлений.

## 2.6 Определение конструкции уплотнителя вала

При использовании вала для механической передачи усилия, целесообразно выполнить герметизацию с помощью уплотнения двойного действия с контактными кольцами, расположенного между валом и корпусом реактора, причем уплотнение с контактными кольцами содержит запорную среду, инертную, в частности, в условиях полимеризации. Уплотнение может охватывать пространство в виде кольцевидной камеры между двумя своими поверхностями скольжения, которое может быть заполнено запорной жидкостью. Запорная жидкость, в частности, находящаяся под давлением, при этом может смазывать обе пары контактных колец. Это позволяет избежать возможного отложения исходных компонентов и/или продуктов на поверхностях скольжения и образования из-за этого.

В качестве запорной среды можно, например, применять растворитель, который используют также и при реакции полимеризации.

## 2.7 Определение мощности электродвигателя для реактора.

Допустимо применение асинхронного двигателя от 3 кВт и более. В случае применения двигателя мощностью свыше 50 кВт необходима установка пускорегулирующей аппаратуры.

В случае глубокого изменения скоростных режимов целесообразно применения двигателя постоянного тока, мощностью до 100 кВт. ( При использовании асинхронных двигателей мощностью от 50-100 кВт

|              |              |
|--------------|--------------|
| Ине. № подл. | Подп. и дата |
| Взам. инв. № | Ине. № дубл. |
| Подп. и дата | Подп. и дата |

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|

**ПЗ**

Лист

15

нецелесообразно, из-за отсутствия технической возможности частотного способа регулирования скорости).

Необходимая мощность привода с учетом пусковых нагрузок принимается на 20% больше номинального значения электродвигателя.

Рекомендуемый электродвигатель для применения в реакторе:

|  |   |
|--|---|
| Модель   | АИР100S4 X2 (химически устойчивый)        |
| Обороты, об/мин  | 1500                                      |
| Мощность, кВт  | 3   |
| Входное напряжение, В  | 220/380                                   |
| Стандарт по габаритам и мощности                                 | Российский ГОСТ Р 51689-2000              |
| Диаметр вала, мм   | 28  |
| Высота вала, мм  | 100                                       |
| КПД, %   | 82  |
| Коэффициент мощности, Cos φ                                      | 0.82                                      |
| Номинальный ток I <sub>н</sub> , А                               | н/д                                       |
| Кратность пускового момента M <sub>п</sub> /M <sub>н</sub>       | 2.0                                       |
| Кратность максимального момента M <sub>тах</sub> /M <sub>н</sub> | 2.2                                       |
| Кратность пускового тока I <sub>п</sub> /I <sub>н</sub> , А      | 7.0                                       |
| Класс защиты   | IP 54                                     |
| Производитель  | ОАО «Могилевский завод «Электродвигатель» |
| Вес, кг  | 23.0                                      |
| Страна происхождения   | Беларусь                                  |

|              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Име. № подл. | Име. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата |
|              |              |              |              |
|              |              |              |              |
|              |              |              |              |

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|      |      |          |       |      |

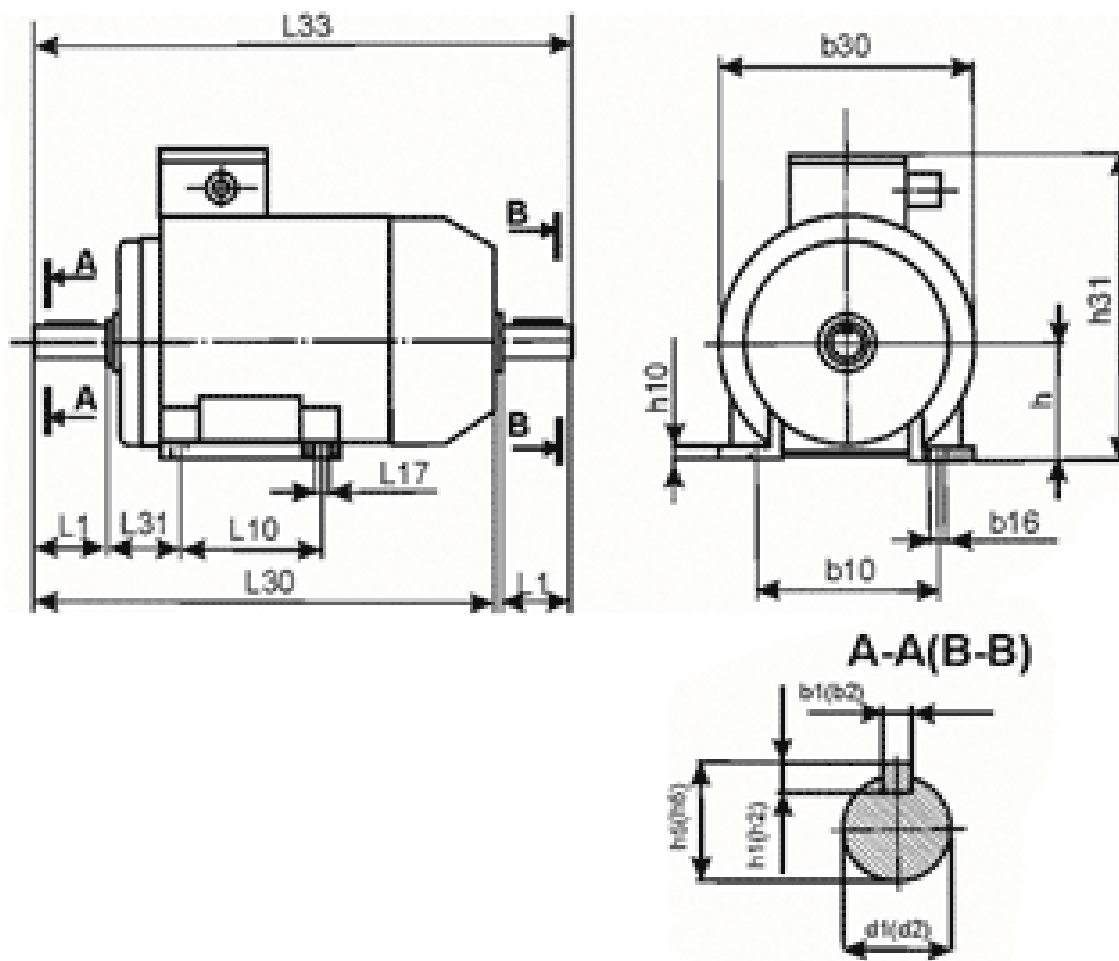
**ПЗ**

Лист

16



Подключение и габаритные размеры двигателя:



b10 - поперечное межосевое расстояние отверстий лап

l10 - продольное межосевое расстояние отверстий лап

b16 - ширина отверстий на лапах

l17 - толщина отверстий на лапах

h10 - толщина лап

**Схемы подключения двигателей с напряжением питания 220/380В или 380/660В**

По умолчанию обмотки подключены по "звезде" и его можно сразу подключать в сеть 380В. Данный способ соединения обеспечивает максимальный КПД электродвигателя.

|              |              |
|--------------|--------------|
| Ине.№ подл.  | Подп. и дата |
| Взам. инв. № | Ине.№ дубл.  |
| Подп. и дата | Подп. и дата |

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|

Используется в том случае, если двигатель нужно подключить к сети 220В вместо 380В.

**ВНИМАНИЕ!** Подключать трехфазный электродвигатель по схеме "треугольник" нужно только через конденсатор. Потеря мощности при этом составляет порядка 35%

## 2.8 Расчет температурных расширений при работе реактора

*Расчет для марок стали 20Х и 40Х:*

Коэффициент линейного расширения  $\alpha=12.8 \text{ мкК}^{-1}$

Температурное удлинение:

$$\Delta L=L\alpha(T-T_0)=2000 \times 12.8 \times 10^{-6} (250-20)=5.888 \text{ мм.}$$

$\alpha$  - коэффициент линейного расширения при расчетной температуре (коэффициент температурного расширения материала). Определение: коэффициент температурного расширения - характеризует относительную величину изменения линейных размеров тела с изменением температуры  $\alpha = \Delta L/L\Delta T$ .

### **ВАЖНО!**

**Физические характеристики материалов приняты согласно ПНАЭ Г-7-002-86. Промежуточные значения характеристик материала определяются линейной интерполяцией.**

## 2.9 Расчет шпоночного соединения муфты электродвигателя с ротором

Расчёт шпоночных соединений заключается в проверке условия прочности материала шпонки на смятие.

|             |              |              |             |              |      |      |          |       |      |           |      |
|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|------|------|----------|-------|------|-----------|------|
| Ине.№ подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Ине.№ дубл. | Подп. и дата | Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | <b>ПЗ</b> | Лист |
|             |              |              |             |              |      |      |          |       |      |           | 18   |

Шпонка на быстроходном валу.

$$[\sigma]_{\text{см}} = 0,35 \cdot \sigma_T = 0,35 \cdot 320 = 112 \text{ МПа}$$

- крутящий момент на валу, - диаметр вала, - ширина шпонки, - высота шпонки, - глубина паза вала, - глубина паза ступицы, - допускаемое напряжение на смятие, - предел текучести.

Определяем рабочую длину шпонки :

$$l_p = \frac{2T}{d(h-t_1) \cdot [\sigma]_{\text{см}}} = \frac{2 \cdot 53,62}{25(8-5) \cdot 112} = 0,0218 \text{ м}$$

Принимаем шпонку 12x8x22

Условие прочности:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2 \cdot T \cdot 10^3}{d l_p (h - t_1)} = \frac{2 \cdot 53,62 \cdot 10^3}{25 \cdot 22 \cdot (8 - 5)} = 65 \text{ МПа} \leq [\sigma]_{\text{см}}$$

Выбор муфты. Для передачи крутящего момента от вала электродвигателя к быстроходному валу и предотвращения перекоса вала выбираем муфту. Наиболее подходит упругая втулочно-кольцевая муфта, крутящий момент передается пальцами и упругими втулками. Ее размеры стандартизированы.

|   |              |          |       |      |           |      |  |  |  |           |      |      |      |          |       |      |  |    |
|---|--------------|----------|-------|------|-----------|------|--|--|--|-----------|------|------|------|----------|-------|------|--|----|
| Инв. № подл.  | Подп. и дата |          |       |      |           |      |  |  |  |           |      |      |      |          |       |      |  |    |
|   | Инв. № дубл. |          |       |      |           |      |  |  |  |           |      |      |      |          |       |      |  |    |
|   | Взам. инв. № |          |       |      |           |      |  |  |  |           |      |      |      |          |       |      |  |    |
|   | Подп. и дата |          |       |      |           |      |  |  |  |           |      |      |      |          |       |      |  |    |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 50%; text-align: center; vertical-align: middle;"><b>ПЗ</b></td> <td style="width: 10%; text-align: right;">Лист</td> </tr> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лист</td> <td>№ докум.</td> <td>Подп.</td> <td>Дата</td> <td></td> <td style="text-align: right;">19</td> </tr> </table> |              |          |       |      |           |      |  |  |  | <b>ПЗ</b> | Лист | Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |  | 19 |
|   |              |          |       |      | <b>ПЗ</b> | Лист |  |  |  |           |      |      |      |          |       |      |  |    |
| Изм.  | Лист         | № докум. | Подп. | Дата |           | 19   |  |  |  |           |      |      |      |          |       |      |  |    |

## 2.10 Расчет коэффициента прочности сварных швов

Принимаем коэффициент прочности сварных швов  $\psi = 0,9$  при виде сварного шва: стыковой, выполняемый вручную с одной стороны. Длина контролируемых швов от общей длины составляет 100 %.

Прибавки к расчётным толщинам стенок:

а) для компенсации коррозии корпуса:

$$c_k = (П_1 + П_2) \cdot \phi ,$$

где  $П_1$  - скорость коррозии металла при воздействии среды в аппарате на внутреннюю стенку аппарата, днище и крышку, мм/год

Принимаем  $П_1 = 0,1$  мм/год

$П_2$  - скорость коррозии металла при воздействии среды в рубашке на внешнюю стенку аппарата, днища и внутреннюю стенку рубашки.

Принимаем  $П_2 = 0,05$  мм/год

$\phi$  - срок эксплуатации

б) для компенсации эрозии  $c_э = 0$ , так как эрозия отсутствует.

в) для компенсации минусового допуска и утонения стенки элементов аппарата соответственно  $C_2 = 0$  и  $C_3 = 0$ , так как сумма ( $C_2 + C_3$ ) не превышает 5% толщины листа.

|              |              |              |              |              |           |  |  |  |  |      |      |          |       |      |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|--|--|--|--|------|------|----------|-------|------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата | <b>ПЗ</b> |  |  |  |  | Лист |      |          |       |      |
|              |              |              |              |              |           |  |  |  |  | 20   |      |          |       |      |
|              |              |              |              |              |           |  |  |  |  | Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|              |              |              |              |              |           |  |  |  |  |      |      |          |       |      |
|              |              |              |              |              |           |  |  |  |  |      |      |          |       |      |

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ввиду конструкции реактора в виде трубы можно хорошо прогнозировать условия реакции внутри реактора в виде трубы по длине реактора и соответственно легко влиять на них и контролировать их. В частности, к началу реакции полимеризации, когда присутствуют сравнительно много исходных компонентов и лишь немного продукта, вязкость потока особо мала, составляя обычно не более 1.8 мПа·с. Если не указано иное, то значения вязкости определяют посредством капиллярной вискозиметрии при температуре 23°C согласно ISO 1628 или относятся к этой норме. В то же время ввиду большого количества реагентов выделяется особенно много теплоты реакции, которую можно отвести через корпус реактора. Поскольку обратного потока полимеризованного продукта можно избежать, возможно удерживать на особо низком уровне вязкость на участке, на котором требуется особо интенсивный теплоотвод. Ввиду низкой вязкости на этом участке транспорт теплоты в радиальном направлении осуществлять особо просто, причем во взаимодействии со скребком можно достичь коэффициента теплопередачи к на уровне нескольких сот Вт/м<sup>2</sup>К. Благодаря этому, в частности, на участке корпуса реактора, где образуется максимальное количество теплоты, при охлаждении потока можно обойтись ведущим градиентом температуры до 30 К или же - в другой форме исполнения - до 20 К. По мере продвижения к выпуску реактора в виде трубы вязкость потока существенно увеличивается и может достичь нескольких сот мПа·с, так что в результате коэффициент теплопередачи ухудшается по сравнению с областью впуска реактора в виде трубы. Тем не менее, коэффициент теплопередачи становится хуже в области, в которой реакция полимеризации (если она еще вообще идет) протекает в незначительных масштабах, так что при полимеризации выделяется значительно меньшее количество теплоты, которое необходимо отводить. Ввиду того, что отведению подлежит меньшее количество теплоты, более высокая

|              |              |
|--------------|--------------|
| Ине.№ подл.  | Подп. и дата |
| Взам. инв. № | Ине.№ дубл.  |
| Подп. и дата | Подп. и дата |

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|

**ПЗ**

Лист

21

вязкость и худший коэффициент теплопередачи не оказывают значительного отрицательного влияния на охлаждение потока.

|              |              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ине. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Ине. № дубл. | Подп. и дата |
|              |              |              |              |              |

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|      |      |          |       |      |

**ПЗ**

Лист

22

## ИСТОЧНИКИ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ

1. Балцер Д., Вайсс В., Викторов В.К. и др. Химико-технологические системы: Синтез, оптимизация, управление / Под ред. И.П. Мухленова. Л.: Химия, 1986.
2. Перевалов В.П., Колдобский Г.И. Основы проектирования и оборудование производств тонкого органического синтеза. М.: Химия, 1997. С. 102.
3. Будзуляк Б.В., Сердюков С.Г., Пронин Е.Н. Малотоннажное производство СПГ — самостоятельный вид деятельности. // Газовая промышленность. 2006. - №1. - с. 68-69.
4. Жоров Ю.М. Термодинамика химических процессов. Нефтехимический синтез, переработка нефти, угля и природного газа. М.: Химия. - 1985. -464 с.

|             |              |              |             |              |           |  |  |  |  |      |
|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-----------|--|--|--|--|------|
| Ине.№ подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Ине.№ дубл. | Подп. и дата | <b>ПЗ</b> |  |  |  |  | Лист |
| Изм.        | Лист         | № докум.     | Подп.       | Дата         |           |  |  |  |  | 23   |