

***Здравствуйте, уважаемые студенты учебной группы 3ХТб-01!***

У нас с Вами по расписанию одно лабораторное и одно практическое занятие. Посвятим их закреплению пройденного в прошлом семестре материала и кратким комментариям по выполнения и завершению Вашего курсового проекта.

*Во время лабораторной работы 14.05 и практической работы 21.05* Вам следует обязательно выходить на портал, обозначив таким образом свое присутствие на занятиях. Конечно и в другое время Вам никто не запрещает это делать.

*Курсовой проект Вы должны переслать мне* для проверки по корпоративной электронной почте (outlook.office). Копию электронного варианта проекта сохраните у себя, возможно в дальнейшем его потребуется оформить на кафедру в печатном виде.

*Оценка за экзамен* будет определяться оценкой за курсовой проект, и если потребуется, дополнительно ответами на вопросы в процессе индивидуальной работы с каждым из Вас.

*Руководством и методическими рекомендациями* при выполнении курсового проекта для Вас является краткое пособие: «*Задания и рекомендации для подготовки и выполнения курсового проекта*». Это пособие в электронном виде передано Вам в конце зимней сессии (*дублирую его в конце документа*). Надеюсь, что Вы его внимательно изучили и следуя рекомендациям в основном выполнили курсовой проект.

*Вместе с тем Вам следует* перед окончательным оформлением курсового проекта выполнить условную (т.е. без специального оформления) практическую и лабораторную работу. Полученные результаты необходимо в соответствующем месте включить в курсовой проект. Надеюсь, что дополнительно выполненные работы позволят Вам более системно представить содержание курсового проекта и в заключительной части кратко и профессионально отразить количественные результаты, полученные при выполнении всех этапов курсового проекта.

*Ниже в виде тезисов дополнительно поясняю,* что известно и что надо постараться сделать. При изложении придерживаюсь пунктов Задания…, раздел «Содержание курсового проекта».

*Заданы исходные данные:*

* Температуры теплоносителей на входе и выходе.
* Расход теплоносителя в трубном пространстве.

*Необходимо сделать постановку задачи.*

*Выбор направления движения теплоносителей*

*Выбираем противоток и обосновываем*, почему так – см. раздел Задания… «Общие рекомендации по выполнению КР»

*Предварительное выполнение пунктов 3,4,5,6.*

Предварительное понимается в том смысле, что возможно в дальнейшем может быть потребуется корректировка скоростей теплоносителей и сортамента труб. Задачей этого этапа является определение коэффициента теплопередачи *K* расчетным путем. Это и является выполнением лабораторной и практической работы, о которых шла речь выше.

*Содержание лабораторной и практической работы в этом семестре*

* При предварительном расчете выбираем сортамент труб теплообменника 25х2 или 20х2. В дальнейшем после окончательного выбора труб коэффициент теплопередачи в случае необходимости можно будет уточнить (наверное, это будет не значительное изменение).
* Скорость теплоносителя в межтрубном пространстве *принять* 1м/с.
* Коэффициент теплопередачи посчитать при разной скорости *w* теплоносителя в трубном пространстве в диапазоне [0.5, 1, 1.5 и 2 м/с] и построить график *K=f(w*). Этот график и позволит Вам в курсовом проекте провести оценку коэффициента теплопередачи.
* Перед расчетом необходимо найти в справочниках и свести в таблицу конкретные значения необходимых теплофизических свойств теплоносителей:
* Коэффициент теплопроводности.
* Вязкость.
* Плотность
* Теплоемкость

*Порядок расчета коэффициента К см. с. 4-5 Задания…*

Обратите внимание, что в Задании… пропущены критериальные уравнения по расчету коэффициента теплоотдачи со стороны межтрубного пространства, . Восполним этот пробел.

*Межтрубное пространство теплообменников*

Коэффициенты теплоотдачи в межтрубном пространстве сильно зависят от конструкции аппарата, зазоров между корпусом и перегородками, и другими факторами. Поэтому в курсовом проекте рекомендуется использовать зависимости, которые получены на стендовых установках заводов изготовителей СССР.

Для

Ориентировочные значения коэффициента в зависимости от внешнего диаметра труб:

м, С = 0.62; м, С = 0.66;

Для

Ориентировочные значения коэффициента в зависимости от внешнего диаметра труб:

м, С = 0.21; м, С = 0.22;

,

.

*Выбор математической модели теплообменника и построение профиля температур*.

* Модель приведена в Задании… с. 5-6.
* Профиль температур, время пребывания теплоносителей в теплообменнике и общая поверхность теплообмена найдены Вами при выполнении контрольной работы в зимнем семестре! **Д**ля напоминания работы по автоматизации расчета в методичке приведен пример моделирования теплообменника см. с.11-17.
* Выбор числа секций, их компоновка и оценка габаритных размеров теплообменника подробно описана в Задании… с.10-11 и с. 17-19.

*Гидравлический расчет сети*

Порядок проведения расчета и пример приведены в Задание с. 6-9.

***Обязательно в проекте*** необходимо привести раздел: «Общие выводы и рекомендации» в которых кратко и количественно отразить результаты, полученные при выполнении всех этапов работы.

*Формат чертежа*, вероятно будет достаточно в половину ватмана.

Желаю успешно справится с работой!

Как следует из расписания экзамен по дисциплине 25.05.20 г!

Андреев А.С. 13.05.2020 г

Дублирую имеющиеся у Вас с зимней сессии Задания…

**Задания и рекомендации для подготовки и выполнения курсового проекта**

для групп заочного обучения ЗХТб-01

**Дисциплина: «Процессы и аппараты химической технологии».**

*Разделы*:

1. Гидродинамика потока.
2. Тепловые процессы и аппараты.

**Контрольная работа**: *Определение конструктивных параметров и профиля температур теплообменника «труба в трубе»*

**Тема курсового проекта**: *«Моделирование и оптимизация гидравлического и теплового процессов в технологическом кожухотрубном теплообменнике, выбор его основных конструктивных параметров».*

**Варианты заданий** с исходными данными. (заочники, курс 3):

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  вар | Целевой теплоноситель |  |  | кг/c |  |  | Р, Мпа  (абс). | ФИО  студента |
| 1 | Этанол, 100% | 70 | 35 | 10 | 10 | 38 | 0.15 | Айдрахманов А.Е |
| 2 | Этанол, 100% | 74 | 32 | 12 | 11 | 42 | 0.15 | Круглов Г.Н. |
| 3 | Этанол, 100% | 75 | 30 | 9 | 8 | 25 | 0.15 | Привалов Н.А. |
| 4 | Бензол | 75 | 30 | 6 | 10 | 35 | 0.2 | Астахов П.А. |
| 5 | Бензол | 77 | 33 | 5 | 8 | 42 | 0.2 | Давиденко Д.Р. |
| 6 | Бензол | 79 | 28 | 10 | 7 | 35 | 0.2 | Мкртычан Д.В. |
| 7 | Бензол | 70 | 30 | 8 | 5 | 40 | 0.2 | Виноградова В.Ю. |
| 8 | Бензол | 78 | 30 | 5 | 10 | 40 | 0.2 | Глинка В.Г. |
| 9 | Бутанол | 115 | 40 | 6 | 15 | 40 | 0.25 | Смолин Н.Е. |
| 10 | Бутанол | 100 | 38 | 8 | 10 | 38 | 0.25 | Шубин А.Н. |
| 11 | Бутанол | 105 | 35 | 10 | 5 | 36 | 0.25 | Ахмедов Р.М. |
| 12 | Бутанол | 116 | 33 | 13 | 7 | 40 | 0.25 | Бабкина Е.Е. |
| 13 | Четыреххлористый углерод | 76 | 30 | 15 | 5 | 35 | 0.2 | Изюмова Н.А. |
| 14 | Четыреххлористый углерод | 72 | 33 | 12 | 5 | 40 | 0.2 | Кокова А.А. |
| 15 | Четыреххлористый углерод | 74 | 32 | 10 | 12 | 36 | 0.2 |  |
| 16 | Четыреххлористый углерод | 70 | 30 | 8 | 10 | 35 | 0.2 | Прокудина У.С. |
| 17 | Четыреххлористый углерод | 75 | 28 | 7 | 7 | 35 | 0.2 | Сущева А.В. |
| 18 | Толуол | 105 | 35 | 2 | 5 | 25 | 0.13 | Хаунова М.Н. |
| 19 | Толуол | 100 | 40 | 4 | 10 | 30 | 0.13 | Щербакова П.В. |
| 20 | Толуол | 109 | 35 | 8 | 12 | 40 | 0.13 | Николаев А.А. |
| 21 | Толуол | 108 | 38 | 7 | 8 | 38 | 0.13 |  |
| 22 | Толуол | 102 | 33 | 4 | 11 | 40 | 0.13 | Крупинова Н.М. |
| 23 | Этанол | 90 | 40 | 8 |  |  | 0.15 |  |
| 24 | Толуол | 110 | 25 | 7 |  |  | 0.13 |  |
| 26 | Бензол | 70 | 30 | 9 |  |  | 0.2 |  |
| 27 | Метиловый спирт | 100 | 35 | 6 |  |  | 0.3 |  |
| 28 | Ацетон | 55 | 28 | 5 |  |  | 0.15 |  |
| 29 | Бутиловый спирт | 105 | 40 | 4 |  |  | 0.25 |  |
| 30 | Этанол | 69 | 33 | 8 | 10 | 30 | 0.15 |  |

Принятые обозначения:

– массовый расход целевого теплоносителя.

- температуры целевого теплоносителя на входе и выходе теплообменника.

- температуры охлаждающего теплоносителя на входе и выходе теплообменника.

*–* давление в трубном пространстве.

**Функциональное предназначение теплообменника** – охлаждение жидкого целевого теплоносителя водой.

**Содержание курсового проекта** включает следующий перечень работ, которые необходимо выполнить и результаты представить в виде пояснительной записки и чертежа:

1. Постановку задачи с исходными данными.
2. Выбор схемы взаимного движения потоков теплоносителей в аппарате.
3. Нахождение из справочной литературы и интернет ресурсов необходимых теплофизических свойств, которые необходимо оформить в виде таблицы.
4. Определение на основе теплового баланса отношение тепловых эквивалентов теплоносителей и массового расхода охлаждающей воды.
5. Выбор и оптимизация линейных скоростей в трубном и межтрубном пространстве.
6. Исследование зависимости коэффициента теплопередачи от скорости движения теплоносителя в трубном пространстве и выбор оптимального коэффициента теплопередачи. Обосновать используемые при этом для расчета коэффициентов теплоотдачи критериальные уравнения.
7. Выбор и представление математической модели динамики теплообмена в аппарате.
8. Построение профиля температур для обеих теплоносителей по ходу движения теплоносителя в трубном пространстве.
9. Определение необходимого времени пребывания теплоносителей в аппарате и вычисление общей теплообменной поверхности аппарата.
10. Обоснование числа секций теплообменника, их компоновка и оценка требуемых габаритных параметров аппарата (диаметр и длина кожуха).
11. Гидравлической расчет сети теплообменника и выбор насоса.
12. Общие выводы и рекомендации по результатам выполнения проека.
13. Представление чертежа, разработанного кожухотрубного теплообменника в соответствии с нормами ЕСКД.

*Обращается внимание студентов* на то, что настоятельно рекомендуется, используемые в расчетах параметры и единицы их измерения в СИ, представить в пояснительной записке курсового проекта в виде отдельного приложения.

**Средство автоматизации** при выполнении проекта - компьютерное моделирование в отечественной среде динамического моделирования SimInTech.

**Основные теоретические положения и практические рекомендации**.

*Исследование коэффициента теплопередачи в зависимости от скорости теплоносителей*

Этот этап в курсовом проекте необходим для оптимизации коэффициента теплопередачи и, следовательно, для оптимизации диаметра труб и теплообменной поверхности.

В общем случае процесс в теплообменнике, как отмечалось в лекционном курсе - это сложный процесс теплопередачи некого количества тепла между теплоносителями, разделенными теплопроводной стенкой площадью . С наружных сторон стенок трубы теплообмен осуществляется конвекцией, которая характеризуется коэффициентами теплоотдачи , а внутри стенки теплопроводностью.

Математическое описание такого комбинированного процесса формализуется уравнением:

.

Движущей силой процесса является разность температур между «горячим» и «холодным» теплоносителем:

Следует иметь в виду, что при расчете под толщиной стенки понимается не только толщина трубы, но и толщина твердых загрязнения (отложений) на ее поверхности , которые очень сильно влияют на теплопередачу в теплообменниках. Коэффициент теплопередачи определяется по формуле:

.

Обычно при расчете коэффициента теплопередачи задаются *справочными значениями* термических загрязнений:

.

Для оценки и количественного определения коэффициентов теплоотдачи в рассмотрение вводят специальные безразмерные критерии:

Критерий теплообмена Нуссельта.

,

Критерий гидродинамического режима Рейнольдса.

Критерий физических свойств Прандтля.

.

Параметры, входящие в критерии:

– диаметр трубы; - коэффициент теплопроводности жидкости;, вязкость и плотность жидкости; скорость теплоносителя.

Для определения необходимо использовать критериальное уравнение вида:

В справочной литературе имеется большое количество критериальных уравнений разных авторов. Для расчета в курсовом проекте следует пользоваться зависимостями, рекомендованные всесоюзным институтом ВНИИНЕФТЕМАШ, опробованные еще в СССР при проектировании и эксплуатации кожухотрубчатых теплообменников.

1. *Трубное пространство теплообменников.*

*Ламинарное движение*

;

где и длина и *внутренний* диаметр трубы;

– поправка на изменение теплофизических свойств при отличающихся средних температур потока и средней температуры стенки.

*Переходный режим*

*Турбулентный режим*

.

*Обратите внимание* на то, что индекс «т» в формулах указывает на отнесение теплофизических свойств теплоносителя, протекающего в трубе к его средней температуре. Индекс «с» в формулах указывает на отнесение теплофизических свойств теплоносителя, протекающего в трубе к средней температуре стенки.

Принято теплообменную поверхность определяет по наружному диаметру теплообменных труб . Поэтому определяемый коэффициент теплопередачи также относят к наружному диаметру теплообменной трубы. В курсовом проекте при расчете коэффициента теплопередачи рекомендуется использовать формулу:

Из формулы следует, что необходимо учитывать загрязнения как с внешней, так с внутренней стороны труб. Для ориентировочных расчетов со стороны обычной оборотной воды термические загрязнения можно принимать порядках 0.0006 при температуре до 100 С и порядка 0.001 при температуре более 100 С. Для специально подготовленной воды принимаемые значения термических загрязнений следует уменьшить в два раза, соответственно 0.0003 и 0.0005 . Термические загрязнения со стороны органических теплоносителей в курсовом проекте можно принимать 0.0002 .

Напоминаем единицы изменения используемых величин.

; ;

Рекомендуется в курсовом проекте исследовать коэффициент теплопередачи в диапазоне варьирования линейной скорости теплоносителей 0.5 – 2 м/с. и оформить результат в виде графика или таблицы.

*Математическая модель теплообменника*

Для количественного моделирования процесса теплообмена рекомендуется использовать математическую модель, изложенную в лекционном курсе и опробованную на лабораторных и практических занятиях.

*Противоточное движение теплоносителей*

|  |  |
| --- | --- |
|  | (I) |

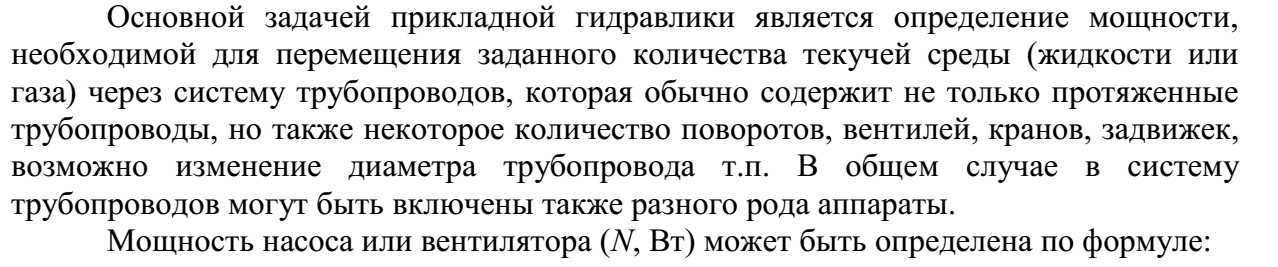
где диаметр труб; число труб в секции; и общие массовые расходы и теплоемкости теплоносителей в трубном и межтрубном пространстве; плотность жидкости в трубном пространстве; отношение тепловых эквивалентов теплоносителей.

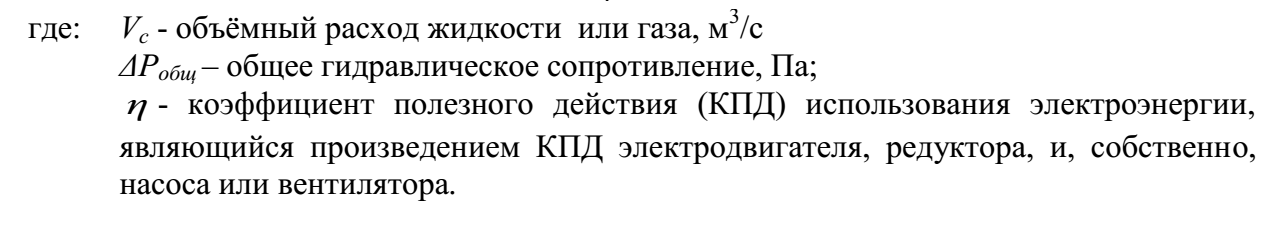
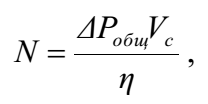
Для использования в SimInTech эта модель представляется системой дифференциальных уравнений:

где ; ; ; .

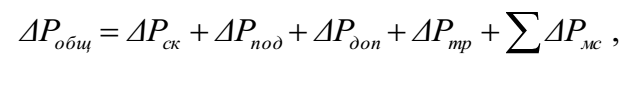
Напоминаем, что при решении дифференциального *уравнения для потока в трубе* начальная температура принимается равной его температуре на входе теплообменника ! При решении дифференциального уравнения для *потока в межтрубном пространстве* начальная температура принимается равной его температуре на выходе из теплообменника !

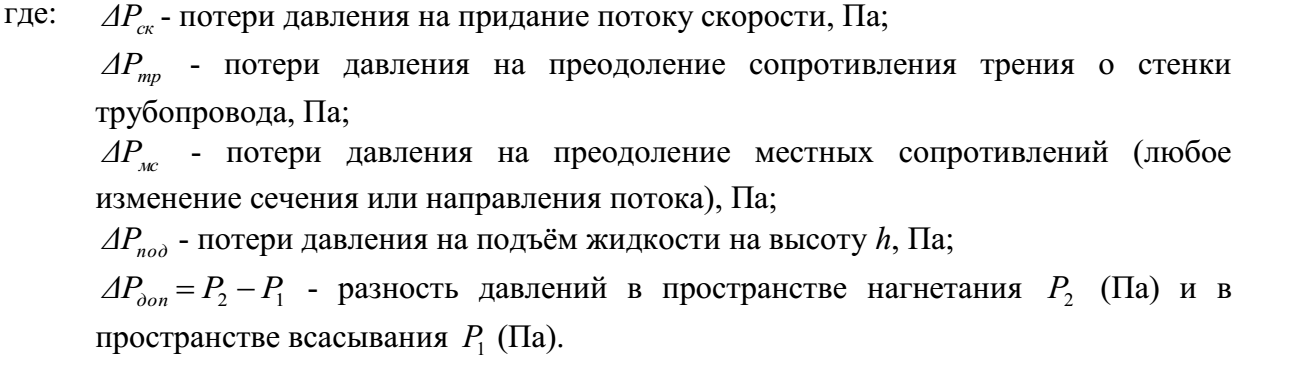
*Рекомендации по расчету гидравлического сопротивления сети и подбор насоса*

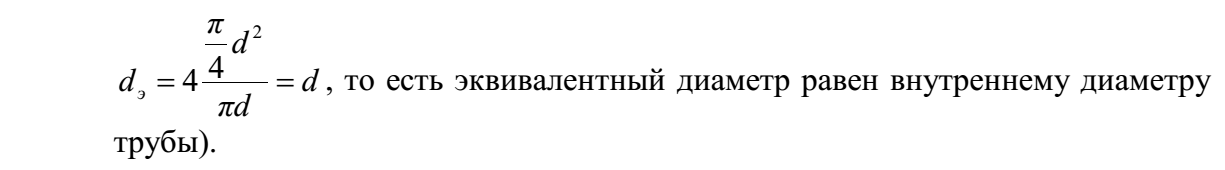
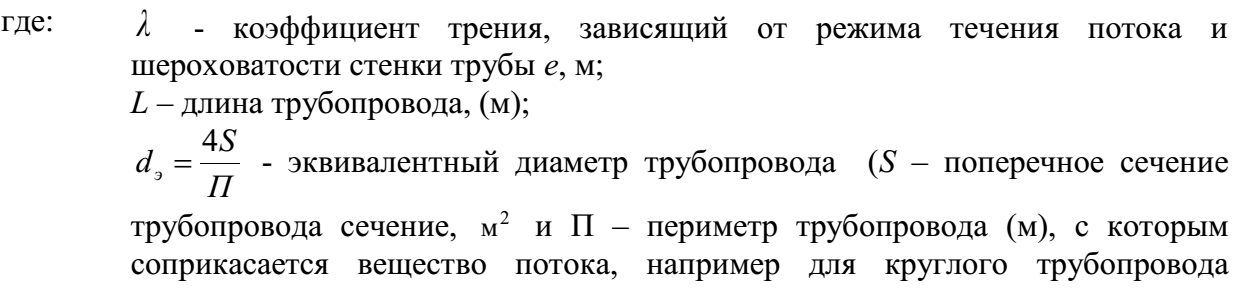
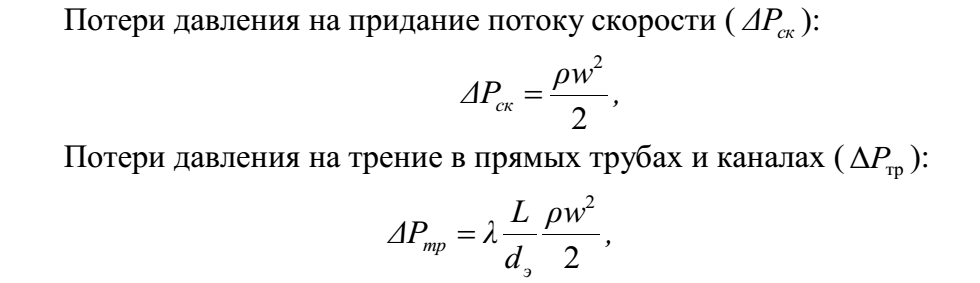




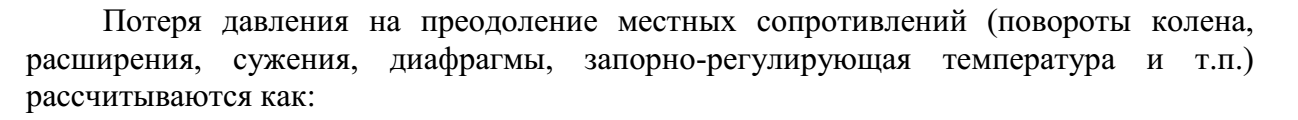
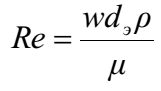
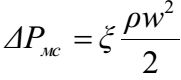
*Приведем расчетные формулы*, которые следует использовать при определении гидравлического сопротивления трубопровода.



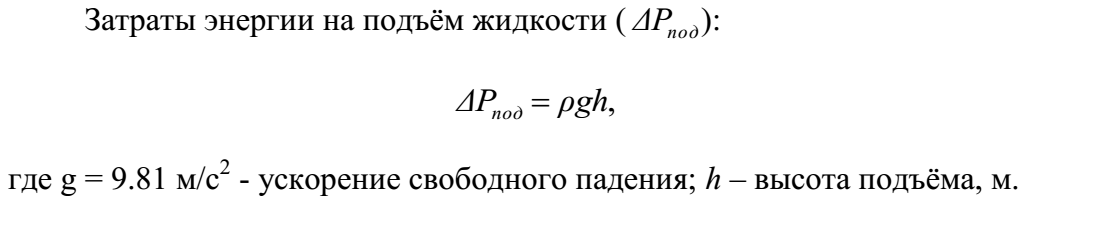


Площадь сечения трубы определяется классически:

Режим движения в трубах для рассчета параметра определяется по значению критерий Ренольдса:

Местные сопративления из справочных данных, например, [2]



В курсовом проекте при подборе насоса необходимо выбрать диаметр подводящего трубопровода длиной 150 - 250 м, и предусмотреть местные сопротивления, включающие:

1. перекрывающее устройство,
2. диафрагму,
3. два поворота,
4. внезапное сужение,
5. допускается включить и другие местные сопротивления.

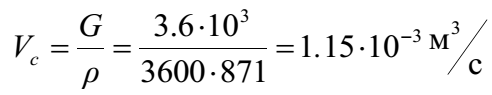
Насос подбирается из существующих каталогов. Он должен обеспечивать прокачку через трубное пространство заданного количества теплоносителя и создавать требуемый напор.

***Пример*** расчета гидравлической сети.

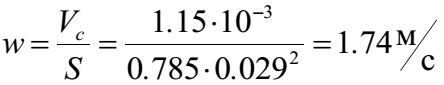
Необходимо определить потребляемую электрическую мощность при подаче толуола при температуре 15°С на высоту 14 м в ёмкость с избыточным давлением 140 мм рт. ст. по трубопроводу ∅ 32х1.5 мм общей длиной 250 метров. На трубопроводе имеются: 1задвижка, 4 внезапных поворота и 2 плавных поворота радиусом 175 мм. Коррозия труб незначительная. Итоговый коэффициент полезного действия передачи энергии от электрической сети к веществу потока составляет . Плотность толуола принять 781.

*Алгоритм расчета*:

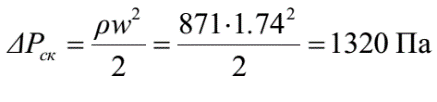
Объемный расход толуола.



Скорость толуола



Потери давления на придание скорости потоку

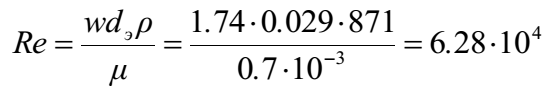


Потери давления на подъем толуола:

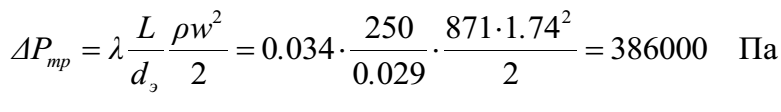


Потери на преодоление избыточного давления емкости

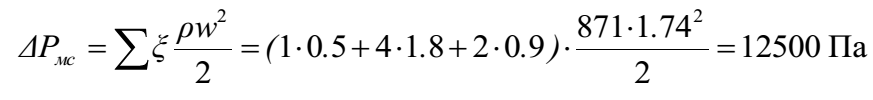




Потери давления на преодоление трения в трубах. Коэффициент определяется исходя из режима движения в трубе.



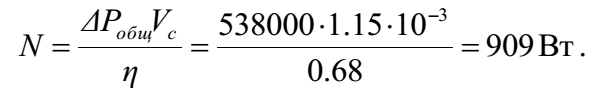
Потери давления на местные сопротивления (коэффициенты местных сопротивлений выбираются из справочных таблиц).



Общие потери энергии на перемещение толуола.

.

Мощность насоса



*Общие рекомендации по выполнению курсового проекта.*

Не смотря на большое разнообразие специфики применения теплообменников в химической технологии существует общий подход к их проектированию. Прежде всего следует определиться с конструкционными материалами. Выбор конструкционных материалов производится с учетом требуемой химической стойкости и прочности при заданных рабочих параметрах (температура и давление). Кроме того, при проектировании теплообменной аппаратуры необходимо руководствоваться действующими государственными и отраслевыми Гостами, которые определяют габаритные характеристики, а также параметры, размеры и компоновку используемы труб.

Важно определиться, какой теплоноситель пропускать по трубам, а какой в межтрубном пространстве. В общем случае в межтрубном пространстве следует пропускать более вязкий теплоноситель. Однако, если вязкий теплоноситель вызывает интенсивную коррозию или вызывает сильный загрязняющий эффект, то его следует пропускать в трубное пространство. При этом облегчается периодическая чистка теплообменника. Следует обратить внимание на то, что из соображения периодической чистки в этом случае *применение U-образных труб не допускают*.

Поток, имеющий повышенное рабочее давление, также целесообразно пропускать в трубное пространство. При этом выполняется общий принцип конструирования: *нагружать более высоким давлением детали меньшего размера.*

При выборе схемы потоков *предпочтение отдается противотоку*, который обеспечивает большую среднюю движущую силу и при этом температурный напор по ходу теплоносителей меняется относительно равномерно. При прямотоке имеет место быстрое изменение температурного напора на начальном участке, а затем интенсивность процесса быстро снижается. Поэтому *прямоток применяют тогда*, когда надо быстро изменить температуру и при этом обеспечиваются требуемые температуры теплоносителей на выходе теплообменника.

Следует подчеркнуть, что при прямотоке температура нагреваемого теплоносителя не может превышать температуру греющего теплоносителя в любом сечении теплообменника. Поэтому, если требуется чтобы конечная температура греющего теплоносителя была меньше конечной температуры нагреваемого теплоносителя, необходимо применять *только противоток.*

Выбор скорости потоков связана с обеспечением приемлемых коэффициентов теплоотдачи. Практика показывает, что достаточные коэффициенты теплоотдачи можно получить при скоростях для жидкостей м/c. Дальнейшее увеличение скорости потоков позволяет увеличивать коэффициенты теплоотдачи пропорционально скорости в степени 0.6. Однако при этом гидравлические потери растут пропорционально квадрату скорости (примерно в три раза быстрее).

Кроме того, для оптимизации скорости необходимо путем расчета специально исследовать составные элементы коэффициент теплопередачи. При этом выясняется какая стадия процесса является лимитирующей: теплоотдача со стороны трубного пространства, теплоотдача со стороны межтрубного пространства, или теплопередача через термические загрязнения. Возможна ситуация, когда коэффициент теплопередачи лимитируется только термическими загрязнениями. В этом случае увеличение скорости потоков практически не приводит к интенсификации теплообмена, а лишь увеличивает затраты энергии на прокачку теплоносителей.

*Следует обратить внимание* на то, что массовые расходы теплоносителей определяются тепловым балансом теплообменника и меняться не могут. Поэтому варьировать скоростью потоков можно только меняя их сечения. Так для трубного пространства, если требуется увеличить диаметр используемых в теплообменнике труб, то необходимо уменьшить задаваемую скорость теплоносителя в них и наоборот, если требуется увеличить скорость теплоносителя в трубах, следует уменьшить их диаметр.

Таким образом при выполнении курсового проекта студентам *необходимо на основе моделирования теплообменника провести оптимизацию* скоростей потоков и площадей их сечения, обеспечивая при этом соответствие выбранных труб их стандартному сортаменту.

Для автоматизации моделирования следует использовать отечественную среду динамического моделирования технических систем SimInTech, с которой студенты познакомились на практических и лабораторных работах.

*Рекомендации по компоновке кожухотрубчатого теплообменника*

Структурным элементом теплообменника является секция из которых и компонуется теплообменник. Число секций может быть от 1 до . Секция характеризуется длиной и числом труб . Скомпонованные секции заключаются в кожух. Простейшим с точки зрения компоновки является – образный теплообменник, собранный из последовательности секций. Если секция включает только одну трубу, то такой теплообменник принято *называть теплообменником «труба в трубе»*.

Из соображения периодической чистки теплообменников *применение U-образных компоновок допускают только для незагрязняющихся теплообменников*. Обычно применяют более сложные компоновки, которые *называют многоходовыми*. При этом каждая секция рассматривается как ход. Так, например, если , то теплообменник является 4-х ходовым. Распределение потоков между секциями (по ходам) организуют с использованием специальных крышек – распределителей, которые одновременно являются торцевыми элементами кожуха.

Условный минимальный диаметр секции, скомпонованной из труб с наружным диаметром , определяется из разности необходимой площади сечения потока в межтрубном сечении и суммарной площади сечения потока в трубном пространстве. Выражение для массового расхода в межтрубном пространстве имеет вид:

Отсюда определится требуемый условный диаметр сечения секции:

,

где линейная скорость и плотность потока в межтрубном пространстве секции.

Зная диаметр секции можно определить минимальное сечение кожуха теплообменника, которое равно сумме условных сечений скомпонованных секций . Условная площадь сечения секции определяется по условному диаметру секции .

Общая условная площадь сечения кожуха теплообменника:

В итоге условный минимальный диаметр кожуха теплообменника, скомпонованного из секций, находится из уравнения:

*Для сведения отметим*, что на практике при изготовлении многоходовых кожухотрубных теплообменников широко используются трубы диаметром 25х2 мм и 20х2 мм. Диаметр труб обозначен через наружный диаметр и толщину стенки. Так в первом случае внутренний диаметр трубы равен 21 мм, а во втором 16 мм.

***Пример.*****Моделирования кожухотрубчатого теплообменника**

*Постановка задачи.*

Требуется провести моделирование теплообменника, целевым назначением которого является нагревание бензола. В качестве греющего теплоносителя используется толуол. Предусмотреть 2 варианта компоновки секций: однотрубная секция (труба в трубе) и секция с пятью трубами. Длину труб принять 6 м.

*Параметры технологического режима*

Расход бензола кг/ч =1.222 кг/с

Начальная температура бензола град.

Конечная температура бензола град.

Начальная температура толуола град.

Конечная температура толуола град.

*Теплофизические свойства теплоносителей* [2]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Свойство** | **Толуол** | **Бензол** |
| Средняя температура, град. | 0.5(70+36) = 53 | 0.5(50+26) = 38 |
| Удельная теплоемкость, | 1850 | 1780 |
| Плотность, | 845 | 850 |
| Динамическая вязкость, | 0.41 | 0.44 |
| Теплопроводность, | 0.147 | 0.157 |

*Обоснование направления движения потоков*

*Выбираем противоточное движение* теплоносителей, т.к. конечная температура греющего теплоносителя меньше конечной температуры нагреваемого теплоносителя*.* Динамические вязкости теплоносителей примерно одинаковые и каждый их них можно направлять либо в трубное, либо в межтрубное пространство. С целью уменьшения тепловых потерь в окружающую среду, горячий теплоноситель (толуол) направляем в трубное пространство.

Расход толуола находится из теплового баланса теплообменника:

,

*Предварительный выбор скорости теплоносителя в трубном пространстве.*

Используем таблице рекомендованных линейных скоростей:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Динамическая вязкость |  |  | 1.5 | 0.5-1 | 0.1-0.5 | 0.035-0.1 | 0.001-0.035 | 0.001 |
| Линейная скорость |  |  | 0.6 | 0.75 | 0.85 | 1.5 | 1.8 | 2.4 |

Исходя из рекомендаций можно принимать линейную скорость 1.8 м/с. При заданном расходе и такой скорости расчетный диаметр труб оказывается не приемлемо малым. Поэтому выбираем линейную скорость в трубном пространстве равной .

*Определение коэффициента теплопередачи*.

Обращаем внимание на то, что при выполнении курсового проекта коэффициент теплопередачи необходимо определить используя критериальные уравнения. В данном демонстрационном примере проведем предварительное моделирование теплообменника приняв ориентировочное значение коэффициента теплопередачи для сред жидкость-жидкость равным 600.

*Моделирование в среде SimInTech*

Теплообменник представляется двумя динамическими элементами. Один элемент характеризует динамику теплообмена для потока в трубах (толуол), а другой –динамику теплообмена в межтрубном пространстве (бензол). Дифференциальные уравнения решаем в SimInTech с использованием библиотечного блока передаточной функции. Для этого предварительно представим дифференциальные уравнения в следующем виде:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Для нахождения коэффициентов , которые необходимо задавать в качестве параметров передаточных функций, необходимо предварительно рассчитать отношение тепловых эквивалентов:

;

Коэффициенты для варианта 1. *Теплообменник «труба в трубе».*

;  
;

;

X.

Коэффициенты для варианта 2. Теплообменник с ходами, число труб в секции .

= 0.017 м;

;

;

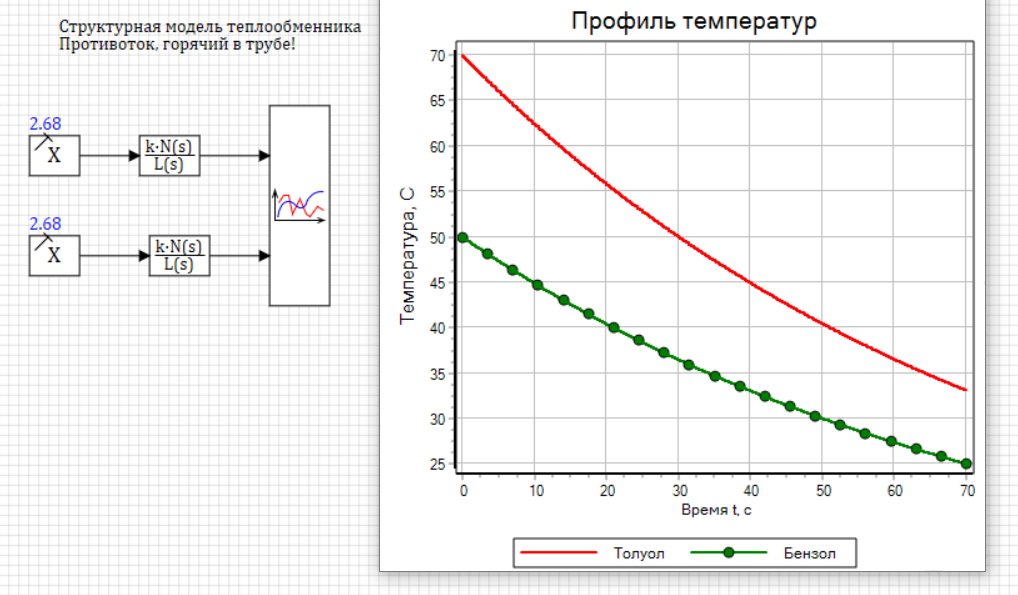
X.

Входным сигналом динамических элементов является X, а выходным сигналом текущая температура теплоносителей T и . Элементами структурной схемы являются библиотечные блоки SimInTech:

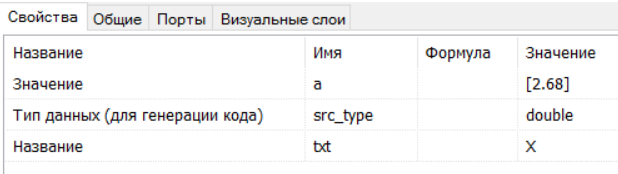
1. Блок «Константа» из библиотеки «Источники», 
2. Блок «Передаточная функция общего вида» из библиотеки «Динамические», 
3. Блок «Временной график» из библиотеки «Вывод данных», 

**Вариант1**. *Теплообменник «труба в трубе».*

Структурная модель теплообменника в SimInTech имеют следующий вид:

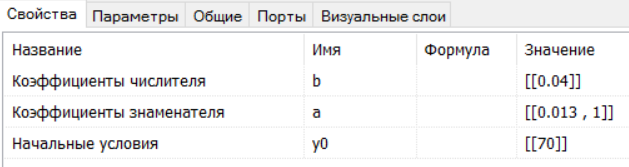


В окно параметров для блока «Константа» необходимо ввести значение входного сигнала X. Окно примет следующий вид:

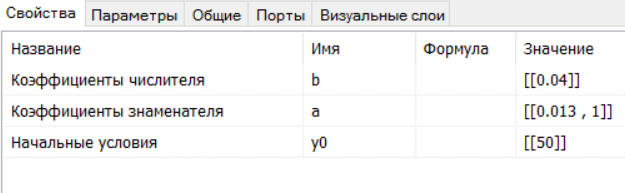


Вид окон после введения параметров передаточных функции для горячего и холодного потоков приведены на рисунке. Обратите внимание на то, что в этих окнах помимо параметров передаточной функции должны быть введены и начальные условия.

Окно с введенными параметрами передаточной функции для потока толуола имеет следующий вид:

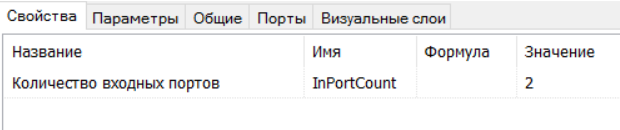


Окно с введенными параметрами передаточной функции для потока бензола имеет аналогичный вид:

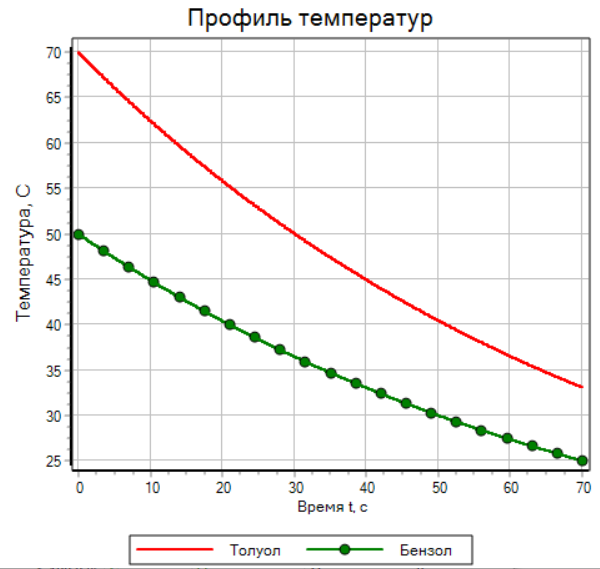


*Обратите внимание на то*, что при решении дифференциального *уравнения для потока в трубе* начальная температура принимается равной температуре потока толуола на входе теплообменника! А при решении дифференциального уравнения для *потока в межтрубном пространстве* начальная температура принимается равной температуре потока бензола на выходе из теплообменника !

Блок вывода графиков требует настройки на прием двух графиков, т.е. необходимо в окне ввода задать два входных порта:



Результатом моделирования теплообменника является получение и вывод графика профиля температур по ходу потока толуола в трубном пространстве. На графике по оси абсцисс откладывается время пребывания потоков в теплообменнике, а по оси ординат температура потоков в текущих сечениях секций теплообменника. Профиль температур имеет следующий вид:



Из графика видно, что для обеспечения температуры горячего теплоносителя на выходе: град и температуры холодного теплоносителя на входе: град необходимое время пребывания потоков в аппарате должно быть равно сек.

При скорости потока в трубе это время теплообменника «труба трубе» соответствует длине трубы:

м.

Поскольку длина трубы в секции по условию равна 6 м, то число секций теплообменника:

.

Округляем и принимаем число секций .

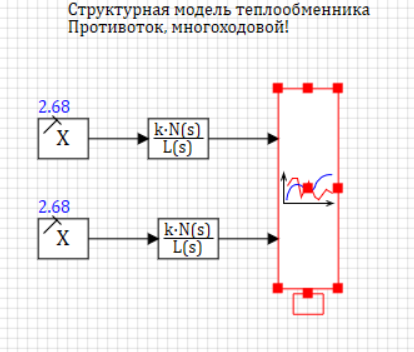
Минимальный диаметр внешней трубы оправляем по ранее рекомендованной формуле:

м

**Вывод.** Теплообменник «труба в трубе» с заданными исходными технологическими параметрами должен состоять из девяти последовательно соединенных элементов длиной 6 м каждый. Диаметр кожуха (внешней трубы) равен 60 мм, диаметр внутренней трубы мм

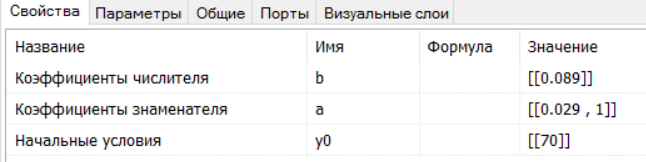
**Вариант2**. *Теплообменник многоходовой*

Структурная модель теплообменника в SimInTech имеют следующий вид:

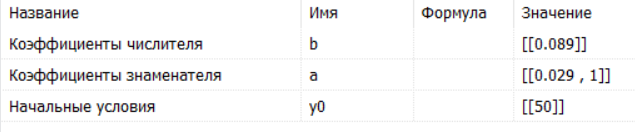


Структурная модель ничем не отличается от модели теплообменника «труба в трубе». Различия только в количественных значений передаточных функций.

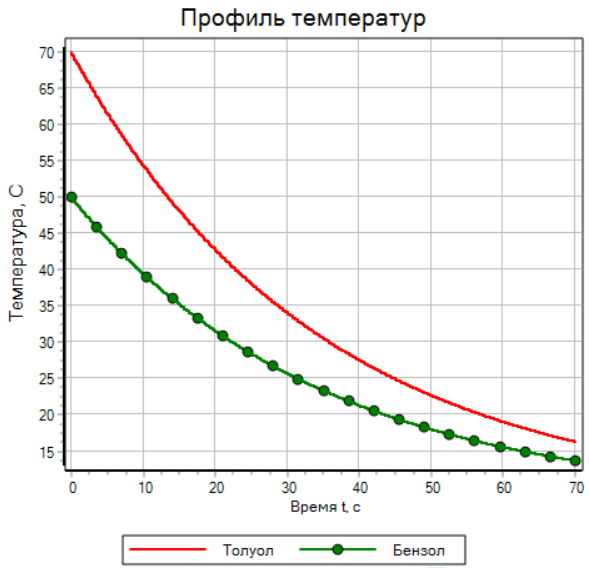
Окно блока передаточной функции для горячего теплоносителя:



Окно блока передаточной функции для холодного теплоносителя:



Результаты моделирования:



Из графика видно, что для обеспечения температуры горячего теплоносителя на выходе: град и температуры холодного теплоносителя на входе: град необходимое время пребывания потоков в аппарате должно быть равно сек.

При скорости потока в трубе это время для теплообменника с ходами соответствует общей длине секции из 5-ти труб:

м.

Поскольку длина трубы, а значит и секции по условию равна 6 м, то число секций теплообменника:

.

Округляя принимаем число секций 4, что соответствует 4-м ходам теплообменника.

*Минимальный диаметр сечения кожуха* теплообменника определяем по рекомендованной в лекционном курсе формуле:

м.

**Вывод.** Теплообменник с заданными исходными технологическими параметрами является противоточным четырехходовым. Длина теплообменника 6 м, диаметр кожуха 120 мм. Количество теплообменных труб 20 шт., диаметр 17 мм.

*Обращаем внимание на то*, что внутренний диаметр труб не соответствует госту! При выполнении курсового проекта в такой ситуации необходимо пересчитать теплообменник и добиться использования стандартных труб, например, диаметром 25х2 мм или 20х2 мм, которые соответственно имеют внутренний диаметр 21 и 16 мм. Очевидно, если не менять число труб в секции, то при использовании труб с внутренним диаметром 21 мм произойдет снижение скорости теплоносителя, а при использовании труб с внутренним диаметром 16 мм произойдет увеличение скорости теплоносителя в трубах.

**Рекомендуемая литература.**

*Основная:*

1. А.Г. Касаткин. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. – М.: ТИД «Альянс», 2005 852 с.
2. А.С. Тимонин. Основы конструирования и расчёта химико-технологического и природоохранного оборудования. Справочник. Т.1 - Калуга Издательство Н. Бочкаревой, 2002, 852 с.
3. Г.С. Борисов и др. под редакцией Ю.И. Дытнерского. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. М. ООО ИД «Альянс», 2008 496 с.
4. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химической технологии. Ч 1 СПб: НПО «Профессионал», 2010 848 с.
5. Павлов Ф.П., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. (любое издание).

*Вспомогательная:*

1. А.А. Плановский и др. Процессы и аппараты химической технологии. М., Из-во «Химия», 1968.
2. Флореа О., Смигальский О. Расчеты по процессам и аппаратам химической технологии. Пер. с румынск. М., Химия, 1971. 498 с.

Задание и рекомендации разработал:

к.т.н., доц. кафедры ХТ Андреев А.С.

20.01. 2020 г