

## Аннотация

В дипломном проекте рассчитывается аппарат воздушного охлаждения, работающий в составе установки получения метанола-сырца.

В проект вошли следующие разделы:

- обзор и анализ состояния вопроса;
- технологический раздел;
- расчетно-конструкторский раздел;
- специальный раздел;
- автоматизация оборудования;
- безопасность и экологичность проекта;
- организационно-экономический раздел.

Дипломный проект включает

- страниц –
- рисунков –
- таблиц –
- литературных источников –

|  |    |
|--|----|
| 6.2 Мероприятия по предотвращению воздействия опасных и вредных факторов ..... | 80 |
| 6.3 Защита персонала и территории в чрезвычайных ситуациях.....                | 83 |
| 7 Организационно-экономический раздел .....                                    | 84 |
| 7.1 Техничко-экономическая характеристика.....                                 | 84 |
| 7.2 Себестоимость продукции .....  | 84 |
| 7.3 Обоснование производственной мощности .....                                | 85 |
| 7.4 Организация труда и расчет заработной платы. ....                          | 86 |
| 7.5 Прибыль .....  | 88 |
| 7.6 Расчет эффективности использования основных средств .....                  | 88 |
| 7.7 Сводные показатели эффективности проектного решения .....                  | 89 |
| 7.8 Построение графика.....  | 90 |
| 7.9 Заключение об экономической эффективности.....                             | 91 |
| Заключение .....   | 92 |
| Список использованных источников .....   | 93 |

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |

# 1 Обзор состояния вопроса

## 1.1 Основы синтеза метанола

Современный синтез метанола проводится на так называемых низкотемпературных катализаторах, основу которых составляет оксид меди. Хотя каталитический синтез метанола на медных катализаторах известен давно, их промышленное применение задержалось до 60-х годов из-за повышенной чувствительности к отравлению соединениями серы. В промышленном синтезе метанола использовали цинк-хромовые катализаторы, недостатком которых являлись относительно низкая селективность и относительно высокие температура (до 400°C) и давление (30 МПа) процесса.

Лишь после развития методов тщательной сероочистки стала возможной технология синтеза метанола второго поколения с использованием медьсодержащих катализаторов, в первую очередь Cu-Zn-Al-оксидных, впервые введенных в промышленную практику фирмой ICI. Наибольшее распространение в настоящее время получили катализаторы фирм ICI и Haldor Topsoe (МК-101). Попытки совершенствования рецептуры и технологии приготовления катализаторов синтеза метанола продолжают в многих лабораториях, в том числе в РФ, где число предложенных новых катализаторов приближается к десятку, и некоторые из них доведены до опытно-промышленных партий.

Между тем, современные катализаторы синтеза метанола близки к идеалу, если не считать их постепенной дезактивации в ходе эксплуатации и высокой чувствительности к каталитическим ядам. Действительно, они позволяют осуществлять процесс при относительно низкой температуре (220-280°C) и умеренном давлении (5-10 МПа) при исключительно высокой селективности - содержание суммы примесей в метаноле обычно не превышает 0.1%. Правда, несколько сотых процента примесей составляют высокомолекулярные углеводороды и спирты (твердые «парафины»), что создает определенные трудности при эксплуатации агрегатов синтеза метанола. Однако промышленность научилась справляться с этими трудностями, так что фактически качество катализатора в рамках современ-

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |

В связи с этим воспроизведем результаты одного из опытов с  $^{14}\text{C}$ , позволяющие дать количественную оценку вклада CO и CO<sub>2</sub> в синтез метанола. Опыт проводили в циркуляционной установке при вымораживании образующегося метанола непосредственно в циркуляционном контуре и, параллельно, непрерывном отборе интегральной пробы газа. Метанол синтезировали на промышленном катализаторе СНМ-1 (Cu-Zn-Al-оксидный). Исходная смесь содержала 4%  $^{14}\text{CO}_2$ , 30%  $^{12}\text{CO}$ , 59% H<sub>2</sub> и 7% N<sub>2</sub>, то есть была благоприятна именно для синтеза с участием CO. Температура опыта 240°C типична для промышленного синтеза, как и давление ~ 5 МПа (постепенно снижалось по мере превращения, газовой смеси). В ходе опыта CO<sub>2</sub> частично потерял метку, а CO - приобрел за счет обмена [1].

Значения удельной радиоактивности компонентов смеси в интегральной пробе (в импульсах в минуту на мг BaCO<sub>3</sub>) составили: CO - 430, CO<sub>2</sub> - 1480, метанол - 1500. Эти результаты однозначно доказывают, что метанол образуется только путем гидрирования CO<sub>2</sub>.

Следует подчеркнуть, что для «инициирования» синтеза достаточно даже следовых количеств CO<sub>2</sub> и/или воды, поскольку, фактически, мы имеем дело с цепной реакцией, и молекула CO<sub>2</sub> воспроизводится после каждого цикла «синтез метанола — конверсия CO водой». Лишь тщательная очистка от CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O и кислорода позволяет полностью подавить синтез метанола.

Последующие исследования показали, что обе приведенные реакции не описываются общепринятыми в гетерогенном катализе механизмами (по схеме адсорбция-реакция-десорбция), а протекают через образование, превращения и взаимное замещение прочно, связанных с активным центром адсорбированных и промежуточных соединений. На основе исследований кинетики превращений прочно адсорбированных компонентов реакционной смеси, данных, полученных методом термопрограммированной десорбции в сочетании с различной химической обработкой и других, оказалось возможным установить схему детального механизма реакции, приведенной на рисунке 1.1. Реакции, записанные в верхней строке схемы, представляют собой реакции адсорбционного замещения. Они осуществлены в независимом эксперименте вне катализа.

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |

Синтез метанола можно рассматривать как наглядную иллюстрацию этой связи. Действительно, уже первый из процитированных выше результатов - синтез метанола протекает через гидрирование  $\text{CO}_2$  - привлек внимание к влиянию нового продукта - воды на кинетику процесса (в предполагавшемся ранее механизме  $\text{CO} + 2\text{H}_2 \Rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$  вода отсутствовала, поэтому ее влиянием обычно пренебрегали). Оказалось, что вода весьма сильно тормозит синтез, а поскольку в ходе процесса она образуется и превращается (по двум реакциям, см. выше), то и в кинетике суммарного процесса синтеза метанола отражается баланс реакций конверсии  $\text{CO}$  и собственно синтеза метанола. Соответственно, подверглась пересмотру и роль  $\text{CO}$  и его концентрации в суммарном процессе. После выявления схемы детального механизма стала доступной разработка теоретической кинетической модели процесса и, соответственно, анализ его технологии.

Такой анализ сразу показал неоптимальность действующих технологических схем, включающих один или несколько реакторов с циркуляцией газовой смеси. Гораздо эффективнее последовательность проточных реакторов, работающих непосредственно на «свежем» газе (технология «Каскад»). Такая последовательная схема наиболее эффективна, когда каскад проточных реакторов завершается циркуляционным реактором или энергетическим блоком, где происходит превращение остаточного газа. Ее использование позволяет получить двукратное повышение производительности единицы объема катализатора без дополнительных капиталовложений и при экономии электроэнергии.

Существуют агрегаты синтеза метанола, в которых электроподогреватель выполнен в форме спирали и размещен в центральной трубе катализаторной коробки, что приводит к значительному упрощению технологической схемы, сокращению длины трубопроводов и уменьшению гидравлического сопротивления агрегата.

В выносных электроподогревателях, смонтированных из токоведущих труб, преимуществами являются их надежность в эксплуатации и простота обслуживания. Мощность выносных электроподогревателей в несколько раз больше, чем помещенных внутри колонны.

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |

После каждой ступени компрессора газ охлаждается в холодильниках 3, 5, конденсировавшаяся влага отделяется в сепараторах 1, 6. Привод ступеней компрессора осуществляется паровыми турбинами, использующими пар давлением 10.4 МПа и температурой 490 °С.

Тепло прореагировавшего газа, выходящего из колонны синтеза, используется для подогрева питательной воды котлов-утилизаторов в подогревателях 7 и 17 и подогрева газа, поступающего в колонну, в теплообменниках 10 и 14. При конденсации в метаноле-сырце растворяется значительное количество компонентов циркуляционного газа. Состав и количество растворенных газов определяются параметрами процесса синтеза метанола.

При синтезе метанола под давлением 10 МПа из метанола-сырца при дросселировании выделяется 25...27 м<sup>3</sup>/т растворенных газов, а при снижении давления в цикле синтеза до 5 МПа их количество снижается до 15...17 м<sup>3</sup>/т. Состав выделившихся танковых газов можно рассчитать по коэффициентам растворимости с учетом парциального давления компонентов в циркуляционном газе. Поскольку синтез метанола под низким давлением на низкотемпературных катализаторах проводится при повышенной концентрации диоксида углерода, то содержание СО<sub>2</sub> в танковых газах повышается до 40...60% (об.). Обычно после выделения метанола эти газы вместе с продувочными направляются на сжигание в котельные установки.

Мощность одной технологической линии в промышленных производствах изменяется в широких пределах. Удельный расход природного газа при этом отличается незначительно и определяется в основном способом подготовки исходного газа. Обращает на себя внимание разница в диаметре реакторов синтеза и соответственно в объеме загружаемого катализатора. Перевод производства метанола на низкотемпературные медьсодержащие катализаторы привел к снижению давления в цикле синтеза в 4... 8 раз. В связи с этим уменьшение производительности единицы объема катализатора в 4...6 раз, одновременное повышение мощности, например в 10 раз приводит в итоге к увеличению объема катализатора и соответственно реактора в 34 раза. Именно резкое увеличение габаритов оборудования заставляет вести работы в направлении создания низкотемпературного процесса получения метанола при высоких давлениях..

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |

время года); рециркуляцией части воздуха и дренированием в атмосферу; увлажнением воздуха (в жаркое летнее время) за счет впрыска химически очищенной воды. Применение жалюзийных устройств, рециркуляция и дренирование воздуха не обеспечивают экономию электроэнергии и менее выгодны, чем другие способы.

Аппарат воздушного охлаждения состоит из ряда трубчатых секций, расположенных горизонтально, вертикально, наклонно в виде шатра или зигзагообразно в соответствии с рисунком 1.3 [5, с.190].

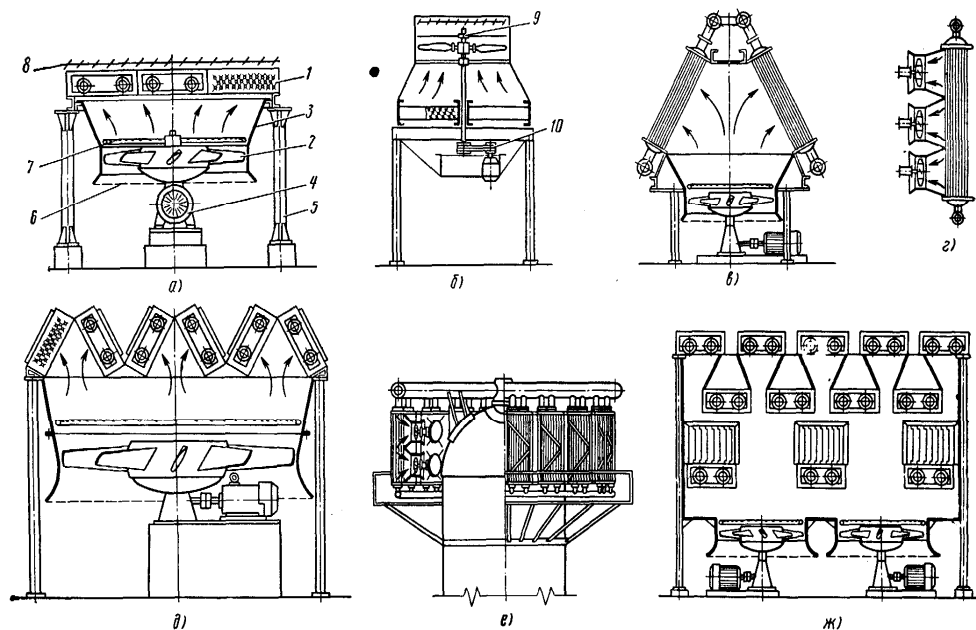


Рисунок 1.3 – Аппараты воздушного охлаждения:

а, б – горизонтальные соответственно с нижним и верхним размещением вентилятора; в – шатровый; г – вертикальный; д – зигзагообразный; е – на верху ректификационной колонны; ж – трехконтурный;

1 – секция трубчатая; 2 – колесо вентилятора; 3 – диффузор; 4 – электродвигатель; 5 – колонна; 6 – решетка ограждающая; 7 – коллектор впрыска химически очищенной воды; 8 – жалюзи; 9 – механизм регулирования угла поворота лопастей; 10 – клиноременная передача.

Секция аппаратов воздушного охлаждения состоит обычно из четырех, шести или восьми рядов труб, которые расположены по вершинам равносторонних треугольников и закреплены развальцовкой, а в ряде случаев последующей приваркой в двух трубных решетках, имеющих крышки, в соответствии с рисунком 1.4 [5].

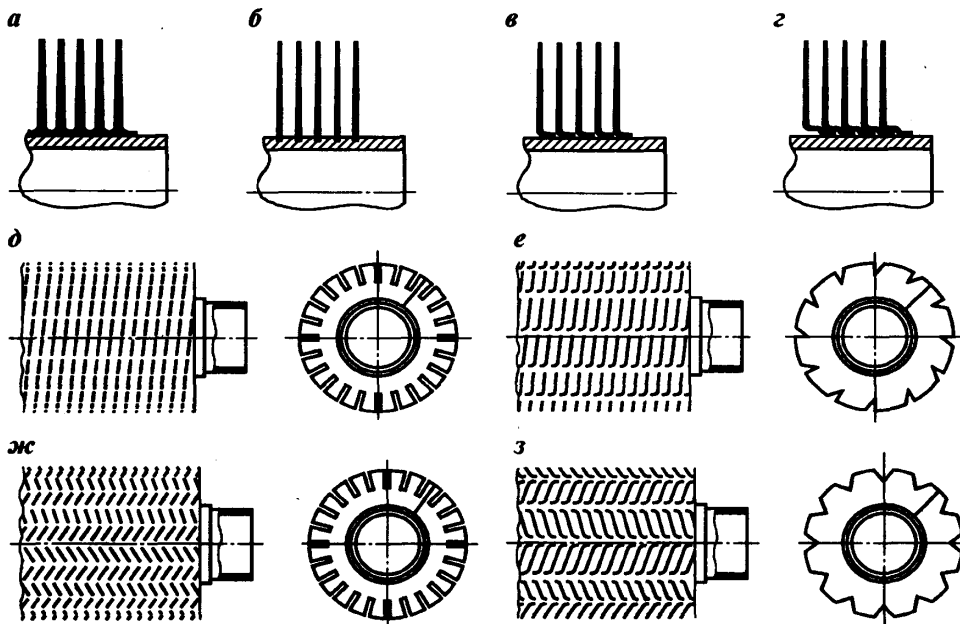


Рисунок 1.5 – Трубы с поперечным оребрением:

а – накатанным; б – завальцованным; в – L-обертка; г – двойная ступенчатая L-обертка; д – накатанным с разрезными ребрами; е – накатанным с разрезными ребрами формы «полуинтеграл»; ж – накатанным с разрезными ребрами зигзагообразной формы; з – накатанным с разрезными ребрами формы «интеграл».

Коэффициент оребрения, равный отношению поверхности оребренной трубы к наружной поверхности гладкой трубы по основанию ребер, изменяется от 5,8 до 22,6.

Повышение тепловой эффективности аппаратов воздушного охлаждения можно обеспечить за счет применения оребренных труб, оснащенных турбулизаторами воздушного потока рисунок 1.5, д-з.

Наличие турбулизаторов прерывает развитие пограничных слоев на боковой поверхности оребрения, обеспечивает возникновение мелких вихрей, проникающих в межреберную полость и увеличивающих интенсивность теплообмена. Например, средняя теплоотдача трубчатого пучка с ребрами «полуинтеграл» и «интеграл» рисунок 1.6, е, з по сравнению с неразрезными ребрами увеличилась на 22 и 29 % соответственно, при росте гидравлического сопротивления примерно на 60 %.

Применяют также конструкции секций с цельносварными неразъемными распределительными камерами.



водоемов, а также экономии легированных дорогостоящих сталей, которые требуются для защиты от коррозии со стороны охлаждающей воды.

Аппараты горизонтального типа отличаются относительной простотой конструкции, следовательно, наиболее просты при монтаже и эксплуатации. К недостаткам таких аппаратов можно отнести большую занимаемую площадь по сравнению с АВЗ или трехконтурными аппаратами вследствие горизонтального расположения секций, но именно с этой особенностью конструкции аппарата связано его преимущество. У аппаратов типа АВГ наименьшее аэродинамическое сопротивление воздушного тракта (теплообменных секций), следовательно требуется меньшая мощность вентилятора. Это существенное преимущество, так как оплата электроэнергии является основной статьей расходов при эксплуатации АВО. К недостаткам АВЗ можно отнести громоздкость конструкции.

На основе проведенного обзора к проектированию приняты технологическая схема производства метанола под давлением 5 МПа и аппарат воздушного охлаждения типа АВЗ.

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |

Конвертированный газ поступает в котел-утилизатор 6, где охлаждается до 280—290 °С. Затем теплоту газа используют в теплообменнике 7 для подогрева питательной воды, направляемой в котел-утилизатор. Пройдя воздушный холодильник 8 и сепаратор 9, газ охлаждается до 35-40 °С.

Охлажденный конвертированный газ сжимают до 5 МПа в компрессоре 10, смешивают с циркуляционным газом и подают в теплообменники 11, 12, где он нагревается до 220—230 °С.

Нагретая газовая смесь поступает в колонну синтеза 13, температурный режим в которой регулируют с помощью холодных байпасов. Теплоту реакционной смеси используют в теплообменниках 11, 12 для подогрева поступающего в колонну газа.

Далее газовая смесь охлаждается в холодильнике-конденсаторе 14, сконденсировавшийся метанол-сырец отделяется в сепараторе 15 и поступает в сборник 16. Циркуляционный газ возвращают на синтез, продувочные и танковые газы передают на сжигание в трубчатую печь.

Вследствие снижения температуры синтеза при низком давлении процесс осуществляется в условиях, близких к равновесию, что позволяет увеличить производительность агрегата.

На рисунке 2.2 приведены конструкции аппаратов воздушного охлаждения с расположением трубных секций зигзагообразно, горизонтально и в виде шатра. Размещение трубных секций зигзагообразное и в виде шатра позволяет иметь большую поверхность теплообмена при той же занятой площади.

Поток воздуха создается при вращении лопастей 6, насаженных на вал конического редуктора 12, который приводится во вращение электродвигателем 11. К фундаменту редуктора также крепится опорный диск 7, на котором удерживается защитная решетка 8 для предотвращения засасывания с потоком воздуха различных инородных материалов и загрязнения межтрубоного пространства секций теплообменника. Над лопастями вентилятора установлена еще одна решетка 4, предохраняющая лопасти вентилятора от попадания инородных предметов большого объема сверху.

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |

## 2.2 Технологический расчет

Исходные данные:

- производительность 25517.77 кг/ч;
- давление газа 4.9 МПа;
- температура газа на входе в АВО 150°С;  
на выходе из АВО 126°С.

### 2.2.1 Определение поверхности теплообмена

Схема к расчету представлена на рисунке 2.3

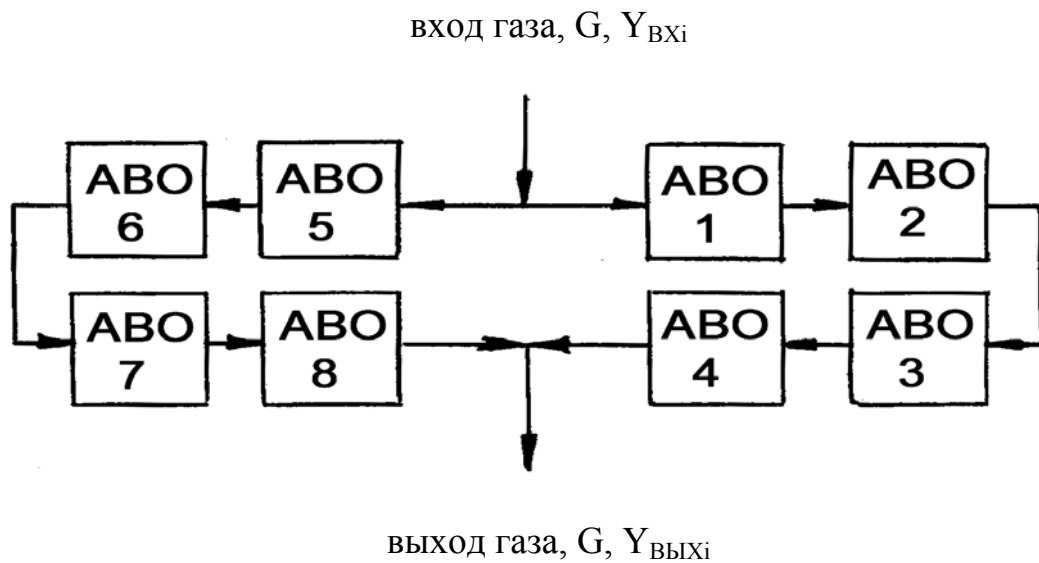


Рисунок 2.3 – Схема к расчету АВО

Состав газа на входе в АВО представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Состав газа на входе в АВО

| Компонент                         | Состав   |         |                   |       |
|-----------------------------------|----------|---------|-------------------|-------|
|                                   | кг/ч     | %(масс) | м <sup>3</sup> /ч | %(об) |
| CO <sub>2</sub>                   | 4309.45  | 16.89   | 2193.9            | 6.32  |
| CO                                | 8476.75  | 33.22   | 6781.4            | 19.54 |
| H <sub>2</sub>                    | 1297.93  | 5.09    | 14536.8           | 41.64 |
| CH <sub>4</sub>                   | 3795.17  | 14.87   | 5313.2            | 15.31 |
| N <sub>2</sub>                    | 5448.73  | 21.35   | 4359.0            | 12.56 |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>     | 782.98   | 3.07    | 584.6             | 1.68  |
| C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH  | 5.60     | 0.02    | 2.1               | 0.006 |
| CH <sub>3</sub> OH                | 1322.79  | 5.18    | 926.0             | 2.67  |
| (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> O | 2.87     | 0.01    | 1.4               | 0.004 |
| H <sub>2</sub> O                  | 75.50    | 0.30    | 94.0              | 0.27  |
| Всего                             | 25517.77 | 100     | 34698.4           | 100   |

Расход дан при  $T = 273 \text{ K}$ ,  $p = 0.1013 \text{ МПа}$ .

|                                 |  |   |  |  |  |  |  |  |  |
|---------------------------------|--|---|--|--|--|--|--|--|--|
|                                 |  |   |  |  |  |  |  |  |  |
|                                 |  |   |  |  |  |  |  |  |  |
|                                 |  | N |  |  |  |  |  |  |  |
| ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |   |  |  |  |  |  |  |  |

$q_{t1}, q_{t2}$  - энтальпия горячего теплоносителя, кДж/кг;

$q_{t3}, q_{t4}$  - энтальпия холодного теплоносителя, кДж/кг;

$t_1, t_4$  - температуры входа в аппарат, °С;

$t_2, t_3$  - температуры выхода из аппарата, °С;

$\eta$  - коэффициент источника тепла;

Для газовой смеси

$$q = \sum c_i \cdot y_i^{\text{масс}} \cdot t,$$

где  $c_i$  - теплоемкость отдельных компонентов смеси, кДж/(кг·К);

$y_i^{\text{масс}}$  - массовые доли компонентов в смеси.

Температура газа на входе в аппарат  $t_1 = 150^\circ\text{C}$ .

Температура газа на выходе из аппарата  $t_2 = 126^\circ\text{C}$ .

Тогда

$$q_{t1} = [0.1689 \cdot 0.2275 + 0.3322 \cdot 0.2515 + 0.0509 \cdot 3.455 + 0.1487 \cdot 0.6275 + 0.2135 \cdot 0.25 + 0.0307 \cdot 0.42 + 0.0518 \cdot 0.4445] \cdot 4.19 \cdot 150 = 302 \text{ кДж/кг.}$$

$$q_{t2} = [0.1689 \cdot 0.223 + 0.3322 \cdot 0.2514 + 0.0509 \cdot 0.455 + 0.1487 \cdot 0.607 + 0.2135 \cdot 0.25 + 0.0307 \cdot 0.42 + 0.0518 \cdot 0.429] \cdot 4.19 \cdot 126 = 171 \text{ кДж/кг}$$

$$Q = 25517.77 / (2 \cdot 365 \cdot 24) \cdot (302 - 171) \cdot 0.96 = 18316865 \text{ Дж/ч} = 5088 \text{ кВт}$$

Температуру воздуха рекомендуется принимать равной средней температуре сухого воздуха в 13 часов самого жаркого месяца. Для Кавказского региона она составит  $t_b = 29^\circ\text{C}$  [5].

Максимальная температура самого жаркого месяца:

$$t_{\text{max}} = 42^\circ\text{C}.$$

Начальная температура воздуха, используемая при проектировании, рассчитывается по формуле:

$$t_3 = t_b + 0.25 \cdot (t_{\text{max}} - t_b);$$

$$t_3 = 29 + 0.25 \cdot (42 - 29) = 32^\circ\text{C}.$$

Энтальпия воздуха при этой температуре:

$$q_{t3} = c_{t3} \cdot t_3 = 1.007 \cdot 32 = 32.2 \text{ кДж/кг.}$$

Конечную температуру воздуха принимаем  $t_4 = 50^\circ\text{C}$ .

Соответствующая энтальпия:

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |

$$Re = w \cdot d_{\text{вн}} \cdot \rho / \mu,$$

где  $d_{\text{вн}}$  - внутренний диаметр трубок, м;

$\rho$  - плотность газа при средней температуре,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\mu$  - коэффициент динамической вязкости газа при средней температуре,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ .

Динамический коэффициент вязкости газовых смесей может быть вычислен по приближенной формуле:

$$M_{\text{см}}/\mu_{\text{см}} = y_1 \cdot M_1/\mu_1 + y_2 \cdot M_2/\mu_2 + \dots + y_n \cdot M_n/\mu_n,$$

где  $M_{\text{см}}$ ,  $M_1$ ,  $M_2$ , ...  $M_n$  - мольные массы смеси газов и отдельных компонентов,  $\text{кг/кмоль}$ ;

$\mu_{\text{см}}, \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$  - динамические коэффициенты вязкости,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ ;

$y_1, y_2, \dots, y_n$  - объемные доли компонентов в смеси.

При  $t_{\text{ср}} = 138^\circ\text{C}$

$$\mu_{\text{CO}_2} = 0.02 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu_{\text{CO}} = 0.022 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu_{\text{H}_2} = 0.011 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu_{\text{CH}_4} = 0.015 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu_{\text{N}_2} = 0.022 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu_{\text{C}_2\text{H}_6} = 0.013 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu_{\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}} = 0.014 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu_{\text{CH}_3\text{OH}} = 0.014 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu_{(\text{CH}_3)_2\text{O}} = 0.013 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu_{\text{H}_2\text{O}} = 0.014 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с} [6]$$

$$\begin{aligned} \sum y_i \cdot M_i / \mu_i &= 0.0632 \cdot 44 \cdot 10^3 / 0.02 + 0.1954 \cdot 28 \cdot 10^3 / 0.022 + 0.4164 \cdot 2 \cdot 10^3 / 0.011 + \\ &+ 0.1531 \cdot 16 \cdot 10^3 / 0.015 + 0.1256 \cdot 28 \cdot 10^3 / 0.022 + 0.0168 \cdot 30 \cdot 10^3 / 0.013 + 0.0267 \cdot 32 \times \\ &\times 10^3 / 0.014 = 886399 \text{ кг}/(\text{кмоль}\cdot\text{Па}\cdot\text{с}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{см}} = \sum y_i \cdot M_i &= 0.0632 \cdot 44 + 0.1954 \cdot 28 + 0.4164 \cdot 2 + 0.1531 \cdot 16 + 0.1256 \cdot 28 + \\ &+ 0.0168 \cdot 30 + 0.0267 \cdot 32 = 16.41 \text{ кг}/\text{кмоль} \end{aligned}$$

$$\mu_{\text{см}} = M_{\text{см}} / \sum (y_i \cdot M_i / \mu_i) = 16.41 / 886399 = 0.019 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$$

Шаг по ширине пучка  $S = 42\text{мм}$ .

Число труб в одном ряду  $N = 21\text{шт}$ .

Число рядов  $n = 8\text{шт}$ .

Площадь сжатого наименьшего сечения:

$$F_c = 6 \cdot l \cdot (B - N \cdot d_3) = 6 \cdot 6 \cdot (1.14 - 21 \cdot 0.028) = 20\text{м}^2$$

Скорость воздушного потока в сжатом сечении:

$$W_v = V/F_c = 249.1/20 = 12.5\text{м/с}$$

Вязкость воздуха при средней температуре  $\mu = 0.019 \cdot 10^{-3}\text{Па}\cdot\text{с}$

Критерий Рейнольдса для воздуха:

$$Re_v = W \cdot d_1 \cdot \rho / \mu_1 = 12.5 \cdot 0.025 \cdot 1.124 / (0.019 \cdot 10^{-3}) = 18487$$

Критерий Нуссельта для потока воздуха

$$Nu = 0.37 \cdot \varepsilon_{\text{ат}} \cdot Re_v^{0.6},$$

где  $\varepsilon_{\text{ат}} = 1$  - поправочный коэффициент, учитывающий угол атаки [5].

$$Nu = 0.37 \cdot 1 \cdot 18487^{0.6} = 134$$

Теплопроводность воздуха при средней температуре

$$\lambda_v = 0.027 \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$$

$$\alpha_2 = 0.37 \cdot \lambda_v / d \cdot \varepsilon_{\text{ат}} \cdot Re_v^{0.6} = 0.37 \cdot 0.027 / 0.025 \cdot 1 \cdot 0.6 \cdot 18487 = 145 \text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$$

Определим коэффициент теплоотдачи для пучка гладких труб.

Тепловое сопротивление внутреннего слоя загрязнений:

$$\beta_{\text{загр}} = 3.5 \cdot 10^{-4} \text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт} [5]$$

Тепловое сопротивление стенки трубы  $\beta_e = 5 \cdot 10^{-5} \text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$

Тепловое сопротивление наружного загрязнения  $\beta_{\text{н.загр}} = 0.0006 \text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ .

Коэффициент теплопередачи

$$K = 1 / (1/\alpha_1 + 1/\alpha_2 + \beta_{\text{загр}} + \beta_e + \beta_{\text{н.загр}}) = 1 / (1/170 + 1/145 + 3.5 \cdot 10^{-4} + 5 \cdot 10^{-5} + 0.0006) = 73 \text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$$

Коэффициент теплоотдачи при поперечном обтекании воздухом ребренных труб.

Средняя толщина ребер

$$\sigma_p = (\delta_1 + \delta_2) / 2 = (0.001 + 0.0006) / 2 = 8.5 \cdot 10^{-4} \text{м}$$

Скорость воздуха при обтекании труб

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |

$$\alpha_{\text{пр}} = [1 + 0.573/0.646 \cdot (0.96 \cdot 1.02 - 1)] \cdot 0.85 \cdot 130 / (1 + 0.0006 \cdot 130) = 101 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Определим коэффициент теплоотдачи для оребренных труб.

Поверхность гладкой трубы (по наружному диаметру) на один метр длины:

$$F_{\text{ст}} = \pi \cdot d_3 = \pi \cdot 0.028 = 0.088 \text{ м}^2$$

Тепловое сопротивление алюминиевого слоя

$$\beta_A = 0.0015 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$$

Коэффициент теплоотдачи:

$$k_0 = 1 / (1/\alpha_1 + \beta_{\text{загр}} + \beta_L + \beta_A + \beta_{\text{н.загр}} + F_{\text{ст}}/F_p \cdot 1/\alpha_{\text{пр}}) = 1 / (1/170 + 3.5 \cdot 10^{-4} + 5 \cdot 10^{-5} + 0.0006 + 0.088/0.573 \cdot 1/101) = 119 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Общая поверхность теплообмена

$$F = Q / (k_0 \cdot \Delta t) = 5088 / (119 \cdot 97) = 4.4 \cdot 10^5 \text{ м}^2$$

### 2.2.2 Выбор стандартного аппарата

Согласно производственным данным принимаем теплообменник с характеристиками:

- поверхность теплообмена по гладкой поверхности  $540 \text{ м}^2$ ;
- количество секций в аппарате 6 шт.;
- количество рядов труб 8 шт.;
- количество ходов по трубам 1;
- длина труб 6 м;
- трубы наружные 164, материал АД1;
- трубы внутренние 164, материал Сталь 16ГС [6].

### 2.2.3 Гидравлический расчет

$\Delta = 0.0002 \text{ м}$  - шероховатость поверхности трубок

Диаметр трубы  $d = 0.021 \text{ м}$ ;

Длина трубы  $L = 6 \text{ м}$ ;

Число ходов в секции  $z = 2$

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |

$$\xi_3 = 0.5;$$

$$\xi_4 = 1$$

$$\Delta p_{шт} = (\xi_3 + \xi_4) \cdot w_{шт}^2 \cdot \rho_r / 2 = (0.5 + 1) \cdot 30^2 \cdot 23.66 / 2 = 1.6 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

Полное гидравлическое сопротивление теплообменной секции

$$\Delta p_c = \Delta p_{тр} + 4 \cdot \Delta p_{шт} = 24 \cdot 10^4 + 4 \cdot 1.6 \cdot 10^4 = 30.4 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

#### 2.2.4 Расчет вспомогательного оборудования

Для рекуперации тепла горячий газ из реактора синтеза метанола направляется последовательно в два кожухотрубчатых теплообменника. Поступающий на синтез газ нагревается до необходимой температуры.

Исходные данные:

расход газа  $V_0 = 110 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $T = 273 \text{ К}$ ,  $P = 0.1013 \text{ МПа}$ );

температура на входе в трубное пространство  $t'_1 = 220^\circ \text{ С}$ ;

температура на входе в межтрубное пространство  $t'_2 = 130^\circ \text{ С}$ ;

температура на выходе из трубного пространства  $t''_1 = 150^\circ \text{ С}$ .

Схема к расчету представлена на рисунке 2.5.

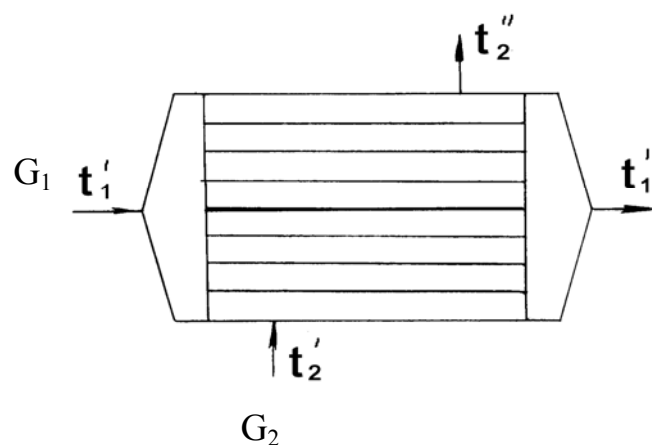


Рисунок 2.5 – Схема к расчету

Температурная схема теплообменника:

$$t'_1 = 220^\circ \text{ С} \rightarrow t''_1 = 150^\circ \text{ С}$$

$$t''_2 = 190^\circ \text{ С} \leftarrow t'_2 = 130^\circ \text{ С},$$

здесь  $t''_2$  - температура на выходе из межтрубного пространства первого из двух последовательно работающих теплообменников, в соответствии с рисунком 2.6 (в дальнейшем подлежит проверке).



$c_1$  - средняя удельная теплоемкость среды в трубном пространстве (газ из реактора синтеза метанола), Дж/(кг·К).

Состав газа на выходе из реактора синтеза метанола:

CO<sub>2</sub> - 6.32%(об);

CO - 19.54%(об);

H<sub>2</sub> - 41.64%(об);

CH<sub>4</sub> - 15.31%(об);

N<sub>2</sub> - 12.56%(об);

C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> - 1.68%(об);

CH<sub>3</sub>OH - 2.67%(об);

Определим плотность газовой смеси при нормальных условиях, т.е. при  $T_0 = 273$  К и  $P_0 = 0.1013$  МПа [5, с. 10]

Плотность смеси газов:

$$\rho_{см} = \sum y_i \cdot \rho_i,$$

здесь  $\rho_i$  – плотность отдельных компонентов смеси, кг/м<sup>3</sup> [6];

$y_i$  – объемная доля компонентов смеси.

$$\rho_{см} = 0.0632 \cdot 1.98 + 0.1954 \cdot 1.25 + 0.4164 \cdot 0.0899 + 0.1531 \cdot 0.72 + 0.1256 \cdot 1.25 + + 0.0168 \cdot 1.36 + 0.0267 \cdot 1.43 = 0.735 \text{ кг/м}^3.$$

На основании уравнения Клапейрона, плотность  $\rho$  любого газа при температуре  $T$  и давлении  $P$  может, быть рассчитана по формуле:

$$\rho = \rho_{см} \cdot T_0 \cdot P / (T \cdot P_0),$$

где  $\rho_{см}$  – плотность газа при нормальных условиях ( $P_0, T_0$ );

$T, P$  – рабочие условия.

$$\rho_1 = 0.735 \cdot 273 \cdot 4.9 / ((273 + 185) \cdot 0.1013) = 21 \text{ кг/м}^3$$

Массовый состав среды в трубном пространстве:

$$y'_{CO_2} = 0.1689$$

$$y'_{CO} = 0.3322$$

$$y'_{H_2} = 0.0509$$

$$y'_{CH_4} = 0.1487$$

$$y'_{N_2} = 0.2135$$

$$c_{\text{CH}_4} = 2665 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К});$$

$$c_{\text{N}_2} = 1048 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К});$$

$$c_{\text{C}_2\text{H}_6} = 2073 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К});$$

Состав газа на входе в реактор синтеза представлен в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Состав газа на входе в реактор

| Компонент                     | % масс | % об  |
|-------------------------------|--------|-------|
| CO <sub>2</sub>               | 17.2   | 6.15  |
| CO                            | 36.47  | 20.51 |
| H <sub>2</sub>                | 5.61   | 44.20 |
| CH <sub>4</sub>               | 15.23  | 14.98 |
| N <sub>2</sub>                | 21.29  | 11.97 |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | 2.90   | 1.52  |

При рабочих условиях  $t_2 = 160^\circ \text{C}$ ,  $P = 5 \text{ МПа}$ .

$$c = 0.172 \cdot 961 + 0.3647 \cdot 1055 + 0.056 \cdot 14481 + 0.1523 \cdot 2665 + 0.2129 \cdot 1048 + 0.029 \cdot 2073 = 2150 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$$

Проверим правильность выбора  $t''_2$

$$t''_2 = Q/(V_2 \cdot \rho_2 \cdot c_2) + t_2 = 5142337/(3.5 \cdot 22 \cdot 2150) + 130 = 196^\circ \text{C}$$

Ранее принято  $t''_2 = 190^\circ \text{C}$ , погрешность  $\varepsilon = 3\%$ , что допустимо.

Определим необходимую площадь поверхности теплообмена

$$F = Q/(K \cdot \Delta t_{\text{cp}}),$$

где  $K = 300 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  - коэффициент теплоотдачи (принят по производственным данным);

Тогда

$$F = 5142337/(300 \cdot 25) = 615 \text{ м}^2$$

Принимаем горизонтальный кожухотрубчатый теплообменный аппарат (двухходовой) по ГОСТ 15118-79 с характеристиками:

- поверхность теплообмена  $625 \text{ м}^2$ ;
- диаметр 1200 мм;
- длина трубок 6 м;
- диаметр труб 20x2 мм;
- количество трубок 1658 [8].

Принимаем  $\eta = 0.75$  [7, с.220], тогда

$$N = 95.3 \cdot 16939.8 / (1000 \cdot 0.75) = 2152 \text{ кВт.}$$

На основании производственных данных принимаем компрессор типа Н-270-14-7 «Энергомаш» г. Хабаровск - одноступенчатый центробежный с консольным расположением рабочего колеса, с характеристиками:

- давление на входе 4.5 МПа;
- давление на нагнетании 5.3 МПа;
- число оборотов ротора 7970 об/мин;
- мощность эл. двигателя 4000 кВт.

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |

### 3.2 Прочностной расчет решеток и крышек трубной секции

Основными проектируемыми элементами АВО являются трубные решетки и крышки трубных секций.

Прочностной расчет головки трубной секции.

Исходные данные:

- шаг трубок  $t = 0.042$  м;
- наружный диаметр внутренних стальных трубок  $d_1 = 0.025$  м;
- толщина стенки трубки  $s_{тр} = 0.002$  м;
- расчетное давление  $P = 5.0$  МПа [4].

Допустимое напряжение для материала решеток и трубок из стали 20  
 $[\sigma] = 154$  МПа [9]

Временное сопротивление материала шпилек из стали 35Х

$$\sigma_{вш} = 900 \text{ МПа}$$

Схема к расчету трубной секции представлена на рисунке 3.2.

Предварительно для дальнейшего расчета требуется рассчитать коэффициент прочности решетки  $\phi_p$ , который учитывает ослабление сечения решетки отверстиями под трубы [3, с.169]

$$\phi_p = (t - d_1)/t = (0.042 - 0.025)/0.042 = 0.405$$

Коэффициент прибавки на коррозию  $c = 0.001$  м

Размеры трубной решетки по болтовым линиям:

$$A = 1.194 \text{ м}$$

$$B = 0.438 \text{ м}$$

Длина и ширина трубной решетки по центру прокладки

$$A_{п} = 1.134 \text{ м}$$

$$B_{п} = 0.375 \text{ м}$$

$$A/B = 1.194/0.438 = 2.73$$

Толщина трубной решетки с учетом прибавки на коррозию [3, с.197]

$$s_p = 0.68 \cdot B_{п} \cdot \sqrt{\frac{P}{\phi_p \cdot [\sigma]}} + c = 0.68 \cdot 0.375 \cdot \sqrt{\frac{4.9}{0.405 \cdot 154}} + 0.001 = 0.07 \text{ м}$$

$$t_{\text{шмин}} = 2.1 \cdot d_{\text{ш}} = 2.1 \cdot 0.03 = 0.063 \text{ м}$$

Принимаем  $t_{\text{ш}} = 0.075 \text{ м}$

Число шпилек приблизительно вычисляется по формуле

$$c_{\text{ш}} = (B + A) \cdot 2 / t_{\text{ш}} = (0.438 + 1.194) / 0.075 = 22$$

Ширина прокладки  $a = 0.02 \text{ м}$

Базовая ширина прокладки при уплотнении типа выступ-впадина [3, табл. с.83]

$$b_0 = a / 2 = 0.02 / 2 = 0.01 \text{ м}$$

Расчетная ширина прокладки

$$b = b_0 = 0.01 \text{ м}$$

$$m = 2.75 \text{ мм}$$

Удельное давление на прокладку  $q_{\text{п}} = 30 \text{ МПа}$

Усилие на шпильку при ее начальной затяжке

$$q_{\text{б1}} = b \cdot t_{\text{ш}} \cdot q_{\text{п}} = 0.01 \cdot 0.075 \cdot 30 = 0.02 \text{ МН}$$

Усилие от давления

$$q_0 = 0.5 \cdot P \cdot B_{\text{п}} \cdot t_{\text{ш}} = 0.5 \cdot 4.9 \cdot 0.375 \cdot 0.075 = 0.07 \text{ МН}$$

$$q_6 = 0.5 \cdot P \cdot B_{\text{п}} \cdot t_{\text{п}} + 2 \cdot b \cdot t_{\text{ш}} \cdot m \cdot P = 0.5 \cdot 4.9 \cdot 0.375 \cdot 0.075 + 2 \cdot 0.01 \cdot 0.075 \cdot 2.75 \cdot 4.9 = 0.09 \text{ МН}$$

Проверка напряжения в шпильке

$$[\sigma_{\text{шп}}] = \sigma_{\text{вш}} / n_{\sigma},$$

где  $n_{\sigma} = 4$  – коэффициент выражающий отношение рабочего допустимого напряжения шпильки к пределу прочности материала шпильки

$$[\sigma_{\text{шп}}] = 900 / 4 = 225 \text{ МПа}$$

Диаметр шпильки

$$d_{\text{ш}} = 2 / (\pi \cdot [\sigma_{\text{шп}}]) \cdot \sqrt{\pi \cdot [\sigma_{\text{шп}}] \cdot q_{\text{ш}}} = 2 / (3.14 \cdot 225) \cdot \sqrt{3.14 \cdot 225 \cdot 0.09} = 0.025 \text{ м}$$

Стандартный внутренний диаметр выбранной шпильки М30

$$d_{\text{вн}} = 0.0277 \text{ м}$$

Толщина фланца крышки в сечении 4-4 по изгибающему моменту

Максимальная допустимая нагрузка на шпильку

$$q_{\text{шм}} = \pi / 4 \cdot d_{\text{вн}}^2 \cdot [\sigma_{\text{шп}}] = 3.14 / 4 \cdot 0.0277^2 \cdot 225 = 0.136 \text{ МН}$$

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |

$$[\tau] = 0.8 \cdot [\sigma] = 0.8 \cdot 154 = 123 \text{ МПа}$$

Размер катета сварного шва, рассчитанный по напряжению на срез:

$$k = q_c / (\pi \cdot d_1 \cdot 0.7 \cdot [\tau] \cdot \phi) + c = 2.1 \cdot 10^{-3} / (\pi \cdot 0.025 \cdot 0.7 \cdot 123 \cdot 0.8) + 0.001 = 1.4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

В зависимости от толщины стенки трубки катет сварного шва определяется по формуле [11, с.166]:

$$k_{\text{мин}} = s_{\text{тр}} + 0.0005 = 0.002 + 0.0005 = 0.0025 \text{ м}$$

Проверка минимального шага трубок по формуле [9, с.161]

Минимальный шаг труб в трубной решетке

$$t_{\text{трмин}} = (1.2 \cdot d_1 + 0.002) = (1.2 \cdot 0.025 + 0.002) = 0.032 \text{ м}$$

Принятый шаг  $t = 0.042 \text{ м}$  удовлетворяет условию

### 3.3 Расчет фланцевых соединений

Выполним расчет фланцевого соединения штуцера для ввода газа в аппарат.

Исходные данные для расчета:

диаметр  $D = 200 \text{ мм}$ ;

расчетное давление  $P_p = 4.5 \text{ МПа}$ ;

прибавка на коррозию  $c = 1 \text{ мм}$ ;

температура обрабатываемой среды  $t = 150^\circ \text{C}$ ;

толщина стенки  $s = 5 \text{ мм}$ ;

коэффициент прочности сварных швов  $\phi = 1$ .

Схема к расчету представлена на рисунке 4.3.

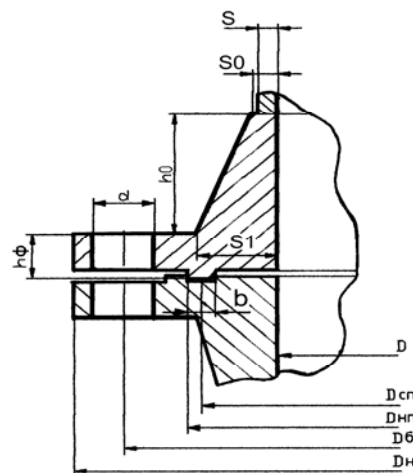


Рисунок 3.3 – Фланцевое соединение

Принимаем  $h_{\phi} = 30$  мм при толщине прокладки  $h_{п} = 2$  мм.

Расчетная длина шпильки

$l_{60} = 2 \cdot (h_{\phi} + h_{п}) = 2 \cdot (30 + 2) = 64$  мм – расстояние между опорными поверхностями шпильки и гайки

$$l_6 = l_{60} + 0.28 \cdot d_6 = 64 + 0.28 \cdot 30 = 72.4 \text{ мм}$$

Определим нагрузки, действующие на фланец.

Равнодействующая внутреннего давления

$$F_d = P_p \cdot \pi \cdot D_{сн}^2 / 4 = 4.9 \cdot 3.14 \cdot (245 \cdot 0.001)^2 / 4 = 0.232 \text{ МН}$$

Определим реакцию прокладки

$$b_0 = b = 12 \text{ мм}$$

$$k_{пр} = 2.5 [9]$$

$$R_{п} = \pi \cdot D_{сн} \cdot b_0 \cdot k_{пр} \cdot P_p = 3.14 \cdot 245 \cdot 12 \cdot 2.5 \cdot 4.9 \cdot 0.001^2 = 0.113 \text{ МН}$$

Определим коэффициент жесткости фланцевого соединения

$$k_{ж} = [y_{ш} + 0.5 \cdot y_{\phi} \cdot (D_{ш} - D - s_{эж}) \cdot (D_{ш} - D_{сн})] / [y_{п} + y_{ш} + 0.5 \cdot y_{\phi} \cdot (D_{ш} - D_{сн})^2]$$

где  $y_{ш}$ ,  $y_0$ ,  $y_{\phi}$  – податливость, соответственно шпилек, прокладки, фланцев.

Податливость шпилек вычисляется по формуле

$$y_{ш} = l_{ш} / (E_{ш} \cdot f_{ш} \cdot n_{ш}),$$

где  $E_{ш} = 1.99 \cdot 10^5$  МПа – для материала шпилек из стали 35Х [9]

$f_{ш} = 5.4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  – для шпилек диаметром  $d_{ш} = 30$  мм

$$y_{ш} = 0.0724 / (1.99 \cdot 10^5 \cdot 5.4 \cdot 10^{-4} \cdot 12) = 5.6 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН}$$

Податливость прокладки

$$y_{п} = k_{п} \cdot h_{п} \cdot 10^{-3} / (E_{п} \cdot \pi \cdot D_{сн} \cdot b),$$

где  $E_{п} = 2000$  МПа – для прокладки из паронита [9]

$$k_{п} = 1 [9, \text{с.99}]$$

тогда

$$y_{п} = 1 \cdot 2 \cdot 10^{-3} / (2000 \cdot 3.14 \cdot 245 \cdot 10^{-3} \cdot 12 \cdot 10^{-3}) = 10.8 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН}$$

Податливость фланца

$$y_{\phi} = [1 - \nu \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda_{\phi})] \cdot \psi_2 / [h_{\phi}^3 \cdot E]$$

$$\text{где } \lambda_{\phi} = h_{\phi} / \sqrt{D \cdot s_{эж}} = 30 / \sqrt{200 \cdot 15} = 0.544$$

$$\psi_2 = (D_{н} + D) / (D_{н} - D) = (356 + 200) / (356 - 200) = 3.6$$

$$M_0 = \left\{ \begin{array}{l} 0.5 \cdot (D_{\phi} - D_{\text{сп}}) \cdot F_{\phi 1} \\ 0.5 \cdot [(D_{\phi} - D_{\text{сп}}) \cdot F_{\phi 2} + (D_{\text{сп}} - D - s_{\text{эк}}) \cdot F_{\text{д}}] \frac{[\sigma_{20}]}{[\sigma]} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 0.01 \\ 0.0139 \end{array} \right\} = 0.0139 \text{ МНм}$$

Проверка прочности и герметичности соединения

Условие прочности шпилек при монтаже фланцевого соединения и в его рабочем состоянии

$$F_{\text{ш1}} / (n_{\text{ш}} \cdot f_{\text{ш}}) = 0.3682 / (12 \cdot 5.4 \cdot 10^{-4}) = 57 \text{ МПа} < [\sigma_{20}] = 230 \text{ МПа}$$

$$F_{\text{ш2}} / (n_{\text{ш}} \cdot f_{\text{ш}}) = 0.334951 / (12 \cdot 5.4 \cdot 10^{-4}) = 52 \text{ МПа} < [\sigma_{\text{ш}}] = 228 \text{ МПа}$$

Условие прочности прокладки

$$F_{\text{бmax}} = \max(F_{\phi 1}, F_{\phi 2}) = 0.3682 \text{ МПа}$$

$$F_{\text{бmax}} / (\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b) = 0.3682 / (3.14 \cdot 0.245 \cdot 0.012) = 40 \text{ МПа} < [P_{\text{пр}}] = 130 \text{ МПа} [9]$$

Максимальное напряжение в сечении, ограниченном размером  $s_0$

$$\sigma_0 = f_{\phi} \cdot T_{\phi} \cdot M_0 \cdot v / [D' \cdot (s_1 - c)^2]$$

$$\text{так как } \beta_1 = 1.9 \quad h_b / \sqrt{D \cdot s_0} = 0.5$$

$$\text{то по [9]} \quad f_{\phi} = 1.2$$

$$D' = D + S_1 = 208 \text{ мм}$$

$$T_{\phi} = \frac{(D_{\text{н}})^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(\frac{D_{\text{н}}}{D})) - D^2}{[1.05 \cdot D^2 + 1.945 \cdot D_{\text{н}}^2] \cdot (\frac{D_{\text{н}}}{D} - 1)} = \frac{356^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(\frac{356}{200})) - 200^2}{[1.05 \cdot 200^2 + 1.945 \cdot 356^2] \cdot (356/200 - 1)} = 1.59$$

$$\sigma_0 = f_{\phi} \cdot T_{\phi} \cdot M \cdot v / [D' \cdot (s_1 - c)^2] = 1.2 \cdot 1.59 \cdot 0.0139 \cdot 0.48 / [208 \cdot 0.001 \cdot (15 \cdot 10^{-3} - 0.001)^2] = 304 \text{ МПа}$$

Напряжение во втулке от внутреннего давления:

тангенциальное

$$\sigma_t = P_p \cdot D / [2 \cdot (s_0 - c)] = 4.9 \cdot 200 / [2 \cdot (8 - 1)] = 70 \text{ МПа},$$

меридиональное

$$\sigma_m = P_p \cdot D / [4 \cdot (s_0 - c)] = 4.9 \cdot 200 / [4 \cdot (8 - 1)] = 35 \text{ МПа}.$$

Условие прочности для сечения, ограниченного размером  $s_0 = 8 \text{ мм}$

$$\sqrt{(\sigma_0 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_0 + \sigma_m) \cdot \sigma_t < \phi \cdot \sigma_{\text{доп0}},$$

где  $\sigma_{\text{доп0}} = 0.002E = 398 \text{ МПа}$  – для фланца из стали 16ГС в сечении  $s_0$  при  $P_p = 4.9 \text{ МПа}$ .

|                                 |  |   |  |  |  |  |
|---------------------------------|--|---|--|--|--|--|
|                                 |  |   |  |  |  |  |
|                                 |  |   |  |  |  |  |
|                                 |  | N |  |  |  |  |
| ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |   |  |  |  |  |



где  $G_c$ - суммарный вес секций;

$l$ -длина балки 6.66 м.

Концы балки могут свободно поворачиваться вокруг своих закреплений.

Изгибающий момент найдем в наиболее опасном сечении, которое расположено в центре балки

$$M = q \cdot l^2 / 8 \quad G_c = m_c \cdot g,$$

где  $m_c$ -масса секции  $m_c = 5700$  кг;

$g$ - ускорение свободного падения.

$$G_c = 5700 \cdot 9.8 = 55860 \text{ Н}$$

$$q = 6 \cdot 55860 / 6.66 = 50324 \text{ Н/м}$$

Секция опирается на две балки, следовательно, нагрузка, действующая на одну балку -  $q_1 = q/2 = 50324/2 = 25162$  Н/м

$$M_{\max} = 25162 \cdot 6.66^2 / 8 = 139509 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Допустимое напряжение на изгиб для двутавровой балки из стали Ст3  $[\sigma]_{\text{и}} = 120 \cdot 10^6$  Па

Находим требуемый момент сопротивления балки:

$$W_k = M_{\max} / [\sigma]_{\text{и}} = 139509 / 120 \cdot 10^6 = 1.16 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \text{ или } 1160 \text{ см}^3$$

В качестве горизонтальной балки металлоконструкции принимаем балку двутавровую №45 ГОСТ 8239-72. Момент сопротивления  $W_k = 1220 \text{ см}^3$ .

Для стоек металлоконструкции принимаем трубу с наружным диаметром  $D_n = 380$  мм , толщиной стенки 28 мм.

$$\text{Площадь сечения трубы: } F = (\pi/4) \cdot (0.380^2 - (0.380 - 0.028)^2) = 0.02 \text{ м}^2$$

Напряжение сжатия в сечении трубы:

$$\sigma_{\text{сж}} = 6 \cdot G_c / (6 \cdot F) = 6 \cdot 55860 / (6 \cdot 0.02) = 2.8 \cdot 10^6 \text{ Па};$$

$$\sigma_{\text{сж}} < [\sigma_{\text{сж}}]$$

3) Штуцера, патрубки и другие выступающие части оборудования должны располагаться так, чтобы избежать их поломки в процессе транспортирования [16].

Кроме того, при перевозке оборудования на железнодорожных платформах должны выдерживаться установленные габариты.

Транспортируемые по железной дороге элементы АВО абсолютно габаритны.

При транспортировке по железной дороге применим четырехосную платформу со следующей характеристикой:

- грузоподъемность 50т;
- длина платформы 12914мм;
- ширина платформы 2780мм;
- высота погрузки 1272мм;
- масса вагона 18.4 т [8, с. 179].

#### 4.1 Подготовка фундамента

Перед монтажом необходимо подготовить фундамент. Фундаменты под оборудование должны быть выполнены в строгом соответствии с требованиями проекта, и не иметь поверхностных трещин, повреждений углов и оголенной арматуры [13]. До сдачи фундаментов под монтаж должны быть засыпаны, пазухи, образовавшиеся при земляных работах, снята опалубка и извлечены пробки; поверхность тщательно очищена от остатков раствора, бетона и строительного мусора. Колодцы для анкерных болтов также должны быть прочищены.

Расположение анкерных болтов, закладываемых в тело фундамента, до его бетонирования, контролируют в процессе бетонирования по осям кондуктором или шаблоном, выполненным по рабочему чертежу расположения анкерных болтов. Этот кондуктор или шаблон служит также для проверки фундамента при сдаче его под монтаж оборудования. Нарезные части анкерных болтов следует предохранять от повреждения во время бетонирования фундаментов.

Анкерные отверстия в бетонных и железобетонных фундаментах устраивают при бетонировании путем закладки сборно-разборных пробок. Пробивать отвер-

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |

нов, позволяющую в короткое время изменить положение относительно монтируемого оборудования (переместиться с одной стороны АВО на другую).

Необходимую высоту крана определяем по формуле:

$$h_k = h_f + h_3 + h_o + h_c,$$

где  $h_f$ -высота фундамента, м;

$h_3$ -высота запаса, м;

$h_o$ - высота оборудования от основания до места строповки (по = 6.1 м высота расположения монтажных петель секций), м;

$h_c$ - высота строп, м.

$$h_k = 0.5 + 0.5 + 6.1 + 4 = 11.1 \text{ м}$$

При монтаже трубных секций должен быть использован кран К-104 рисунок 4.1.



Рисунок 4.1 – Автомобильный кран К-104.

Основные характеристики крана К-104 приведены в таблице 5.1.

Таблица 4.1 – Техническая характеристика автомобильного крана К-104.

| Основные параметры                             |      |
|--|------|
| Грузоподъемность, т                            | 6    |
| При длине стрелы, м                            | 18   |
| При вылете стрелы, м                           | 5    |
| Максимальная высота подъема грузового крюка, м | 16.4 |
| Скорость передвижения, км/ч                    | 35   |
| Масса крана, т                                 | 22,8 |

Разрывная нагрузка каната определяется с учетом коэффициента запаса прочности. Для среднего режима работы  $K = 5.5$

$$S_p = S \cdot K = 20.2 \cdot 5.5 = 111 \text{ кН}$$

По разрывному усилию выбирается стальной канат ЛК-Р 6х19+1 О.С диаметром 15 мм с расчетным разрывным усилием 117кН [14].

#### 4.3 Расчет и подбор полиспаста.

Полиспаст является простейшим грузоподъемным механизмом, состоящим из двух или нескольких блоков, оснащенных стальными канатами, начало которых закрепляется к одному из блоков, другой конец, проходя последовательно через ролики блока, в виде сбегающей ветви идет на барабан лебедки. Полиспаст предназначен для подъема и перемещения грузов, оборудования и конструкций, а также для натяжения грузовых канатов, вант, в том случае, когда масса поднимаемого оборудования или натяжения каната превышает тяговые усилия лебедок.

Определяем усилие, действующее на крюке подвижного блока при подъеме груза

$$P_{\text{п}} = 10 \cdot G_{\text{к}} + 10G_{\text{з}} = 10 \cdot 5.7 + 10 \cdot 0 = 57 \text{ кН},$$

где  $G_{\text{з}}$  = масса захватного устройства.

Находим усилие действующее на неподвижный блок полиспаста:

$$P_{\text{н}} = (1.07 \dots 1.2)P_{\text{п}} = 1.2 \cdot 57 = 68.4 \text{ кН}.$$

По [14, т. VI] подбираем оба блока по наибольшему усилию  $P_{\text{н}}$  со следующими характеристиками:

- блоки марки Б - 10;
- число роликов  $N = 2$ , общее  $m = 4$  шт;
- диаметр роликов  $d = 400$  мм;
- грузоподъемность полиспаста 10 т;
- масса полиспаста  $G = 135 \cdot 2 = 270$  кг;

Находим усилие в сбегающей ветви полиспаста

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДЧ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |

Нагрузка на одну лебедку

$$P_{1T} = P_T / 2 = 34.3 / 2 = 17.2 \text{ кН}$$

По каталогу [14] выбираем лебедку Л-3003

Ее характеристики:

- тяговое усилие 20 кН;
- канатоемкость 600 м;
- диаметр каната 15 мм;
- скорость навивки каната 17.5 м/мин;
- число слоев навивки 5;
- мощность электродвигателя 7.2 кВт;
- масса с канатом 1 т.

Для закрепления лебедки применяются наземные инвентарные якоря.

Найдем общую массу якоря, обеспечивающую невозможность сдвига лебедки.

Коэффициент трения якоря о грунт принимаем  $f = 0,8$ .

Коэффициент запаса устойчивости  $K_{ус} = 1.5$ .

Требуемая масса якоря при горизонтальном приложении сдвигающей силы:

$$G = 0.1 \cdot (N/f) \cdot K_{ус},$$

где  $N$  сдвигающая нагрузка от лебедки, кН.

$$G = 0.1 \cdot (17.2/0.8) \cdot 1.5 = 3.2 \text{ т.}$$

Якорь должен быть нагружен 3.2 тоннами бетонных блоков.

Монтаж аппаратов воздушного охлаждения производят в следующей очередности [13].

На фундаменте каждого привода размещают и выравнивают площадки размером 150x150 мм под опорные пластины установочных винтов. Заготавливают металлические пластины размером 100x100 мм из листовой стали толщиной 10 мм, после чего укладывают их на площадки.

Затем проводят гидравлическое испытание секций. Для этого необходимо каждую секцию уложить на шпальные выкладки, выполнить подтяжку гаек крепления крышек к секциям, заглушить крышки заглушками и произвести гидравлическое испытание на прочность и плотность.

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |

Устанавливают опорные стойки на фундамент. Выверяют их на вертикальность с помощью отвеса и устанавливают по осям и высотным рискам на фундаменте.

Далее на опорные стойки устанавливают предварительно укрупненную верхнюю металлическую раму. Выверяют раму с помощью струн. Две струны натягивают по поперечной оси аппарата и одну из них - по продольной оси. При выверке металлоконструкции контролируют совпадение продольной и поперечной осей аппарата со строительными осевыми рисками: допустимое отклонение 2мм. Горизонтальность металлоконструкций проверяют брусковым уровнем: допустимое отклонение 0.3 мм на 1 м только в сторону выхода продукта из секции. Металлоконструкции по высоте регулируют с помощью металлических подкладок. После выверки металлоконструкций верхнюю раму соединяют с опорными стойками с помощью раскосов.

Укрупненный блок диффузора и коллектора устанавливают на металлоконструкцию и закрепляют с помощью болтов и гаек. При этом обеспечивают полное прилегание опорной поверхности диффузора к металлоконструкции. После выверки привода диффузор растягивают растяжками и с их помощью регулируют правильность окружности коллектора. Допускается эллипсность окружности коллектора до  $\pm 8$  мм.

Соосность вертикальной оси редуктора с осью диффузора проверяют путем установки в ступицу вентилятора одной лопасти. Вращая лопасть вручную, определяют величину ее смещения, допустимое отклонение не более 2...3 мм. После этого устанавливают и закрепляют остальные лопасти вентилятора. Зазоры между диффузором и лопастями должны быть не менее 6... 10 мм.

Собирается увлажнитель воздуха. Отверстие в диффузоре для выходной трубы может быть расположено в любом месте и прожигается во время монтажа заказчиком. После установки к концу трубы приваривается фланец.

Следующим этапом монтажа является установка теплообменных секций аппарата. Каждую секцию укладывают на металлоконструкцию и закрепляют так, чтобы штифты на раме вошли в вырезки на трубной доске секции. Секции должны плотно прилегать к опорной поверхности металлоконструкций.

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |

Выверка правильности установки аппаратов и каркасов (опорных металлоконструкций) в проектное положение на фундаменте или другом основании должна производиться:

- секций гидростатическим или брусковым уровнем и контрольной линейкой;
- осей опорных стоек каркасов отвесом;
- плоскостей кронштейнов опорных стоек (несущих трубы или секции) от расположения их в одной горизонтальной плоскости по натянутой струне;
- привода вентилятора аппарата с воздушным охлаждением от горизонтальности брусковым уровнем;

При выверке установки каркаса (опорной металлоконструкции) аппарата на фундаменте или других основаниях отклонения от проектных размеров, а также горизонтальности и вертикальности не должны превышать:

- осей опорных стоек между собой  $\pm 3$  мм;
- оси опорной стойки от вертикальности 1 мм на 1 м, но не более 3 мм;
- плоскостей кронштейнов опорных стоек, несущих трубы или секции, от расположения в одной плоскости не более 2 мм

При выверке отдельных частей агрегата и соединении их между собой на фланцах контролируют соосность по заводским рискам, параллельность фланцев, равномерность затяжки болтовых соединений. Следует уделять внимание проверке состояния уплотнительных поверхностей, на которых не должно быть вмятин, забоин, ржавчины.

Поскольку верхнюю плоскость фундамента практически невозможно выполнить совершенно плоской и горизонтальной, фундамент не доводят до проектной отметки на 50...80 мм. Оборудование устанавливают и выверяют с помощью металлических подкладок, клиньев, отжимных винтов и других различных приспособлений рисунок 4.5.

Зазор между оборудованием и фундаментом заполняют бетонной смесью (подливают). Положение оборудования по высоте регулируют подбором толщины регулировочных прокладок.

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |

После выверки оборудования производят подливку фундамента. Подливают цементный раствор под оборудование в зависимости от его крепления к фундаменту. Если анкерный болт закрепляют в процессе монтажа, заливка болтов бетонной смесью в этом случае производится одновременно с подливкой всего агрегата. В случае, когда фундаментный болт устанавливают в колодец, бетонную смесь подливают в два этапа. Вначале заливают анкерный колодец, не доходя до поверхности фундамента на 100 ... 150 мм. Когда бетонная смесь наберет 60% проектной прочности (что определяется контрольными кубиками), производят окончательную выверку оборудования с обтяжкой фундаментных болтов и окончательной подливкой бетонной смесью.

Перед подливкой подкладки и клинья между собой соединяют точечной электроприхваткой.

#### 4.5 Технические условия на эксплуатацию и ремонт

Внеплановые остановки оборудования приводят не только к уменьшению объема продукции, но и к дополнительным затратам на проведение ремонтных работ. Даже кратковременные простои влекут за собой значительные материальные и энергетические потери, увеличивают количество сточных вод и выбросов в атмосферу, ухудшают производственные показатели предприятия.

Основными задачами обслуживания аппаратов производства метанола являются:

- повышение надежности эксплуатации оборудования;
- снижение общих эксплуатационных расходов за счет уменьшения числа аварийных отказов;

- увеличение межремонтных пробегов оборудования и отдельных узлов. Действующая система планово-предупредительных ремонтов (ППР) обеспечивает поддержание оборудования в работоспособном состоянии, восстановление их эксплуатационных параметров и характеристик. При межремонтном обслуживании осуществляются профилактические мероприятия, направленные на своевременное выявление и исправление дефектов в работе оборудования.

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |



держанию работоспособности или исправности основного и вспомогательного оборудования в период между ремонтами.

Ежесменное ТО проводится в течение смены, между сменами и в период технологических остановок оборудования в соответствии с инструкцией завода изготовителя.

В перечень работ ежесменного ТО входят:

- эксплуатационный уход (обтирка, чистка, наружный осмотр, выявление неисправностей, проверка состояния масляных и охлаждающих систем, наблюдение за состоянием крепежных деталей и соединений, проверка исправности заземления и общего состояния изоляции);

- устранение мелких дефектов.

Все обнаруженные неисправности в работе оборудования должны быть зафиксированы в «Сменном журнале по учету выявленных дефектов и работ ТО» и устранены в возможно короткий срок силами эксплуатационного и дежурного ремонтного персонала.

Кроме ежесменного ТО в соответствии с графиками проводятся технические осмотры оборудования инженерно-техническим персоналом службы главного механика и механика цеха для выявления неисправностей, которые могут привести к поломке или аварийному выходу оборудования из строя, а так же определение технического состояния наиболее ответственных деталей и узлов. Обнаруженные при осмотре отклонения от нормального состояния оборудования, не требующее немедленной остановки для их ликвидации, заносят в «Ремонтный журнал». Дефекты узлов или деталей, которые при дальнейшей эксплуатации могут нарушить его работоспособность или безопасность условий труда, немедленно устраняются.

В зависимости от назначения оборудования, характера и трудоемкости ремонтных работ, а так же особенностей повреждений и износа основных частей оборудования, «СТО и Р оборудования предприятий химической промышленности» предусматривает проведение текущих (ТР) или капитальных ремонтов (КР).

Основным видом ремонта является ТР, выполняемый для обеспечения восстановления работоспособности оборудования и нуждающихся в замене или восстановлении его отдельных частей. Конкретный перечень работ, которые необхо-

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |

При подетальной дефектации определяется возможность повторного использования и характер требуемого ремонта. Производится сортировка деталей на группы:

- а) детали, имеющие износ в пределах допуска и годные для повторного использования без ремонта;
- б) детали имеющие износ выше допуска, но пригодные для ремонта;
- в) детали имеющие износ выше допуска и непригодные к ремонту.

Для определения состояния детали применяется внешний осмотр, цветная дефектоскопия, ультразвуковая дефектоскопия, рентгеновская дефектоскопия.

Внешний осмотр позволяет выявить видимые пороки деталей: наружные трещины, изгибы, задиры, срыв резьбы, коррозию и другие. Скрытые внутренние дефекты определяются при помощи неразрушающих методов контроля.

Детали, поступающие на дефектацию, должны быть тщательно очищены от грязи, ржавчины, промыты и высушены.

В зависимости от характера загрязнений для очистки деталей могут быть использованы различные способы очистки: термический, механический, абразивный, химический.

Термический способ заключается в том, что очистку деталей производят путем обжига в пламени. При механическом способе загрязнения снимают роторными машинами, щетками. При абразивном способе очистку осуществляют на гидropескоструйных установках. При химическом способе загрязнения удаляют специальной пастой или растворами, состоящими из негашеной извести, мела, каустической соды, мазута и других компонентов.

Для промывки деталей используют водные щелочные растворы, основными моющими средствами которых являются каустическая сода и тринатрийфосфат.

Помимо этих компонентов в раствор вносят мыло жидкое и хозяйственное, которое ослабляет поверхностное натяжение жиров и способствует образованию в растворе мелкодисперсных эмульсий. Промывку ведут при температуре раствора 60-80°C до полного удаления загрязнений. В отдельных случаях для промывки применяют бензин, керосин.

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |

Так же для качества сварных швов применяют гамма-дефектоскопию, которая дает возможность получения панорамного снимка контролируемого места.

Стыковые соединения просвечиваются по нормали к плоскости свариваемых элементов. Швы внахлест, угловых и тавровых соединений просвечиваются с направлением луча под углом  $45^\circ$  к плоскости листа. Трубы большого диаметра просвечиваются через одну стенку так, чтобы направление луча было перпендикулярно шву. Трубы малого диаметра просвечиваются через две стенки. Чтобы избежать наложения изображений швов, расположенных на диаметрально противоположных концах сечения трубы, источник излучения сдвигается из плоскости сварного шва. Источником излучения в гамма-дефектоскопах являются изотопы: селен-75, иридий-192.

При обнаружении дефектов пораженные участки вырезаются и заменяются новыми.

Обнаруженные на уплотнительной поверхности фланцевых соединений коррозия, забоины и грубые риски наплавляются сваркой и зачищаются. При обнаружении на фланце трещины его заменяют.

Производится ревизия всех крепежных деталей, дефектные заменяются новыми[15].

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |

Возмущениями влияющими на выходные параметры рассматриваемого аппарата, выступают температура и давление подаваемой на распыление воды, температура и подача охлажденного воздуха.

Основной функцией автоматизации данного участка является контроль температуры прореагировавшего газа, с целью конденсации метанола в сепараторе.

## 5.2 Выбор приборов и средств автоматизации

Для оперативного контроля режимов работы основного оборудования, сбора и обработки в автоматизированном режиме информации, рассматриваемом в данном дипломном проекте, применима система МЕТРАН-СКАУТ, с использованием традиционных датчиков и интеллектуальных с процессорной обработкой сигнала и двунаправленной цифровой связью.

УВМ представляет собой программно-аппаратный комплекс для управления технологическими процессами. Содержит порт ввода исходных данных, блок индикации, блок управления и порт вывода сигналов на управляющие устройства.

Температуру на входе в сепаратор снимаем термометром сопротивления ТСМ МЕТРАН-255 с пределами измерения  $-200...+500^{\circ}\text{C}$ , условным давлением 6,4 МПа в защитной арматуре из стали 12Х18Н10Т. Периодичность проверки – не реже одного раза в год, методика проверки – в соответствии с ГОСТ 8641-76. Применение медного термометра сопротивления МЕТРАН 254 обусловлено низкой стоимостью, высокой степенью надежности и подходящими рабочими условиями – температура на выходе АВО  $120^{\circ}\text{C}$ .

Сигнал термометра сопротивления поступает на преобразователь НП-СЛ1-И, далее электрический сигнал поступает на ЦПУ, где преобразовывается в цифровой, далее сигнал регистрируется, записывается, контролируется и выдается в виде управляющего сигнала на электропневматический преобразователь ЭПП-63 с выходным сигналом  $0,02...0,1\text{МПа}$ , поступающий на регулирующий клапан с мембранным исполнительным механизмом.

Так как нет возможности регулирования температуры перед подогревателем Т, по причине завязки на другую технологическую линию, то данные параметры подлежат контролю. В качестве первичного датчика принят термометр сопротив-

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |

регулирования, управления и обеспечения непрерывного преобразования значения измеряемого параметра в унифицированный токовый сигнал.

По устойчивости к механическим воздействиям датчик соответствует виброустойчивому исполнению VI по ГОСТ 12997. Унифицированный токовый сигнал поступает на исполнительный механизм и на ЦПУ для регистрации и контроля работы. Исполнительный механизм состоит из электропневмопреобразователя ЭПП-63 с выходным сигналом 0,02...0,1 МПа и регулирующего клапана с пневмоприводом 25с21нж. Понижение уровня регулируется уменьшением проходного сечения трубопровода метанола. Изменение уровня подлежит сигнализации в ЦПУ.

Для определения концентрации метанола использован хроматограф газожидкостный РХ-5, со стандартным выходным сигналом 4-20 мА, который поступает на ЦПУ, где происходит преобразование сигнала в цифровой сигнал, его регистрация и контроль.

Заказная спецификация приборов и средств автоматизации приведена в таблице 5.1.

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |

Продолжение табл. 5.1.

| 1   | 2   | 3                   | 4                       | 5  | 6                    | 7                        |
|-----|---|---------------------|-------------------------|--|----------------------|--------------------------|
| 1-3 |   |                     | Стойка преобразователей | Электропневматический преобразователь вход 0...5 мА; выход 0.02...0.1 МПа  | ЭПП-63               | «Энергоприбор» г. Москва |
| 1-4 |   |                     | На трубопроводе         | Регулирующий клапан с МИМ, Ду100 Ру63 НЗ   | 25с21нж              | ЗХМ г. Димитровград      |
| 2-1 | Температура газа на входе в теплообменник | 220° С - 150° С     | На трубопроводе         | Термометр сопротивления. Предел измерения -200...+500°С. Условное давление 10 МПа. Защитная арматура сталь 12Х18Н10Т | ТСМ<br>МЕТРАН<br>255 | ПГ «МЕТРАН» г. Челябинск |
| 2-2 | То же                                     |                     | Стойка преобразователей | Преобразователь измерительный, нормирующий для термометров сопротивлений, выходной сигнал 0...5 мА                   | НП-СЛ1-И             | «ЗИП» г. Чебоксары       |
| 3-1 | Давление на входе в АВО                   | 4,9 МПа             | На трубопроводе         | Коррозионностойкий датчик давления. Предел измерения 0...6 МПа. Выходной сигнал 0...5 мА                             | 49-ДД<br>МЕТРАН      | ПГ «МЕТРАН» г. Челябинск |
| 4-1 | Расход воды на охлаждение АВО             | 8 м <sup>3</sup> /ч | На трубопроводе         | Датчик расхода, условное давление 2,5 МПа, диаметр условного прохода – 100 мм, выходной сигнал 0...5 мА              | 310 ВР<br>МЕТРАН     | ПГ «МЕТРАН» г. Челябинск |
| 4-2 | То же                                     |                     | Стойка преобразователей | Электропневматический преобразователь вход 0...5 мА  | ЭПП-180              | «Энергоприбор» г. Москва |

ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ

## 6 Безопасность и экологичность проекта

Цель дипломного проекта – разработка аппарата воздушного охлаждения синтез-газа, что позволит сократить расход энергоресурсов и улучшить качество товарного продукта.

Для достижения этой цели в дипломном проекте предусмотрены следующие мероприятия:

1) проанализированы существующие схемы производства метанола и выбрана установка, обеспечивающая наиболее полное превращение исходных реагентов в метанол (см. раздел 1);

2) выполнены расчеты, определяющие оптимальные параметры для процесса воздушного охлаждения (см. раздел 2);

3) для предотвращения разрушения аппарата в рабочих условиях выполнены соответствующие расчеты на прочность (см. раздел 3);

4) для обеспечения безопасного монтажа выполнены расчеты и в соответствии с ними выбрана такелажная оснастка (см. раздел 4);

5) выбрана система контроля и автоматизации оборудования, что обеспечивает безопасность обслуживающего персонала и достижение заданной степени очистки при изменяющихся условиях работы аппарата (см. раздел 5);

6) результаты экономических расчетов подтвердили эффективность принятых решений (см. раздел 7);

Результаты дипломного проекта будут реализованы в природно-климатических условиях города Невинномыска, где климатические факторы, влияющие на рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере, приняты согласно данным Ставропольского краевого центра по гидрометеорологии: средняя максимальная температура наиболее жаркого месяца  $T_{л} = 29,1^{\circ} \text{C}$ ; средняя максимальная температура наиболее холодного  $T_3 = -4^{\circ} \text{C}$ .

Скорость ветра ( $V$ ) по средним многолетним данным, повторяемость превышения которой составляет 5 %, равна 8-9 м/с. Господствующее направление ветра - восточное, составляет 26%.

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |

поражение сетчатки глаза и зрительного нерва, а иногда наступает неизлечимая слепота.

Метиловый спирт нарушает окислительные процессы и кислотно-щелочное равновесие в клетках и тканях. В результате этого наступает ацидоз.

Отравление метиловым спиртом в ряде случаев заканчивается смертью. Опасность появления слепоты возникает уже после приема 4—15 мл метилового спирта. Смертельная доза принятого внутрь метилового спирта составляет 30—100 мл.

Смерть наступает в результате остановки дыхания, отека головного мозга и легких, коллапса или уремии. Местное действие метилового спирта на слизистые оболочки проявляется сильнее, а наркотическое действие — слабее, чем у этилового спирта.

Одновременное поступление метилового и этилового спиртов в организм уменьшает токсичность метилового спирта. Это объясняется тем, что этиловый спирт уменьшает скорость окисления метилового спирта почти на 50 %, а, следовательно, и уменьшает его токсичность.

Метиловый спирт, поступивший в организм, распределяется между органами и тканями. Наибольшее количество его накапливается в печени, а затем в почках. Меньшие количества этого спирта накапливаются в мышцах, жире и головном мозгу.

Метаболитом метилового спирта является формальдегид, который окисляется до муравьиной кислоты. Часть этой кислоты разлагается на оксид углерода (IV) и воду.

Некоторое количество метилового спирта, не подвергшегося метаболизму, выделяется с выдыхаемым воздухом. Он может выделяться с мочой в виде глюкуронида. Однако с мочой могут выделяться и небольшие количества неизмененного метилового спирта. Метиловый спирт окисляется в организме медленнее, чем этиловый спирт.

При заключении об отравлении метиловым спиртом следует иметь в виду, что в организме (в норме) может содержаться 0,01—0,3 мг % метилового спирта.

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |



$$\Delta P_{\phi} = \frac{22}{2,69 \cdot \sqrt{\lg 2,69 + 0,158}} = 10,7 \text{ кПа.}$$

Для разрушения армированного деревянных строений 10...20 кПа, кирпичных зданий 25...30 кПа, для железобетонных конструкций стен цеха 100...150 кПа. Таким образом, оценив степень разрушения, необходимо позаботиться о безопасности эксплуатации промышленного объекта.

Рассчитаем предохранительную мембрану для АВО. Широко используются разрывные мембраны, изготавливаемые из тонколистового проката. Конструктивное оформление зажима мембраны может быть различным шип – паз, конический или линзовый зажим (рисунок 6.1).

При нагружении рабочим давлением мембрана испытывает большие пластические деформации и приобретает ярко выраженный купол, по форме очень близкий к сферическому сегменту. Чаще всего куполообразную форму мембране придают заранее при изготовлении, подвергая ее нагружению давлением, составляющим около 90 % разрывного. При этом фактически исчерпывается почти весь запас пластических деформаций материала, поэтому еще больше увеличивается быстродействие мембраны [10].

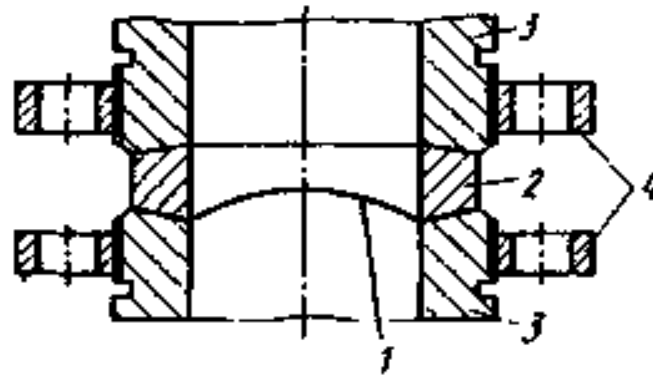


Рисунок 6.1 – Линзовый зажим разрывной мембраны:

1 – мембрана, 2 – коническая шайба, 3 – торцы сбросной магистрали, 4 – соединительные фланцы.

Разрывное давление  $P_c$ , МПа, такой оболочки (давление срабатывания мембраны):

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |

### 6.3 Защита персонала и территории в чрезвычайных ситуациях

В соответствии с законами Российской Федерации: «О гражданской обороне», «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», Постановлением Правительства Российской Федерации «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» необходимо: создание системы подготовки персонала к адекватным действиям в чрезвычайной ситуации, а также материальных и финансовых резервов.

Подготовка персонала в действиях чрезвычайной ситуации в мирное время производят через систему гражданской обороны.

Основные задачи гражданской обороны:

1. Защита населения от оружия массового поражения и других средств нападения. Осуществляется проведением комплекса защитных мероприятий. "г

2. Повышение устойчивости работы объектов и отраслей народного хозяйства в условиях военного времени. Достигается заранее проведёнными мероприятиями (организационные, инженерно-технические и др.).

3. Проведение спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ в очагах поражения и зонах затопления.

Наиболее полное и организационное выполнение мероприятий ГО на предприятии достигается заблаговременной разработкой плана мероприятий. Он представляет собой заранее разработанный перечень мероприятий. В нём определяется объём, организация и порядок выполнения возложенных на неё задач. План разрабатывается текстурно с предложением в виде графиков и таблиц.

В случае объявления воздушной тревоги (сигнал по радио, сирены, прерывистые гудки) персонал должен действовать в соответствии с предусмотренным планом: выключить оборудование и покинуть производство в специально отведённые места для укрытия.

Финансирование мероприятий по защите персонала и территории в чрезвычайных ситуациях производится из местных резервов. Мероприятия, предлагаемые в дипломном проекте, позволяют считать его безопасным и экологичным.

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |

классификация затрат по калькуляционным статьям. Для исчисления себестоимости отдельных видов продукции затраты группируются по статьям калькуляции.

Для планирования, учета и калькулирования себестоимости продукции использован налоговый кодекс Российской Федерации в соответствии с которым, расходы, в зависимости от их характера, условий осуществления и направлений деятельности организаций, подразделяются на расходы внереализационные, а также связанные с производством и реализацией. Если некоторые затраты с равными основаниями могут быть отнесены одновременно к нескольким группам расходов, то организация вправе самостоятельно определить к какой именно группе он отнесет какие расходы.

### 7.3 Обоснование производственной мощности

Производственная мощность – это максимально возможный выпуск продукции за единицу времени при заданной номенклатуре и ассортименте при полном использовании производственного оборудования и площадей, с учетом применения передовой технологии, улучшения организации производства и труда, обеспечение высокого качества продукции.

Производственная мощность предприятия:

$$M = T_m \Pi = 600 \times 360 = 216000 \text{ т/год,}$$

где  $T_m = 360$  дн. – максимально возможный годовой фонд времени работы оборудования;

$\Pi = 600$  т/сут – производительность одной единицы оборудования, в натуральном выражении.

Фактический объем производства аналога составляет 208000 т/год. Фактический объем проектируемого производства по результатам технологического расчета составляет

$$Q = 212000 \text{ т/год.}$$

Уровень использования мощностей:

$$K_{\text{факт}} = \frac{Q}{M} = \frac{212000}{216000} = 98.1\%$$

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |



## 7.7 Сводные показатели эффективности проектного решения

В данном разделе рассчитываются комплексные показатели экономического обоснования проекта, такие как рентабельность производства продукции, общая рентабельность производственных фондов, норма балансовой прибыли, чистая норма прибыли. Именно они в конечном итоге характеризуют эффективность проектного решения.

Рентабельность производства продукции:

$$РПП = \frac{\Pi}{C_{п}}, = 91838400 / 363961600 = 25,23 \%,$$

где  $\Pi$  – чистая или валовая прибыль;

$C_{п}$  – себестоимость продукции.

Общая рентабельность производственных фондов:

$$РПФ = \frac{\Pi}{ПФ_{ср}} = 91838400 / 67650000 = 135,76\%,$$

где  $ПФ_{ср}$  – среднегодовая стоимость производственных фондов (сумма среднегодовой стоимости основных производственных фондов и нормируемых оборотных средств).

Общая эффективность капитальных вложений может быть определена по формуле

$$En = \frac{\Delta\Pi}{K}$$

где  $\Delta\Pi$  – прирост прибыли за счет вложения инвестиций;

$K$  – капитальные вложения.

Величина обратная эффективности называется сроком окупаемости капитальных вложений и определяется по формуле:

$$CO = \frac{30\,087\,311,38}{8\,726\,850,00} = 3.448 \text{ г.}$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 7.4.

|  |  |   |  |  |                                 |  |
|--|--|---|--|--|---------------------------------|--|
|  |  |   |  |  | ДП МАХП МДУ-051 АВО 00.00.00 ПЗ |  |
|  |  |   |  |  |                                 |  |
|  |  | N |  |  |                                 |  |



## Список использованных источников

1. Караваем М. М. Технология синтетического метанола. М.: Химия, 1984 г. – 480 с. ил.
2. Кутепов А. М., Бондарева Т. И., Беренгартен Н. Г., Общая химическая технология, изд. 2-е, перераб. и доп., М.: «Высшая школа», 1990. – 522 с.
3. Скобло А. И., Молоканов Ю. К., Владимиров А. И., Щелкунов В. А. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии. Учебник для вузов. – 3-е изд., переаб. и доп. – М.: ООО «Недрабизнесцентр», 2000. – 677 с. ил.
4. Павлов К.Ф., Романков А.А., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу «Процессы и аппараты химической технологии». – Л.: Химия, 1981. – 552 с.
5. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. / Под ред. Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1983. – 272 с.
6. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования. Справочник. – Калуга: Изд. Н. Бочкаревой, 2002. Т.1, 852 с., т.2, 1028 с., т.3, 968 с.
7. Лацинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры.– М.: Машиностроение, 1970. – 752 с.
8. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи / под ред. М.Ф. Михалева.– Л.: Машиностроение, 1984. – 301 с.
9. Матвеев В.В., Крупин Н.Ф. Примеры расчета такелажной оснастки.– Л.: Стройиздат, 1987. – 320 с.
10. Киселев Г.Ф. и др. Система технического обслуживания и ремонта технологического оборудования предприятий по производству минеральных удобрений. Справочник. – М.: Химия, 1991. – 384 с.
11. Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.И. Автоматизация химических производств. Теория, расчет и проектирование систем автоматизации. – М.: Химия, 1982. – 296 с.
12. Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы. Справочное пособие./Под ред. Б.Д. Кошарского. – Л.: Машиностроение, 1976. – 488 с.
13. Сборник законодательных и других нормативных правовых актов по ох-