

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
УКРАЇНИ**

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**



Жихарєва Н.В., Піщанська Н.О.,

**Методичні вказівки до самостійних робіт
з теоретичних основ кондиціювання повітря**

Вказівки до самостійної роботи

Одеса, 2015

УДК 621.565

Жихарєва Н.В., Піщанська Н.О. Методичні вказівки до самостійних робіт з теоретичних основ кондиціювання повітря . Одеський національний технологічний університет . 2021. – 48 с.

Рецензент: О.С.Тітлов, д.т.н., професор, зав. каф. теплоенергетики та трубопровідного транспорту енергоносіїв ОНАХТ

Розглянуто та рекомендовано до видання на засіданні кафедри холодильних установок , кондиціювання повітря
Протокол № 1 від 27 серпня 2021 р.

Розглянуто та рекомендовано до видання на засіданні науково-методичної Рада зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»
Протокол № 1 від 03 вересня 2021 р.

©ОНТУ, 2021

Зміст

Вступ.....	4
Програма курсу.....	4
Тема 1 Основні поняття і визначення, стани і перспективи розвитку кондиціонування повітря.....	4
Тема 2 Термодинаміка вологого повітря.....	5
Тема 3 Тепло- та волого обмін між повітрям та водою	5
Тема 4 Нагрів та охолодження повітря.....	5
Тема 5 Зволоження повітря.....	5
Тема 6 Осушення повітря.....	6
Тема 7 Процеси кондиціонування повітря в центральних СКП.....	6
Задачі для контрольних робіт.....	7
Контрольні <u>питання</u>	
Задачі 1- 21.....	21
Список літератури.....	33

Анотація

Методичні вказівки до самостійних робіт з кондиціонування повітря присвячено розрахунку параметрів повітря, апаратів та систем кондиціонування повітря. Для цього розглядається проектування СКП об'єкту із урахуванням індивідуальних тепловологісних навантажень окремих приміщень в ньому.

Методичні вказівки із двох розділів, в яких представлено варіанти вихідних даних для розрахунку та приклади розв'язання наведених задач. Для кожного з виду розрахунків наведені алгоритми розрахунків для теплого та холодного періодів року, а також СКП прямооточні та з першою рециркуляцією, представлено схематичну схему процесів в d-h діаграмі. Після кожного алгоритму надається приклад розрахунку для конкретних умов.

Вступ

Цей посібник складений на основі програми курсу «Кондиціонування повітря» з врахуванням специфіки праці інженерів-холодильщиків.

Навчальна дисципліна «Кондиціонування повітря» займає важливе місце в підготовці фахівців з холодильних машин і установок. Значна частина діючих холодильних установок виробляє штучний холод для систем кондиціонування повітря (СКП). Фахівці з холодильних машин і установок займаються дослідженнями, проектуванням, монтажем, налагодженням та експлуатацією систем холодопостачання СКП, а тому повинні знати їх режими та специфічні вимоги.

Метою вивчення дисципліни є формування знань і навичок в області кондиціонування повітря та засвоєння студентами методик теплового розрахунку кондиціонованих приміщень для теплого та холодного періодів року і побудови в тепловій діаграмі вологого повітря прямих та компенсуючих процесів, розрахунку процесів кондиціонування повітря та вибору головного обладнання, а також у вивчення схем систем технологічного і комфортного кондиціонування повітря, різних типів кондиціонерів, їх конструктивних особливостей.

Обсяг матеріалів, що виносяться на залік, приведений нижче.

Програма курсу

Тема 1 Основні поняття і визначення, стани і перспективи розвитку кондиціонування повітря

Задачі курсу і його зв'язок з іншими дисциплінами навчального плану.

Основні поняття і визначення: кондиціонування повітря, вентилююче повітря, системи кондиціонування повітря і їх класифікація, установка кондиціонування повітря, прямі та компенсуючі процеси. Сучасний стан і перспективи розвитку

кондиціонування повітря. Вимога до теоретичної підготовки інженерів і до умов їх творчої роботи.

Тема 2 Термодинаміка вологого повітря

Компоненти вологого повітря. Можливість використання законів ідеальних газів по відношенню до компонентів вологого повітря. Водяна пара як активний компонент вологого повітря.

Аналітичні залежності між параметрами стану вологого повітря та їх використання.

Побудова теплової діаграми волого повітря.

Визначення за допомогою d, h – діаграми параметрів в суміші двох порцій повітря, лінія процесу як геометричне місце точок параметрів суміші двох порцій повітря – необробленого у дану мить та повністю обробленого, якій прийняв параметри повітря суміжного шару. Аналітичне знаходження параметрів суміші. Тепловологісна характеристика процесів. Напівпрямі в d, h – діаграмі як лінії еталонних процесів. Правило побудови лінії процесу у приміщенні.

Тема 3 Тепло- та вологообмін між повітрям та водою

Контактні та поверхневі теплообмінні апарати. Процес у поверхневих повітроохолоджувачах в звичайному режимі як типовий процес обробки повітря водою.

Виведення співвідношення Льюїса та використання його при розрахунках процесів конвективного теплообміну, ускладнених вологообміном. Виведення та аналіз рівняння Меркеля

Диференціальне рівняння зміни стану повітря при обробці його водою. Фізична природа інтинсифікуючого впливу волого обміну на теплообмін.

Тема 4 Нагрів та охолодження повітря

Охолодження при температурі робочої поверхні нижчій, за точку роси.

Коефіцієнт ефективності повітроохолоджувача. Основні типи повітроохолоджувачів. Сучасні типи повітроохолоджувачів. Відхилення дійсного процесу від теоретичного в контактних повітроохолоджувачах.

Електричні, парові та водяні повітронагрівачі.

Зображення процесів у d, h – діаграмі вологого повітря.

Тема 5 Зволоження повітря

Галузі застосування процесів. Класифікація засобів зволоження.

Тепловологісна характеристика ізотермічного процесу. Зволоження повітря парою як практично ізотермічний процес.

Зволоження повітря рециркуляційною та підігрітою водою. Зображення процесів у d, h – діаграмі вологого повітря.

Коефіцієнт ефективності зволожувача.

Основні конструктивні елементи зволожувальної камери.

Зволоження повітря в приміщенні. Зображення процесу зволоження в $d-h$ - діаграмі вологого повітря.

Тема 6осушення повітря

Галузі застосування процесів. Засоби осушення повітря.

Механічне осушення повітря. Заміна процесів термічного охолодження та осушення повітря процесами осушення рідкими вбирачами вологи та випарного охолодження.

Осушення повітря адсорбентами. Зображення процесу в d, h – діаграмі. Властивості вбирачів. Схема осушувальної установки. Регенерація твердих вбирачів вологи.

Осушення повітря абсорбентами. Зображення процесів у d, h – діаграмі. Регенерація розчинів.

Тема 7Процеси кондиціонування повітря в центральних СКП

Мета розрахунку. Особливості методики розрахунку. Взаємопов'язаність прямих та компенсуючих процесів для літнього та зимового кондиціонування повітря, часткова рециркуляція повітря та поповнення свіжим повітрям. Послідовність розрахунку на прикладі центральної СКП, яка працює в літньому режимі.

Визначення вихідних даних для вибору та розрахунку обладнання кондиціонера та холодильної установки на прикладі центральної СКП. Визначення витрати вентиляючого повітря по теплу та волозі, необхідної температури робочої поверхні повітроохолоджувача, температури кипіння холодоагенту та холодопродуктивність холодильної установки.

Задачі для самостійних робіт

Задача 1

Визначити величину газової постійної вологого повітря при процентному вмісті водяної пари.

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Об'ємна частка пари, %	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Задача 2

Визначити аналітично й графічно (по d,h- діаграмі) щільність сухого й насиченого водяними парами повітря при значеннях температури t.

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t, °C	0	4	8	12	16	20	24	28	30	32
	16	20	24	28	30	32	0	12	8	4

Задача 3

Яке повітря сухе або насичене водяними парами більше легке (і в скільки разів) при значеннях температури t, °C.

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t, °C	0	4	8	12	16	20	24	28	30	32
	20	28	16	24	32	30	12	4	8	0

Задача 4

Повітря стану А (t_A , φ_A , G_A) змішується з повітрям стану В (t_B , φ_B , G_B). Визначити параметри суміші аналітично й графічно.

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t, °C	10	20	20	5	20	-5	-2	0	4	6
φ_A	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,8	0,45	0,4	0,3	0,2
G_A , кг	100	200	115	500	280	560	350	140	45	28
t, °C	30	25	15	25	25	20	27	22	21	23
φ_B	0,7	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,45	0,6	0,75	0,7
G_B , кг	300	400	345	2000	740	80	70	560	225	168

Задача 5

Повітря стану F (t , φ_F , G_F) змішується з повітрям стану “К” (t , φ_K). Визначити скільки повітря стану “К” необхідно додати для одержання суміші з температурою t . Вирішити задачу аналітично й графічно.

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t, ^\circ\text{C}$	5	16	7	25	28	16	28	10	25	13
φ_F	0,5	0,2	0,4	0,1	0,2	0,7	0,6	0,3	0,6	0,5
$G_F, \text{кг}$	100	40	150	23	78	28	320	16	30	80
$t, ^\circ\text{C}$	0,9	0,4	0,7	19	0,7	28	0,9	20	29	0,3
φ_K	15	19	12	0,6	18	0,5	19	0,7	0,2	17
$t, ^\circ\text{C}$				23		24		14	26	

Задача 6

Скільки зовнішнього повітря стану точки Н (t_H , φ_H) потрібно для одержання G суміші з температурою t_C , якщо зовнішнє повітря змішується з рециркуляційним стану Р(t_P , h_P).

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_H, ^\circ\text{C}$	8	5	9	28	29	32	1	10	30	5
φ_H	0,7	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,3	0,5	0,6	0,5
$G, \text{кг}$	10	8	15	14	22	18	20	16	10	24
$t_P, ^\circ\text{C}$	25	21	24	17	23	23	19	23	20	19
$h_P, \text{кДж/кг}$	60	46	48	30	38	38	40	56	36	40
$t_C, ^\circ\text{C}$	18	15	16	22	25	28	14	16	26	14

Задача 7

Повітря з параметрами t_1 і φ_1 переходить у новий стан 2. При цьому явна частина його тепломісткості збільшилася в n раз, а схована в m раз. Визначити параметри стану 2 і значення тепловологісного відношення ε_n .

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_1, ^\circ\text{C}$	10	14	20	3	13	0	6	11	13	5
$\varphi_1, \%$	50	40	40	20	10	20	50	20	30	35
n	2	2,5	1,5	4	2	4	5	2	1,5	4
m	3	2,5	2	2,5	7	2	2	3	3	2

Задача 8

Початкові параметри повітря: t_n, φ_n . У скільки разів зміниться схована частина його теплоємності, якщо температура збільшилася на Δt без зміни відносної вологості.

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_n, ^\circ\text{C}$	10	12	11	13	9	14	10	11	12	13
φ_n	0,5	0,4	0,3	0,6	0,7	0,5	0,7	0,7	0,8	0,4
$\Delta t, ^\circ\text{C}$	15	10	13	9	14	13	13	10	14	15

Задача 9

Повітря з параметрами t_1 і φ_1 переходить у стан t_2 і φ_2 . Визначити в скільки разів зміниться явна й схована частини його теплоємності. Розрахувати значення тепловлажностної характеристики ε_n .

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_1, ^\circ\text{C}$	10	22	12	25	12	15	28	28	15	17
$\varphi_1, \%$	50	60	90	10	45	40	50	20	55	82
$t_2, ^\circ\text{C}$	15	17	23	10,5	12	18	17	13	23	10
$\varphi_2, \%$	100	82	20	100	90	80	30	80	20	50

Задача 10.

Параметри повітря в приміщенні: t_v, φ_v . Теплове Q_n , вологісне W_n навантаження приміщення. Температура припливного повітря на вході в приміщення t_n . Побудувати процес асиміляції цих навантажень в d, h - діаграмі й розрахувати продуктивність системи кондиціонування повітря.

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_{в}, ^\circ\text{C}$	22	21	20	23	24	19	20	22	23	21
$\phi_{в}$	0,6	0,55	0,45	0,5	0,6	0,4	0,6	0,45	0,6	0,6
$Q_{п}, \text{кВт}$	30	11	33,5	14,8	28,8	14	16,5	48	18,7	34
$W_{п},$ кг/год	27	7,2	18	10	9	10,8	4	23	11	15
$t_{п}, ^\circ\text{C}$	15	17	15	17	18	17	16	16	18	15

Задача 11.

Параметри повітря в приміщенні: $t_{в}, \phi_{в}$. Витрата повітря в системі становить $G_{в}$. Тепловтрати в приміщенні Q , вологовиділення W . Визначити параметри припливного повітря на вході в приміщення.

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_{в}, ^\circ\text{C}$,	18	19	20	18	19	18	20	21	21	19
$\phi_{в}$	0,5	0,4	0,45	0,4	0,45	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3
$Q, \text{кВт}$	6	12	6,6	5	8	18	14	12	15	20
$W, \text{кг/год}$	6	4	5,5	5	2	3	1,4	2	3	2
$G_{в}, \text{кг/с}$	10	3	1,2	1	2	4,5	3,5	3	3	5

Задача 12.

Параметри повітря в приміщенні $t_{в}, \phi_{в}$. На вході в приміщення $t_{п}, \phi_{п}$. теплопритоки в приміщенні становлять $Q_{заг}$. Визначити величину вологісного навантаження приміщення й продуктивність системи кондиціонування повітря.

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_{в}, ^\circ\text{C}$	23	24	22	23	21	22	24	21	20	20
$\phi_{в}$	0,5	0,6	0,5	0,6	0,55	0,6	0,45	0,45	0,5	0,6
$t_{п}, ^\circ\text{C}$	17	19	17	18	16	16	18	15	16	18
$\phi_{п}$	0,5	0,45	0,3	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,32	0,4
$Q_{заг}, \text{кВт}$	25	32	17	34	52	28	44	50	38	30

Задача 13.

Визначити скільки води випарувалося з поверхні кульки мокрого термометра діаметром d протягом місяця, якщо параметри повітря в приміщенні: t_n , φ_n . Коефіцієнт тепловіддачі від повітря до вологої поверхні термометра α .

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_n, ^\circ\text{C}$	25	24	22	20	21	19	23	25	24	26
φ_n	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,3	0,35	0,4
$\alpha,$ $\text{Вт/м}^2\text{К}$	10	7	5	6	8	9	10	9	8	7
$d, \text{мм}$	4	5	6	7	3	7	6	5	4	3

Задача 14.

Блок льоду поверхнею F внесений у кімнату з параметрами t_n , φ_n . Коефіцієнт конвективної тепловіддачі від повітря до льоду α_k . Визначити, скільки льоду стане протягом τ годин. Зміною геометричних розмірів льоду зневажити. ($\rho_l=920\text{кг/м}^3$ - щільність льоду, $\lambda_l=335\text{кДж/кг}$ – схована теплота танення льоду).

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_n, ^\circ\text{C}$	21	20	28	25	25	22	20	25	24	23
φ_n	0,5	0,6	0,4	0,45	0,55	0,4	0,6	0,5	0,4	0,6
$F, \text{м}^2$	2	4	3	1	2	1	3	4	2	1
$\alpha_k,$ $\text{Вт/м}^2\text{К}$	10	6	7	8	5	9	5	6	7	8
$\tau, \text{годин}$	1	10	2	3	10	5	6	12	7	4

Задача 15

Параметри в приміщенні ($t_b, ^\circ\text{C}$, $\varphi_b, \%$). Температура води у відкритому акваріумі встановлюється рівній температурі $t_b, ^\circ\text{C}$ визначити кількість води, що випарується за n днів. Площа поверхні акваріума $F, \text{м}^2$, коефіцієнт тепловіддачі від води до повітря $\alpha_k, \text{Вт/м}^2\text{К}$.

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_w, ^\circ\text{C}$	22	20	24	22	21	23	24	18	19	20
$\varphi_B, \%$	60	50	55	45	50	60	55	65	60	55
$F, \text{м}^2$	0,72	0,6	0,8	0,8	0,65	0,7	0,64	0,8	1,8	1,3
$\alpha_k,$ $\text{Вт/м}^2\text{К}$	8	10	7	6	8	6	8	10	7	9
$n, \text{днів}$	10	8	9	11	12	8	13	16	17	16

Задача 16

Параметри повітря на вході в зрошувальну камеру (ЗК) т. А (t, φ_A). Температура води, що розпилюється t_w . Повітря обробляється до φ_B . Ступінь зрошення повітря μ . Кількість оброблюваного повітря G_B . Визначити інші параметри повітря на виході з ЗК, ефективність процесу, підігрів води й холодовидатність зрошувальної камери.

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t, ^\circ\text{C}$	25	20	21	25	17	22	28	24	19	23
φ_A	0,6	0,7	0,5	0,7	0,7	0,4	0,6	0,5	0,7	0,6
$t_w, ^\circ\text{C}$	8	4	2	8	6	1	11	4	8	9
$\mu, \text{кг/кг}$	1,5	1,2	1,4	1,8	1,5	0,8	1,2	1,8	1,4	1,5
$G_B, \text{кг/с}$	15	12	14	18	15	8	10	6	12	15

Задача 17

Повітря в кількості m_1 з параметрами: температура t_1 і ентальпія h_1 – нагрівається в повітрянагрівачі до температури t_2 . Визначити відносну вологість повітря на виході з повітрянагрівача й теплове навантаження.

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$m_1, \text{кг/с}$	3	5	8	10	14	3	5	8	10	14
$t_1, ^\circ\text{C}$	-15	-10	-5	0	-5	-11	-15	-13	-10	-6
$h_1,$ кДж/кг	-13	-6	0	7	-2	-8	-14	-11	-7	-2
$t_2, ^\circ\text{C}$	15	20	25	30	20	15	10	20	25	30

Задача 18

Параметри повітря, що надходить на обробку в повітроохолоджувач: температура t_1 , відносна вологість φ_1 . Кінцева температура повітря t_2 . Температура робочої поверхні $t_{рп}=0^\circ\text{C}$. Холодовидатність повітроохолоджувача Q_0 . Визначити масову витрату повітря й кількість води, що випала.

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_1, ^\circ\text{C}$	30	25	20	25	30	28	20	25	20	20
φ_1	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,4	0,3	0,6	0,45
$t_2, ^\circ\text{C}$	5	10	7	8	10	5	3	5	7	6
$Q_0, \text{кВт}$	35	45	55	20	70	90	35	55	45	70

Задача 19

Повітря з початковими параметрами t_1, φ_1 осушується твердим поглиначем води до φ_2 . Визначити кількість води, що випала з 1 кг повітря, і його кінцеву температуру.

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_1, ^\circ\text{C}$	10	11	12	10	13	10	11	12	13	9
φ_1	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,85
φ_2	0,1	0,15	0,1	0,15	0,15	0,2	0,1	0,15	0,1	0,15

Задача 20

Повітря обробляється розчином хлористого кальцію концентрації K . Початковий стан повітря t_1, φ_1 . Температура розсолу підтримується постійною й рівною $t_{роз}$. Визначити гранично можливу відносну вологість повітря після обробки. Скільки води випадає з кожного кілограму повітря?

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_1, ^\circ\text{C}$	20	15	14	16	10	12	14	16	13	12
φ_1	0,8	0,9	0,85	0,8	0,8	0,9	0,85	0,95	0,8	0,9
$t_{роз}, \text{C}$	9	5	0	8	0	6	7	4	9	5
$K, \%$	27,9	9,2	26,7	21,7	5,2	12,5	27,9	25,2	26,7	21,7

Задача 21

Визначити в скільки разів збільшиться здатність, що осушує, повітроохолоджувача, у випадку зрошення його робочої поверхні розсолем з концентрацією, що відповідає криоскопічній температурі $t_{кр}$. Початкові параметри повітря t_n , φ_n . Температура розсолу дорівнює температурі робочої поверхні t_p .

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_{кр},$ °C	-40	-35	-30	-20	-15	-40	-35	-30	-20	-10
$t_n,$ °C	20	22	23	19	24	25	19	21	20	22
φ_n	0,6	0,5	0,45	0,5	0,6	0,55	0,5	0,5	0,6	0,4
$t_p,$ °C	6	8	7	9	5	6	8	7	9	5

Задача 22

Параметри зовнішнього повітря на вході в центральний прямоточний кондиціонер: t_n , °C и відносна вологість φ_n . Повітря обробляється у камері зрошення водою, середня температура якої $t_w^{ср}$, °C. Відносна вологість повітря на виході з камери зрошення $\varphi_k=0,9$. Параметри повітря в приміщенні: температура t_b , °C и відносна вологість φ_b . Загальне теплове навантаження в приміщенні $Q_{заг}$, кВт, вологовиділення W , кг/с, робоча різниця температур Δt_p , °C. Визначити масову витрату припливного повітря G_b , холодопродуктивність кондиціонера Q_o , температуру повітря на виході з камери зрошення t_k і необхідний підігрів повітря $\Delta t_{під}$ перед подачею його в приміщення.

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_n,$ °C	33	32	31	30	33	31	30	29	28	27
φ_n	60	55	50	50	40	40	35	30	40	45
$t_w^{ср},$ °C	16	15	14	12	11	9	8	7	6	5
$t_b,$ °C	28	27	25	25	26	24	25	23	21	21
$\varphi_b,$ %	65	60	55	60	50	45	40	45	54	50
$Q_{заг},$ кВт	64	170	90	200	230	400	600	250	130	290
$W \cdot 10^2,$ кг/с	2,0	3,2	1,5	3,8	4,3	2,5	7,5	5,2	2,5	5,0
$\Delta t_p,$ °C	4	5	4	7	6	9	5	4	6	6

Задача 23

Побудувати прямі і процеси, що компенсують, обробки повітря в центральній прямоточній СКП для літнього режиму роботи. Розрахувати навантаження на всі апарати. Визначити значення температури води в камері зрошення.

Вихідні дані: параметри зовнішнього повітря (t_n °С, h_n кДж/кг); робоча різниця температур Δt_p °С, теплове та $Q_{заг}$ кВт, і вологісне $W_{заг}$ кг/год навантаження. Прийняти шляховий підігрів повітря в припливній лінії 1°С. Параметри повітря в приміщенні t_b °С; ϕ_b %.

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t_n , °С	33	32	28,3	27,7	27,3	31,8	33	28,9	26,7	31
h_n , кДж/кг	64	56,9	55,7	53,2	54	58,6	60	55	55	57,4
t_b , °С	23	22	23	22	23	22	23	22	22	23
ϕ_b , %	50	55	50	50	50	55	50	55	50	50
$Q_{заг}$, кВт	45	55	65	75	85	95	50	60	70	80
W , кг/год	20	20	25	25	30	35	33	24	23	28
Δt_p , °С	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5

Задача 24

Суміш рециркуляційного й зовнішнього повітря обробляється в зрошувальній камері центрального кондиціонера водою, середня температура якої $t_w^{cp} = 16^{\circ}\text{C}$. Масова витрата зовнішнього повітря $G_n = n\%$ заданий у відсотках від масової витрати повітря, що вентилює, G_b . Параметри зовнішнього повітря: температура t_n °С и відносна вологість ϕ_n . Параметри повітря в приміщенні: температура t_b °С и відносна вологість ϕ_b . Загальне теплове навантаження в приміщенні $Q_{заг}$ кВт, сумарне вологовиділення $W_{заг}$ кг/с, робоча різниця температур Δt , °С. Розрахувати масову витрату повітря, що вентилює. Визначити параметри повітря суміші С, прийнявши підігрів повітря в рециркуляційному вентиляторі $\Delta t_{вент}$, °С. Розрахувати холодопродуктивність кондиціонера Q_o , визначити температуру повітря на виході зі зрошувальної камери й шляховий підігрів повітря $\Delta t_{під}$.

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_n, ^\circ\text{C}$	34	33	32	31	35	33	32	31	30	32
φ_n	60	55	55	60	50	50	45	50	65	70
$t_w^{\text{пд}}, ^\circ\text{C}$	16	11	12	14	12	9	6	4	8	13
$t_B, ^\circ\text{C}$	27	27	26	25	26	24	23	22	21	24
$\varphi_B, \%$	65	55	55	60	50	50	45	42	55	60
$Q_{\text{заг}}, \text{кВт}$	120	160	200	260	300	420	500	450	340	230
$W \cdot 10^2, \text{кг/с}$	2,4	3,02	3,44	4,19	4,41	5,83	6,25	4,5	3,77	3,83
$\Delta t_p, ^\circ\text{C}$	5	6	5	6	5	7	6	8	5	4
$G_n, \%$	15	30	25	10	25	12	10	15	10	15

Задача 25

Побудувати прямі і процеси, що компенсують, обробки повітря в центральній СКП з однієї рециркуляцією для літнього режиму роботи. Розрахувати навантаження на всі апарати. Визначити значення температури води в камері зрошення.

Вихідні дані: параметри зовнішнього повітря ($t_n, ^\circ\text{C}$, $h_n, \text{кДж/кг}$); робоча різниця температур $\Delta t_p, ^\circ\text{C}$, теплове навантаження $Q_{\text{заг}}, \text{кВт}$, і вологісне $W_{\text{заг}}, \text{кг/год}$. Прийняти шляховий підігрів повітря в припливній і рециркуляційній лініях 1°C . Параметри повітря в приміщенні $t_B, ^\circ\text{C}$; $\varphi_B, \%$. Масова витрата зовнішнього повітря задана в відсотках від масової витрати вентиляючого повітря $G_n = p G_B$.

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_n, ^\circ\text{C}$	33	32	28,3	27,7	27,3	31,8	33	28,9	26,7	31
$h_n, \text{кДж/кг}$	64	56,9	55,7	53,2	54	58,6	60	55	55	57,4
p	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
$t_B, ^\circ\text{C}$	23	22	23	22	23	22	23	22	22	23
$\varphi_B, \%$	50	55	50	50	50	55	50	55	50	50
$Q_{\text{заг}}, \text{кВт}$	45	55	65	75	85	95	50	60	70	80
$W, \text{кг/год}$	20	20	25	25	30	35	33	24	23	28
$\Delta t_p, ^\circ\text{C}$	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5

Задача 26

Побудувати в d-h діаграмі процес прямої обробки повітря при його кондиціонуванні в холодний період. Визначити теплове навантаження на повітрянагрівачі I і II підігріву, кількість вологи, засвоєної в камері зрошення.

Вихідні дані: параметри зовнішнього повітря (t_n °C, h_n кДж/кг) Загальне теплове навантаження в приміщенні $Q_{заг}$ кВт, сумарне вологовиділення $W_{заг}$ кг/год. Параметри повітря в приміщенні t_b °C; ϕ_b , масова витрата повітря G_b кг/с.

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t_n , °C	-17	-7	-5	-15	-9	-10	-3	-9	-8	-11
h_n , кДж/кг	-19	-2,5	0	-14	-5,4	-6,7	-2,7	-5,2	-5,4	-8
G_b , кг/с	5,8	6,4	6,3	11,3	6,6	12	6	6,3	11,3	6,6
t_b , °C	23	22	23	22	23	22	23	22	22	23
ϕ_b , %	50	55	50	50	50	50	50	55	50	50
$Q_{заг}$, кВт	25	30	35	50	42	38	48	60	65	75
W , кг/год	20	20	25	35	25	27	36	40	45	50

Задача 27

Зовнішнє повітря, параметри якого: температура t_n °C і відносна вологість ϕ_n , нагрівається в повітрянагрівачі першого підігріву до температури t_r °C та адиабатно зволожується у форсуночній камері до відносної вологості $\phi_k=0,9$. Потім повітря нагрівається в місцевому повітрянагрівачу до температури t_n °C і подається в приміщення. Параметри повітря в приміщенні: температура t_b °C і відносна вологість ϕ_b ,%; масова витрата повітря G_b . Визначити теплове навантаження на повітрянагрівачі I і II підігріву, кількість вологи, засвоєної в камері зрошення, а також тепловологісну характеристику процесу.

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t_n , °C	-2	-4	-6	-8	-10	-12	-13	-14	-16	-20
ϕ_n	0,9	0,9	0,85	0,8	0,8	0,7	0,6	0,8	0,6	0,8
t_b , °C	17	20	22	21	24	23	24	23	22	18
ϕ_b , %	75	65	55	55	50	60	45	65	60	70
t_{II} , °C	14	17	18	16	15	17	20	19	17	14
G_b , кг/с	4	6	10	14	18	21	24	27	32	35
t_r , °C	19	23	23	20	22	28	26	28	31	28

Задача 28

Параметри зовнішнього повітря: температура t_n °С відносна вологість φ_n ; параметри повітря в приміщенні: температура t_b °С и відносна вологість φ_b , %. В результаті змішання зовнішнього повітря стану т. Н с рециркуляційним повітрям стану т. В досягається температура повітря t_c °С. Потім у місцевому підігрівнику повітря нагрівають до стану т. П і подають у приміщення. Параметри припливного повітря: t_n °С та h_n кДж/кг, масова витрата припливного повітря G_b кг/с. Визначити параметри суміші, масову витрату зовнішнього повітря G_n . Розрахувати загальне теплове навантаження, тепловологісну характеристику процесу, а також кількість тепла, необхідного для нагрівання повітря Q_t .

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t_n , °С	0	-3	-6	-10	-12	-14	-16	-15	-20	-18
φ_n	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,8	0,6	0,7	0,8
t_b , °С	24	23	22	20	18	19	17	18	16	19
φ_b , %	70	55	50	65	70	45	40	60	45	40
t_n , °С	24	19	15	14	15	18	12	25	27	25
h_n , кДж/кг	47	36	29	30	30	28	20	40	35	36
G_b , кг/с	2,0	3,2	1,5	3,8	4,3	2,5	7,5	5,2	2,5	5,0
t_c , °С	14	13	10	9	7	8	5	10	0	11

Задача 29

Побудувати в d-h діаграмі процес п обробки повітря з однією рециркуляцією при його кондиціонуванні в холодний період. Визначити теплове навантаження на повітрянагрівачі I і II підігріву, кількість води, засвоєної в камері зрошення. Вихідні дані: параметри зовнішнього повітря (t_n °С, h_n кДж/кг) Загальне теплове навантаження в приміщенні Q_{zag} кВт, сумарне вологовиділення W_{zag} кг/год. Параметри повітря в приміщенні t_b °С; φ_b , масова витрата повітря G_b кг/с.

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_n, ^\circ\text{C}$	-17	-7	-5	-15	-9	-10	-3	-9	-8	-11
$h_n, \text{кДж/кг}$	-19	-2,5	0	-14	-5,4	-6,7	-2,7	-5,2	-5,4	-8
$G_B, \text{кг/с}$	5,8	6,4	6,3	11,3	6,6	12	6	6,3	11,3	6,6
$t_B, ^\circ\text{C}$	23	22	23	22	23	22	23	22	22	23
$\varphi_B, \%$	50	55	50	50	50	50	50	55	50	50
$Q_{\text{заг}}, \text{кВт}$	25	30	35	50	42	38	48	60	65	75
$W, \text{кг/год}$	20	20	25	35	25	27	36	40	45	50

Контрольні питання

1. Области можливих станів вологого повітря. Насичений і перегрітий водяний пар. Правило фаз Гіббса.
2. Склад повітря. Закон Дальтона і парціальні тиску сухої частини повітря і водяної пари.
3. Рівняння Клапейрона-Менделєєва. Універсальна газова стала. Газові константи для сухого, вологого повітря і водяної пари.
4. Характеристики вологого повітря. Абсолютна і відносна вологість.
5. Поняття вологовмісту і парціального тиску. Рівняння зв'язку термічних параметрів з параметрами складу.
6. Температура точки роси і температура по мокрому термометру. Фізичний сенс і способи їх вимірювання. Калорические свойства воздуха. Явная и скрытая части его теплосодержания.
7. Рівняння зв'язку калорических параметрів з параметрами складу вологого повітря.
8. Діаграми вологого повітря Рамзіна-Мольє (Косокутна)
9. і Психрометричний Керрієр.
10. Побудова процесів зміни стану повітря в діаграмі вологого повітря (європейська і американська версії).
11. Завдання змішання. Аналітичне та графічне рішення в різних діаграмах вологого повітря.

12. Можливості d, h -діаграми для різних значень барометричного тиску.
13. Процеси обробки повітря в контактних апаратах. Побудова процес-сов в d, h -діаграмі для прямоточною і противоточною схем.
14. Рівняння Меркеля як рівняння кінетики процесів спільного тепломасопере- носу. Співвідношення Льюїса.
15. Процеси обробки повітря в поверхневих апаратах. Коефіцієнт влаговипадення і його зв'язок з тепловлажностной характеристикою проце- су.
16. Термічний спосіб осушення повітря. Механічні осушувачі.
17. Осушення повітря абсорбцією. Процеси в діаграмі.
18. Адсорбція вологи. Типи десикантів. Основні схемні рішення адсорб-рив.
19. Парові зволожувачі (мережевий пар і автономні парогенератори).
20. Атомайзери (форсункові і дискові). Їх характеристика.
21. Ультразвукові зволожувачі. Зворотний п'єзоелектричний ефект.
22. Плівкові насадкові зволожувачі повітря.
23. Системи доувлажнення повітря в приміщенні.
24. Електричні повітрянагрівачі. Пристрій ТЕНів.
25. Роторно-сорбентних технології осушення повітря.
26. Теплоутилізатори у ВКВ. Схеми. Ефективність роботи.
27. Пневматичні і пневмоакустическіе форсунки та їх використання при ув- лажненні повітря у ВКВ.
28. Якість повітря в приміщеннях. Проблема Легіонели.
29. Комбіновані схеми. Осушення повітря термічним і сорбційним методами.
30. Ротори-теплоутилізатори явною і повної теплоти.

Приклади рішення задач

Задачі 1- 21

Приклад1

Вихідні дані :

$$r_{\text{п}} = 11\%.$$

Рішення:

$R = \mu R / \mu_{\text{вл.в}}$ [Дж/кгК] – газова постійна вологого повітря.

$\mu R = 8314$ [Дж/кмольК] – універсальна газова постійна, яка не залежить від типу газу.

$\mu_{\text{вл.в}} = r_{\text{с.в}} \mu_{\text{с.в}} + r_{\text{п}} \mu_{\text{п}}$ [кг/кмоль] – молярна маса вологого повітря.

$$\mu_{\text{вл.в}} = 0,89 \cdot 28,9 + 0,11 \cdot 18 = 27,7 \text{ [кг/кмоль]}$$

$$R_{\text{вл.в}} = 8314 / 27,7 = 300,14 \text{ [Дж/кгК]}.$$

Приклад2

Вихідні дані:

$$t = 32 \text{ [}^\circ\text{C]}; T = 305 \text{ [К]}.$$

Рішення:

$\rho_{\text{с}} = 353 / T$ [кг/м³] – щільність сухого повітря.

$$\rho_{\text{с}} = 353 / 305 = 1,157 \text{ [кг/м}^3\text{]}$$

$\rho_{\text{н}} = (3,472 P_{\text{с}} - 1,308 P_{\text{п}}) / T$ [кг/м³] – щільність насиченого водяними парами повітря.

$P_{\text{с}} = 101$ [кПа] – барометричний тиск

$$P_{\text{п}} = 4,8 \text{ [кПа]}$$

$$\rho_{\text{н}} = (3,472 \cdot 101 - 1,308 \cdot 4,8) / 305 = 1,129 \text{ [кг/м}^3\text{]}.$$

Приклад3

Вихідні дані:

$$t = 20 \text{ [}^\circ\text{C]}; T = 293 \text{ [К]}.$$

Рішення:

$$\rho_{\text{с}} = 353 / T \text{ [кг/м}^3\text{]}$$

$$\rho_{\text{с}} = 353 / 293 = 1,2 \text{ [кг/м}^3\text{]}$$

$$\rho_{\text{н}} = (3,472 P_{\text{с}} - 1,308 P_{\text{п}}) / T \text{ [кг/м}^3\text{]}$$

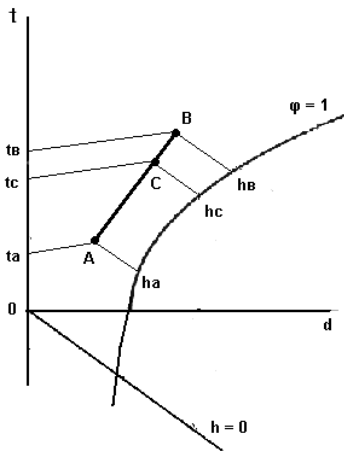
$$\rho_{\text{н}} = (3,472 \cdot 101 - 1,308 \cdot 2,3) / 293 = 1,186 \text{ [кг/м}^3\text{]}$$

$$P_{\text{с}} = 101 \text{ [кПа]}$$

$$P_{\text{п}} = 2,3 \text{ [кПа]}$$

Сухой воздух тяжелее насыщенного: $\rho_c / \rho_n = 1,2 / 1,19 = 1,012$ раз.

Приклад4



Вихідні дані:

$$t_A = 10 [^{\circ}\text{C}]; \varphi_A = 0,3; G_A = 100 [\text{кг}];$$

$$t_B = 30 [^{\circ}\text{C}]; \varphi_B = 0,7; G_B = 300 [\text{кг}].$$

Рішення:

будуємо в d-h діаграмі процес змішення двох порцій повітря. Цьому процесу буде відповідати пряма АВ. Точка суміші лежить на цій прямій.

$$h_A = 16 [\text{кДж/кг}];$$

$$h_B = 78 [\text{кДж/кг}].$$

1. Аналітичне рішення.

Складаємо рівняння теплового балансу суміші

$$G_B \cdot h_B + G_A \cdot h_A = G_C \cdot h_C$$

G_A, h_A – витрата та ентальпія точки А відповідно;

G_B, h_B – витрата та ентальпія точки В;

G_C, h_C – витрата та ентальпія суміші

Звідки $h_C = (G_B \cdot h_B + G_A \cdot h_A) / (G_B + G_A)$

$$h_C = (300 \cdot 78 + 100 \cdot 16) / (300 + 100) = 62,5 [\text{кДж/кг}].$$

2. Графічне рішення.

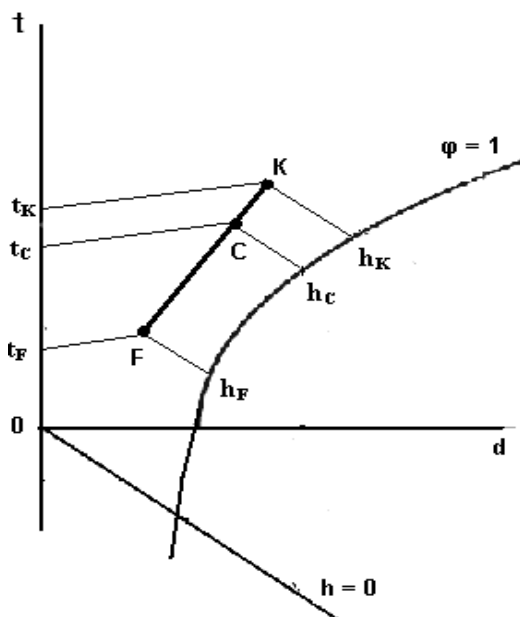
Точка суміші ділить пряму АВ на відрізки у співвідношенні:

$$AC / AB = G_B / (G_B + G_A) \text{ або } G_B / G_A = AC / CB$$

$$AB = 196 [\text{мм}]$$

$$AC = AB \cdot [G_B / (G_B + G_A)] = 196 \cdot [300 / (300 + 100)] = 147 [\text{мм}]$$

Параметри точки С: $h_C = 62,5 [\text{кДж/кг}]; t_C = 25 [^{\circ}\text{C}]; d_C = 14,9 [\text{г/кг}].$



Приклад5

Вихідні дані:

$$t_F = 13 [^{\circ}\text{C}]; \varphi_F = 0,5; G_F = 80 [\text{кг}];$$

$$t_K = 30 [^{\circ}\text{C}]; \varphi_K = 0,3; t_C = 17 [^{\circ}\text{C}].$$

Рішення:

1. Аналітичний метод.

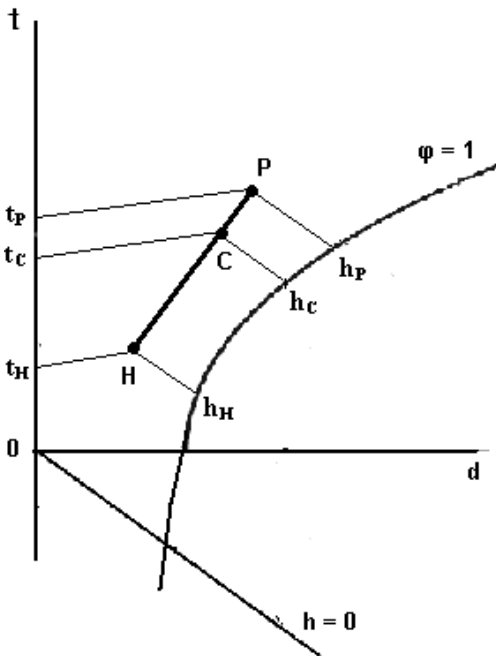
$$G_F / G_K = (h_K - h_C) / (h_C - h_F)$$

$$G_K = G_F \cdot (h_C - h_F) / (h_K - h_C) = 80 \cdot (31 - 25) / (50 - 31) = 25,3 \text{ [кг]}.$$

2. Графічний метод.

$$G_F / G_K = CK / FC; G_K = 80 \cdot 20 / 60 = 26,6 \text{ [кг]}.$$

Приклад6



Вихідні дані:

$$t_H = 10 \text{ [}^\circ\text{C]}; \varphi_H = 0,5;$$

$$t_P = 23 \text{ [}^\circ\text{C]}; h_P = 56 \text{ [кДж/кг]};$$

$$G_C = 16 \text{ [кг]}; t_C = 16 \text{ [}^\circ\text{C]}.$$

Рішення :

будуємо у діаграмі процес змішення повітря станів Н и Р (пряма НР).

Задачу розв'язуємо графічно:

$$HC = 48 \text{ [мм]}; HP = 108 \text{ [мм]};$$

$$G_H = G_C \cdot (CP / PH) = 16 \cdot (60 / 108) = 8,9 \text{ [кг]}.$$

Приклад7

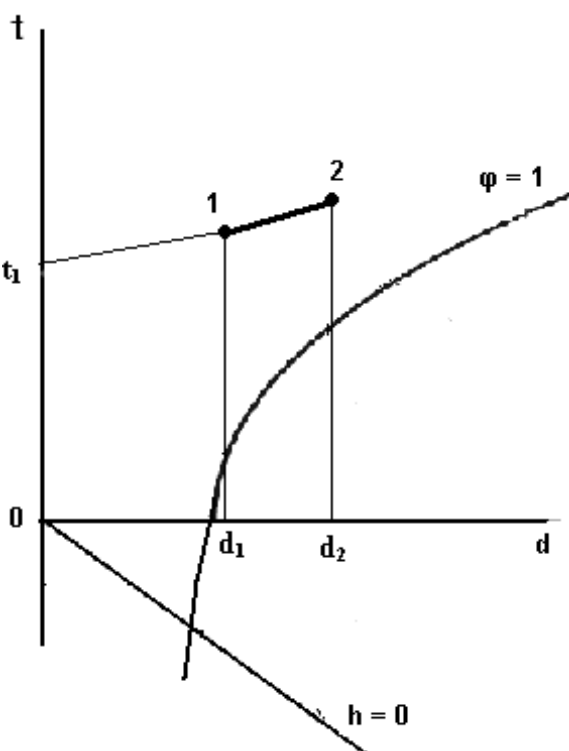
Вихідні дані:

$$t_1 = 10 \text{ [}^\circ\text{C]}; \varphi_1 = 50 \text{ \%};$$

$$n = 2; m = 3.$$

Рішення:

за діаграмою: $d_1 = 4 \text{ [г/кг]}$, $h_1 = 2 \text{ [кДж/кг]}$.



Визначаємо величину явної частини теплоємності для стану повітря в точці 1

$$[(C_{с.в} + C_{п} \cdot d) \cdot t]_1 = (1,006 + 1,86 \cdot 4 \cdot 10^{-3}) \cdot 10 = 10,13 \text{ [кДж/кг]};$$

$C_{с.в}$, $C_{п}$ – теплоємність сухого повітря та водяної пари відповідно;

величину схованої частини в точці 1

$$[r_o \cdot d]_1 = 2500 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 10 \text{ [кДж/кг]};$$

явну частину в точці 2

$$[(C_{с.в} + C_{п} \cdot d) \cdot t]_2 =$$

$$[(C_{с.в} + C_{п} \cdot d) \cdot t]_1 \cdot 2 =$$

$$10,13 \cdot 2 = 20,26 \text{ [кДж/кг]};$$

сховану частину в точці 2

$$[r_o \cdot d]_2 = [r_o \cdot d]_1 \cdot 3 = 10 \cdot 3 = 30 \text{ [кДж/кг]}.$$

Вологовміст в точці 2 визначаємо з останнього виразу

$$d_2 = 30 / 2500 = 12 \cdot 10^{-3} \text{ [кг/кг]}.$$

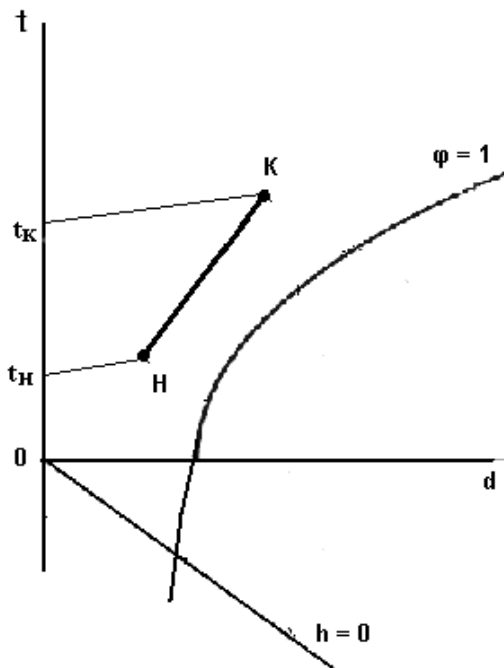
Тепломісткість (ентальпію) для точки 2 розраховуємо наступним чином:

$$h_2 = [(C_{с.в} + C_{п} \cdot d) \cdot t]_2 + [r_o \cdot d]_2 = 20,26 + 30 = 50,26 \text{ [кДж/кг]}.$$

За двома невідомими параметрами (h_2 і d_2) у діаграмі визначаємо всі інші параметри точки 2.

$$\epsilon_{пр} = (h_2 - h_1) / (d_2 - d_1) = (50,26 - 20,13) / (12 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-3}) = 3766 \text{ [кДж/кг]}.$$

Приклад 8



Вихідні дані:

$$t_H = 11 \text{ [}^\circ\text{C]}; \phi_H = 0,7;$$

$$\Delta t = 10 \text{ [}^\circ\text{C]}.$$

Рішення:

за діаграмою $\phi_H = \phi_K = 0,7$, $t_K = 21 \text{ [}^\circ\text{C]}$, $d_K = 11 \text{ [г/кг]}$, $d_H = 5,8 \text{ [г/кг]}$.

Знаходимо у діаграмі параметри початкового стану повітря (точка Н) та кінцевого (точка К). Схована частина тепломісткості визначається за формулою:

- для точки Н

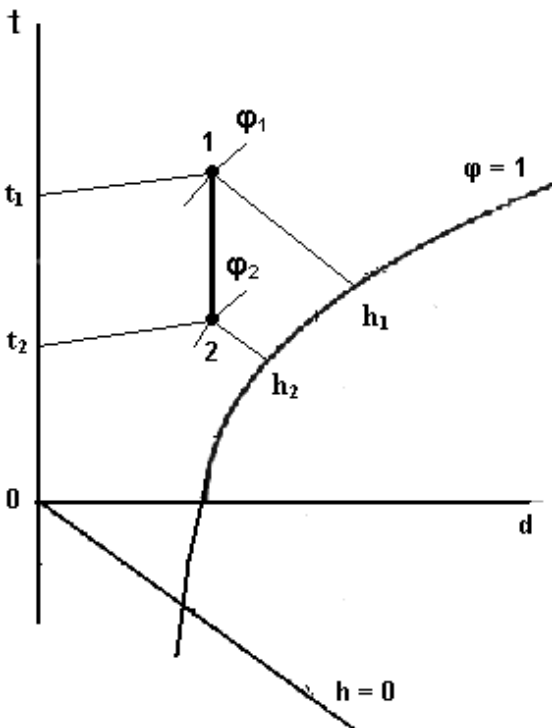
$$h_{сх} = r_o \cdot d_H = 2500 \cdot d_H$$

- для точки К

$$h_{сх} = r_o \cdot d_K = 2500 \cdot d_K$$

У разі збільшення температури повітря схована частина тепломісткості повітря збільшилась у n разів.

$$n = h_{схК} / h_{схН} = d_K / d_H = 11 / 5,8 = 1,9.$$



Приклад 9

Вихідні дані:

$$t_1 = 22 \text{ [}^\circ\text{C]}; \phi_1 = 60 \text{ \%};$$

$$t_2 = 17 \text{ [}^\circ\text{C]}; \phi_2 = 82 \text{ \%};$$

Рішення:

зображуємо процес 1-2 в діаграмі. При цьому виявилось, що процес протікає без зміни вологовмісту, іншим чином по лінії $d = \text{const}$.

За діаграмою: $d_1 = d_2 = 10$ [г/кг],

$h_1 = 47,4$ [кДж/кг],

$h_2 = 42,3$ [кДж/кг].

Вихначаємо ентальпію вологого повітря:

$$h = h_{\text{явн}} + h_{\text{сх}} = 1,006 \cdot t + 1,89 \cdot t \cdot d + 2500 \cdot d$$

$$h_{\text{явн1}} = 1,006 \cdot t_1 + 1,89 \cdot t_1 \cdot d_1 = 22 + 1,89 \cdot 22 \cdot 0,01 = 22,4 \text{ [кДж/кг]}$$

$$h_{\text{сх1}} = 2500 \cdot 0,01 = 25 \text{ [кДж/кг]}.$$

Якщо процес протікає по $d = \text{const}$, то схована частина тепломісткості не зміниться.

Тоді явна частина в точці 2 складе:

$$h_{\text{явн2}} = 17 + 1,89 \cdot 17 \cdot 0,01 = 17,3 \text{ [кДж/кг]}.$$

Таким чином, явна тепломісткість повітря зменшиться в n разів:

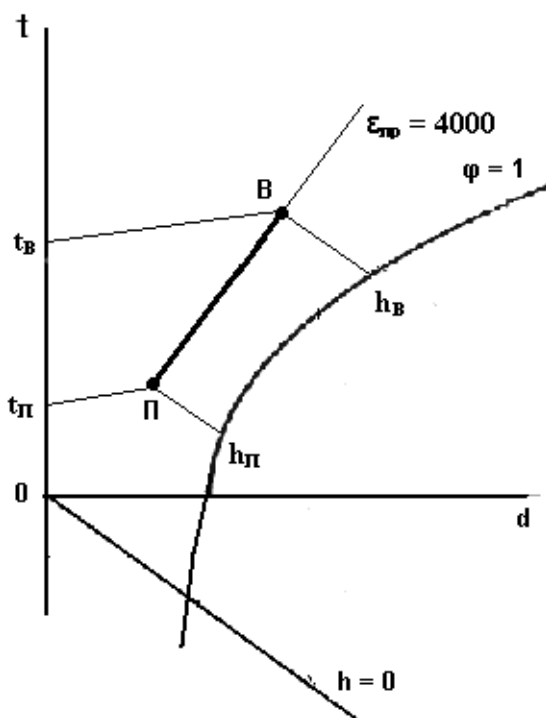
$$n = 22,4 / 17,3 = 1,3 \text{ рази}.$$

Розрахуємо тепловологістне відношення:

$$\epsilon_{\text{пр}} = (h_1 - h_2) / (d_1 - d_2), d = \text{const}$$

$$\epsilon_{\text{пр}} = \infty.$$

Приклад 10



Вихідні дані:

$$t_B = 22 \text{ [}^\circ\text{C]}; \phi_B = 0,6;$$

$$Q_{\text{п}} = 30 \text{ [кВт]}; W_{\text{п}} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ [кг/с]};$$

$$t_{\text{п}} = 15 \text{ [}^\circ\text{C]}.$$

Рішення:

визначаємо тепловологістну характеристику процесу у приміщенні:

$$\epsilon_{\text{пр}} = Q_{\text{п}} / W_{\text{п}} = 30 / 7,5 \cdot 10^{-3} = 4000 \text{ [кДж/кг]}.$$

$Q_{\text{п}}$ – теплове навантаження приміщення;

$W_{\text{п}}$ – вологі стне навантаження приміщення.

Будуємо у діаграмі промінь процесу і на ньому за температурою $t_{\text{п}} = 15$ [°C] визначаємо стан припливного повітря. За діаграмою: $h_B = 47$ [кДж/кг], $h_{\text{п}} = 28$ [кДж/кг].

Продуктивність СКП за повітрям визначаємо наступним чином:

$$G_B = Q_{\text{п}} / (h_B - h_{\text{п}}) = 30 / (47 - 28) = 1,58 \text{ [кг/с]}.$$

Приклад11

Вихідні дані:

$$t_B = 21 [^{\circ}\text{C}]; \varphi_B = 0,3;$$

$$Q_{\Pi} = 12 [\text{кВт}]; W_{\Pi} = 2 \cdot 10^{-3} [\text{кг/с}];$$

$$G_B = 3 [\text{кг/с}].$$

Рішення:

наносимо на діаграму точку В. Через точку В проводимо промінь процесу у приміщенні. Для цього визначаємо тепловологістну характеристику процесу:

$$\epsilon_{\text{пр}} = Q_{\Pi} / W_{\Pi} = 12 / 2 \cdot 10^{-3} = 6000 [\text{кДж/кг}].$$

На проміні процесу знаходимо стан припливного повітря за теплоємністю,

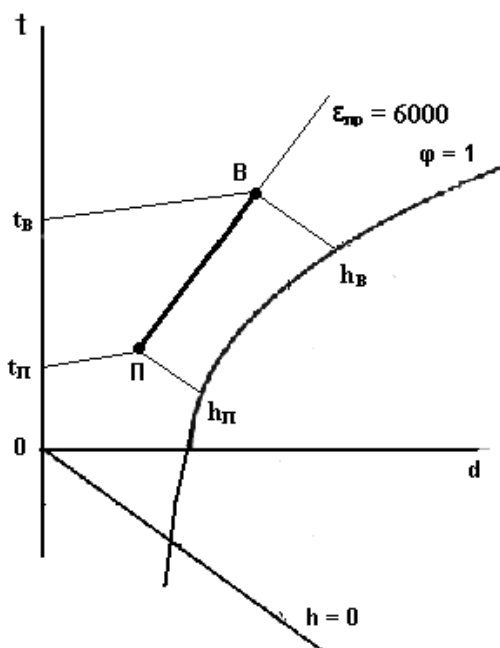
яка розраховується за формулою:

$$h_{\Pi} = h_B - (Q_{\Pi} / G_B) = 33 - (12 / 3) = 29 [\text{кДж/кг}].$$

За діаграмою: $t_{\Pi} = 19 [^{\circ}\text{C}]$,

$$d_{\Pi} = 4 [\text{г/кг}], \varphi_{\Pi} = 0,28,$$

$$h_B = 33 [\text{кДж/кг}].$$



Приклад12

Вихідні дані:

$$t_B = 23 [^{\circ}\text{C}]; \varphi_B = 0,5;$$

$$t_{\Pi} = 17 [^{\circ}\text{C}]; \varphi_{\Pi} = 0,5;$$

$$Q_{\text{общ}} = 25 [\text{кВт}].$$

Рішення:

будуємо в діаграмі процес у приміщенні ПВ.

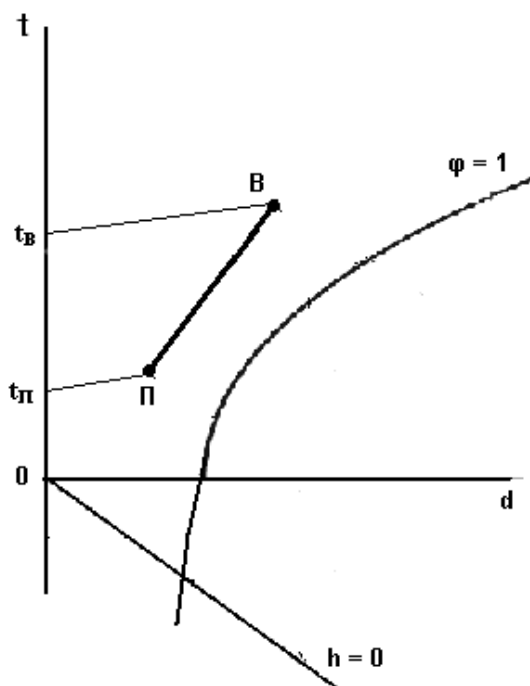
$$Q / W = (h_B - h_{\Pi}) / (d_B - d_{\Pi}).$$

Із цієї залежності визначаємо величину вологісного навантаження:

$$W = Q \cdot (d_B - d_{\Pi}) / (h_B - h_{\Pi}).$$

За діаграмою: $d_B = 8,9 [\text{г/кг}]$,

$$d_{\Pi} = 6,1 [\text{г/кг}], h_B = 45,5 [\text{кДж/кг}],$$



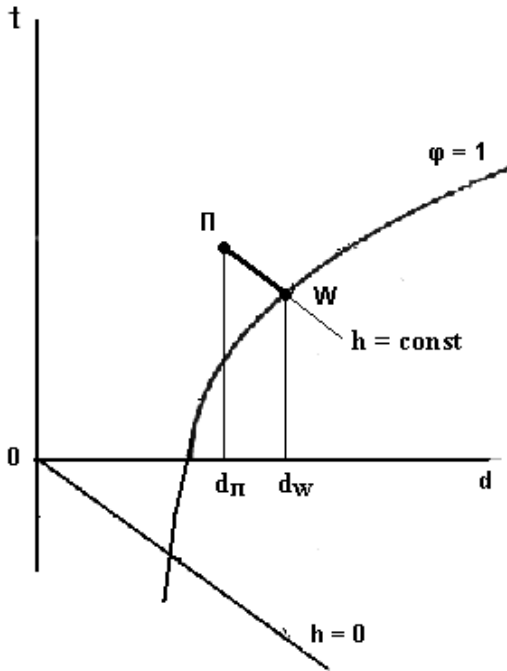
$$h_{\Pi} = 32,5 \text{ [кДж/кг]}.$$

$$W = 25 \cdot (8,9 - 6,1) \cdot 10^{-3} / (45,5 - 32,5) = 5,4 \cdot 10^{-3} \text{ [кг/с]}.$$

Продуктивність СКП за повітрям:

$$G_B = Q_{\Pi} / (h_B - h_{\Pi}) = 25 / (45,5 - 32,5) = 1,9 \text{ [кг/с]}.$$

Приклад13



Вихідні дані:

$$t_{\Pi} = 25 \text{ [}^{\circ}\text{C]}; \varphi_{\Pi} = 0,5;$$

$$\alpha = 10 \text{ [Вт/м}^2\text{К]}; d = 4 \text{ [мм]}.$$

Рішення:

процес у поверхні кульки мокрого термометру протікає без зміни ентальпії ($h = \text{const}$). Будуємо процес у діаграмі. Кількість вологи, що випарувалося з поверхні кульки мокрого термометру визначається за формулою Меркеля:

$$W = \sigma \cdot F \cdot (d_w'' - d_{\Pi}) \cdot \tau.$$

σ – коефіцієнт масопереносу;

F – площа поверхні кульки;

d_w'' , d_{Π} – вологовміст повітря біля поверхні ку-

льки і у приміщенні відповідно.

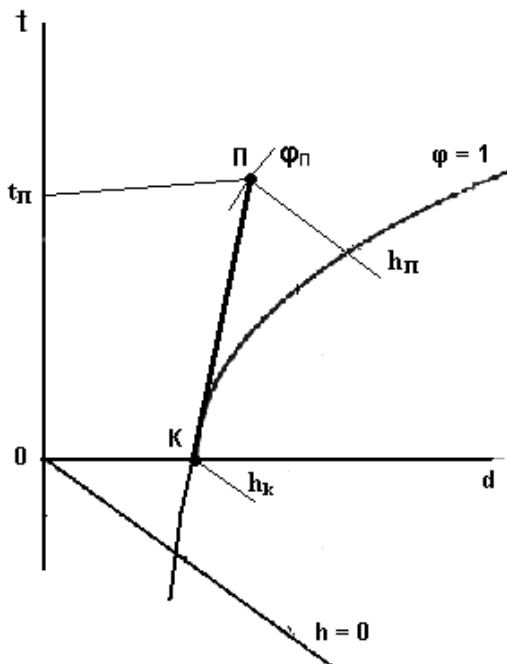
За діаграмою: $d_{\Pi} = 10 \text{ [г/кг]}$, $d_w = 12,8 \text{ [г/кг]}$.

$\tau = 1 \text{ місяць} = 30 \cdot 24 \cdot 3600 = 2592000 \text{ [сек]}$ – час протікання процесу.

Із співвідношення Льюїса:

$$\sigma = \alpha_k / C_p = 10 \cdot 10^{-3} / 1,024 = 9,76 \cdot 10^{-3} \text{ [кг/м}^2\text{с]};$$

$$C_p = C_{ps} + C_{p\pi} \cdot d = 1,006 + 1,89 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 1,024 \text{ [кДж/кгК]};$$



поверхня кульки:

$$F = \pi d^2 = 3,14 \cdot (0,004)^2 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ [м}^2\text{]};$$

$$W = 9,76 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-5} \cdot (12,8 - 10) \cdot 10^{-3} \cdot 2592000 = 3,54 \cdot 10^{-3} \text{ [кг]}.$$

Приклад14

Вихідні дані:

$$t_{\Pi} = 20 \text{ [}^{\circ}\text{C]}; \varphi_{\Pi} = 0,6;$$

$$F = 4 \text{ [м}^2\text{]}; \alpha_k = 6 \text{ [Вт/м}^2\text{К]}; \tau = 10 \text{ [г]}.$$

Рішення:

за діаграмою: $h_K = 9,3 \text{ [кДж/кг]}$, $h_{\Pi} = 42 \text{ [кДж/кг]}$.

Для визначення скільки льоду стане, розраховуємо кількість тепла, яке було підведено до нього протягом T часів:

$$Q = \sigma \cdot F \cdot (h_{\Pi} - h_{\text{к}}) \cdot T;$$

із співвідношення Льюїса

$$\sigma = \alpha_{\text{к}} / C_p = 6 \cdot 10^{-3} / 1,02 =$$

$$5,87 \cdot 10^{-3} \text{ [кг/м}^2\text{с];}$$

$$C_p = C_{\text{рс}} + C_{\text{рп}} \cdot d =$$

$$1,006 + 1,89 \cdot 8,9 \cdot 10^{-3} = 1,02 \text{ [кДж/кгК];}$$

$$Q = 5,87 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot (42 - 9,3) \cdot 10 \cdot 3600 = 27650 \text{ [кДж].}$$

Кількість сталого льоду визначається за формулою:

$$G_{\text{л}} = Q / \lambda = 27650 / 332 = 83,3 \text{ [кг].}$$

$\lambda = 332 \text{ [кДж/кг]}$ – сховане тепло сталого льоду.

Приклад15

Вихідні дані:

$$t_{\text{в}} = 21 \text{ [}^{\circ}\text{C]; } \varphi_{\text{в}} = 0,5;$$

$$\alpha = 10 \text{ [Вт/м}^2\text{К]; } T = 1 \text{ [г],}$$

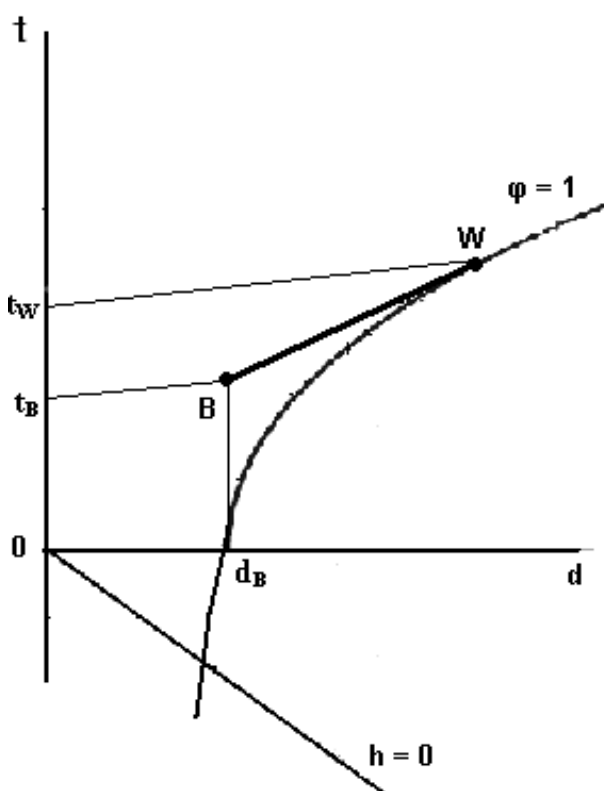
$$F = 2 \text{ [м}^2\text{].}$$

Рішення:

будуємо процес у діаграмі. Кількість вологи, що випарувалося з поверхні акваріума визначається за формулою Меркеля:

$$W = \sigma \cdot F \cdot (d_{\text{в}}'' - d_{\Pi}) \cdot T.$$

σ – коефіцієнт масопереносу;



F – площа поверхні кульки;

$d_{\text{в}}''$, $d_{\text{в}}$ – вологовміст повітря біля поверхні води і у приміщенні.

За діаграмою: $d_{\text{в}} = 7,8 \text{ [г/кг]}$,

$d_{\text{в}}'' = 19 \text{ [г/кг]}$.

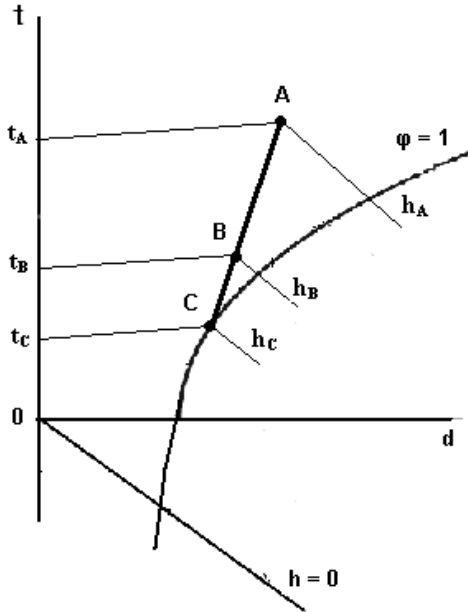
$T = 1 \text{ година} = 1 \cdot 3600 = 3600 \text{ [сек]}$ – час протікання процесу.

Із співвідношення Льюїса:

$$\sigma = \alpha_k / C_p = 10 \cdot 10^{-3} / 1,031 = 9,7 \cdot 10^{-3} \text{ [кг/м}^2\text{с];}$$

$$C_p = C_{ps} + C_{pl} \cdot d = 1,006 + 1,89 \cdot 13,4 \cdot 10^{-3} = 1,031 \text{ [кДж/кгК];}$$

$$W = 9,7 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot (19 - 7,8) \cdot 10^{-3} \cdot 3600 = 0,782 \text{ [кг].}$$



Приклад16

Вихідні дані:

$$t_A = 25 \text{ [}^\circ\text{C]; } \varphi_A = 0,6;$$

$$t_w = 8 \text{ [}^\circ\text{C]; } \mu = 1,5 \text{ [кг/кг]; } G_B = 15 \text{ [кг/с].}$$

Рішення:

будуємо процес обробки повітря у діаграмі.

Приймаємо $\varphi_B = 0,9$.

За діаграмою: $d_B = 8 \text{ [г/кг]},$

$$h_B = 32 \text{ [кДж/кг],}$$

$$h_A = 55 \text{ [кДж/кг], } t_B = 12 \text{ [}^\circ\text{C].}$$

Визначаємо ефективність процесу:

$$E = AB / AC = (t_A - t_B) / (t_A - t_w) = (25 - 12) / (25 - 8) = 0,765$$

AB – действительные процесс,

AC – теоретический процесс.

Підігрів води визначається із рівняння теплового балансу зрошувальної камери:

$$\Delta t_w = (h_A - h_B) / \mu \cdot C_w =$$

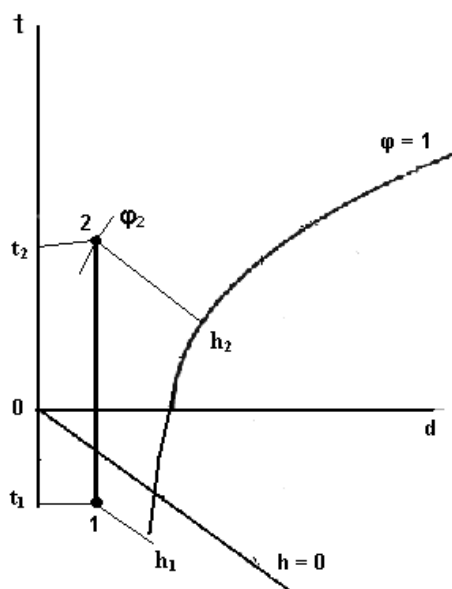
$$(55 - 32) / 1,5 \cdot 4,187 =$$

$$3,7 \text{ [}^\circ\text{C].}$$

Холодопродуктивність ОК:

$$Q_O = G_B \cdot (h_A - h_B) =$$

$$15 \cdot (55 - 32) = 345 \text{ [кВт].}$$



Приклад17

Вихідні дані:

$$t_1 = -10 \text{ [}^\circ\text{C]; } h_1 = -6 \text{ [кДж/кг];}$$

$$m_1 = 5 \text{ [кг/с]}; t_2 = 20 \text{ [}^\circ\text{C]}.$$

Рішення:

будуємо у діаграмі процес нагрівання. Він протікає по лінії $d = \text{const}$. Знаходимо на діаграмі точку 1 та на промені процесу $\epsilon_{\text{пр}} = +\infty$ визначаємо кінцевий стан повітря за температурою t_2 . Визначаємо кінцеву відносну вологість повітря ϕ_2 .

$$\phi_2 \approx 11 \text{ \%}.$$

Теплове навантаження на повітрянагрівач визначаємо наступним чином:

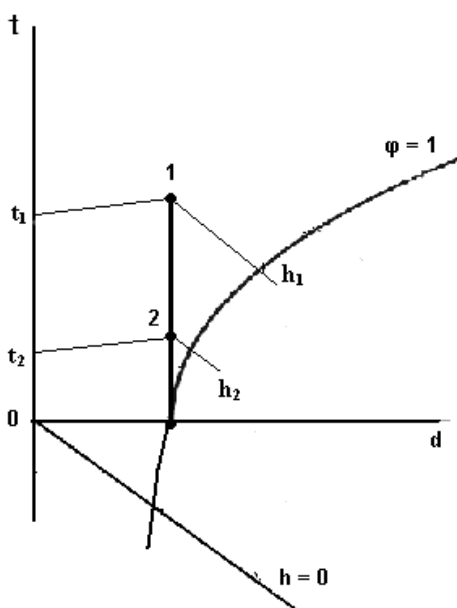
$$Q = m_1 \cdot (h_2 - h_1) = 5 \cdot (24 + 6) = 150 \text{ [кВт]}$$

або

$$Q = m_1 \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1) = 5 \cdot 1 \cdot (20 + 10) = 150 \text{ [кВт]}.$$

$$c_p \approx 1 \text{ [кДж/кгК]}.$$

Приклад18



Вихідні дані:

$$t_1 = 30 \text{ [}^\circ\text{C]}; \phi_1 = 0,3;$$

$$t_2 = 5 \text{ [}^\circ\text{C]}; Q_0 = 35 \text{ [кВт]}.$$

Рішення:

за діаграмою: $h_1 = 50 \text{ [кДж/кг]}$, $h_2 = 16 \text{ [кДж/кг]}$.

Масова витрата повітря:

$$m = Q_0 / (h_1 - h_2) = 35 / (50 - 16) = 1,029 \text{ [кг/с]}.$$

Кількість вологи, що випала:

$$\Delta d = d_1 - d_2 = 8 \cdot 10^{-3} - 4,4 \cdot 10^{-3} = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ [кг/кг]}.$$

Приклад19

Вихідні дані:

$$t_1 = 10 \text{ [}^\circ\text{C]}; \phi_1 = 0,9;$$

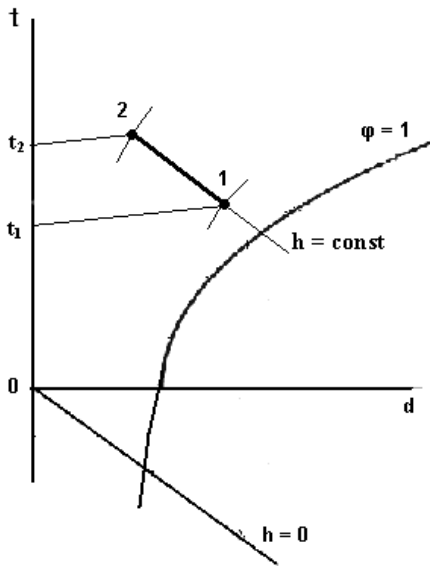
$$\phi_1 = 0,1.$$

Рішення:

процес осушення повітря твердим поглиначем вологи протікає без зміни ентальпії ($h = \text{const}$). Будуємо процес у діаграмі та визначаємо кінцевий стан повітря.

За діаграмою: $t_2 = 23 \text{ [}^\circ\text{C]}$,

$$d_2 = 1,8 \text{ [г/кг]}, d_1 = 7 \text{ [г/кг]}.$$



Кількість вологи, що випала із 1 кг повітря:
 $\Delta d = d_1 - d_2 = 7 - 1,8 = 5,2$ [г/кг].

$t_{\text{роз}} = 5$ [°C]; $K = 27,9$ %;

Рішення:

зображаємо у діаграмі трия із розсоллом. Для цього сичення понад розсоллом с кривій точку С – стан по-
 $t_{\text{роз}} = 5$ [°C].

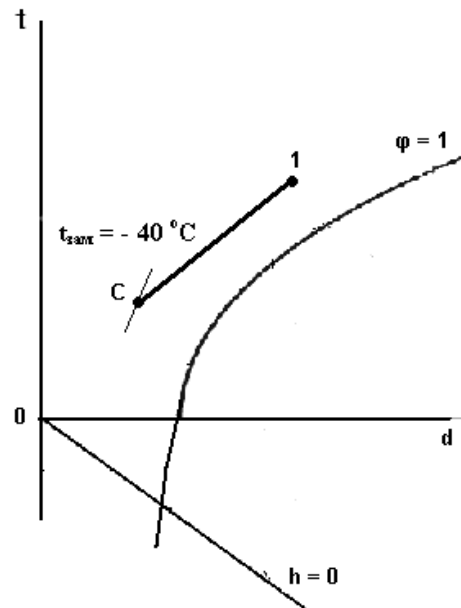
1С – теоретичний процес
 За діаграмою: $d_1 = 9,7$
 $d_C = 3,7$ [г/кг],

$\phi_C = 0,67$ – гранично можлива відносна вологість повітря.

Кількість вологи, що випадає із повітря:

$\Delta d = d_1 - d_C = 9,7 - 3,7 = 6$ [г/кг].

Приклад20



Вихідні дані:

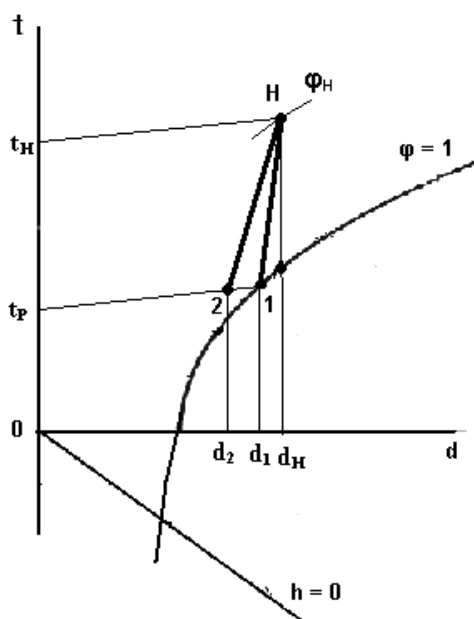
$t_1 = 15$ [°C]; $\phi_1 = 0,9$;

процес взаємодії пові-
 знаходимо кривую на-
 $t_{\text{зам}} = -40$ [°C] і на цій
 вітря понад розсоллом с

осушення повітря.

[г/кг],

Приклад21



Вихідні дані:

$t_H = 20$ [°C]; $\phi_H = 0,6$;

$t_{\text{кр}} = -40$ [°C]; $t_{\text{роз}} = 6$ [°C].

Рішення:

на діаграмі визначаємо положення точки Н.

Процес Н1 – осушення у
 повітроохолоджувачі (положення точки 1 визнача-
 ється лініями

$\phi = 1$ и $t_{\text{роб.п}} = 6$ [°C]).

Процес Н2 – осушення у повітроохолоджувачі за
 використанням розсолу (точка 2 визначається

лініями

$$t_{\text{кр}} = -40 \text{ [}^{\circ}\text{C]} \text{ и } t_{\text{роз}} = 6 \text{ [}^{\circ}\text{C]}).$$

Визначаємо здатність до осушення у першому випадку:

$$\Delta d_1 = d_{\text{H}} - d_1 = 8,8 - 6 = 2,8 \text{ [г/кг]}.$$

У другому випадку:

$$\Delta d_2 = d_{\text{H}} - d_2 = 8,8 - 3,9 = 4,9 \text{ [г/кг]}.$$

$\Delta d_1 / \Delta d_2 = 4,9 / 2,8 = 1,75$ разів збільшиться за умови використання розсолу.

Список літератури

1. Жихарєва Н.В. Оптимізація обладнання систем кондиціонування повітря. Навчальний посібник О: ОНАПТ, 2016.-178 с.
2. Аверкин А.Г. Примеры и задачи по курсу кондиционирование воздуха и холодоснабжение.- М.: Издательство ассоциации строительных вузов. 2003.-125
3. Ананьев В.А., Балуева Л.Н., Гальперин А.Д. и др. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. – М.: Евроклимат, изд. Арина, 2000 – 416 с.
4. Баркалов Б.В., Карпис Е.Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. 2-е изд.(Основы проектирования и расчета) - М.: Стройиздат, 1982. - 311 с.
5. Белова Е.М. Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фэн-койлами.– М.: Евроклимат, 2003 – 400 с.
6. Богословский В.Н., Кокорин О.Я., Петров Л.В. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение. - М.: Стройиздат, 1985 - 367 с.
7. Богданов С.Н. Свойства веществ: Справочник. – СПб.: СПбГУНПТ, 1999 – 320 с.
8. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1. Под редакцией Павлова Н.Н. и Шиллера Ю.И. 4-е переработанное издание - . М.: Стройиздат , 1999. – 319 с.
9. Липа А.И. Кондиционирование воздуха. Основы теории. Современные технологии обработки воздуха. – Одесса, 2010. – 607 с.
10. Пекер Я.Д., Мардер Е.Я. Справочник по выбору оборудования для кондиционирования воздуха.- К.: Будівельник , 1990.- 224 с.
11. Сборник задач по расчету систем кондиционирования воздуха микроклимата зданий. / Под редакцией к.т.н., доц. Э.В. Сазонова. – Воронеж: Из-во ВГУ, 1988 – 296 с.