

Практичні заняття 2–3

ТЕМА ЗАНЯТЬ: Розрахунок оборотної системи газоочищення доменного цеху

Мета занять: розвинути професійні вміння складання балансової схеми оборотного водопостачання та аналізу і якісних та кількісних показників; з'ясувати технологічний взаємозв'язок її елементів шляхом визначення конструкційних параметрів очисних споруд.

Завдання. Скласти балансову схему оборотного циклу очищення стічних вод від газоочищення доменного виробництва та виконати розрахунок її елементів. Вихідні дані приведені в таблиці А.1 додатку А.

Методичні рекомендації

Розрахункова витрата оборотної води в системі водопостачання кожного виробництва визначається за формулою:

$$Q_p = \frac{n_v \cdot N \cdot K_{год}}{T}, \quad (1)$$

де n_v – норма водоспоживання (кількість води на одиницю продукції), $\text{м}^3/\text{т}$;

$K_{год}$ – коефіцієнт годинної нерівномірності

T – кількість годин роботи виробництва за рік, год

Втрати води в оборотному циклі:

$$P_{вин} = P_1 + P_2 + P_3. \quad (2)$$

де P_1, P_2 – безповоротні втрати оборотної води при охолодженні на випаровування і винос вітром, %;

P_3 – величина продувки, %.

Втрати води в охолоджувачі залежать від типу охолоджувача, кліматичних умов, температур води на вході й виході з цеху і категорії водоспоживача.

Втрати води на випаровування в градирнях, % :

$$P_{вин} = 1,6 \cdot x \cdot \Delta t, \quad (3)$$

де x – частка теплоти, що віддається охолоджувальною водою, шляхом її випаровування в градирні (влітку 1,0, взимку – 0,5, весною і восени – 0,75);

Δt – зниження температури в градирні.

Втрати води з краплинним винесенням вітром залежать від типу охолоджувача. Для вентиляторних градирень ці втрати складають 0,2÷0,5 % від витрати оборотної води, для баштових градирень – 0,5÷1%.

Позначимо кількість води, що знаходиться в обороті $Q_{об}$, $\text{м}^3/\text{год}$, тоді

$$q_{\partial} = \frac{P_{\partial} \cdot Q_{об}}{100}; q_1 = \frac{P_1 \cdot Q_{об}}{100}; q_{np} = \frac{P_3 \cdot Q_{об}}{100} \quad (4)$$

Горизонтальні відстійники

Площа зони осадження, м^2 , приймається залежно від питомого гідравлічного навантаження:

$$F = \frac{Q}{q} \quad (5)$$

Довжина відстійника

$$L = V_{cp} \cdot t, \quad (6)$$

де V_{cp} – середня швидкість руху води, приймається 5-10 мм/с;

t – час перебування води у відстійнику:

$$t = \frac{H}{u_0} \quad (7)$$

де H – глибина поточної частини, 1,5-4 м;

u_0 – гідравлічна крупність зважених речовин, мм/с.

Ширина відстійника:

$$B = \frac{Q}{V_{cp} \cdot H} \quad (8)$$

Ширина однієї секції приймається в межах 3÷6 м, в окремих випадках 9 м в залежності від способу видалення осаду.

Радіальні відстійники

Найбільшого розповсюдження при очищенні стічних вод металургійних виробництв набули відстійники діаметром 30 м з камерою флокуляції конструкції НВО «Енергосталь»[1,2]. Камера флокуляції має діаметр 10 м і розташована в центрі відстійника. Наявність камери флокуляції дозволяє збільшити гідравлічне навантаження в порівнянні зі звичайними відстійниками.

Площа зони осадження радіальних відстійників, м^2 :

$$F = \frac{Q}{q_{num}} \quad (9)$$

Площа осадження одного відстійника:

$$F_1 = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \quad (10)$$

де D , d – діаметр відстійника та флокулятора відповідно, м.

Число відстійників

$$n = \frac{F}{f_1}. \quad (11)$$

Відкриті гідроциклони та флокулятори

Відкриті гідроциклони доцільно застосовувати для очищення порівняно невеликої кількості стічних вод, що мають високу концентрацію суспензії та здатність до флокуляції.

Питоме гідравлічне навантаження для відкритих гідроциклонів визначається за формулою, м³/м² год:

$$q = 3.6 \cdot u_0 . \quad (12)$$

Апарат працює без коагуляції та флокуляції за допомогою реагентів. Площа одного гідро циклона:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (13)$$

Продуктивність одного апарату, м³/год:

$$Q_1 = q \cdot F . \quad (14)$$

Кількість споруд

$$n = \frac{Q}{Q_1} . \quad (15)$$

Порядок розрахунку флокуляторів наступний:

- 1) визначається витрата води на один апарат

$$Q_1 = q_{nut} \cdot S_{\phi} , \quad (16)$$

де q_{nut} – питоме гідравлічне навантаження на один апарат, м³/м² год;

S_{ϕ} – площа флокулятора, приймається $S_{\phi} = 113 \text{ м}^2$.

- 2) визначається кількість апаратів;

Об'єм камери флокуляції:

$$W_{\kappa} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\phi}^2 - D_{\kappa}^2) \cdot H , \quad (17)$$

де D_{ϕ} – діаметр флокулятора, $D_{\phi} = 12 \text{ м}$;

D_{κ} – діаметр камери, $D_{\kappa} = 10,6 \text{ м}$;

H – висота флокулятора, $H = 10 \text{ м}$.

- 3) Об'єм зони відстоювання:

$$W_{відст} = \frac{\pi \cdot D_k^2}{4} \cdot H. \quad (18)$$

Розрахунок охолоджувачів

Площа зрошування вентиляторних градирень зі зрошувачем бризкального типу або краплинними зрошувачами визначається за формулою:

$$F_{зр} = \frac{Q \cdot (t_1 - t_2) \cdot \sqrt{t_1 - t_2} \cdot 10^3}{K \cdot (V_g \cdot \rho)^{0.625} \cdot (t_1 - \tau)^{1.95}}, \quad (19)$$

де Q – витрата охолоджуваної води, м³/год;

$t_1 - t_2$ – температура відповідно охолоджуваної і охолодженої води, °C;

K – коефіцієнт, який залежить від типу зрошувача, температури повітря за вологим термометром, ширини зони охолодження і тиску води перед соплами, визначається за таблицею А.2 (додаток А);

V_g – швидкість руху повітря через зрошувач, м/с;

ρ – щільність зовнішнього повітря залежно від температури за сухим термометром і його відносною вологістю, кг/м³;

τ – температура повітря за вологим термометром, приймається за таблицею А.5 (додаток А).

Приклад розв'язання завдання

Вихідні дані:

1	Річна продуктивність	0,8*10 ⁶ м ³ доменного газу
2	Норма споживання	8 м ³ /1000 м ³ газу
3	Кількість годин роботи за рік	8760
4	Вологовміст доменного газу при $t = 55^\circ\text{C}$	120 г/м ³
5	Втрати води у відстійниках	0,5%
6	Температура води перед градирнею	55 °C
7	Температура води після градирні	35 °C
8	Втрата води на градирні (з бризками)	0,25%
9	Втрати води на градирне випаровування	3%
10	Коефіцієнт випаровування оборотної води $K_{вип}$	2,4

11	Продуктивність скрубера по газу	100000 м ³ /год
12	Діаметр радіального відстійника	24 м
13	Час перебування в приймальній камері	5 хвилин

Розрахункова втрата оборотної води в системі водопостачання визначається за формулою (26).

Годинна продуктивність по газу :

$$Q_p = \frac{0,8 \cdot 10^6 \cdot 4000}{8760} = 365297 \text{ , м}^3/\text{год.}$$

Годинна витрата оборотної води

$$Q_p = \frac{365297 \cdot 8 \cdot 1,05}{10000} = 3068,5 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Втрати води з охолодженням газом

$$Q = 365297 \cdot 0,12 = 43835 \text{ кг/год} = 43,8 \text{ м}^3/\text{год.}$$

У приймальну камеру і на радіальні відстійники надходить витрата води:

$$Q = 3068,5 - 43,8 = 3024,7 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Втрати води на очисних спорудах приймаються 0,5 % від розрахункової витрати оборотної води. Таким чином, втрати зі шламом складуть:

$$Q = \frac{3024,7 \cdot 0,5}{100} = 15 \text{ м}^3/\text{год.}$$

На градирню надходить вода з витратою:

$$Q = 3024,7 - 15 = 3009,7 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Далі вибирається тип охолоджувача. Для споживачів в Луганській області розрахункова температура повітря за вологим термометром $\tau = 18,8^\circ\text{C}$ за таблицею А.5 (додаток А). Необхідна різниця температури охолодженої води t_2 і $\tau = 18,8^\circ\text{C}$ складе $t_2 - \tau = 35 - 18,8 = 16,2^\circ\text{C}$. Таку різницю температур можуть забезпечити тільки вентиляторні градирні (таблиця додатка А.3). При температурі повітря за сухим термометром $30,1^\circ\text{C}$ (таблиця додатка А.2) коефіцієнт випаровування $K_{\text{вип}}$ дорівнює 0,0015.

Втрати води на випаровування на градирні:

$$Q_{\text{вип}} = 3024,7 \cdot (55 - 35) \cdot 0,0015 = 90,7 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Для вентиляторної градирні з водовловлювачем втрати води на віднесення вітром приймаються P_2 0,2 %. Тоді втрати на градирні через краплинне віднесення вітром:

$$Q_{кр.вин.} = \frac{3024,7 \cdot 0,2}{100} = 6 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Кількість продувки визначається, виходячи із заданого коефіцієнта випаровування:

$$K_{вин} = \frac{Q_{вин} + Q_{кр.вин.} + Q_{прод} + Q_{інше}}{Q_{кр.вин.} + Q_{прод} + Q_{інше}}, \quad (45)$$

де $Q_{вин}, Q_{кр.вин.}, Q_{прод}, Q_{інше}$ – втрати відповідно на випаровування, через краплинне віднесення вітром, з продувкою та інші втрати води зі шламом на очисних спорудах та з інших причин, $\text{м}^3/\text{год.}$

Необхідна кількість продувки

$$Q_{прод} = \frac{Q_{вин} + (Q_{кр.вин.} + Q_{інше}) \cdot (1 - K_{вин})}{K_{вин} - 1}, \quad (46)$$

$$Q_{прод} = \frac{(90,7 + 43,8) + (6 + 15) \cdot (1 - 2,4)}{2,4 - 1} = 75 \text{ м}^3/\text{год.}$$

При розрахунку треба враховувати втрати води зі шламом. Сумарні втрати води при охолодженні

$$Q_{прод} = 90,7 + 43,8 + 15 + 6 + 75 = 230,5 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Отже, треба додати свіжої води 230,5 $\text{м}^3/\text{год.}$ За результатами розрахунку складається балансова схема (рис. 1).

Кількість скрубєрів

$$N_{скр} = \frac{365296,8}{100000} = 3,6 \text{ шт.}$$

Приймаємо 4 скрубєри.

Площа осадження радіальних відстійників

$$F = \frac{Q}{q_{нит}} = \frac{30024,7}{3,2} = 945,2 \text{ м}^2/\text{год.}$$

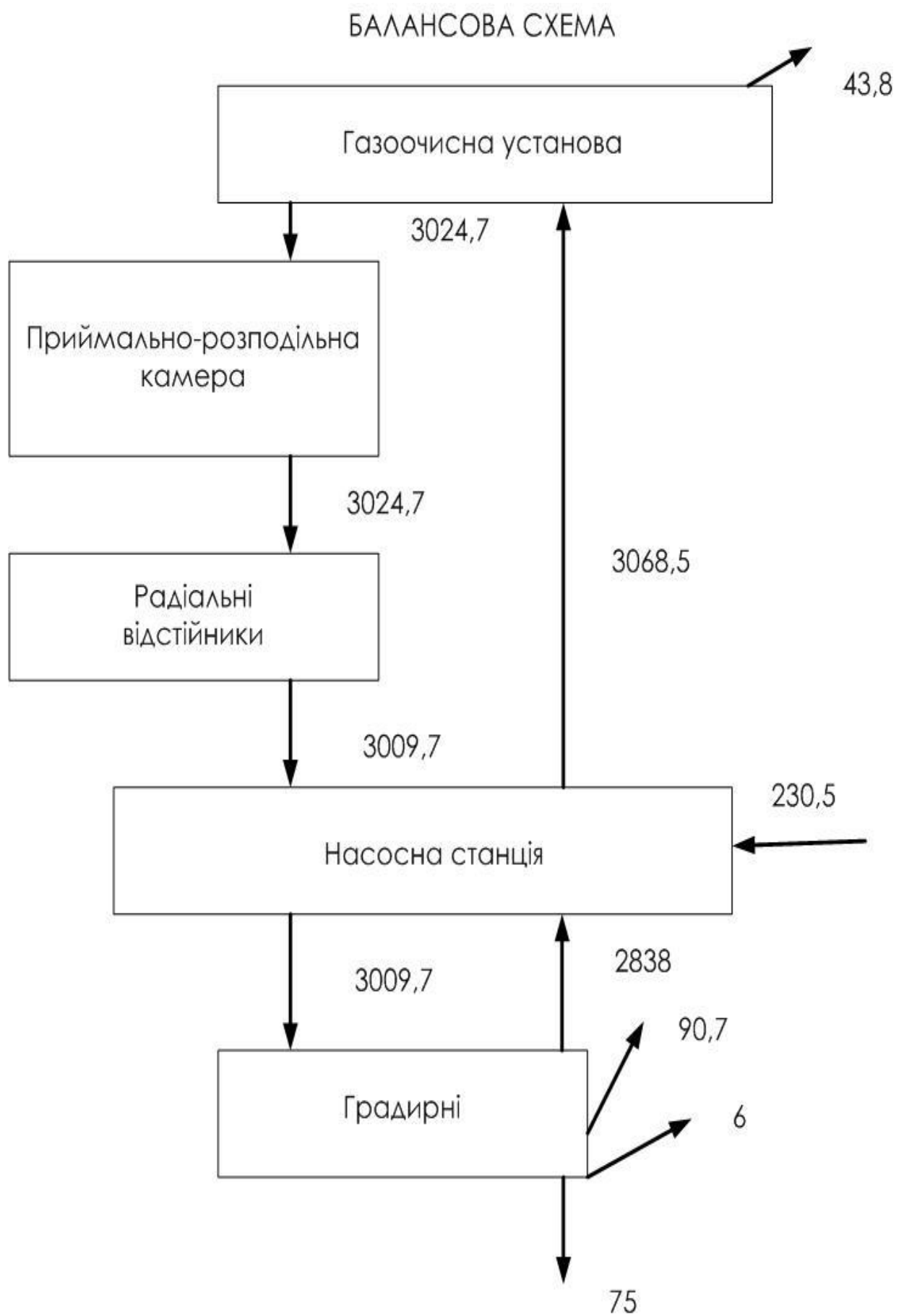


Рисунок 1. Балансова схема

Приймається типовий радіальний відстійник діаметром $D=24$ м. Площа зони осадження одного відстійника

$$F_1 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 24^2}{4} = 452 \text{ м}^2.$$

Кількість відстійників

$$N = \frac{945.2}{452} = 2 \text{ шт.}$$

Об'єм приймально-розподільної камери

$$V = \frac{3024.7 \cdot 5}{60} = 252 \text{ м}^3.$$

При типовій глибині 5 м площа дзеркала води

$$f = \frac{252}{5} = 50.4 \text{ м}^2.$$

Геометричні розміри камери приймаються довільно: наприклад, $\frac{50.4 \text{ м}^2}{4} = 12.6 \text{ м}^2$, тобто двосекційна камера з розміром секції у плані 2×3 м.

Площа вентиляторних градирень зі зрошувачем бризкального типу

$$F_{zp} = \frac{3009.7 \cdot 20 \cdot \sqrt{20} \cdot 10^3}{327 \cdot (2 \cdot 1.17)^{0.625} \cdot (55 - 18.8)^{1.95}} = 442 \text{ м}^2.$$

Кількість градирень визначається за необхідною площею зрошування F_{zp} та площею зрошування однієї типової градирні (секції F_1):

$$N = \frac{F_{zp}}{F_1} = \frac{442}{144} = 3 \text{ шт.}$$

Таким чином, втрати оборотної води $230,5 \text{ м}^3/\text{год}$, що відповідає кількості свіжої води для підживлення, кількість радіальних відстійників $D=24$ м – 2 шт., вентиляторних градирень – 3 секції.

Питання до самоконтролю

1. В чому полягає особливість очищення води, що не підлягає термічному впливу?
2. В чому полягає особливість очищення води, що підлягає термічному впливу?
3. Від яких факторів залежить норма водовідведення для виробництва однакової продукції?
4. В чому полягає особливість очищення стічної води з газоочищення доменних печей?

5. Як утворюються продувочні води?.
6. Які види стічних вод утворюються у доменному виробництві?
7. Як здійснюється очищення газів доменних печей?
8. Як складається балансова схема?

Література

1. Айрапетян Т. С. Зворотні і безстічні системи водопостачання промислових підприємств : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 150 с.
URL : <https://core.ac.uk/download/pdf/132273063.pdf>
2. Водопостачання та водовідведення промислових підприємств : навч. посіб. з дисциплін "Водопостачання пром. підприємств", "Системи водовідведення пром. підприємств" для студентів ЗДІА спец. 192 "Буд-во та цив. інженерія" /Д. В. Прутцьков, В. І. Сокольник, О. Г. Добровольська [та ін.] / ЗДІА. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 194 с. URL:
<http://ebooks.znu.edu.ua/files/ZII/metodychky/2018/f359207.pdf>.
3. ДБН В.2.5-74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2013. 172 с. URL:
<http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi72/0052303.pdf>.

Додаток А

Таблиця А.1 – Вихідні дані для виконання розрахункової частини

Вихідні дані	Номери варіантів				
	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25
Продуктивність цеха за рік, т	$1,4 \cdot 10^6$	$1,0 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^6$	$0,9 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^6$
Норма водоспоживання, м^3 на 1000 м^3 газу	10	8	5,7	6	10,3
Кількість годин роботи за рік,	8760	8472	8472	8472	8760
Коефіцієнт годинної нерівномірності	1,05	1,0	1,05	1,0	1,05
Влаговміст доменного газу при $t=55^\circ\text{C}$, $\text{г}/\text{м}^3$	120	120	120	120	120
Втрати води в процесі очистки,	0,5	0,5	0,5	0,5	0
Втрати води з бризговиносом на градирні, %	0,2	0,25	0,2	0,2	0,25
Температура нагрітої води,	42	45	50	48	4
Температура охолодженої води,	30	30	35	34	3
Коефіцієнт випаровування $K_{\text{вип}}$	2,2	3,0	1,4	2,0	2
Виробничість скрубера по газу, $\text{м}^3/\text{год.}$	120 тис.	90 тис.	150 тис.	80 тис.	66 тис.
Апарат для очистки стічних вод	Флоку- лятор $d = 12$	радіа- льний відстій- ник $d = 24$	радіа- льний відстій- ник $d = 30$	радіа- льний відстій- ник $d = 24$	Фло- ку- ля- тор $d = 12$

Таблиця А.2 – Коефіцієнти $K_{\text{вип}}$ для градирень

Температура повітря за сухим термометром, $^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40
$K_{\text{вип}}$	0,001	0,0012	0,0014	0,0015	0,0016

Таблиця А.3 – Рекомендовані області застосування охолоджувачів

Охолоджувач	Область застосування охолоджувача води		
	Питоме теплове навантаження	Перепад температур води	Різниця температури охолодженої води та температури
Вентиляторні градирні	80-100 и вище	3-20	4-5
Баштові градирні	60-100	5-15	8-10
Бризкальні басейни	5-20	5-10	10-12
Водосховища-охолоджувачі	0,2-0,4	5-10	6-8
Радіаторні (сухі) градирні	-	5-10	25-30
Відкриті та бризкальні	7-15	5-10	10-12

Примітка: Показники в таблиці надані для води, що надходить на охолоджувач з температурою $<40^{\circ}\text{C}$.

Таблиця А.4 – Значення коефіцієнта К для вентиляторних градирень з краплинним зрошувачем або зрошувачем бризкального типу

Напір води перед соплом, м	Температура повітря за вологим термометром, $^{\circ}\text{C}$							
	15	16	17	18	19	20	21	22
$t = 5^{\circ}\text{C}$								
4,5	442/395	461/408	485/422	506/436	528/450	549/466	570/485	592/505
3,5	420/380	441/392	461/406	481/419	502/433	522/448	543/467	563/486
2	388/358	407/369	426/381	445/493	464/407	483/422	502/439	521/458
$t = 10^{\circ}\text{C}$								
4,5	404/367	423/374	442/386	461/398	480/410	499/425	518/441	537/458
3,5	384/347	403/338	421/379	438/394	457/410	475/410	493/425	511/442
2	355/325	372/355	389/347	504/358	422/371	439/386	456/399	473/418
$t = 15^{\circ}\text{C}$								
4,5	363/324	380/335	397/346	414/357	432/370	450/384	457/398	484/417
3,5	344/311	361/321	377/332	394/343	411/355	428/369	448/383	461/402
2	316/291	322/301	348/311	364/322	379/333	395/346	410/360	426/379
$t = 20^{\circ}\text{C}$								
4,5	317/283	334/293	351/305	368/317	386/330	404/343	421	348/370
3,5	298/258	315/275	331/287	348/299	365/312	382/327	398	415/358
2	270/245	286/256	302/268	318/280	333/293	349/397	364	380/338

Таблиця А.5 – Параметри атмосферного повітря

Пункти спостереження	Забезпеченість параметрів атмосферного повітря, %								
	1			5			10		
		П			П			П	
Андрушівка	30,4	52	23,2	28,8	55	22,4	27,8	56	21,6
Галич	26,8	48	19,6	24,0	52	17,8	22,7	56	17,3
Ізмаїл	22,0	63	17,6	20,5	68	16,9	19,7	71	16,5
Київ	26,8	43	18,7	24,6	51	18,2	23,4	55	17,8
Калуш	28,0	55	21,6	26,5	57	20,6	25,5	59	20,1
Кропивницький	24,4	55	18,6	22,5	61	17,8	21,4	64	17,2
Любомль	26,0	56	20,1	23,2	60	18,3	21,7	63	17,4
Луганськ	30,1	30	18,8	27,0	37	17,8	25,7	44	18,0
Миргород	27,0	55	20,8	24,5	57	19,0	22,9	59	17,9
Носівка	25,4	54	19,3	23,3	59	18,2	22,0	63	17,6
Олевськ	27,4	44	19,4	24,1	50	17,6	22,5	55	17,0
Сарни	25,8	49	18,8	23,2	57	17,8	21,5	62	17,0
Токмак	31,2	37	21,0	29,4	38	19,8	28,6	40	19,6
Тернопіль	25,5	56	19,6	23,1	60	18,2	21,6	63	17,3
Ужгород	27,6	44	19,5	25,3	48	18,3	23,8	53	17,8
Харків	28,5	38	19,2	26,4	45	18,8	24,9	52	18,6

Таблиця А.6 – Типи вентиляторних градирень

Площа секції, м ²	Розмір однієї секції,	Вид зрошувача	Висота зрошувача,	Т тип вентиля	Подача повітря вентиля тором	Номер проекта
16	4 · 4	плівковий	3,81	2ВГ-25	140	901-6-56
		краплинний	3,86		110	
		бризкальний	2,50		140	
16	4 · 4	плівковий	3,42	2ВГ-25	140	901-6-59
		краплинний	3,60		110	
		бризкальний	3,40		135	
24	4 · 6	бризкальний	1,76	3ВГ-25	180	901-6-67.83
64	8 · 8	плівковий	3,36	ИВГ-50	585	901-6-51
		краплинний	3,48		490	
		бризкальний	3,00		570	
64	8 · 8	плівковий	3,68	ИВГ-50	580	901-6-29
		краплинний	3,68		465	
		бризкальний	3,80		550	
144	12 · 12	плівковий	3,36	2ВГ-70	1290	901-6-48
192	12 · 16	бризкальний	2,00	2ВГ-70	1425	901-6-62
192	12 · 16	краплинний	3,67	2ВГ-70	1130	901-6-61

192	12 · 16	краплинний	3,80	2ВГ-70	1240	901-6-43
-----	---------	------------	------	--------	------	----------

Додаток Б

Таблиця Б.1 – Орієнтовні значення параметрів роботи гідроциклонів

Діаметр гідроциклона D , мм	Кут конусності α°	Продуктивність (при $P_{вх}=0,1$ МПа) Q , м ³ /год	Номінальна крупність зливу $d_{ном}$, мкм	Стандартний діаметр живлючого отвору $d_{пит}$, см	Стандартний діаметр зливного патрубку $d_{сл}$, см	Діаметр піскової насадки Δ , см
1	2	3	4	5	6	7
25	10	0,45-0,9	8	0,6	0,7	0,4-0,8
50	10	1,8-3,6	10	1,2	0,13	0,6-1,2
75	10	3-10	10-20	1,7	2,2	0,8-1,7
150	10; 20	12-30	20-50	3,2-4	4-5	1,2-3,4
250	20	27-70	30-100	6,5	8	2,4-7,5
350	20	50-130	40-150	9	11,5	3,4-9,6
500	20	100-260	50-200	13	16	4,8-15
710	20	200-460	60-250	15	20	4,8-20
1000	20	360-900	70-280	21	25	7,5-25
1400	20	700-1800	80-300	30	38	15-36
2000	20	1100-3600	90-330	42	52	25-50