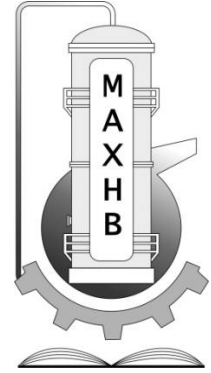


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"**



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до проведення **КОМП'ЮТЕРНИХ ПРАКТИКУМІВ**

для студентів напряму підготовки (спеціальності) 6.050503 –

Машинобудування (133 - Галузеве машинобудування)

спеціалізація: Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних
матеріалів (Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних
виробництв)

освітній ступінь: бакалавр

З ДИСЦИПЛІНИ

“Термодинамічні основи процесів хімічної технології-2.

Термодинаміка холодильних виробництв”

Київ – 2017

Методичні вказівки до проведення комп'ютерних практикумів для студентів напряму підготовки (спеціальності) 6.050503 – Машинобудування (133 - Галузеве машинобудування), спеціалізації Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів (Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв), освітнього ступеня бакалавр, з дисципліни “Термодинамічні основи процесів хімічної технології-2. Термодинаміка холодильних виробництв” : [Електронний ресурс]: / НТУУ „КПІ”; уклад. Двойнос Я.Г. – Київ: НТУУ „КПІ ім. Ігоря Сікорського”, 2017. – 39 с.

*Гриф надано Вченою радою
інженерно-хімічного факультету НТУУ „КПІ”
(Протокол № 8 від 23 жовтня 2017 р.)*

Навчальне видання

Двойнос Ярослав Григорович

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до проведення комп'ютерних практикумів для студентів напряму підготовки (спеціальності) 6.050503 – Машинобудування (133 - Галузеве машинобудування), спеціалізації Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів (Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв),
освітнього ступеня бакалавр,
дисципліна “ Термодинамічні основи процесів хімічної технології-2.
Термодинаміка холодильних виробництв ”

Укладач: *Двойнос Ярослав Григорович*, канд. техн. наук, ст. викладач

Відповідальний

редактор *А.Р. Степанюк*, канд. техн. наук, доцент

Рецензент *О.Л. Сокольський*, канд. техн. наук, доцент

За редакцією укладача

ЗМІСТ

ВСТУП _____	4
1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ПРАКТИКУМІВ _____	4
2 ЗАВДАННЯ НА КОМП'ЮТЕРНИХ ПРАКТИКУМІВ _____	7
3 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПОРЯДКУ ЗАХИСТУ _____	8
КОМП'ЮТЕРНОГО ПРАКТИКУМУ _____	8
4 СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ _____	8
ДОДАТОК _____	13

ВСТУП

Кредитний модуль **"Термодинамічні основи процесів хімічної технології-2. Термодинаміка холодильних виробництв"** є складовою частиною навчальної дисципліни **"Термодинамічні основи процесів хімічної технології"** і належить до циклу професійної та практичної підготовки.

Код дисципліни в структурно-логічній схемі – 2/с.

Загалом кредитний модуль **"Термодинамічні основи процесів хімічної технології-2. Термодинаміка холодильних виробництв"** містить 9 комп'ютерних практикумів (18 годин).

Міждисциплінарні зв'язки: навчальній дисципліні **"Термодинамічні основи процесів хімічної технології"** передують наступні навчальні дисципліни циклу дисциплін бакалаврської підготовки за напрямом 6.050503 «Машинобудування»: «Процеси та обладнання хімічних технологій-2. Теплові процеси», «Теоретичні основи теплотехніки».

Навчальна дисципліна **"Термодинамічні основи процесів хімічної технології-2. Термодинаміка холодильних виробництв"** забезпечує подальше вивчення дисципліни **"Процеси глибокого охолодження"** для ОПП та ОНП "Магістр".

Методичні вказівки складено у відповідності до ГОСТ 2.105-95.

1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ПРАКТИКУМІВ

Метою комп'ютерних практикумів є надання студентам практичних навичок щодо методів отримання низьких температур; принципів побудови, роботи та розрахунку холодильних машин помірного охолодження.

Метою вивчення кредитного модуля **"Термодинамічні основи процесів хімічної технології-2. Термодинаміка холодильних виробництв"** є формування у студентів комплексу знань, умінь, навичок, необхідних для кваліфікованої та професійної роботи, надання студентам певного комплексу знань щодо методів отримання низьких температур; принципів побудови,

роботи та розрахунку холодильних машин помірного охолодження. Вивчення матеріалу дисципліни базується на широкому використанні фізичних уявлень та теоретичних положень фундаментальних і загально-інженерних дисциплін, які розкривають фізичну сутність процесів, що протікають при утворенні температур нижчих ніж оточуючого середовища. Успішне засвоєння матеріалу дисципліни потребує від студентів підготовки з фізики, математики, основ теплотехніки.

Відповідно до мети підготовка бакалаврів вимагає формування наступних здатностей (компетентностей):

Здатність обирати конструктивні особливості апарата та визначати (обраховувати) параметри процесів помірного холоду у біотехнологічних у процесах;

Здатність виконувати обґрунтовування модернізації та вдосконалювати (модернізувати, оновлювати, переоснащувати) обладнання процесів помірного холоду у біотехнологічних у процесах;

Здатність організовувати вимірювання технологічних параметрів, витрат у обладнанні процесів помірного холоду у біотехнологічних у процесах;

Здатність контролювати технологічні параметри, витрати у обладнанні процесів помірного холоду у біотехнологічних у процесах;

Здатність виконувати вимірювання технологічних параметрів, витрат у обладнанні процесів помірного холоду у біотехнологічних у процесах.

1.2. Основні завдання навчальної дисципліни.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

знання:

- стандартних методик та лабораторного устаткування;
- одержаних при вивченні курсів бакалаврської підготовки, процесів і апаратів хімічних та нафтопереробних виробництв;
- фундаментальних фізичних закономірностей та рівнянь переносу,

балансів, кінетики процесів і принципів їх розв'язання;

- знаннях основ програмування, чисельних методів та можливостей ЕОМ;
- алгоритмів розрахунку окремих процесів;
- програми розрахунку;
- фізичних основ процесів;
- конструктивних схем, стандартів та нормативних документів.

уміння:

— користуючись стандартними методиками та лабораторним устаткуванням, проводити експериментальне дослідження роботи холодильних машин;

— базуючись на знаннях і вміннях, одержаних при вивченні курсів бакалаврської підготовки, процесів і апаратів хімічних та нафтопереробних виробництв, розрахунку та конструювання машин і апаратів хімічних та нафтопереробних виробництв, здійснювати вибір і розрахунок типового устаткування технологічних схем;

— базуючись на знанні фундаментальних фізичних закономірностей та рівнянь переносу, балансів, кінетики процесів і принципів їх розв'язання, здійснювати вибір відомих в літературі математичних моделей конкретних процесів;

— базуючись на знаннях основ програмування, чисельних методів та можливостей ЕОМ, здійснювати побудову алгоритмів розрахунку за вибраними моделями процесів;

— базуючись на знаннях загальних принципів, здійснювати побудову алгоритмів розрахунку спеціального устаткування як послідовність алгоритмів розрахунку окремих процесів, що з'єднуються відповідно сформульованим умовам їх стикування;

— складати і відпрацьовувати програми розрахунку за розробленими алгоритмами;

— здійснювати чисельне дослідження за розробленими програмами і, базуючись на знаннях фізичних основ процесів, виконувати аналіз результатів і

на його основі вибирати режими роботи, конструктивні розміри устаткування та систему тепло- або холодозабезпечення;

– базуючись на знанні конструктивних схем, стандартів та нормативних документів, здійснювати конструкторську розробку устаткування і виконувати складальні креслення машин і апаратів, їх вузлів і деталей;

– здійснювати комплексне експериментальне дослідження устаткування для отримання штучного холоду.

досвід:

- проводити експериментальне дослідження роботи холодильних машин;
- здійснювати вибір і розрахунок типового устаткування технологічних схем;

- здійснювати вибір відомих в літературі математичних моделей конкретних процесів;

- здійснювати вибір відомих в літературі математичних моделей конкретних процесів;

- здійснювати побудову алгоритмів розрахунку за вибраними моделями процесів;

- здійснювати побудову алгоритмів розрахунку спеціального устаткування;

- складати і відпрацьовувати програми розрахунку за розробленими алгоритмами;

- здійснювати чисельне дослідження за розробленими програмами і виконувати аналіз результатів і на його основі вибирати режими роботи, конструктивні розміри устаткування та систему тепло- або холодозабезпечення;

- здійснювати конструкторську розробку устаткування і виконувати складальні креслення машин і апаратів, їх вузлів і деталей;

- здійснювати комплексне експериментальне дослідження устаткування для отримання штучного холоду.

2 ЗАВДАННЯ НА КОМП'ЮТЕРНИХ ПРАКТИКУМІВ

Завдання видається кожному студенту безпосередньо на початку

комп'ютерного практикуму.

Текст завдання підписується студентом, що буде виконувати розрахункову роботу та керівником розрахункової роботи.

Зразки завдання розміщено у Додатку.

З РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПОРЯДКУ ЗАХИСТУ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРАКТИКУМУ

Комп'ютерний практикум захищається шляхом перевірки керівником результатів на екрані комп'ютера та відповіді на уточнюючі питання. У разі несвоєчасного виконання завдання студент роздруковує програму розрахунку та результати і захищає комп'ютерний практикум по роздруківці.

4 СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

4.1. Базова

1. Колієнко А.Г. Термодинаміка: Навчальний посібник. – Львів: ЕКОінформ, 2006. – 130 с.
2. Техническая термодинамика. В.А. Кириллин, В.В. Сычёв, А.Е. Шейндлин. – М.: «Наука», 1979. – 512 с.
3. Теплотехника: Учеб. Для вузов / А.П. Баскаков, Б.В. Берг, О.К. Витт и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 224 с.
4. Теплоэнергетика и теплотехника. Общие вопросы: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 512 с
5. Краснощёков Е.А., Сукомел А.С. Задачник по технической термодинамике. М.: Энергия, 1980. – 288 с.
6. Вайнштейн В.Д., Канторович В.Н. Низкотемпературные холодильные установки. – М.: Пищевая промышленность, 1977.– 264с.
7. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Ч. 1, 2. – М.: Химия, 1981. – 811с.
8. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1973. – 752с.

9. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. – М.: Энергия, 1974.– 448с.
10. Мартыновский В.С. Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов.– М.: Энергия, 1979.– 258с.
11. Машины и аппараты химических производств / Под ред. И.И. Чернышского. – М.: Машиностроение, 1974. – 456с.
12. Орехов И.И., Обрезков В.Д. Холод в процессах химической технологии. – Л.: Изд-во ЛГУ. 1980. – 324с.
13. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков В.Н. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.
14. Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. – М.: Химия, 1987. – 490 с.
15. Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1968. – 848с.
16. Примеры расчетов по курсу “Холодильная техника”/Аверин Г.Д. и др. – М.: Атомиздат, 1986. – 183с.
17. Процеси та обладнання хімічної технології [Текст]: підруч. У 2 ч./ Я.М. Корнієнко, Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонок, В.Л. Ракицький, Г.Л.Рябцев. К.: НТУУ "КПІ", 2011. – Ч. 1. – 300 с.
18. Розенфельд Л.М., Ткачев А.Г. Холодильные машины и аппараты.– М.: Госторгиздат, 1960.– 656с.
19. Сборник задач по процессам теплообмена в пищевой и холодильной промышленности/ Данилова Г.И. и др. – М.: Агропромиздат, 1986.– 288с.
20. Свердлов Г.З., Явнель Б.К. Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха. – М.: Пищевая промышленность, 1978.– 264с.
21. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин/ Под ред. И.А.Сакуна.– Л.: Машиностроение, 1987. – 423с.
22. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин/ Под ред. Н.Н.Кошкина. – Л.: Машиностроение, 1976. – 464с.

23. Теплообменные аппараты холодильных установок/Данилова Г.Н. и др. – Л.: Машиностроение, 1973. – 328с.
24. Теплофизические основы получения искусственного холода/ Под ред. А.В.Быкова.– М.: Пищевая промышленность, 1980.– 231с.
25. Холодильні установки: У двох книгах/ Чумак І.Г. та ін. –К.: Либідь, 1995. – 440с.
26. Холодильные машины/ Под ред. И.А.Сакуна.– Л.: Машиностроение, 1985. – 510с.
27. Холодильные машины/ Под ред. Л.С.Тимофеевского.– СПб.: Политехника, 1997.– 992с.
28. Холодильные машины/ Под ред. Н.Н.Кошкина.– М.: Пищевая промышленность, 1973.– 512с.
29. Холодильные машины: Справочник/ Под ред. А.В.Быкова.– М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982.– 224с.
30. Шумелишский М.Г. Эжекторные холодильные машины.–М.: Госторгиздат, 1961. – 160с.
- 4.2. Допоміжна
1. Бадылькес И.С. Свойства холодильных агентов. – М.: Пищевая промышленность, 1974.– 174с.
2. Богданов С.Н., Иванов О.П., Куприянова А.В. Холодильная техника: Свойства веществ.– М.: Агропромиздат, 1985.– 208с.
3. Пospelов Г.А., Биктанова Р.Г., Галиев Р.М. – Руководство по курсовому и дипломному проектированию по холодильным и компрессорным машинам. – М.: Машиностроение, 1986. – 264с.
- 4.3. Методичні розробки
1. Алгоритм расчета абсорбционных холодильных машин: Методические указания к применению вычислительной техники в курсе “Машины и аппараты химических производств”/ Сост.: Ю.И.Трохин, Ю.М.Гандзюк. – К.: КПИ, 1990. – 20с.

2. Алгоритм розрахунку повітряної холодильної машини, що працює за розомкнутим циклом: Методичні вказівки до застосування обчислювальної техніки у курсі " Машини та апарати хімічних виробництв" для студентів спеціальності 7.090220 "Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів" машини / Укл.: І.О. Мікульонок. – К.: НТУУ"КПІ", 1996. – 32с.

3. Методические указания к применению вычислительной техники "Алгоритм расчета холодильной машины двухступенчатого сжатия"/ Сост.: Ю.И.Трохин, Ю.М.Гандзюк. – К.: КПИ, 1988. – 32с.

5. Теоретичні основи холодильної техніки. Методичні вказівки до розв'язування задач по курсу "Теоретичні основи холодильної техніки" для студентів спеціальності 6.090200 – інженерна механіка / Укл.: В.Л.Ракицький, В.В.Петров. – К.: НТУУ "КПІ", 2007. – 47 с.

6. Теоретичні основи холодильної техніки. Термодинамічні та теплофізичні властивості робочих речовин: Довідник. / Укл.: В.Л.Ракицький, В.В.Петров. – К.: НТУУ "КПІ", 2007. – 56 с.

4.4 Інформаційні ресурси

Крім наведеної вище літератури, доцільно користуватись джерелами, які можна знайти в Інтернеті:

<http://www.pntd.ru/gost2.php>; <http://www.ukr.pat.com.ua/>;
<http://www.price.metalica.kh.ua/>;
www.industrialnet.price.prod_166.ua; <http://nehudlit.ru>; <http://nglib-free.ru>;
www.chemteq.ru;
<http://www.dtu.dk/english.aspx>;
<http://www.et.web.mek.dtu.dk/coolpack/uk/index.html>;
<http://www.dtu.dk/software/index.html>; <http://ep.espacenet.com/>;
<http://Patents1.ic.gc.ca/intro-e.html>; <http://www.depatistnet.de/>;
<http://www.swissreg.ch>;
<http://torents.ru>;
[http:// www.v-shkola.ru](http://www.v-shkola.ru); <http://base.ukrpatent.org>; <http://libzona.ru>

ДОДАТОК

Комп'ютерний практикум №01 Адіабатичне стискування.xls

t1	С	20	температура на вході до компресора, С
Pi	"-"	4	Ступінь стискування у компресорі
			Показник адіабати сухого повітря за температури
k		1.420	С
R	кДж/(кг К)	287.1	Газова постійна сухого повітря
hs		0.85	Ізоентропійний ККД компресора
			Механічний ККД
hмех комп		0.97	компресора
T1	К	293	температура на вході до компресора, К
s		3.5	число ізоентропи
			Питома робота
lk	Дж/кг	168337.6	компресора

$$l_a = \frac{k}{k-1} R T_1^* \left[\left(\frac{p_2^*}{p_1^*} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

T2	К	435.3963	Температура повітря після компресора, К
	С	162.3963	Температура повітря після компресора, С

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{n}{n-1}} \quad \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

Завдання:

№ варіанту	1	2	3	4	5	6	7
температура на вході до компресора, С	21	22	23	24	25	26	27
Ступінь стискування у компресорі	5.8	5.6	5.4	5.2	5	4.8	4.6
Показник адіабати сухого повітря за температури 20С	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
Газова постійна сухого повітря	0.2871	0.2871	0.2871	0.2871	0.2871	0.2871	0.2871
Ізоентропійний ККД компресора	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Механічний ККД компресора	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97

Комп'ютерний практикум №02 Робота стискання ідеального газу

$$R := 800$$

$$P2 := 800000$$

$$P1 := 100000$$

$$K := 1.4$$

Ізотермічне стискання Адіабатичне стискання

$$A1(T) := R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{P2}{P1}\right)$$

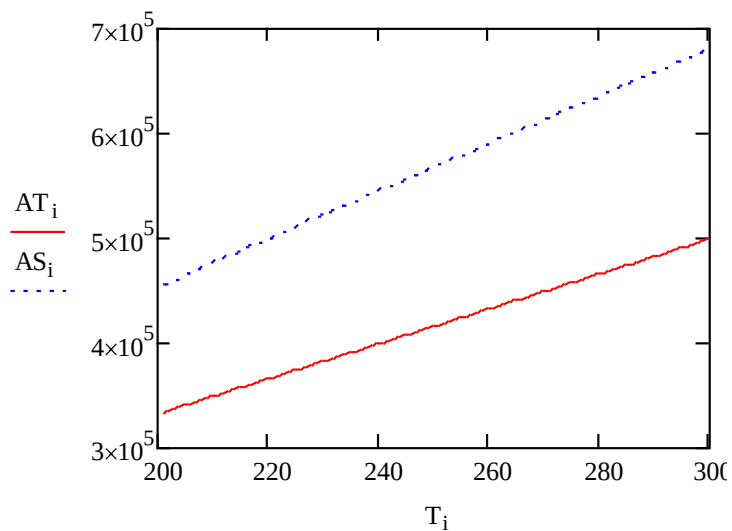
$$i := 1..100$$

$$T_i := 200 + i$$

$$A2(T) := \frac{K}{K-1} \cdot R \cdot T \cdot \left[\left(\frac{P2}{P1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right]$$

$$AT_i := A1(T_i)$$

$$AS_i := A2(T_i)$$



ККД ентропійного стискання

$$\eta_1 := \frac{AT_1}{AS_1} = 0.732$$

Комп'ютерний практикум №03 Розрахунок морозильних камер

Вхідні данні: Продуктивність, температура повітря, конструкція будівельна

1. Визначення основних розмірів холодильника: робоче навантаження на підлогу кг/м^2 (підвіс грузів, возики з полками, штабеля). Якщо охолодження – використовується динамічна система охолодження (вимушена конвекція), складання у палети та палет у штабелі з проміжками. Визначається максимальна висота штабелювання. Ширина холодильника - А, довжина – В, висота – $H=3$ (м), $\tau_{\text{охол}} = 6$ (риба), 24 (полутуши), $\rho_{\text{загруз}} = 250 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$:

$$A = B = \sqrt{\frac{G \cdot \tau_{\text{охол}}}{\rho_{\text{загруз}} H}}$$

2. Розрахунок ізоляції охолоджуємих приміщень

Стіни: Варіант №1 Профнастил + мінвата (0,2 м) + профнастил. Варіант №2 Цегла керамічна пустотна (0,25 м) + повітря (0,125 м).

Підлога: Бетон (0,3 м) + XPS (0,1 м).

Дах: Профнастил + сосна (0,05 м) + керамзитобетон (0,15 м) + повітря (0,1 м)

Материал	Плотность кг/м^3	Теплопроводность ($\text{Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$)
Теплоизоляционные материалы		
Минераловата		
плиты	200	0,08
плиты	125	0,07
Пенополистирол		
Пенопласт ПСБ-С 15	До 15	0,043
Пенопласт ПСБ-С 25	15,1-25	0,041
Пенопласт ПСБ-С 35	25,1-35	0,038
Пенопласт ПСБ-С 50	35,1-50	0,041
XPS	35	0,033
Повітря	-	0,025
Бетоны и растворы		
Железобетон	2500	2,04
Бетон	2500	1,30
Цементно-песч.	1800	0,93

Керамзитобетон	1200	0,58
Пенобетон	100	0,37
Гипсокартон	800	0,21
Газосиликат	500	0,12
Кирпичная кладка на цементно-песчаном растворе		
Керамический кирпич:		
-сплошной	1800	0,81
-пустотный	1600	0,64
-пустотный	1400	0,58
-пустотный	1200	0,52
Силикатный кирпич:		
-сплошной	1800	0,87
-14 пустот	1400	0,76
Глиняный кирпич:		
-обыкновенный		0,56
Дерево и другие органические материалы		
Сосна и ель		
-поперек волокон	500	0,18

Тепловий потік визначається, Вт:

$$Q_{\text{ізоляція}} = F_{\text{підлоги}} \cdot q_{\text{підлоги}} + F_{\text{стіни}} \cdot q_{\text{стіни}} + F_{\text{дах}} \cdot q_{\text{дах}}$$

$$q_{\text{підлоги}} = \Delta t \cdot K_{\text{підлоги}} = \frac{(t_{\text{грунт}} - t_{\text{всередині}})}{R_{\text{підлоги}}} = \frac{(13 - (-18))}{\left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_1}\right)}$$

Загальні витрати холоду у навколишнє середовище через ізоляцію та на охолодження продукції, Вт:

$$Q = Q_{\text{ізоляція}} + G C_p (t_{\text{повітря}} - t_{\text{всередині}})$$

3. Обрати тип охолодження (динамічний) ($\alpha=5,6+4W$, W – м/сек)

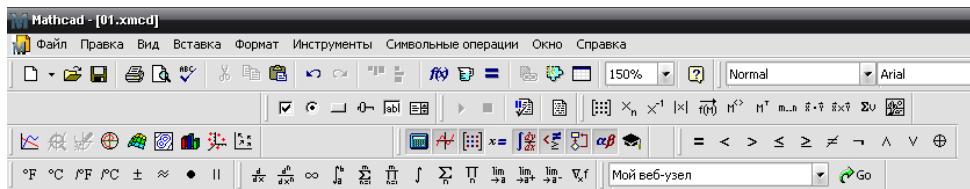
Розраховуємо абсолютні температури: кипіння $T_{\text{кип}} = t_{\text{кип}} + 273 = -23 + 273 = 250$ К,
конденсації $T_{\text{конд}} = t_{\text{конд}} + 273 = 35 + 273 = 308$ К. Холодильний коефіцієнт

$$\varepsilon_k = \frac{T_{\text{кип}}}{T_{\text{конд}} - T_{\text{кип}}} = \frac{250}{308 - 250} \approx 4,3.$$

Потужність, що витрачається компресором

$$L = \frac{Q_0}{\varepsilon_k} = \frac{1000}{4,3} \approx 233 \text{ кДж.} \quad \text{Або} \quad N = \frac{L}{3600} = \frac{233}{3660} \approx 0,065 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Відповідь: $N \approx 0,065 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$



Комп'ютерний практикум №04 Використання Системи ГСССИ (Державна система стандартизації засобів вимірювання)

Теплофизические свойства двуокиси углерода. Алтуни В. В.
М., Издательство стандартов, 1975, с. 546.

1. Знайдіть апроксимуючі залежності, виправте рівняння
2. Визначте, відповідно до варіанту стан CO_2

№1 P=0.1 bar T=+10C	№6 P=0.2 bar T= -95C	№11 P=200 bar T= -50C
№2 P=50 bar T=+10C	№7 P=1 bar T= -65C	№12 P=70 bar T= +25C
№3 P=30 bar T= -20C	№8 P=0.1 bar T= -95C	№13 P=25 bar T= -65C
№4 P=4000 bar T= -5C	№9 P=9 bar T= -40C	№14 P=20 bar T= -15C
№5 P=4 bar T= -65C	№10 P=3000 bar T= -5C	№15 P=300 bar T= -50C

Сублімація CO_2 , стор.

Температура у К, тиск у мм.рт.ст.

$$P_{sg}(T) := 10^{\left(8.279684 - \frac{1373.990}{T} + 28.56475 \cdot 10^{-3} \cdot T - 159.2822 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 + 289.3125 \cdot 10^{-9} \cdot T^3\right)}$$

Температура у С, тиск у бар.

$$P_{sg}(T) := \frac{P_{sg}(T) \cdot 133.322}{100000}$$

$$P_{sg}(T) := \begin{cases} 0 & \text{if } T < 154.23 \\ 0 & \text{if } T > 216.548 + 1 \\ P_{sg}(T) - 0.1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Перехід **тверде - рідина**, стор. 76, тиск у бар.,
температура у К

$$P_{sl}(T) := 10^{(2.86702 \cdot \log(T, 10) - 3.1441665)} - 3560.6$$

$$P_{sl}(T) := \begin{cases} 0 & \text{if } T < 216.548 \\ 0 & \text{if } T > 304.09 \\ P_{sl}(T) - 30.2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Перехід **газ - тверде** (стор. 83)

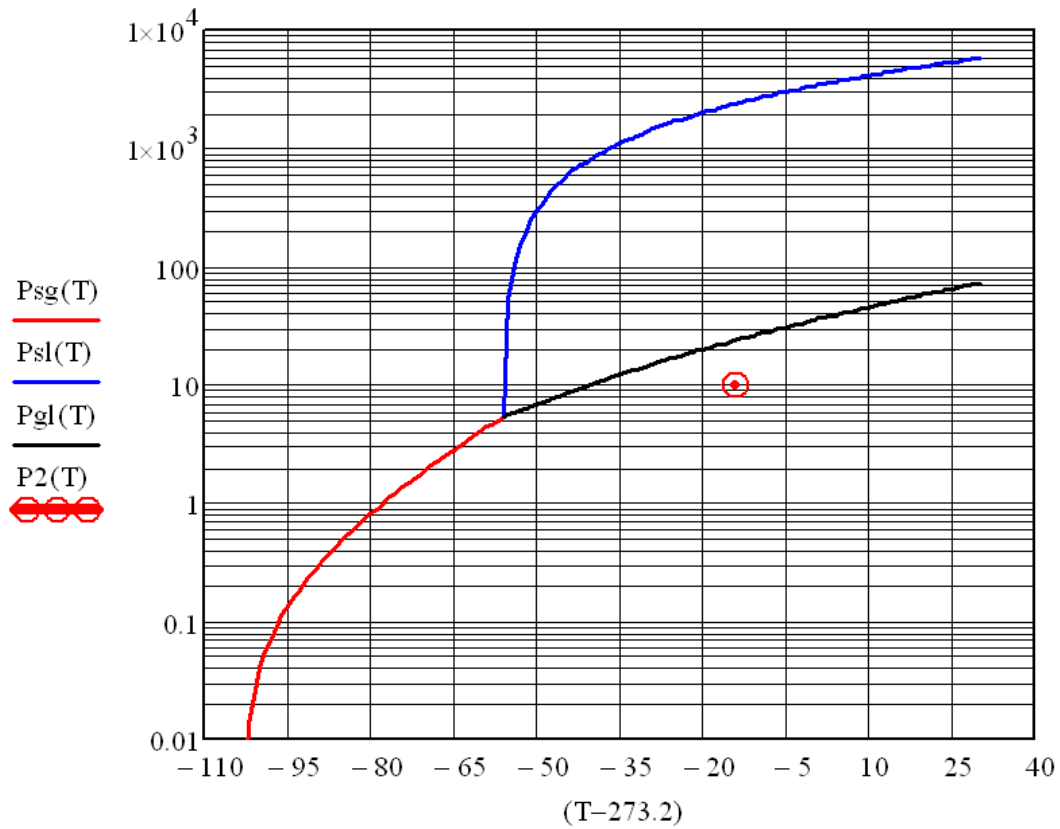
$$P_{gl}(T) := 10^{\left(3.133799 - \frac{867.2124}{T} + 18.65612 \cdot 10^{-3} \cdot T - 72.4882 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 + 93 \cdot 10^{-9} \cdot T^3\right)}$$

$$P_{gl}(T) := \begin{cases} 0 & \text{if } T < 216.548 \\ 0 & \text{if } T > 304.09 \\ P_{gl}(T) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$P1 := 10 \quad T1 := -14$$

$$P2(T) := \begin{cases} 0 & \text{if } T < 273.2 + T1 - 0.5 \\ 0 & \text{if } T > 273.2 + T1 + 0.5 \\ P1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$T := 154.23 \dots 304.09$$



Mathcad - [Практичне №07 (заміна фреона - політропа знаходилася раніше).xmc]

Файл Правка Вид Вставка Формат Інструменти Символьні операції Окно Справка

150% Normal

°F °C °F °C ± ≈ • || $\frac{d}{dx}$ $\frac{d^2}{dx^2}$ ∞ $\int$ $\sum$ $\prod$ $\lim_{x \rightarrow a}$ $\lim_{x \rightarrow \infty}$ $\lim_{x \rightarrow -\infty}$ ∇f Мой веб-узел Go

Комп'ютерний практикум №05 Політропне стискання

Фреон за паспортом: Гелій

Компресор ФВ-6

Діаметр циліндрів, м $D := 0.0675$

Хід поршня, м $S := 0.05$

Об'єм, що описує поршень, м³/с $V_{h1} := 0.0057$

Потужність, кВт $N_{dv} := 1.77$

Початковий тиск фреона, Па $P_1 := 500000$

Тиск фреона після компресора, Па $P_2 := 1050000$

Початкова температура фреона, К $T_1 := 293$

Коефіцієнт адіабати $k_1 := 1.666$

Газова постійна $R := 2078$

Універсальна газова постійна $R_{un} := 8.314$

Мольна маса, кг/моль $MOL := 0.004$

Продуктивність теоретична, моль/с $n_{mol} := \frac{P_1 \cdot V_{h1}}{T_1 \cdot R_{un}} = 1.17$

Продуктивність теоретична, кг/с $G := n_{mol} \cdot MOL = 4.68 \times 10^{-3}$

Адiabатичне стискання: $const1 := P_1 \cdot V_{h1}^{k_1} = 91.255$

Об'єм після стискання теоретичний (адіабатно), м³/с

$$V_{h2} := \left(\frac{const1}{P_2} \right)^{\frac{1}{k_1}} = 3.651 \times 10^{-3}$$

Температура на виході теоретична адіабатно, К

$$const2 := \frac{P_1 \cdot V_{h1}}{T_1} = 9.727$$

$$T_2 := \frac{P_2 \cdot V_{h2}}{const2} = 394.165$$

Робота адіабатичного стискання пмтома, Вт/кг

$$l_{12} = \frac{RT_2 - RT_1}{1 - n} = \frac{R}{1 - n} (T_2 - T_1)$$

$$l_{12} = \frac{RT_1}{n - 1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = \frac{RT_1}{n - 1} \left[1 - \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{n-1} \right] = \frac{RT_1}{n - 1} \left[1 - \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1-n}{n}} \right]$$

$$l_{12} := \frac{R \cdot T_1}{(k_1 - 1)} \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1-k_1}{k_1}} \right] = -3.156 \times 10^5$$

Робота стискання теор, адіабат, Вт

$$N_{12} := l_{12} \cdot G = -1.477 \times 10^3$$

Показник
політропи:

$$n := k_1 \cdot \frac{1.112}{1.14} = 1.625$$

Питома робота політропного (фактичного) стискання, Вт/кг

$$l_{12n} := \frac{R \cdot T_1}{(n - 1)} \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1-n}{n}} \right] = -3.217 \times 10^5$$

$$l_{12} := \frac{R \cdot T_1}{(k_1 - 1)} \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1-k_1}{k_1}} \right] = -3.156 \times 10^5$$

Робота стискання теор, адіабат, Вт

$$N_{12} := l_{12} \cdot G = -1.477 \times 10^3$$

Показник
політропи:

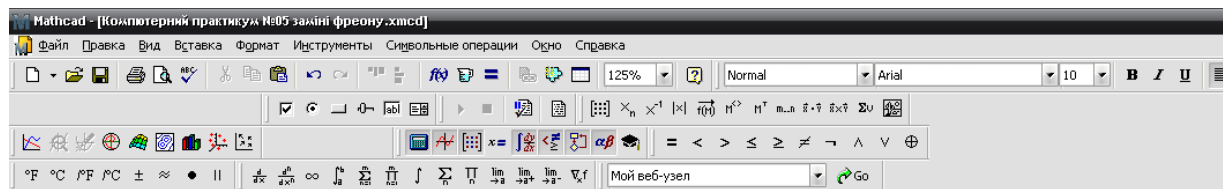
$$n := k_1 \cdot \frac{1.112}{1.14} = 1.625$$

Питома робота політропного (фактичного) стискання, Вт/кг

$$l_{12n} := \frac{R \cdot T_1}{(n - 1)} \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1-n}{n}} \right] = -3.217 \times 10^5$$

Робота стискання факт, політроп,

$$N_{12n} := l_{12n} \cdot G = -1.505 \times 10^3$$



Комп'ютерний практикум №06 Визначення P2 при заміні фреону R12 на аміак, з збереженням індикативного тиску

Номер варіанту:

$$Nvar := 1$$

Робоче тіло : R-12

Температура перед компресором, C: $T1 := 25 + Nvar = 26$

Температура у трубах конденсатора, C:

$$Tk := 30 + Nvar = 31$$

За діаграмою визначте тиск у трубах конденсатора (Ts), МПа:

$$p2 := 1.2023 \cdot \text{MPa} = 1.202 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Температура у трубах випаровувача на лінії насичення , (Ts) C:

$$T0 := -10 - 0.2 \cdot Nvar = -10.2$$

За діаграмою визначте тиск у трубах випаровувача, бар:

$$p1 := 0.28836 \cdot \text{MPa} = 2.884 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$k := 1.14$$

Показник політропи (прийняти рівним показнику адіабати) 1,14

$$n := k$$

Індикативний тиск (Па) від ступеня підвищення

$$pind(pcu) := \left(\frac{n}{n-1} \right) \cdot \left(\frac{p2}{pcu} \right) \cdot \left(pcu^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right)$$

$$pcu := \frac{p2}{p1} = 4.169$$

$$pind(pcu) = 4.5 \times 10^5 \text{ Pa}$$

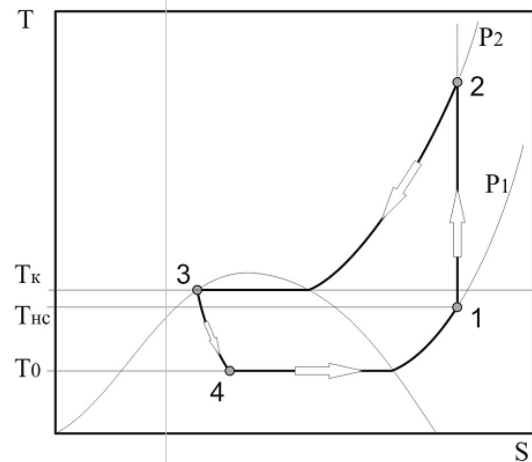
Поміняли фреон на R717 (аміак NH3)

За програмою визначте тиск у трубах конденсатора (Ts), бар:

$$Tk := 30 + Nvar = 31$$

$$p2 := 12.023 \cdot \text{bar} = 1.202 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Задайте попередньо тиск у випаровувачі, bar



Задайте попередньо тиск у випаровувачі, bar

$$p1 := 2.8836 \cdot \text{bar} = 2.884 \times 10^5 \text{ Pa}$$

По температурі перед компресором та тиску визначте показник адіабати

$$k := 1.451$$

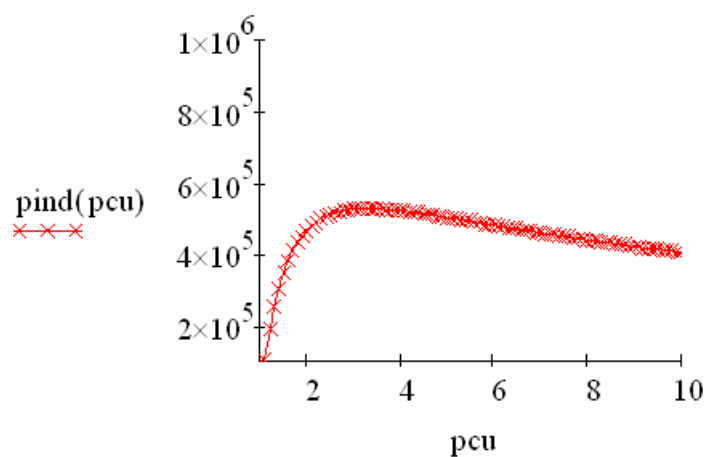
Показник політропи (прийняти рівним показнику адіабати) 1,451

$$n := k$$

$$pcu := 0.1, 0.2 \dots 10$$

Індикативний тиск (Па) від ступеня підвищення тиску

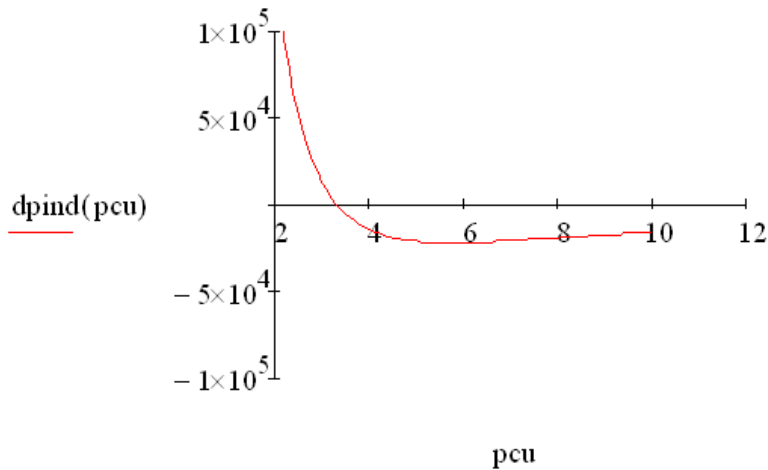
$$pind(pcu) := \left(\frac{n}{n-1} \right) \cdot \left(\frac{p2}{pcu} \right) \cdot \left(pcu^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right)$$



Продиферінцована залежність для визначення максимуму індикаторного тиску

$$dpind(p_{cu}) := \frac{d}{dp_{cu}} pind(p_{cu})$$

$$p_{cu} := 0.1, 0.2 \dots 10$$



Максимально ефективно компресор використовувати при ступені підвищення тиску:

$$\max_{pcu} := \text{root}(dpind(p_{cu}), p_{cu}, 1, 5) = 3.312$$

Індикативний тиск при цьому:

$$\max_{pind} := pind(\max_{pcu}) = 5.267 \times 10^5 \text{ Pa}$$

При організації одноразового стиснення, ступінь підвищення тиску:

$$p_{cu} := \frac{p_2}{p_1} = 4.169$$

Індикативний тиск при цьому:

$$\max_{pind} := pind(p_{cu}) = 5.182 \times 10^5 \text{ Pa}$$

При організації дворазового стиснення, ступінь підвищення тиску:

$$p_{cu} := \sqrt{\frac{p_2}{p_1}} = 2.042$$

Тиск між ступіннями:

$$p_3 := p_1 \cdot p_{cu} = 5.888 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Індикативний тиск при цьому на першій ступіні:

$$pind1 := \left(\frac{n}{n-1} \right) \cdot \left(\frac{p_3}{p_{cu}} \right) \cdot \left(p_{cu}^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right) = 2.305 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Індикативний тиск при цьому на другій ступіні:

$$p_{ind2} := \left(\frac{n}{n-1} \right) \cdot \left(\frac{p_2}{p_{cu}} \right) \cdot \left(p_{cu}^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right) = 4.706 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Об'єм що описують поршні у першій ступені більше, ніж у другій приблизно у стільки ж разів, у скільки підвищується тиск, таким чином середній індикативний тиск приблизно дорівнює

$$p_{ind12} := \frac{(p_{cu} \cdot p_{ind1} + p_{ind2})}{p_{cu} + 1} = 3.094 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Зробіть висновок, яка організація стиснення ефективніше з точки зору використання обладнання

ammia07

Аргументы Задание О_программе... Выход

Фазовое состояние	Насыщенная ж-ть	
Относительная энтальпия	0	
Давление	2.05	бар
Температура	-18.28457348279949	°C
Энтальпия	274.2551624313302	кДж / кг
Удельный объем	0.001508477425943284	м3 / кг
Плотность	662.9200959866389	кг / м3
Внутренняя энергия	259.1489141033401	кДж / кг
Энтропия	1.155816379347174	кДж / (кг·°C)
Изобарная теплоемкость	4.522233337860556	кДж / (кг·°C)
Изохорная теплоемкость	2.829684880709157	кДж / (кг·°C)
Коэффициент изохорности	9695.169309017494	
Теплопроводность	0.5485999935451815	Вт / (м·°C)
Кинематическая вязкость	3.679674649540577e-007	м2 / сек
Динамическая вязкость	0.0002439330271873041	Па·сек
Критерий Прандтля	2.010794897431622	
Скорость звука	1731.506154883347	м / с
К-т поверхностного натяжения	0.03058566367231763	н / м
Темп. к-т объемного расширения	0.001961300456339167	1 / °C
Теплота парообразования	1309.536250774403	кДж / кг

☐ Перегрев ж-ти ☐ Показать параметры насыщ. жидкости ☐ Показать параметры насыщенного пара ☒ По изначальному требованию

В буфер

Комп'ютерний практикум №07 Системи кондиціонування

Вхідні данні:

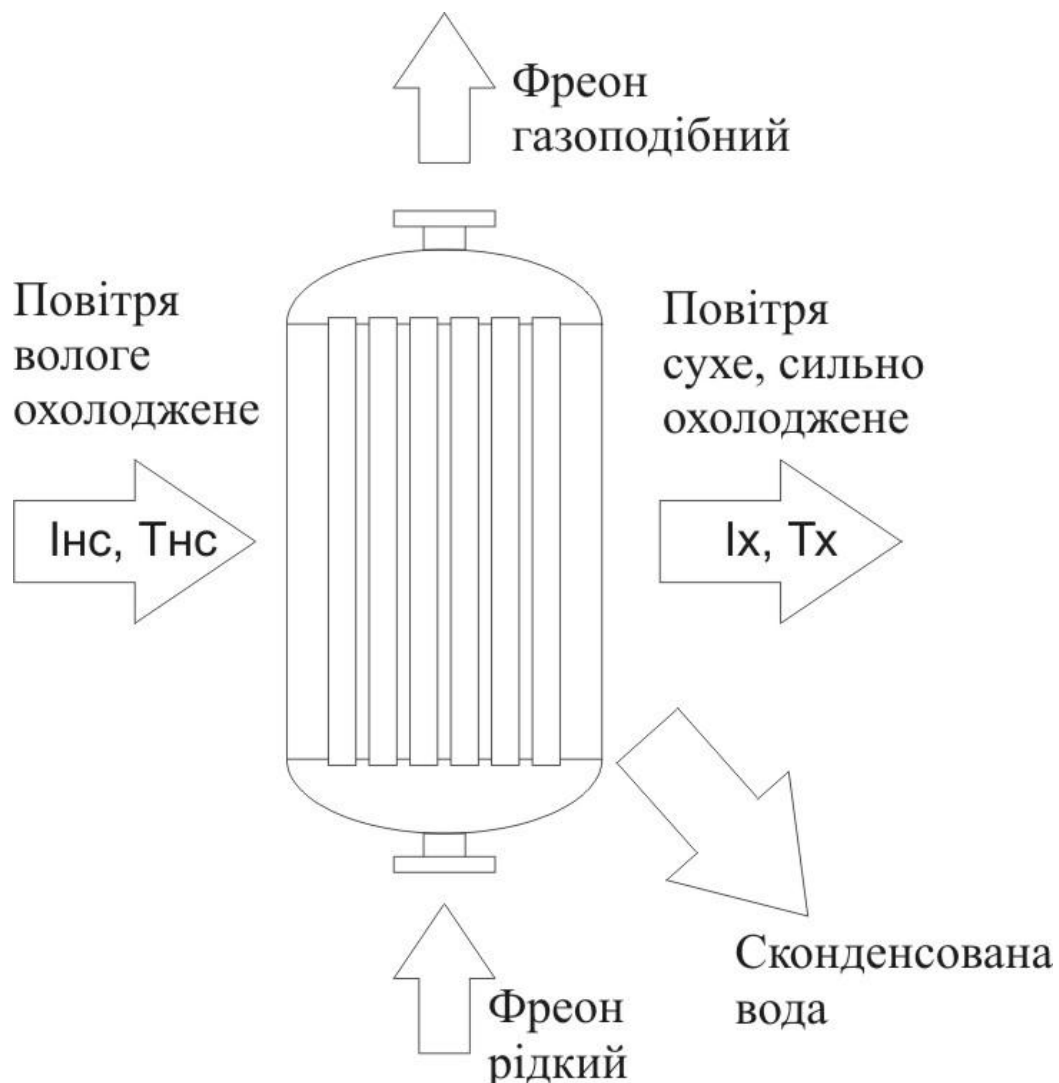
1. Визначить максимальну температуру повітря назовні приміщення за ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія, стор. 7-11.

Варіант, місцевість: 1 – Київ, 2 – Кривий Ріг, 3 – Овруч, 4 – Ужгород, 5 – Запоріжжя, 6 – Кіровоград, 7 - Суми, 8 - Івано-Франківська обл., Пожежевське, 9 – Львів, 10 – Ізмаїл, 11 – Одеса, 12 – Житомир, 13 – Запорізька обл., Гуляйполе, 14 – Запорізька обл., Кирилівка.

$T_{nc} =$ °C.

2. Визначить середню місячну відносну вологість повітря у серпні місяці, %, стор. 89-94. $\phi_{nc} =$ %.

3. Визначити з I-x діаграми параметри повітря зовні. $I_{nc} =$ кДж/кг, $x_{nc} =$ кг/кг.



4. Вимоги до повітря у робочій зоні визначаємо з СНиП 2.04.05-91 (Опалення, вентиляція та кондиціювання, додаток 5: температура повітря у приміщенні, що кондиціюється $+20^{\circ}\text{C}$, вологість 40%.

5. Визначимо з I-x діаграми параметри повітря після кондиціювання:

$$I_k = \boxed{} \text{ кДж/кг}, x_k = \boxed{} \text{ кг/кг}.$$

6. Температура, до якої необхідно охолодити повітря зовні, для того, щоб при відносній вологості повітря 100% вміст становив x_k , $T_x = \boxed{}^{\circ}\text{C}$, ентальпія повітря у холодильнику $I_x = \boxed{} \text{ кДж/кг}$.

7. З додатку 19 визначимо мінімальні витрати повітря, $V = \boxed{}$, $\text{м}^3/\text{год}$:

Виробниче приміщення: цех 1200 м^2 , висота 5 м, без природного провітрювання.

Варіант №1÷4 – 5 робочих; №5÷8 – 10 робочих; №9÷12 – 20 робочих.

Треба розглянути всі варіанти, у кожному з варіантів обрати максимальну витрату, після чого з усіх варіантів обрати варіант з мінімальною витратою.

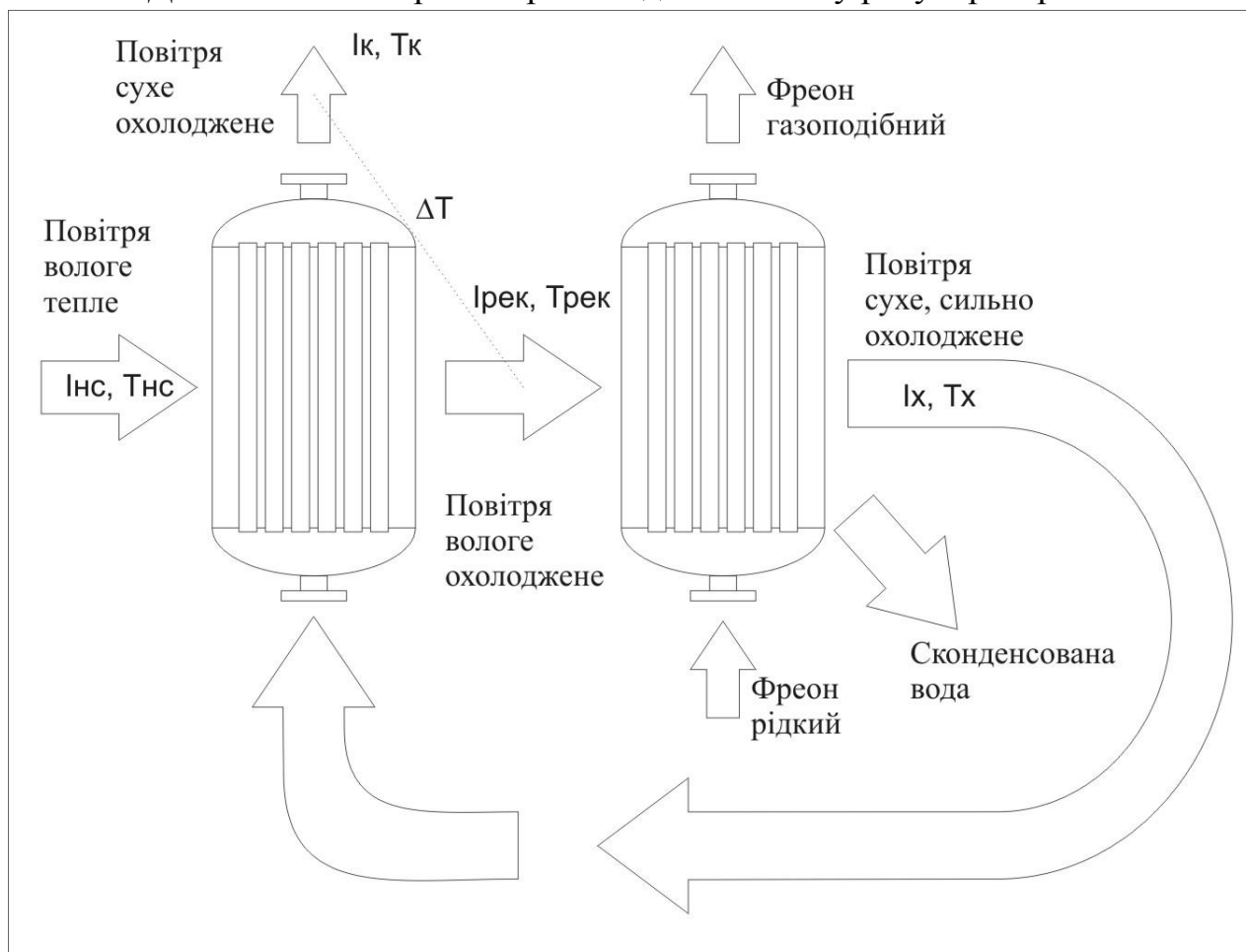
8. Кількість повітря, що подається до цеха: $G = V \cdot 1,2 / 3600 = \boxed{} \text{ кг/сек}$.

9. Холодопродуктивність: $Q_x = G \cdot (I_{nc} - I_x) = \boxed{}$, Вт.

10. Кількість води, що відводиться з холодильника, кг/с :

$$G_{\text{води}} = G \cdot (x_{nc} - x_k) =$$

11. Для економії витрат енергії вводимо в схему рекуператор:



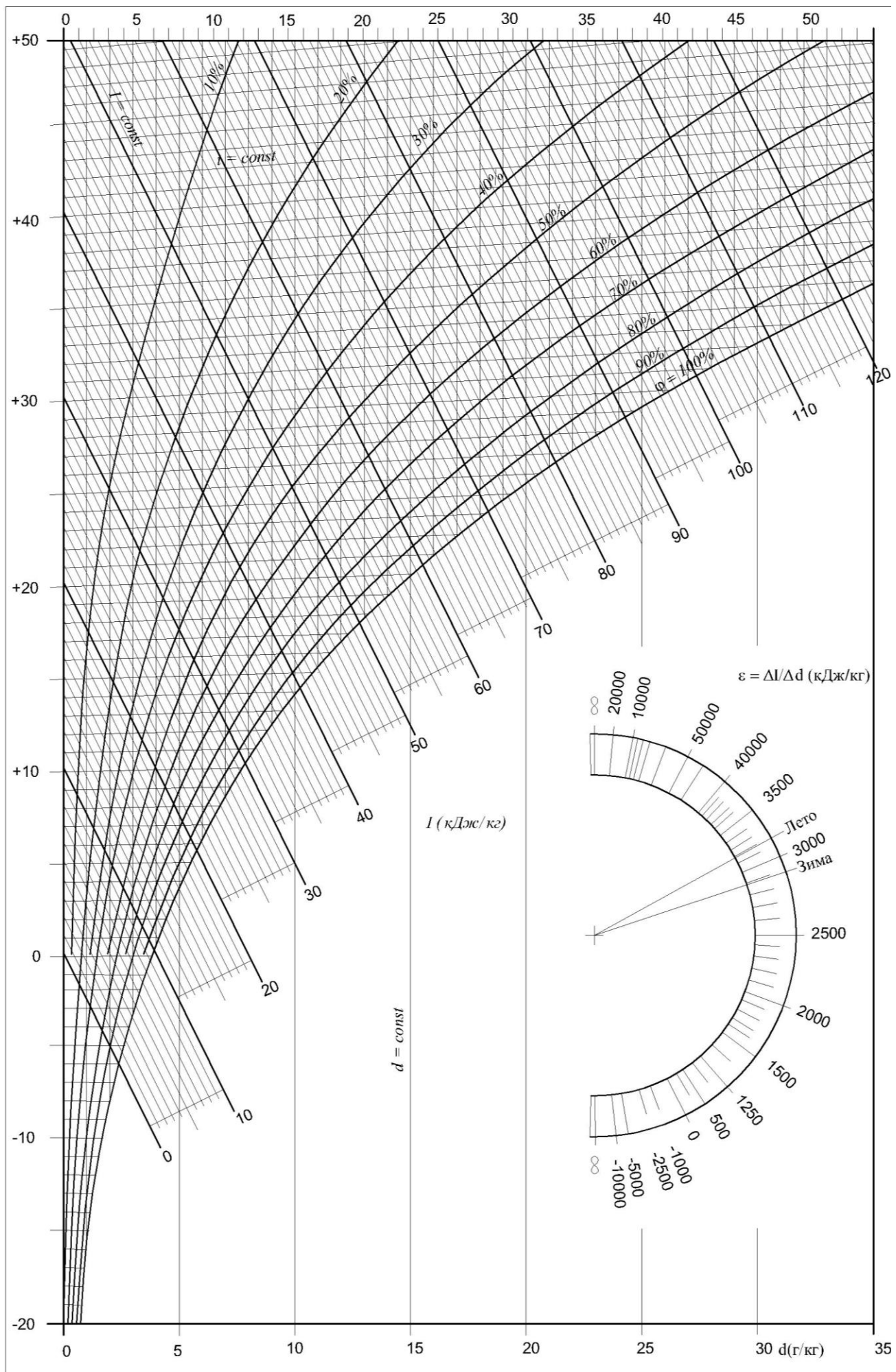
12. Недорекуперація склала $\Delta T=10$ С. Температура повітря вологого, охолодженого після рекуператора $T_{рек}=T_k-10=$ °С.

13. Визначте ентальпію повітря після рекуператора $I_{рек}=$
кДж/кг

14. Холодопродуктивність схеми з рекуператором:

$$Q_{хр}=G \cdot (I_{рек}-I_x)=$$
 кВт.

Висновок:



[illegible]

Mathcad - [Компьютерний практикум №07 конденсатор.xmcd]

Файл Правка Вид Вставка Формат Інструменти Складові операції Сторінка Справка

125% Arial 10 B I U

Теплопровідність матеріалу труби (мідь), Вт/(м·К) $\lambda_{ст} := 384$

Розрахунок

$$\Delta t_{ср} := \frac{t_{в2} - t_{в1}}{\ln\left(\frac{t_{к} - t_{в1}}{t_{к} - t_{в2}}\right)} = 13.976$$

Середньо логарифмічний температурний напор

Середня температура повітря, град. С $t_{вср} := t_{к} - \Delta t_{ср} = 21.024$

Приймаємо швидкість повітря, м/с $W_{в} := 10$

З рівняння Менделєва та Едзухаси для шахматного розташування труб та пластинчастого оребрення коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К)

$$\alpha_{в} := 18 \cdot W_{в}^{0.578} = 68.12$$

Частковий коефіцієнт теплопередачі від повітря до внутрішньої стінки труби, Вт/(м²·К)

$$\delta_{ст} := \frac{1}{2} \cdot (d_{вн} - d_{вн}) = 2 \quad \delta_{ср} := \frac{1}{2} \cdot (d_{вн} - d_{вн}) = 2$$

$$K_1 := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{в}} \cdot \frac{d_{вн}}{d_{вн}} + \frac{\delta_{ст} \cdot 0.001}{\lambda_{ст}} \cdot \frac{d_{вн}}{\delta_{ср}}} = 95.131$$

Нажмите F1, чтобы открыть справку.

ABTO Страница 1

EN 17:52

Mathcad - [Компьютерний практикум №07 конденсатор.xmcd]

Файл Правка Вид Вставка Формат Інструменти Складові операції Сторінка Справка

125% Arial 10 B I U

$$K_1 := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{в}} \cdot \frac{d_{вн}}{d_{вн}} + \frac{\delta_{ст} \cdot 0.001}{\lambda_{ст}} \cdot \frac{d_{вн}}{\delta_{ср}}} = 95.131$$

Теплофізичні властивості фреона R22 при температурі конденсації

$$\lambda_a := 0.082775 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \quad \rho_a := 1149.43 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\eta_a := 172536 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \quad \mu_a := 0.0001894 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Для определения коэффициента теплоотдачи со стороны конденсирующегося хладагента используем следующие формулы:

$$\alpha_N = 0.555 \sqrt[4]{\frac{r_a \cdot \rho_a^2 \cdot \lambda_a^3}{\mu_a \cdot d_{вн} \cdot \theta_a}} - \text{формула Чейто для одиночной горизонтальной трубы};$$

$$\alpha_a = \alpha \cdot N \cdot \epsilon_{зм} - \text{формула для определения коэффициента теплоотдачи при конденсации фреонов внутри змеевика},$$

где $\epsilon_{зм} = 0.2 \cdot q_{фв}^{0.15}$.

После подстановки получим следующее выражение для определения коэффициента теплоотдачи:

від фреону що конденсується до стінки труби, Вт/(м²·К)

$$4 \sqrt[4]{\dots}$$

Нажмите F1, чтобы открыть справку.

ABTO Страница 1

EN 17:52

Mathcad - [Комп'ютерний практикум №07 конденсатор.xmcd]

Файл Правка Вид Вставка Формат Інструменти Символьні операції Сторінка Справка

125% Arial 10

$$B := \sqrt[4]{\frac{\alpha_a \cdot \rho_a^2 \cdot \lambda_a^3}{\mu_a \cdot d_{вн} \cdot 0.001}} = 2.874 \times 10^3$$

Δt_k середній перепад температури між фреоном, що конденсується до внутрішньої стінки труби, град. С

$$\alpha_k(\Delta t_k) := 0.5081 \cdot B^{1.15} \cdot \Delta t_k^{-0.1375}$$

Питомий тепловий потік через 1 м кв. внутрішньої поверхні труби від фреону, що конденсується до стінки, як функція перепаду температури між фреоном та стінкою

$$q_a(\Delta t_k) := \alpha_k(\Delta t_k) \cdot \Delta t_k$$

Питомий тепловий потік через 1 м кв. внутрішньої поверхні труби від внутрішньої стінки труби до повітря назовні

$$q_b(\Delta t_k) := K_1 \cdot (\Delta t_{cp} - \Delta t_k)$$

Нажмите F1, чтобы открыть справку.

АВТО Страница 1

EN 17:52

Mathcad - [Комп'ютерний практикум №07 конденсатор.xmcd]

Файл Правка Вид Вставка Формат Інструменти Символьні операції Сторінка Справка

125% Arial 10

$$q_a(\Delta t_k)$$

$$q_b(\Delta t_k)$$

Принято $\Delta t_k := 0.22$

Закальний коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м² К)

$$K := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_b} \cdot \frac{d_{вн}}{d_{ср}} + \frac{\delta_{ст} \cdot 0.001}{\lambda_{ст}} \cdot \frac{d_{вн}}{d_{ср}} + \frac{1}{\alpha_k(\Delta t_k)}} = 93.631$$

Нажмите F1, чтобы открыть справку.

АВТО Страница 1

EN 17:53

Mathcad - [Комп'ютерний практикум №07 конденсатор.xmcd]

Питомий тепловий потік, Вт/м2 внутрішньої поверхні труби

$$q := K \cdot \Delta t_{cp} = 1.309 \times 10^3$$

Необхідна площа поверхні теплообміну, м2 (по внутрішній поверхні)

$$F := \frac{Q}{q} = 22.925$$

Загальна довжина труб, м

$$L := \frac{F}{\pi \cdot d_{вн} \cdot 0.001} = 729.73$$

Масова витрата повітря, кг/с

$$G_B := \frac{Q}{C_p \cdot (t_{в2} - t_{в1})} = 14.911$$

Об'ємна витрата повітря, м3/с

$$V_B := \frac{G_B}{\rho} = 11.559$$

Площа живого перетину для прийнятої швидкості повітря, м2

$$f_{жп} := \frac{V_B}{v} = 1.156$$

Нажмите F1, чтобы открыть справку.

АВТО Страница 1

EN 17:53

Mathcad - [Комп'ютерний практикум №07 конденсатор.xmcd]

$f_{жп} := \frac{V_B}{W_B} = 1.156$

Площа живого перетину що утворена одним метром погонним труби, м2

$$f_{лшп} := (S_r - d_n) \cdot 0.001 = 6 \times 10^{-3}$$

Загальна довжина труб в одному шарі, м

$$L_{шар} := \frac{f_{жп}}{f_{лшп}} = 192.643$$

Розмір вікна, м х м

$$A := \sqrt{L_{шар} \cdot S_B \cdot 0.001} = 1.963$$

Приймаємо вікно 2х2 метра

$$A := 2$$

Довжина труб у горизонтальному ряду, м

$$L_{шар} := \frac{A \cdot A}{S_r \cdot 0.001} = 200$$

Нажмите F1, чтобы открыть справку.

АВТО Страница 1

EN 17:53

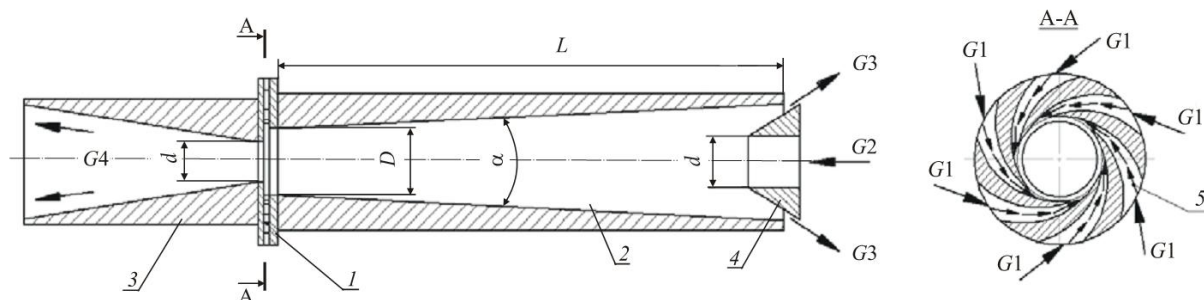


Рис. 1. Принципиальная схема вихревой трубы: 1 – сопловой ввод; 2 – вихревая камера энергоразделения; 3 – диффузор холодного потока; 4 – ввод дополнительного потока; 5 – сужающийся сопловой канал. G_1 – основной входной поток сжатого газа; G_2 – дополнительный поток сжатого газа (в случае разделительной вихревой трубы отсутствует); G_3 – выход горячего газа; G_4 – выход холодного потока; d – диаметр диафрагмы; D , α , L – диаметр, угол конусности и длина камеры энергоразделения

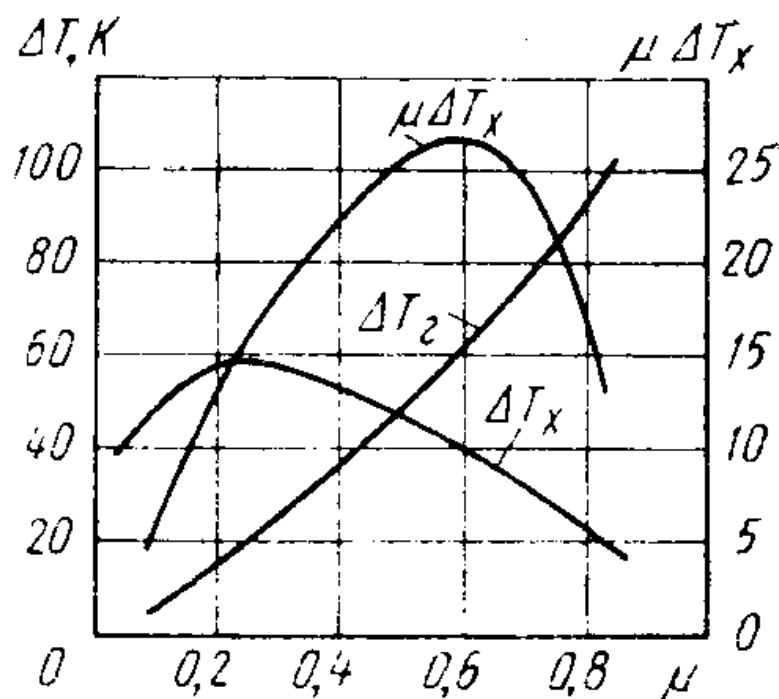
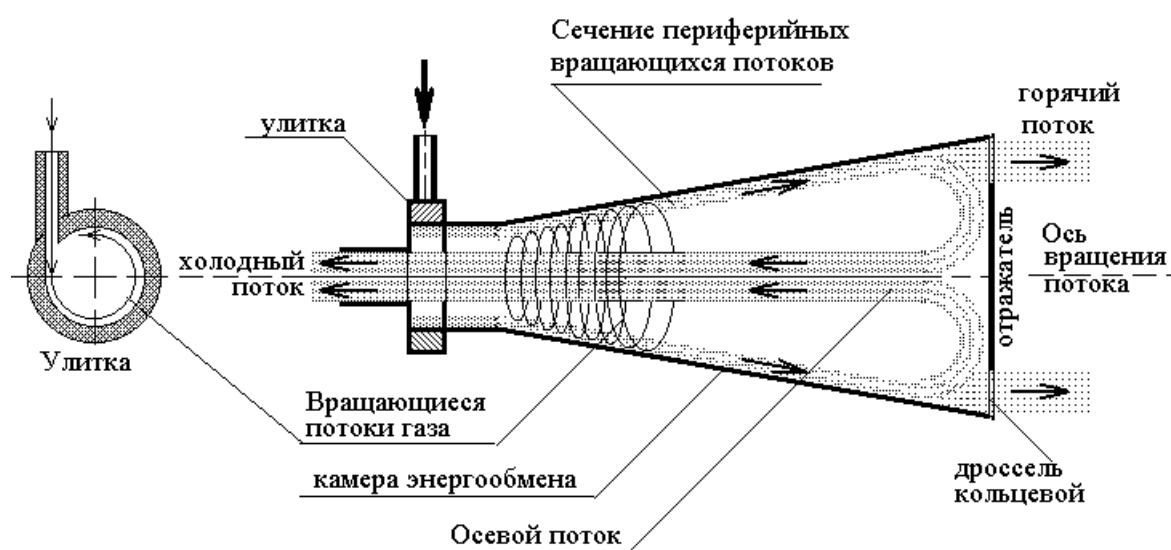


Рис. 1 Типові характеристики адіабатної вихрової труби

$P_{вх}=0,6\text{МПа}$; $P_{вих} = 0,101\text{ МПа}$;

Установка, що моделюється, рисунок 2.

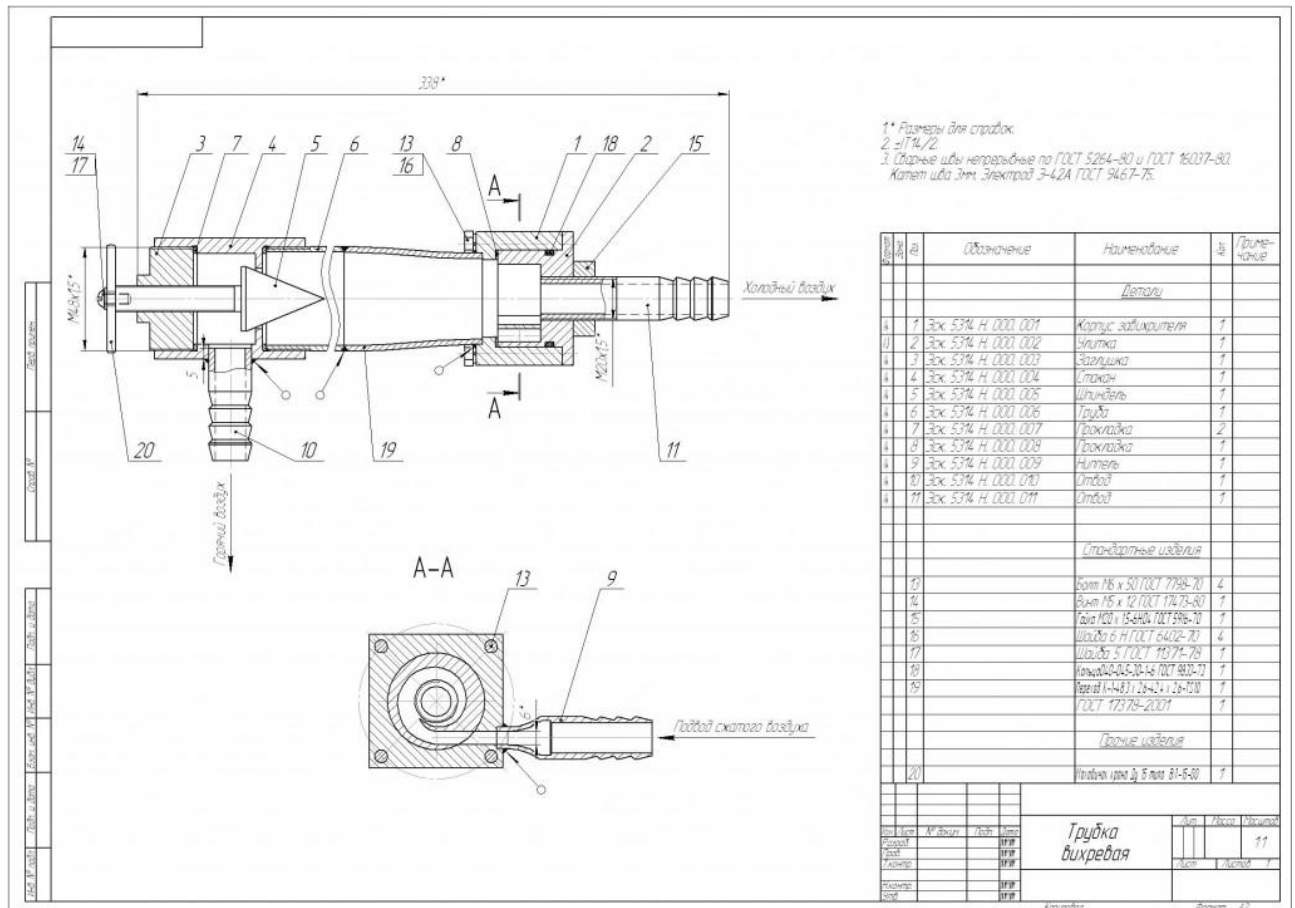


Рис. 1 – Креслення адіабатної вихрової труби

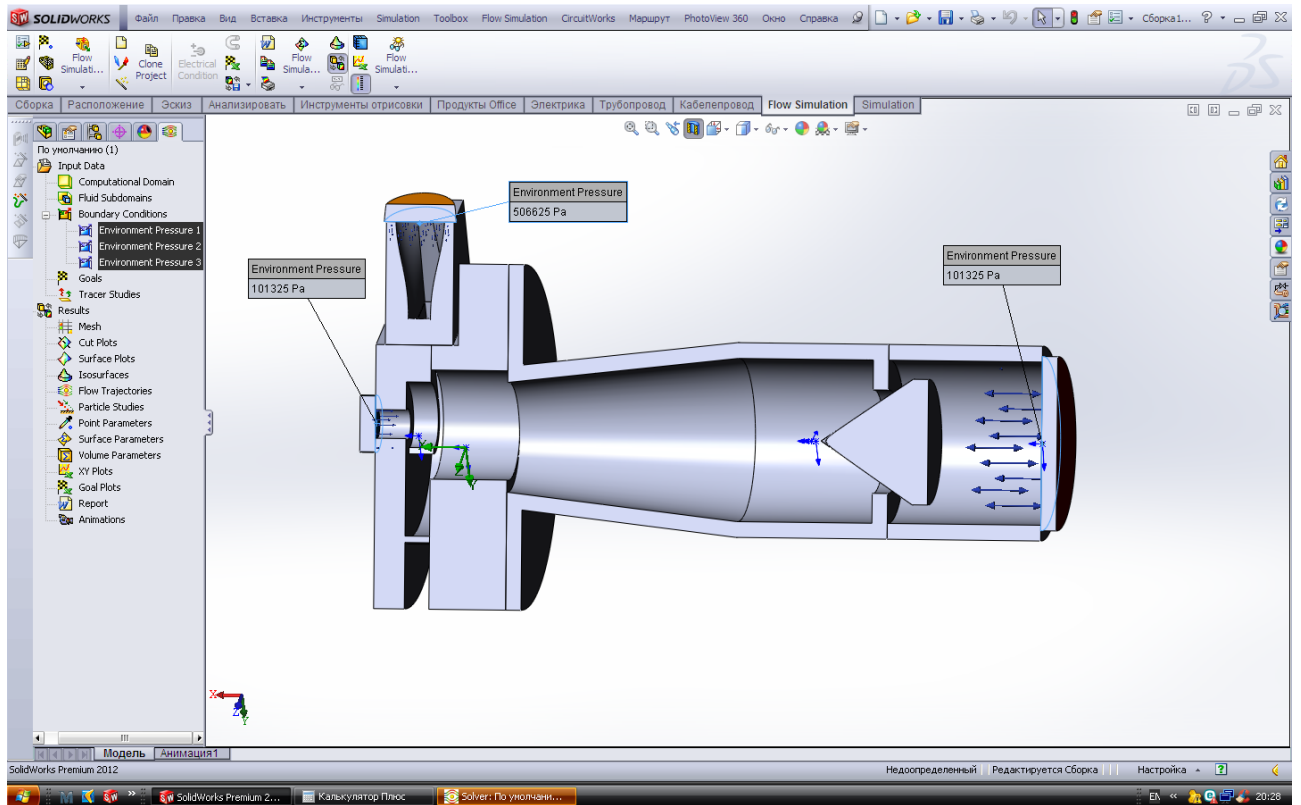


Рисунок 2 – Граничні умови у моделі вихрової труби

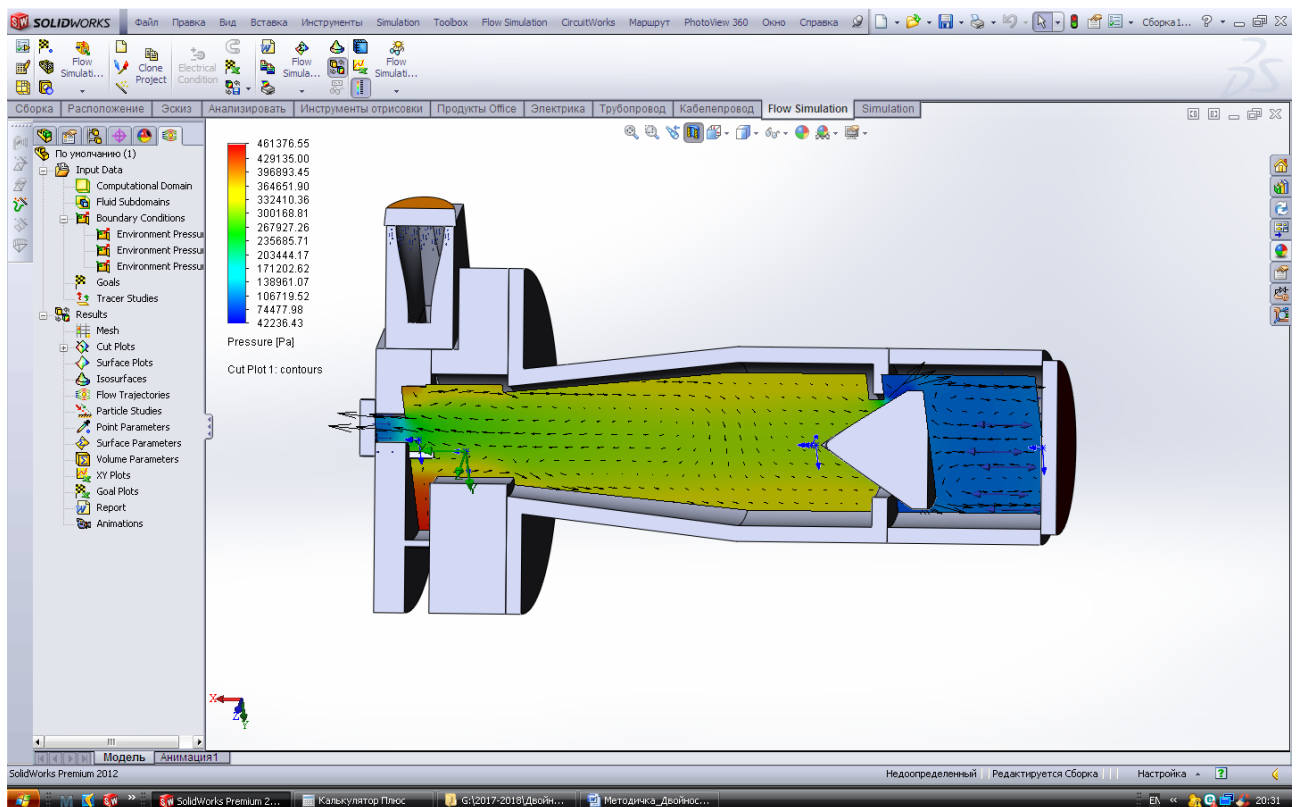


Рисунок 3 – Епюра тиску у полоті вихрової труби

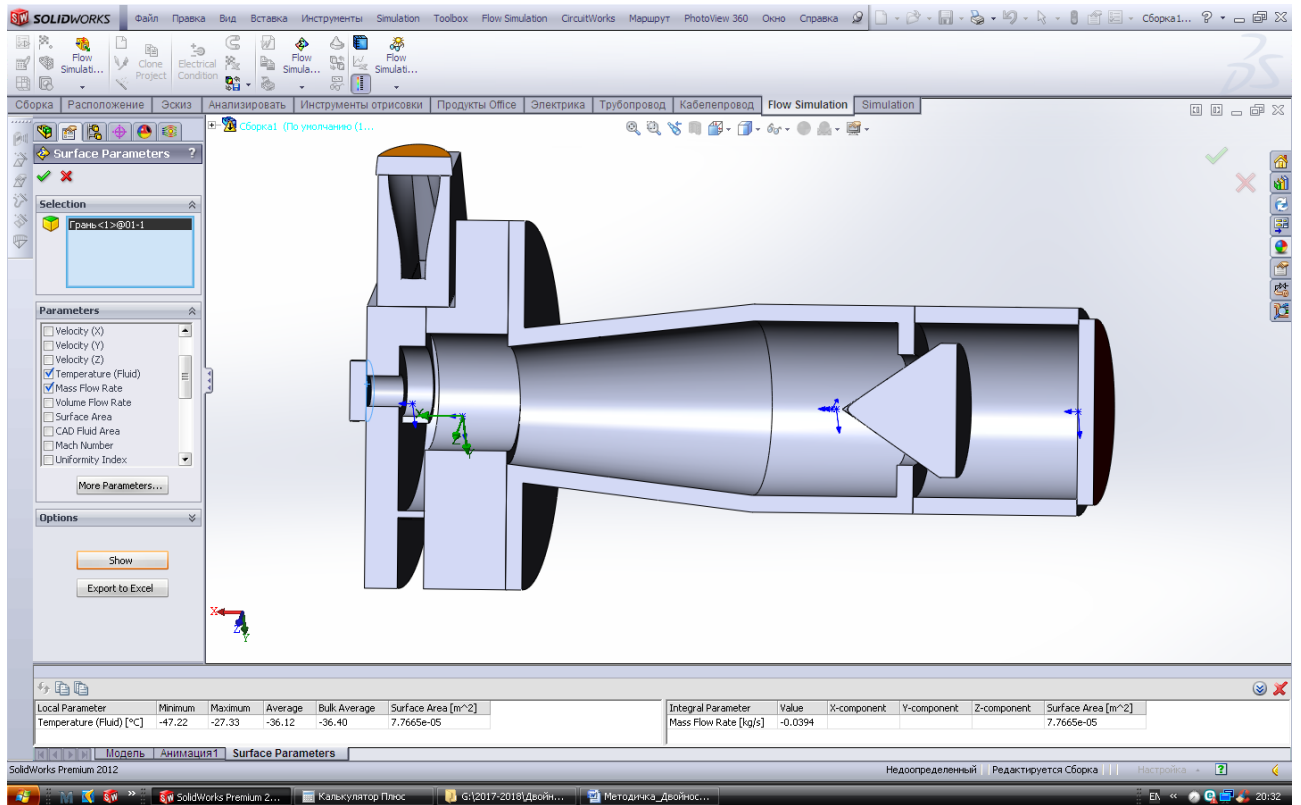


Рисунок 4 – Розраховані значення температури та витрати холодного повітря у моделі вихрової труби

$$G_{\text{хол}} = 0,0394 \text{ кг/с } T_{\text{х}} = -36,12 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

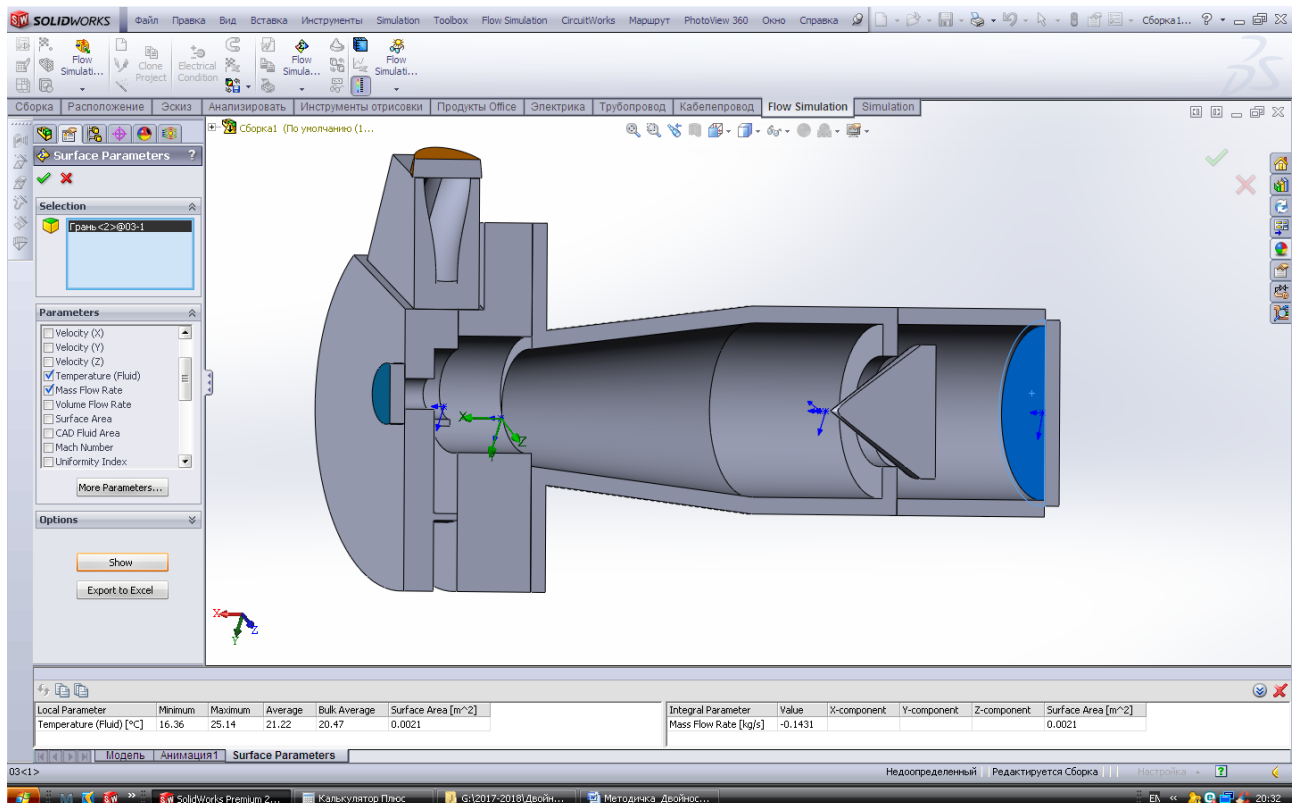


Рисунок 5 – Розраховані значення температури та витрати гарячого повітря у моделі вихрової труби

Розрахунки:

$$G_{\text{гор}} = 0,143 \text{ кг/с} \quad T_{\text{г}} = 21,22 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$G_{\text{сум}} = G_{\text{хол}} + G_{\text{гор}} = 0,0394 + 0,143 = 0,1824$$

$$\mu = G_{\text{хол}} / G_{\text{сум}} = 0,0394 / 0,1824 \times 100\% = 21,6 \%$$

$$\Delta T = T_{\text{г}} - T = 21,22 - 20 = 1,22 \text{ K}$$

$$\Delta T_{\text{х}} = T - T_{\text{х}} = 20 - (-36,12) = 56,12 \text{ K}$$

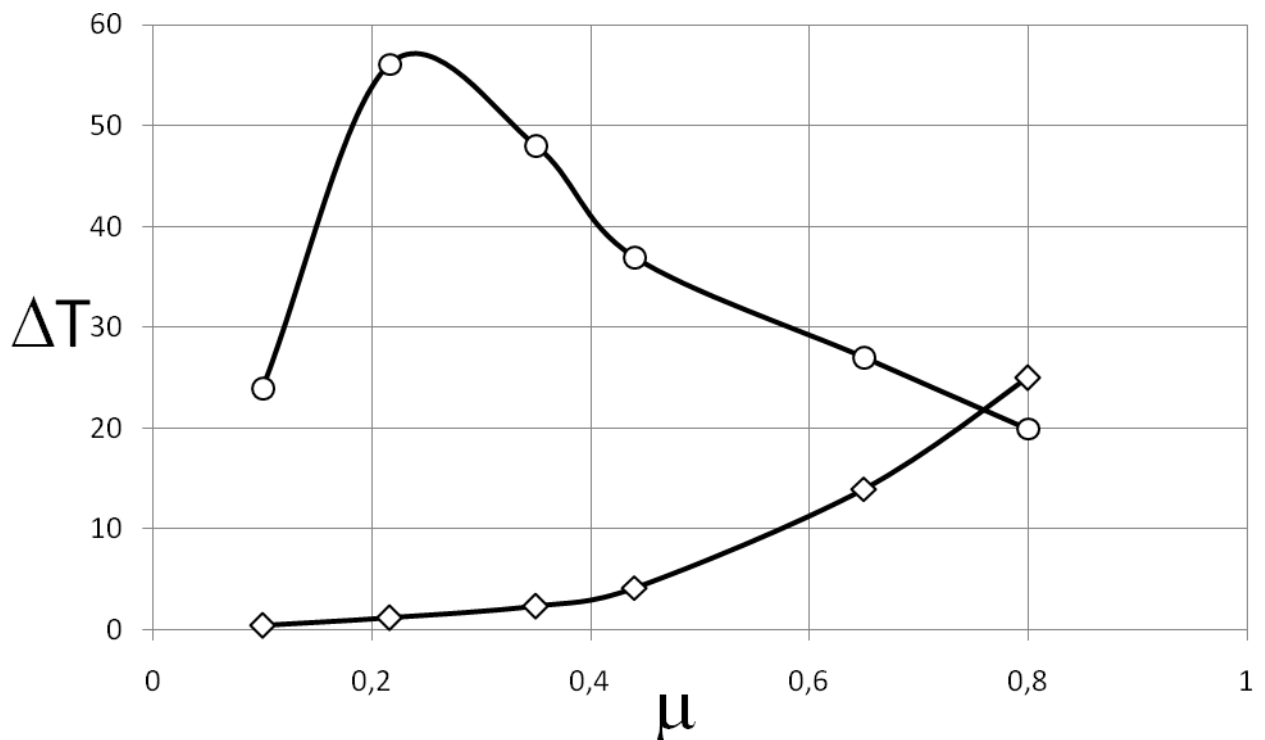


Рисунок 4 – Розраховані значення перепаду температури холодного та гарячого повітря в залежності від відношення об'ємної (масової) витрати холодного повітря до загальної витрати у моделі вихрової труби

Висновок: встановлено закономірності, обрано найкращий варіант конструкції.

Т-S діаграма R12

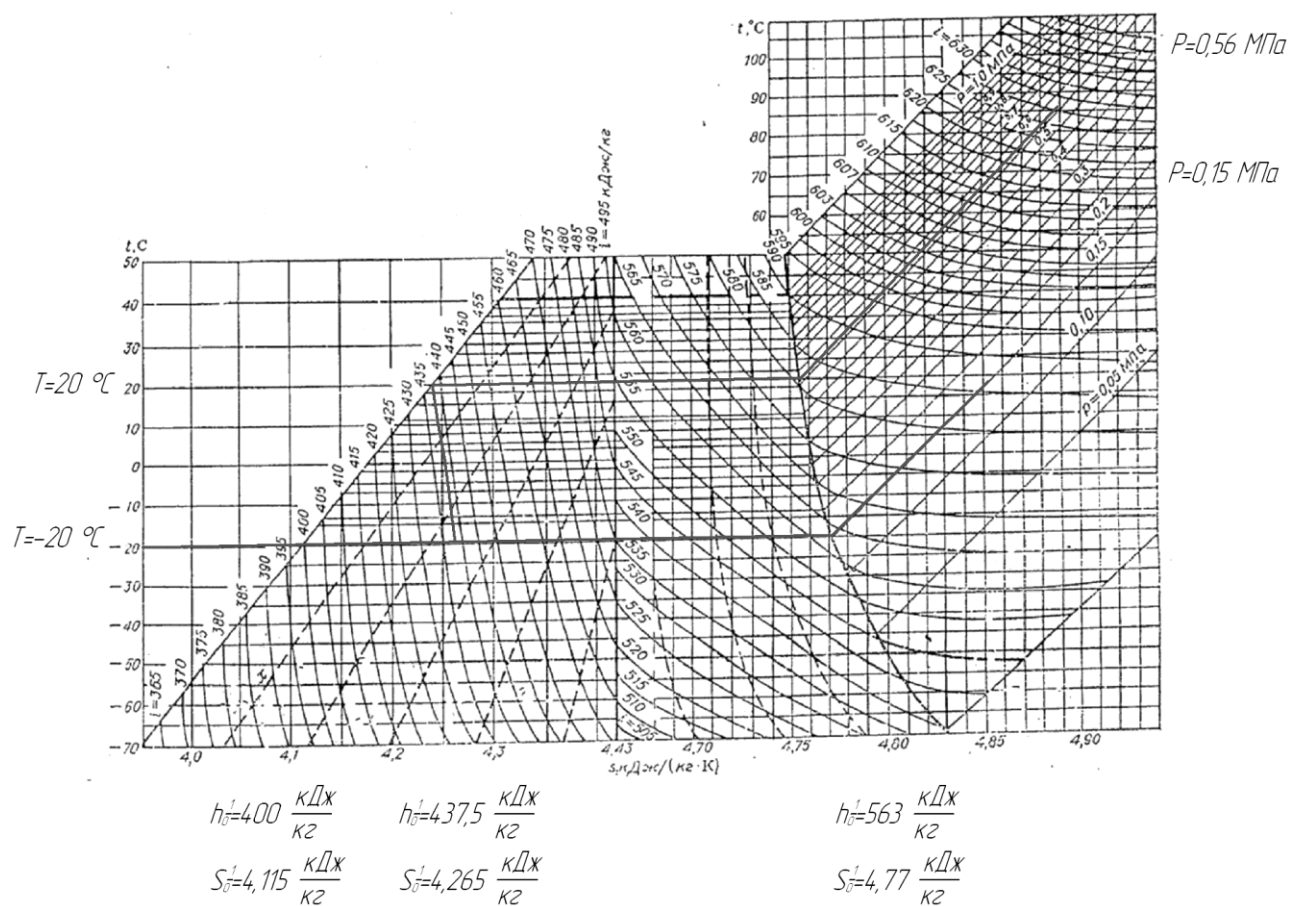


Рисунок 1 – процес дроселювання на Т-S діаграмі R12