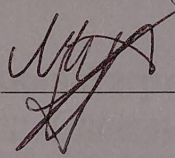


Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

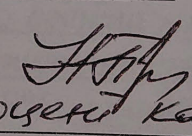
Кафедра теплоенергетики
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка
до бакалаврської кваліфікаційної роботи на тему:
«Модернізація колонкової зерносушарки «Астра-20»»

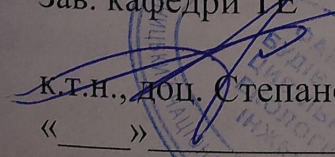
Виконав: студент 4 курсу, групи ТЕ-216
спеціальності 144 – теплоенергетика
(шифр і назва спеціальності)


_____ Матола І. Р.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТЕ
_____ Співак О. Ю.
(прізвище та ініціали)
« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент: 
_____ к.т.н., доцент каф. БМГА
(прізвище та ініціали)
« ____ » _____ 2025 р. Плохов М. М.

Допущено до захисту
Зав. кафедри ТЕ


к.т.н., доц. Степанов Д. В.
« ____ » _____ 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії
Кафедра теплоенергетики
Рівень вищої освіти I (бакалаврський)
Галузь знань 14 – Електрична інженерія
Спеціальність 144 – Теплоенергетика
Освітньо-кваліфікаційна програма Теплоенергетика

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЕ

Степанов Д. В.

22 березня 2025 року

З А В Д А Н Н Я НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Матолі Іллі Руслановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи **«Модернізація колонкової зерносушарки «Астра-20»**

керівник роботи Снівак Олександр Юрійович, к. т. н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

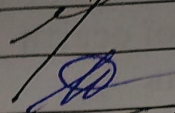
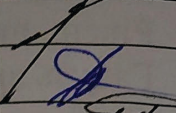
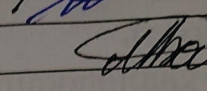
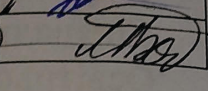
затверджені наказом вищого навчального закладу від 20 березня 2025 р. № 97

2. Термін подання студентом роботи 05.06.2025

3. Вхідні дані до роботи: температура свіжого повітря $t_0 = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$; вологість свіжого повітря $\varphi_0 = 70\%$; температура сушильного агента на вході $t'_1 = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$; вологість вихідного сушильного агента $\varphi_2 = 50\%$; видатність сушарки $G = 20\text{ т/год}$; початкова вологість зерна соняшника $\omega'_1 = 19\%$; кінцева вологість зерна соняшника $\omega''_1 = 15\%$; температура зерна соняшника на виході $\vartheta''_1 = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$; витрата теплоносія на нагрівання $65000\text{ м}^3/\text{год.}$; витрата повітря на охолодження $25500\text{ м}^3/\text{год.}$

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: тепловий розрахунок колонкової сушарки «Астра-20»; багатоваріантний аналіз; розрахунки обладнання для модернізації; технологічна частина; охорона праці; висновки; додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): сушарка колонкова Астра-20; топка вугільна потужністю 2000 кВт для колонкової зерносушарки; газоповітряний пластинчастий теплообмінник; камера змішування; блок циклонів 4БЦШ-550; схема аксонометрична монтажна.

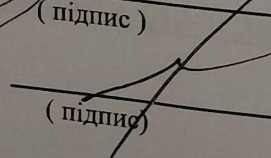
6. Консультанти розділів роботи		Підпис, дата	
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	завдання видав	завдання прийняв
1-4	к.т.н., доц. Співак О.Ю.		
Охорона праці	к.пед.н., проф. Кобилянська І.М.		
Нормоконтроль	к.т.н., доц. Боднар Л.А.		

7. Дата видачі завдання 12.03.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Прим.
		початок	закінчення	
1.	Аналіз літературних та патентних джерел	22.03.2025	25.03.2025	викон.
2.	Розрахунок колонкової зерносушарки «Астра-20»	26.03.2025	05.04.2025	викон.
3.	Багатоваріантний аналіз	05.04.2025	10.04.2025	викон.
4.	Розрахунки допоміжного обладнання	11.04.2025	25.05.2025	викон.
4.1	Розрахунок камери змішування теплоносіїв	11.04.2025	20.04.2025	викон.
4.2	Розрахунок пластинчастого теплообмінника-рекуператора	21.04.2025	25.05.2025	викон.
4.3	Розрахунок очисного обладнання	16.05.2025	20.05.2025	викон.
4.4	Розрахунок повітропроводів	21.05.2025	23.05.2025	викон.
4.5	Розробка технології монтажу	24.05.2025	26.05.2025	викон.
5.	Розробка заходів з охорони праці	27.05.2025	30.05.2025	викон.
7.	Оформлення висновків по роботі	31.05.2025	01.06.2025	викон.
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу.	02.06.2025	03.06.2024	ВИКС І.
9.	Перевірка на антиплагіат	03.06.2025	04.06.2025	викон.
10.	Нормоконтроль	04.06.2025	05.06.2025	викон.
11.	Попередній захист БДР, доопрацювання, рецензування БДР	06.06.2025	11.06.2025	викон.
12.	Захист БДР ЕК	12.06.2025	12.06.2025	

Студент  (підпис)

Керівник роботи  (підпис)

Матола І.Р.
(прізвище та ініціали)

Співак О.Ю.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 621.33.221

Матола І.Р. Модернізація колонкової зерносушарки «Астра-20». Бакалаврська кваліфікаційна робота зі спеціальності 144 – Теплоенергетика, освітня програма - Теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2025. 66 с.

Бібліогр.: 70 назв; рис.: 6; табл. 18.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розглянуто роботу колонкової зерносушарки «Астра-20» на різних видах альтернативного твердого біопалива, а саме: пелет з соняшникового лушпиння, кам'яного вугілля, пелет деревних, торфових брикетів, природного газу і мазуту марки М100.

Складено тепловий та матеріальний баланс сушарки, розраховано теоретичний та дійсний процеси в сушарці.

Виконано багатоваріантний аналіз придатності обраних видів палива в тому числі і альтернативного твердого для використання в якості основного палива для генерації теплоти в сушарці Астра-20.

Розраховано топку для сушарки на кам'яному вугіллі.

Розраховано камеру змішування для зменшення температури димових газів шляхом їх змішування зі свіжим повітрям.

Виконано розрахунок компактного пластинчастого рекуператора з жалюзійним оребренням для утилізації теплоти димових газів від топки.

Визначено оребрену площу теплообміну, температури теплоносіїв на виході з ТА, ефективність теплообмінника та виконані аеродинамічні розрахунки ТА.

Розраховано пристрій для очищення газового потоку, що використовується для очищення висушуваного матеріалу від пилу і залишків насіння бур'янів.

Розраховано необхідний переріз повітропроводів для монтажу додаткового обладнання.

У розділі охорони праці опрацьовано такі питання, як причини виникнення, дії на організм людини та нормування шкідливих та небезпечних виробничих факторів у виробничому приміщенні; карта умов праці (обґрунтування вибору нормованих значень шкідливих та небезпечних виробничих факторів, оцінка факторів виробничого і трудового процесів, гігієнічна оцінка умов праці, оцінка технічного і організаційного рівня, атестація робочого місця); рекомендації щодо покращення умов праці, а також розглянуто норми пожежної безпеки.

Ключові слова: сушіння, колонкова сушарка, альтернативне тверде паливо, сушильний процес.

ANNOTATION

UDK 621.33.221

Matola I.R. Modernization of the column grain dryer "Astra-20". Bachelor's qualification work in the specialty 144 - Heat and power engineering, educational program - Heat and power engineering. Vinnytsia: VNTU, 2025. 66 p. Bibliography: 70 titles; Fig.: 6; Table. 18.

The bachelor's qualification work considers the operation of the column grain dryer "Astra-20" on various types of alternative solid biofuels, namely: sunflower husk pellets, coal, wood pellets, peat briquettes, natural gas and M100 fuel oil.

The heat and material balance of the dryer is compiled, the theoretical and actual processes in the dryer are calculated.

A multivariate analysis of the suitability of selected fuels, including alternative solid fuels, for use as the main fuel for heat generation in the Astra-20 dryer was performed.

A firebox for a coal-fired dryer was calculated.

A mixing chamber was calculated to reduce the temperature of flue gases by mixing them with fresh air.

A compact plate recuperator with louvered fins was calculated to utilize the heat of flue gases from the firebox.

The finned heat exchange area, coolant temperatures at the outlet of the TA, heat exchanger efficiency, and aerodynamic calculations of the TA were determined.

A device for cleaning the gas flow was calculated, which is used to clean the dried material from dust and weed seed residues.

The required cross-section of air ducts for installing additional equipment was calculated.

The labor protection section covers such issues as the causes of occurrence, effects on the human body and standardization of harmful and dangerous production factors in the production premises; a map of working conditions (justification of the choice of standard values of harmful and dangerous production factors, assessment of production and labor process factors, hygienic assessment of working conditions, assessment of technical and organizational level, certification of the workplace); recommendations for improving working conditions, and fire safety standards are also considered.

Keywords: drying, column dryer, alternative solid fuel, drying process.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК КОЛОНКОВОЇ СУШАРКИ «АСТРА-20»	5
1.1 Параметри сушильного агента.....	5
1.1.1 Початкові дані	5
1.1.2 Параметри топкових газів	5
1.1.3 Параметри свіжого повітря і відхідних газів	6
1.2 Масовий і тепловий баланс сушильного процесу	8
1.2.1 Масовий баланс	8
1.2.2 Тепловий баланс.....	8
1.2.3 Витрата повітря та теплова потужність в колонці сушарки.....	13
1.3 К.к.д. сушарки і витрата палива на сушіння	15
1.3.1 Коефіцієнт корисної дії сушарки	15
1.3.2 Витрата палива для роботи сушарки.....	16
2 БАГАТОВАРІАНТНИЙ АНАЛІЗ	17
3 РОЗРАХУНКИ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ	19
3.1 Тепловий розрахунок топки на кам'яному вугіллі	19
3.1.1 Початкові дані	19
3.1.2 Об'єми та ентальпії повітря та продуктів згорання	19
3.2 Процес змішування теплоносіїв і камера змішування	22
3.3 Розрахунок теплообмінного апарата.....	23
3.3.1 Параметри гофрованої пластини	23
3.3.2 Визначення коефіцієнта теплопередачі	25
3.3.3 Температурний напір для перехресного ходу теплоносіїв	27
3.3.4 Конструкційні розрахунки та визначення аеродинамічних втрат	28
3.3.5 Аеродинамічні втрати і підбір вентиляторів.....	31
3.4 Розрахунок очисного обладнання	32
3.4.1 Вихідні дані	32
3.4.2 Параметри теплоносія за робочих умов	32
3.4.3 Розрахунок діаметра циклона	34
3.4.4 Ефективність роботи циклона	35
3.4.6 Коефіцієнт гідравлічного опору циклона.....	37
4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	41

4.1 Розрахунок повітропроводів	41
4.1.1 Перерізи повітропроводів	41
4.2 Розроблення технології монтажу	43
4.2.1 Загальна характеристика об'єкта, що підлягає монтажу	43
4.2.2 Розрахунок та комплектування основних та допоміжних матеріалів та виробів, складання відомостей.....	45
4.2.3 Визначення складу і об'ємів робіт	45
4.2.4 Вибір і обґрунтування методів виконання робіт	48
4.2.5 Підбір машин, механізмів, пристосувань для монтажних робіт	50
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	52
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту	52
5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	52
5.1.2 Електробезпека.....	53
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	54
5.2.1 Мікроклімат	54
5.2.2 Склад повітря робочої зони	54
5.2.3 Виробниче освітлення	55
5.2.4 Виробничий шум.....	55
5.2.5 Виробнича вібрація	56
5.3 Пожежна безпека.....	56
ВИСНОВКИ	59
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	61
ДОДАТКИ	67
Додаток А (обов'язковий) Протокол перевірки роботи на наявність текстових запозичень.....	68
Додаток Б (обов'язковий) ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	69
Додаток В (обов'язковий) ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА.....	74
Додаток Г (довідниковий) Лістинг програми для багатоваріантного аналізу	88
Додаток Д (довідниковий) Визначення ентальпії повітря та продуктів згорання.....	90
Додаток Е (довідниковий) Тепловий баланс і витрата палива в топці сушарки	93
Додаток Ж (довідниковий) Аеродинамічний розрахунок топки	99

ВСТУП

На протязі останніх часів світовий газовий сектор переживає значну зміну – «сланцева революція» в Сполучених Штатах, зростання частини скрапленого природного газу в структурах загального продажу ресурсів, збільшення ролі контрактів на короткий строк по постачанню газу, поступово відходить формульний підхід до формування цін на природний газ, тенденції лібералізації цін, які проходять на регіональних газових ринках – все це є підґрунтям для формування нової структури газового простору та потребує реформування газової галузі України у відповідності сучасним умовам. Важливість таких реформ зумовлюється також низкою внутрішніх економічних факторів. Перший фактор - незадовільний рівень впровадження енергоощадних технологій, другий фактор зумовлений низькою ефективністю використання паливно-енергетичного ресурсу та політикою «дешевої робочої сили», встановили високі рівні енергоємності виробництва та відповідно низькі рівні конкурентоспроможності національної економіки [1,2].

Проблеми з розвитком газової ланки промисловості України знайшли широке відображення у сушильному виробництві. Їх все частіше переобладнують на альтернативні види палива, в тому числі і на тверде паливо.

Колонкові сушарки, як правило, виготовляють великої продуктивності, їх використовують у технологічних схемах великих зерносклади. Вони працюють практично безперервно впродовж цілого року. Саме такий тип зерносушарок є найбільш економічним. Теплообмін у цій зерносушарці відбувається за допомогою підвідних і відвідних коробів, які дають змогу рівномірно розподілити загальний обсяг теплого повітря в колонках зерносушарки. Крім того, шар матеріалу, який висушується в таких конструкціях, менший, аніж в інших типах зерносушарок, завдяки чому він просушується рівномірно [3].

У топках зерносушарок, що працюють на твердому паливі, використовують головним чином кам'яне вугілля. З рідкого палива застосовують пере-

важно тракторний гас, дизельне паливо, рідше соляріву олію та мазут.

Марки кам'яного вугілля в залежності від хімічного складу поділяють на «жирні» і «пісні». До «жирних» відносять вугілля із значним вмістом водню, який у процесі згоряння при з'єднанні з вуглецем палива виділяє велику кількість летючих речовин (вуглеводнів). До «пісного» відносять вугілля з незначним вмістом водню. Кам'яне вугілля поділяють на антрацит кам'яне вугілля й буре вугілля [4,5]. Буре вугілля відрізняється від решти вугілля найменшою кількістю вуглецю (60...70%) і значною кількістю води. Таке вугілля непридатне для зерносушіння.

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є модернізація колонкової сушарки, з переведенням її на довогополуменеве рядове вугілля.

Для досягнення мети були розв'язані такі завдання:

- виконано аналіз патентних і літературних джерел;
- зроблено аналіз варіантів модернізації сушарки для здешевлення її роботи;
- розраховано топку на альтернативному виді твердого палива;
- розраховано обладнання для очищення теплоносія;
- запропоновано заходи з монтажу додаткового обладнання;
- розроблено заходи з охорони праці.

Об'єкт дослідження: тепломасообмінні процеси в сушильному обладнанні.

Предмет дослідження: колонкова сушарка для сушіння зернових.

Апробація результатів роботи: результати доповідались на LIV Всеукраїнській науково-технічній конференції факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії (2025).

Публікації : Співак, О., Педченко, Н., Матола, І. (2025). Вплив відносної вологості оточуючого середовища на вологовміст теплоізоляційних матеріалів. в *ВНТКП ВНТУ. Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії*. URL : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/23687/19565> Дата звернення 17.05.2025. [6].

1 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК КОЛОНКОВОЇ СУШАРКИ «АСТРА-20»

1.1 Параметри сушильного агента

1.1.1 Початкові дані

- температура вхідного повітря $t_0 = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- вологість вхідного повітря $\varphi_0 = 70\%$;
- температура сушильного агента на вході $t'_1 = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- вологість вихідного сушильного агента $\varphi_2 = 50\%$;
- продуктивність сушарки $G = 20\text{ т/год}$;
- початкова вологість зерна соняшника $\omega'_1 = 19\%$;
- кінцева вологість зерна соняшника $\omega''_1 = 15\%$;
- температура зерна на виході $\vartheta''_1 = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- витрата теплоносія на нагрівання $65000\text{ м}^3/\text{год}$.
- витрата повітря на охолодження $25500\text{ м}^3/\text{год}$.
- робоче паливо – мазут М100 з Кременчуцького НПЗ.

1.1.2 Параметри топкових газів

Поелементний склад палива представлений в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Елементарний склад палива, % за [1]

W ^p , %	A ^p , %	S ^p , %	C ^p , %	H ^p , %	N ^p , %	O ^p , %	Сума, %
3,0	0,1	0,9	84	10,1	0,8	1,1	100

Вища теплота згоряння палива

$$Q_B^p = 0,339C^p + 1,25H^p - 0,109(O^p - S^p), \quad (1.1)$$

$$Q_B^p = 0,339 \cdot 84 + 1,257 \cdot 10,1 - 0,109 \cdot (1,1 - 0,9) = 41,2 \left(\frac{\text{МДж}}{\text{кг}} \right).$$

Нижча теплота згорання палива

$$Q_H^p = Q_B^p - 2,5 \left(\frac{9H^p + W^p}{100} \right), \quad (1.2)$$

$$Q_H^p = 41,2 - 2,5 \left(\frac{9 \cdot 10,1 + 3}{100} \right) = 38,85 \left(\frac{\text{МДж}}{\text{кг}} \right).$$

Теоретична питома кількість повітря для спалювання

$$L_0 = 0,115C^p + 0,345H^p - 0,043(O^p - S^p), \quad (1.3)$$

$$L_0 = 0,115 \cdot 84 + 0,345 \cdot 10,1 - (1,1 - 0,9) = 12,94 \left(\frac{\text{кг}}{\text{кг}} \right).$$

Ентальпія водяної пари в сушильному агенті

$$h_{\pi} = 2500 + 1,84t, \quad (1.4)$$

$$h'_{\pi} = 2500 + 1,84 \cdot 70 = 2629 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right);$$

1.1.3 Параметри свіжого повітря і відхідних газів

По h-d діаграмі визначимо ентальпію та вологовміст вхідного повітря для температури $t_0 = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ і вологості $\varphi_0 = 75\%$:

$$d_0 = 8 \text{ кг/кг}; \quad h_0 = 35,2 \text{ кДж/кг}.$$

Коефіцієнт надлишку повітря

$$\alpha = \frac{Q_B^p \cdot \eta_T + c_T t_T - \left(\frac{9H^p + W^p}{100} \right) h_{\pi} - \left(1 - \frac{9H^p + W^p + A^p}{100} \right) \cdot c_{ca} \cdot t_{ca}}{L_0 \left(\frac{d_0 \cdot h_{\pi}}{1000} - h_0 + c_{ca} \cdot t_{ca} \right)}, \quad (1.5)$$

де c_T – теплоємність палива, $c_T = 2,2$ кДж/(кг·К);

η_T – к.к.д. топки, беремо 0,9 [7];

c_{ca} – теплоємність сушильного агента, $c_{ca} = 1$ кДж/(кг·К);

t_T – температура палива, $t_T = 10$ °С;

t_{ca} – температура сушильного агента $t_{c1} = 70$ °С.

Коефіцієнт надлишку повітря

$$\alpha' = \frac{41200 \cdot 0,9 + 2,2 \cdot 10 - \left(\frac{9 \cdot 10,1 + 3,0}{100} \right) \cdot 2659 - \left(\frac{9 \cdot 10,1 + 3,0 + 0,1}{100} \right) \cdot 1 \cdot 70}{12,94 \left(\frac{8 \cdot 2659}{1000} - 35,2 + 1 \cdot 70 \right)} = 47,9;$$

Вологовміст нагрітого теплоносія на вході в сушарку

$$d = \frac{10(9H^p + W^p) + \alpha L_0 d_0}{\alpha L_0 + \left(1 - \frac{9H^p + W^p + A^p}{100} \right)}, \quad (1.6)$$

$$d'_1 = \frac{10 \cdot (9 \cdot 10,1 + 3,0) + 47,9 \cdot 12,94 \cdot 8}{47,9 \cdot 12,94 + \left(1 - \frac{9 \cdot 10,1 + 3,0 + 0,1}{100} \right)} = 9,51 \approx 9,5 \left(\frac{\text{г}}{\text{кг}} \right).$$

За h - d діаграмою визначимо ентальпію теплоносія для заданих температур $t'_1 = 70$ °С.

$$h'_1 = 98 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

1.2 Масовий і тепловий баланс сушильного процесу

1.2.1 Масовий баланс

Кількість вологи, що випарувалась в процесі

$$W = G \frac{\omega'_1 - \omega''_1}{100 - \omega''_1}, \quad (1.7)$$

$$W = 20000 \frac{19 - 15}{100 - 15} = 941 \left(\frac{\text{кг}}{\text{год}} \right).$$

Секундна кількість випаруваної вологи

$$W = \frac{941}{3600} = 0,261 \left(\frac{\text{кг}}{\text{с}} \right).$$

Маса зерна на виході з колонки

$$G_1 = G - W, \quad (1.8)$$

$$G_1 = 20000 - 941 = 19059 \left(\frac{\text{кг}}{\text{год}} \right).$$

1.2.2 Тепловий баланс

Теплоємність зерна

$$c = \frac{100 - \omega}{100} c_c + \frac{\omega}{100} c_\omega, \quad (1.9)$$

де c_c – теплоємність сухого скелета зерна;

ω – вологість зерна, %;

c_ω – теплоємність води в зерні.

За [7] беремо $c_c = 1,55$ кДж/(кг·К), $c_\omega = 4,19$ кДж/(кг·К).

Теплоємність теплоносія на вході в робочу камеру сушарки

$$c'_1 = \frac{100 - \omega'_1}{100} c_c + \frac{\omega'_1}{100} c_\omega, \quad (1.10)$$

$$c'_1 = \frac{100 - 19}{100} 1,55 + \frac{19}{100} 4,19 = 2,05 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right).$$

Теплоємність відпрацьованого теплоносія на виході з колонки

$$c''_1 = \frac{100 - 15}{100} \cdot 1,55 + \frac{15}{100} \cdot 4,19 = 1,95 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right).$$

Теплота, використана для нагріву сировини

$$q'_{\text{пр}} = \frac{G_1 (\vartheta'_1 - t_0) c''_1}{W}, \quad (1.11)$$

$$q'_{\text{пр}} = \frac{19059 \cdot (30 - 10) \cdot 1,95}{941} = 790 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right).$$

Теплові втрати через теплову ізоляцію камери. Щоб визначити коефіцієнти тепловіддачі біля стін сушарки, скористаємось формулою Юргенса

При середній швидкості потоку теплоносія меншій від 5 м/с

$$\alpha = C + D \cdot \omega. \quad (1.12)$$

Для швидкостей більших від 5 м/с

$$\alpha = A \cdot \omega^{0,78}, \quad (1.13)$$

де A , C і D – коефіцієнти, які потрібно вибирати залежно від стану поверхні стіни.

За [8] беремо коефіцієнти $A = 7,52$; $C = 6,15$; $D = 4,17$.

Швидкість гарячого теплоносія в сушарці беремо рівною швидкості повітря в інверторах $\omega_1 = 0,3$ м/с, швидкість відпрацьованого вологого теплоносія на виході з камери приймаємо $\omega_2 = 0,1$ м/с [7].

Для стінки сушарки Астра-20 (паспортні дані), в камері сушарки і зовні, відповідно

$$\alpha_1 = 6,15 + 4,17 \cdot 0,3 = 7,4 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right),$$

$$\alpha_2 = 6,15 + 4,17 \cdot 0,1 = 6,57 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right).$$

Коефіцієнт теплопередачі, для стінки, переріз якої показаний на Рисунку.1.1.

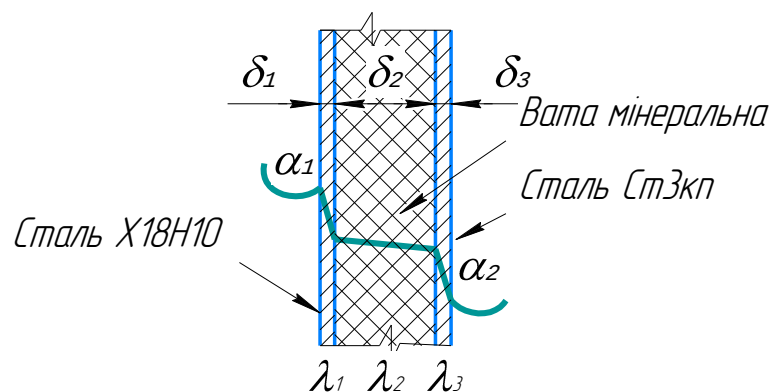


Рисунок 1.1 – Стінка сушарки Астра-20

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (1.14)$$

де δ_1, δ_3 – товщина шарів сталі, 1 мм;

λ_1 – теплопровідність сталі X18H10, 18 Вт/(м·К) [11];

δ_2 – товщина шару мінеральної вати, 40 мм;

λ_2 – теплопровідність мінеральної вати, 0,05 Вт/(м·К) [11].

$$k = \frac{1}{\frac{1}{7,4} + \frac{0,001}{18} + \frac{0,04}{0,05} + \frac{0,001}{45} + \frac{1}{6,57}} = 0,92 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right).$$

Визначимо середню температуру сушильного агента

$$\bar{t}_1 = \frac{t'_1 + t''_1}{2}, \quad (1.15)$$

Беремо температуру сушильного агента на виході з камери $t''_1 = 35^\circ\text{C}$, [8]. Тоді

$$\bar{t}_1 = \frac{70 + 35}{2} = 52,5^\circ\text{C}.$$

Середня температура зерна

$$\bar{\vartheta}_1 = \frac{\vartheta'_1 + \vartheta''_1}{2}, \quad (1.16)$$

$$\bar{\vartheta}_1 = \frac{10 + 30}{2} = 20^\circ\text{C}.$$

Визначимо середню температуру між сушильним агентом і зерном

$$t_{cl} = \frac{\bar{t}_1 + \bar{\vartheta}_1}{2}, \quad (1.17)$$

$$t_{cl} = \frac{52,5 + 20}{2} = 36,25 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Відповідно до складального креслення сушарки Астра-20 сума поверхонь стінок шахти: $F' = 32 \text{ м}^2$;

Питомі втрати теплоти через теплову ізоляцію стін

$$q'_5 = \frac{F' \cdot k}{W} (t_{cl} - t_0), \quad (1.18)$$

$$q'_5 = \frac{32 \cdot 0,92 \cdot 3600}{941} (36,25 - 10) \cdot 10^{-3} = 2,96 \left(\frac{\text{кВт}}{\text{кг}} \right).$$

Складемо внутрішній тепловий баланс сушильної зони

$$\Delta_1 = \vartheta'_1 \cdot c'_1 - (q'_{np} + q'_5), \quad (1.19)$$

$$\Delta_1 = 10 \cdot 2,13 - (790 + 2,96) = -771,7 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right).$$

Дійсний процес сушіння. Процес сушіння для дійсної сушарки в h - d діаграмі представлено на рис. 1.2.

За заданими параметрами свіжого повітря t_0 і φ_0 та сушильного агента t'_1 і d'_1 наносимо на діаграму точки А і В'. Побудуємо процес в теоретичній

сушарці по лінії $h=\text{const}$ і знайдемо точку C'_0 . По лінії $B'C'_0$ вибираємо довільну точку e і побудуємо лінію ef . Визначимо її довжину $ef = 34$ мм. Тоді

$$es = ef \frac{\Delta_1}{2500} = 34 \frac{771,7}{2500} = 10,49 \text{ (мм)} \quad (1.20)$$

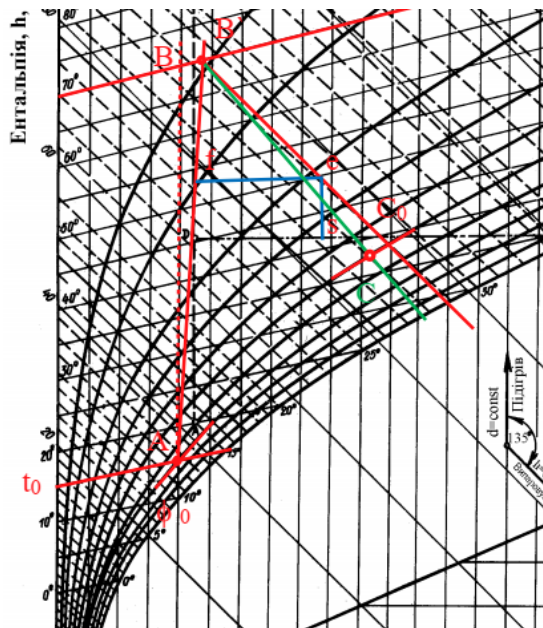


Рисунок 1.2 – Дійсний процес сушіння в h - d діаграмі

Відкладаємо es вниз і через точку s проводимо лінію до перетину з вологістю відпрацьованого сушильного агента ϕ_1 . Точка C' покаже дійсні параметри відпрацьованого сушильного агента. Температура відпрацьованого сушильного агента за діаграмою 37°C . При розрахунку ми прийняли її 35°C .

Розбіжність $\varepsilon = \frac{37 - 35}{37} 100 = 5\%$, тож перерахунок можна не робити.

По h - d діаграмі визначимо вологовміст відпрацьованого теплоносія $d'_2 = 24$ г/кг, ентальпія $h'_2 = 88$ кДж/кг.

1.2.3 Витрата повітря та тепла потужність в колонці сушарки

Визначимо питому витрату повітря

$$\ell_1 = \frac{1000}{d'_2 - d'_1}, \quad (1.21)$$

$$\ell_1 = \frac{1000}{24 - 9,5} = 68,9 \left(\frac{\text{кг}}{\text{кг}} \right).$$

Перевіряємо вірність розрахунків теплового балансу і побудови процесу в дійсній сушарці.

Годинна витрата повітря

$$L_1 = \ell_1 \cdot W, \quad (1.22)$$

$$L_1 = 68,9 \cdot 941 = 64835 \left(\frac{\text{кг}}{\text{год}} \right).$$

За паспортними даними витрата повітря в колонці сушарки 65000 кг/год.

Похибка розрахунку

$$\varepsilon = \frac{L - L_1}{L} 100\% = \frac{65000 - 64835}{65000} 100\% = 0,25\%.$$

Похибка розрахунку між паспортним значенням і отриманим в результаті розрахунку не перевищує 1%. Тож розрахунки можна вважати коректними.

Визначимо ентальпію h'_1 на перетині ліній C'B і d_0 (точка B),

$$h'_1 = 98 \text{ кДж/кг}.$$

Теплова потужність в колонці сушарки

$$Q_1 = \frac{L_1 \cdot (h'_1 - h_0)}{3600}, \quad (1.23)$$

$$Q_1 = \frac{64835 \cdot (98 - 35,2)}{3600} = 1131 \text{ (кВт)}.$$

1.3 К.к.д. сушарки і витрата палива на сушіння

1.3.1 Коефіцієнт корисної дії сушарки

Сумарна теплова потужність сушарки Астра-20

$$Q_{\Sigma} = Q_1 + Q_2, \quad (1.24)$$

де Q_2 – потужність від нагнітальних машин.

Для подачі гарячого теплоносія в колонку сушарки застосовано 2 вентилятори ВЦ 4-75 №10 з потужністю електродвигунів АИР200L6-3 – 30 кВт кожний.

Тоді

$$Q_2 = 30 \times 2 = 60 \text{ кВт}.$$

$$Q_{\Sigma} = 1131 + 60 = 1191 \text{ (кВт)}.$$

Корисна теплота (теплота на випаровування води)

$$Q_w = W \cdot r, \quad (1.25)$$

де r теплота пароутворення, $\left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right)$.

З [10] для температури зерна ϑ_1'' беремо $r = 2444 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right)$.

Тоді

$$Q_w = \frac{941 \cdot 2444}{3600} = 639 \text{ (кВт)}.$$

ККД сушарки

$$\eta = \frac{Q_w}{Q_\Sigma} \cdot 100\%, \quad (1.26)$$

$$\eta = \frac{639}{1191} \cdot 100 = 53,6\%.$$

1.3.2 Витрата палива для роботи сушарки

$$B = \frac{Q_\Sigma}{Q_H^p \cdot \eta_t}, \quad (1.27)$$

де η_t – к.к.д. топки, який приймають 0,9 [13].

$$B = \frac{1191 \cdot 3600}{38,85 \cdot 10^3} \cdot 0,9 = 99,3 \left(\frac{\text{кг}}{\text{год}} \right).$$

2 БАГАТОВАРІАНТНИЙ АНАЛІЗ

Аналіз джерел літератури та патентів [1,4,14-22] показав, що для надійного забезпечення сушарки дешевим гарячим теплоносієм найкраще використати топки на твердому альтернативному паливі, такому як пелети з лушпиння соняшника, деревні пелети, торфові брикети та кам'яне вугілля. Для аналізу придатності того чи іншого виду твердого альтернативного палива складено програму в пакеті MathCad, яка представлена в Додатку Г, тому тут ми приводимо лише результати аналізу і розрахунків (Таблиця 2.1) та їх графічну інтерпретацію (Рисунок 2.1).

Таблиця 2.1 – Характеристики вибраних видів альтернативного палива

Вид альтернативного палива	Нижча теплота згорання, МДж/кг	Вартість, грн/тонна	Годинна витрата палива, кг/год	Вартість години роботи топки, грн/год
Брикети з лушпиння соняшника	21,21	6000	340	2037
Деревні пелети (сосна)	20	9100	360	3276
Кам'яне вугілля (ДГР-15)	22,5	6000	320	1920
Брикети з торфу	17,6	11000	409	4500
Мазут М100	38,35	18000	188	3755
Природний газ *	33,5	21000	215	4513

* Для природного газу дані взяті за 1000 м³.

Як видно з таблиці 2.1 і графіка 2.1, найвигіднішим видом палива для роботи топки, а отже і сушарки «Астра-20» є кам'яне довгополуменеве рядове вугілля, вартість роботи топки 2000 кВт на якому станом на травень місяць 2025 року складала 4500 грн/год.

Найбільш затратними є торфові брикети і, вже традиційно, природний газ, хоча природний газ є найтехнологічнішим (немає відходів і золи, немає димових включень тощо), але вартість роботи на ньому перевищує вартість роботи на соняшникових брикетах і на вугіллі в 2 рази.

Для роботи можна використовувати брикети з лушпиння соняшника і вугілля, особливо з врахуванням того факту що вугільна топка може працювати і на брикетах.

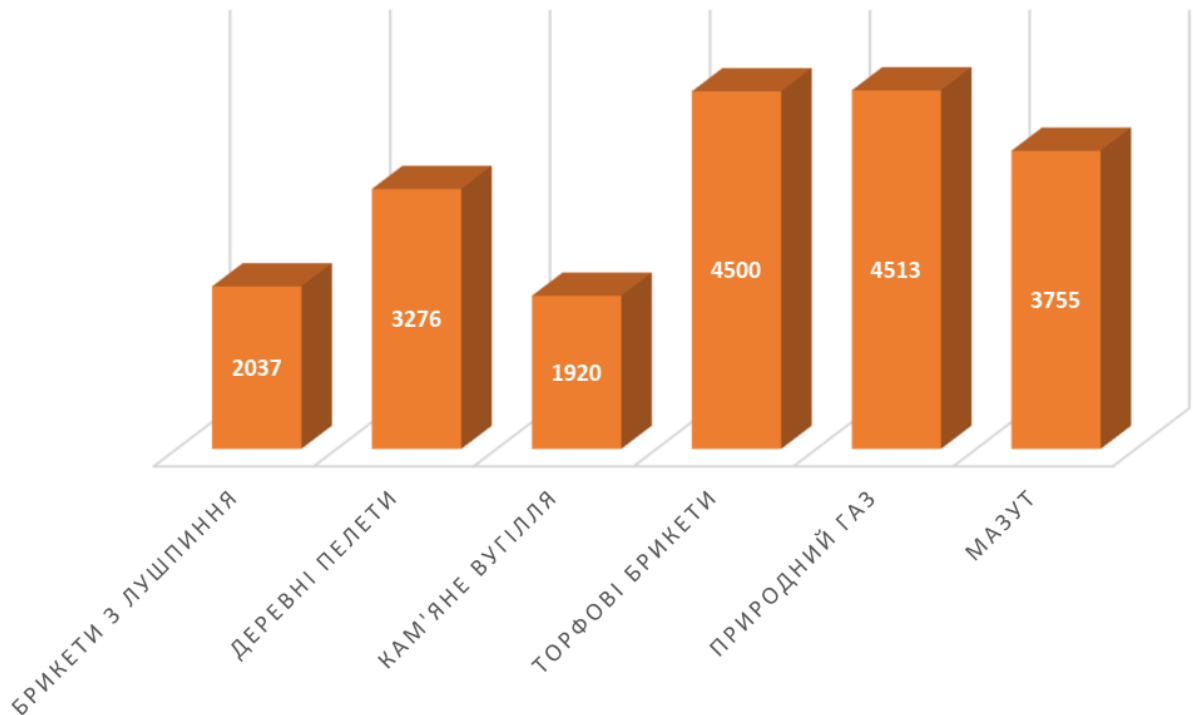


Рисунок 2.1 – Вартість різних видів палива для роботи топки 2000 кВт

Тож для здешевлення роботи сушарки «Астра-20» доцільним є встановлення твердопаливної вугільної топки.

З РОЗРАХУНКИ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ

3.1 Тепловий розрахунок топки на кам'яному вугіллі

3.1.1 Початкові дані

- потужність топки 2000 кВт
- температура холодного повітря $t_x = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- коефіцієнт надлишку повітря $\alpha_T = 1,6$.

В якості палива обране кам'яне вугілля з родовища Донецького басейну марки ДР (довгополуменеве рядове). Елементарний склад палива наведений в таблиці 3.1 [28].

Таблиця 3.1 – Склад палива

$W^p, \%$	$A^p, \%$	$S^p, \%$	$C^p, \%$	$H^p, \%$	$N^p, \%$	$O^p, \%$	Сума, %
8,0	3,8	2,0	74	4,4	2,7	5,1	100

3.1.2 Об'єми та ентальпії повітря та продуктів згорання

Теплота згорання палива

$$Q_H^p = 338 \cdot C^p + 1025 \cdot H^p - 108,5 \cdot (O^p - S^p) - 25 \cdot W^p, \quad (3.1)$$

$$Q_H^p = 338 \cdot 70 + 1025 \cdot 4,4 - 108,5 \cdot (7,1 - 2,0) - 25 \cdot 9,0 = 22,5 \text{ (МДж/кг)}.$$

Теоретична кількість повітря

$$V^0 = 0,0889 \cdot (C^p + 0,375 \cdot S^p) + 0,265 \cdot H^p - 0,033 \cdot O^p, \quad (3.2)$$

$$V^0 = 0,0889 \cdot (70,0 + 0,375 \cdot 2,0) + 0,265 \cdot 4,4 - 0,033 \cdot 7,1 = 7,22 \text{ (м}^3\text{/кг)}.$$

Теоретичний об'єм триатомних газів

$$V_{RO_2} = 0,01866 \cdot (C^p + 0,375 \cdot S^p), \quad (3.3)$$

$$V_{RO_2} = 0,01866 \cdot (70,0 + 0,375 \cdot 2,0) = 1,32 \text{ (м}^3\text{/кг)}.$$

Теоретичний об'єм азоту

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 + 0,008 \cdot N^p, \quad (3.4)$$

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot 7,22 + 0,008 \cdot 2,7 = 5,72 \text{ (м}^3\text{/кг)}.$$

Теоретичний об'єм водяних парів

$$V_{H_2O}^0 = 0,111 \cdot H^p + 0,0124 \cdot W^p + 0,0161 \cdot V^0 + 1,24 \cdot W_\phi, \quad (3.5)$$

$$V_{H_2O}^0 = 0,111 \cdot 4,4 + 0,0124 \cdot 9,0 + 0,0161 \cdot 7,22 + 1,24 \cdot 0 = 0,716 \text{ (м}^3\text{/кг)}.$$

Характеристики продуктів згорання розраховані за [13] і зведені в таблицю 3.2. Коефіцієнт надлишку повітря в топці прийнятий на підставі умов завдання $\alpha = 1,6$.

Розрахунки характеристик газів. Дійсний об'єм водяної пари, м³/кг

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) \cdot V^0, \quad (3.6)$$

$$V_{H_2O} = 0,716 + 0,0161 \cdot (1,6 - 1) \cdot 7,22 = 0,982 \text{ (м}^3\text{/кг)}$$

Дійсний об'єм димових газів, м³/кг

$$V_r = V_{RO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2}, \quad (3.7)$$

$$V_r = 1,32 + 0,716 + 5,72 = 7,756 \text{ (м}^3\text{/кг)}.$$

Об'ємна частка триатомних газів

$$r_{RO_2} = V_{RO_2} / V_r, \quad (3.8)$$

$$r_{RO_2} = 1,32 / 7,756 = 0,17.$$

Об'ємна частка водяної пари

$$r_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}} / V_{\text{r}}, \quad (3.9)$$

$$r_{\text{H}_2\text{O}} = 0,716 / 7,756 = 0,092.$$

Сумарна частка триатомних газів

$$r_{\text{n}} = r_{\text{RO}_2} + r_{\text{H}_2\text{O}}, \quad (3.10)$$

$$r_{\text{n}} = 0,17 + 0,092 = 0,262.$$

Таблиця 3.2 – Характеристики продуктів згорання в газоходах

Величина	Одиниці вимірювання	Значення
Коефіцієнт надлишку повітря, α		1,6
Дійсний об'єм водяної пари, $V_{\text{H}_2\text{O}}$	м ³ /кг	0,982
Дійсний об'єм димових газів, V_{r}	м ³ /кг	7,756
Об'ємна частка триатомних газів, r_{RO_2}		0,17
Об'ємна частка водяної пари, $r_{\text{H}_2\text{O}}$		0,092
Сумарна частка триатомних газів, r_{n}		0,262

Приймаємо частку виносу золи із топки для шарового спалювання, $\alpha_{\text{вин}} = 0,15$ [3].

Значення ентальпії газів

$$I_{\text{r}} = I_{\text{r}}^0 + (\alpha - 1) I_{\text{n}}^0. \quad (3.11)$$

Значення ентальпій теоретичного об'єму та продуктів згорання приведені в таблицях Д1 і Д2 Додатка Д.

Аеродинамічний розрахунок топки приведений в Додатку Е.

3.2 Процес змішування теплоносіїв і камера змішування

За завданням температура суміші на вході в теплообмінний апарат, повинна становити 200 °С. Разом з тим, температура відхідних газів з топки за розрахунками складає 1638 °С при їх витраті 2,68 м³/с.

Для забезпечення заданої температури 200 °С відхідні газы необхідно змішати з повітрям навколишнього середовища.

На рисунку 3.1 схематично представлений процес змішування відхідних газів з топки і повітря навколишнього середовища і підігріву теплоносія в ТА.

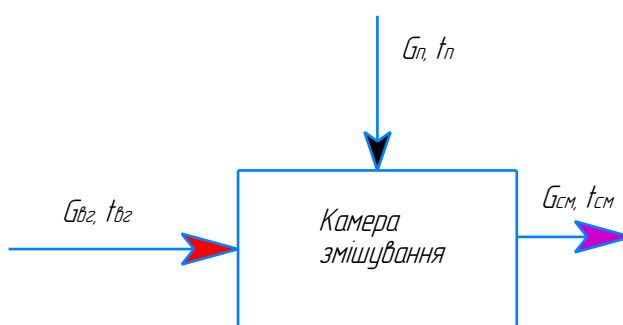


Рисунок 3.1 – Процес змішування

Матеріальний баланс при змішуванні

$$G_{\text{см}} = G_{\text{п}} + G_{\text{вг}}, \quad (3.12)$$

$$G_{\text{п}} = G_{\text{см}} - G_{\text{вг}}.$$

Тепловий баланс точки змішування

$$G_{\text{см}} \cdot h_{\text{см}} = G_{\text{п}} \cdot h_{\text{п}} + G_{\text{вг}} \cdot h_{\text{вг}}, \quad (3.13)$$

звідки

$$G_{\text{п}} \cdot h_{\text{п}} = G_{\text{см}} \cdot h_{\text{см}} - G_{\text{вг}} \cdot h_{\text{вг}}. \quad (3.14)$$

Підставимо в (3.14) рівняння матеріального балансу (3.12)

$$G_{\Pi} \cdot h_{\Pi} = (G_{\Pi} + G_{\text{БГ}}) \cdot h_{\text{см}} - G_{\text{БГ}} \cdot h_{\text{БГ}} = G_{\Pi} \cdot h_{\text{см}} + G_{\text{БГ}} \cdot (h_{\text{см}} - h_{\text{БГ}}), \quad (3.15)$$

або

$$G_{\Pi} = \frac{G_{\text{БГ}} \cdot (h_{\text{БГ}} - h_{\text{см}})}{h_{\text{см}} - h_{\Pi}} = \frac{G_{\text{БГ}} \cdot (t_{\text{БГ}} \cdot C_{p_{\text{БГ}}} - t_{\text{см}} \cdot C_{p_{\text{см}}})}{t_{\text{см}} \cdot C_{p_{\text{см}}} - t_{\Pi} \cdot C_{p_{\Pi}}}, \quad (3.16)$$

$$G_{\Pi} = \frac{2,68 \cdot (1638 \cdot 1,55 - 200 \cdot 1,06)}{200 \cdot 1,06 - 10 \cdot 1,005} = 30,88 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right).$$

3.3 Розрахунок теплообмінного апарата

3.3.1 Параметри гофрованої пластини

Для виготовлення теплообмінника вибираємо алюмінієві пластини з профілем ПЛР-1, які мають такі характеристики [33]:

- відстань між пластинами $\delta_{\text{т}} = 6,35 \text{ мм}$;
- висота ребра $\ell_{\text{р}} = \frac{\delta_{\text{т}}}{2} = \frac{6,35}{2} = 3,175 \text{ мм}$;
- товщина ребра $\delta_{\text{р}} = 0,152 \text{ мм}$;
- еквівалентний діаметр каналу $d_{\text{е}} = 3,08 \text{ мм}$;
- умовний коефіцієнт компактності $\beta = 1204 \text{ м}^2/\text{м}^3$;
- теплопровідність матеріалу (алюміній) $\lambda_{\text{р}} = 204 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;
- коефіцієнт $\frac{F_{\text{р}}}{F} = 0,756$.

Приймаємо швидкість теплоносіїв $\omega_{\Pi} = \omega_{\text{БГ}} = 15 \text{ м/с}$.

Гофрована пластина теплообмінника показана на Рисунку 3.2.

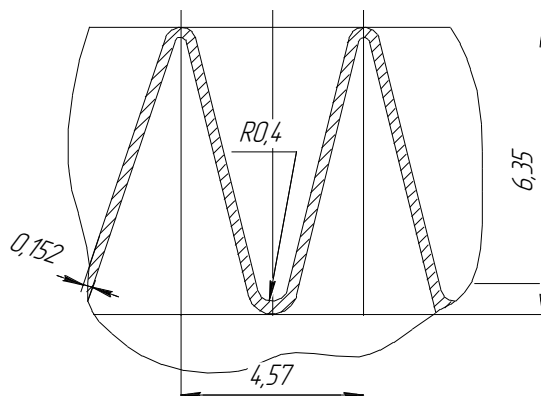


Рисунок 3.2 – Гофрована пластина

Крок гофра, згідно [33]

$$S = 4,57 \text{ (мм)},$$

Середні температури теплоносіїв

$$\bar{t}_{\Pi} = \frac{t'_{\Pi} + t''_{\Pi}}{2}, \quad \bar{t}_{\text{вг}} = \frac{t'_{\text{см}} + t''_{\text{см}}}{2}, \quad (3.17)$$

$$\bar{t}_{\Pi} = \frac{10 + 115}{2} = 62,5^{\circ}\text{C}, \quad \bar{t}_{\text{вг}} = \frac{200 + 100}{2} = 150^{\circ}\text{C}.$$

Для середніх температур теплоносіїв з таблиць [11,12] визначаємо фізичні параметри теплоносіїв (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Фізичні параметри теплоносіїв

параметр	суміш	повітря
$\nu, \text{ м}^2/\text{с}$	$29,1 \cdot 10^{-6}$	$19,25 \cdot 10^{-6}$
$\lambda, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	$3,52 \cdot 10^{-2}$	$2,91 \cdot 10^{-2}$
$\rho, \text{ кг}/\text{м}^3$	0,83	1,06
Pr	0,683	0,696

3.3.2 Визначення коефіцієнта теплопередачі

Критерії Рейнольдса для суміші гарячих газів і повітря

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{\text{екв}}}{\nu}, \quad (3.18)$$

$$Re_{\text{см}} = \frac{15 \cdot 3,08 \cdot 10^{-3}}{29,1 \cdot 10^{-6}} = 1588,$$

$$Re_{\text{п}} = \frac{15 \cdot 3,08 \cdot 10^{-3}}{19,25 \cdot 10^{-6}} = 2406.$$

Виберемо критеріальні рівняння. Для пластин ПЛР-1, за визначених значень числа Рейнольдса [33], для гарячої суміші і повітря відповідно.

$$Nu = 0,123 Re^{0,649} Pr^{0,33}, \quad (3.19)$$

$$Nu_{\text{см}} = 0,123 \cdot 1588^{0,649} \cdot 0,683^{0,33} = 12,96,$$

$$Nu_{\text{п}} = 0,123 \cdot 2406^{0,649} \cdot 0,696^{0,33} = 17,08.$$

Коефіцієнти тепловіддачі для гарячої суміші і повітря відповідно.

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_{\text{екв}}}, \quad (3.20)$$

$$\alpha_{\text{см}} = \frac{12,96 \cdot 3,52 \cdot 10^{-2}}{3,08 \cdot 10^{-3}} = 148 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right),$$

$$\alpha_{\text{п}} = \frac{17,08 \cdot 2,91 \cdot 10^{-2}}{3,08 \cdot 10^{-3}} = 161 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right).$$

Параметр ребра для гарячої суміші і повітря

$$m = \sqrt{\frac{2\alpha}{\lambda_p \cdot \delta_p}}, \quad (3.21)$$

$$m_{cm} = \sqrt{\frac{2 \cdot 148}{204 \cdot 0,152 \cdot 10^{-3}}} = 97,7 \left(\frac{1}{m} \right),$$

$$m_{п} = \sqrt{\frac{2 \cdot 161}{204 \cdot 0,152 \cdot 10^{-3}}} = 101,9 \left(\frac{1}{m} \right).$$

Ефективність оребрення

$$\eta_p = \frac{\text{th}(m \cdot \ell_p)}{(m \cdot \ell_p)}, \quad (3.22)$$

$$\eta_{pcm} = \frac{\text{th}(97,7 \cdot 1,75 \cdot 10^{-3})}{(97,7 \cdot 3,175 \cdot 10^{-3})} = 0,969,$$

$$\eta_{п} = \frac{\text{th}(101,9 \cdot 3,175 \cdot 10^{-3})}{(101,9 \cdot 3,175 \cdot 10^{-3})} = 0,966.$$

Ефективність поверхонь з боку суміші і повітря

$$\eta_0 = 1 - \frac{F_p}{F} (1 - \eta_p), \quad (3.23)$$

$$\eta_{осм} = 1 - 0,756 \cdot (1 - 0,969) = 0,976,$$

$$\eta_{оп} = 1 - 0,756 \cdot (1 - 0,966) = 0,974.$$

Коефіцієнт теплопередачі

$$k = \left[\frac{1}{\eta_{0\Pi} \cdot \alpha_{\Pi}} + \frac{1}{\left(\frac{F_{\text{см}}}{F_{\Pi}} \right) \cdot \eta_{0\text{см}} \cdot \alpha_{\text{см}}} \right]^{-1}, \quad (3.24)$$

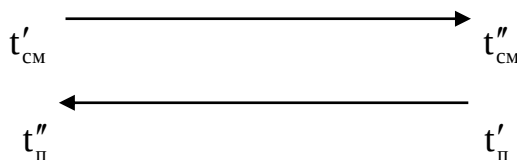
Оскільки термічний опір перегородки дуже малий, знехтуємо ним.

Оскільки відношення площ для гарячого і холодного теплоносіїв однакове (пластини мають однаковий профіль), то відношення $\left(\frac{F_{\text{см}}}{F_{\Pi}} \right) = 1$.

$$k = \left[\frac{1}{0,964 \cdot 161} + \frac{1}{0,976 \cdot 148} \right]^{-1} = 74,8 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right).$$

3.3.3 Температурний напір для перехресного ходу теплоносіїв

Температурний напір для протитоку теплоносіїв



$$\Delta t_{\text{с}} = t''_{\text{см}} - t'_{\Pi} = 100 - 10 = 90 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

$$\Delta t_{\text{м}} = t'_{\text{см}} - t''_{\Pi} = 200 - 115 = 85 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Так як $\frac{\Delta t_{\text{с}}}{\Delta t_{\text{м}}} = \frac{90}{85} = 1,05 \rightarrow$ використаємо формулу для середньоарифметичного температурного напору.

$$\Delta \bar{t}_{\text{ар}} = \frac{\Delta t_{\text{с}} + \Delta t_{\text{м}}}{2}, \quad (3.25)$$

$$\Delta \bar{t}_{\text{ар}} = \frac{90 + 85}{2} = 87,5 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Для перехресного ходу теплоносіїв визначаємо поправку

$$\text{Допоміжне значення } P = \frac{t''_{\Pi} - t'_{\Pi}}{t'_{\text{см}} - t'_{\Pi}} = \frac{115 - 10}{200 - 10} = 0,55.$$

$$\text{Допоміжне значення } R = \frac{t'_{\text{см}} - t''_{\text{см}}}{t''_{\Pi} - t'_{\Pi}} = \frac{200 - 100}{115 - 10} = 0,95.$$

За графіком [34] знаходимо величину поправки на перехресний хід.

$$\varepsilon_{\Delta t} = 0,77.$$

Площа теплообміну

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta \bar{t}_{\text{ap}} \cdot \varepsilon_{\Delta t}}, \quad (3.26)$$

$$F = \frac{950 \cdot 10^3}{74,8 \cdot 87,5 \cdot 0,77} = 188 \text{ (м}^2\text{)}.$$

3.3.4 Конструкційні розрахунки та визначення аеродинамічних втрат

Розрахунки габаритів ТА. Об'єм теплообмінника

$$V_T = \frac{F}{\beta}, \quad (3.27)$$

де β – умовний коефіцієнт компактності, $\text{м}^2/\text{м}^3$.

$$V_T = \frac{188}{1204} = 0,17 \text{ м}^3.$$

За [33] для пластин ПЛР-1 для критерію Рейнольдса $Re = 600 \dots 2000$ значення коефіцієнтів: $B = 9,572$; $n = 0,574$, для $Re = 2000 \dots 3000$: $B = 1,451$;

$$n = 0,327.$$

Критерій Ейлера

$$Eu = B \cdot Re^{-n}. \quad (3.28)$$

$$Eu_{cm} = 9,572 \cdot 1588^{-0,574} = 0,139,$$

$$Eu_{\pi} = 1,451 \cdot 2406^{-0,327} = 0,114.$$

Коефіцієнт гідравлічного опору

$$\xi = \frac{Eu \cdot d_e}{\delta_T}, \quad (3.29)$$

$$\xi_{cm} = \frac{0,139 \cdot 3,08 \cdot 10^{-3}}{6,35 \cdot 10^{-3}} = 0,0674,$$

$$\xi_{\pi} = \frac{0,114 \cdot 3,08 \cdot 10^{-3}}{6,35 \cdot 10^{-3}} = 0,0553.$$

Приймаємо число ходів теплоносіїв: $z_{cm} = 40$; $z_{\pi} = 40$.

Довжина поверхонь теплообміну в напрямку руху теплоносіїв

$$L = \frac{V_T \cdot \xi \cdot \rho \cdot \omega \cdot z}{G}, \quad (3.30)$$

де ρ – густина теплоносія, кг/м^3 ;

ω – швидкість теплоносія, м/с ;

G – масова витрата теплоносія, кг/с .

$$L_{cm} = \frac{0,17 \cdot 0,0674 \cdot 0,83 \cdot 15 \cdot 40}{9,3} = 0,61 (\text{м});$$

$$L_{\pi} = \frac{0,17 \cdot 0,0553 \cdot 1,06 \cdot 15 \cdot 40}{9,3} = 0,64 (\text{м}).$$

Приймаємо довжину ходів для гарячого і холодного теплоносія 0,64 м.

Площа фронту для теплоносіїв

$$f_{\text{фр}} = \frac{V_{\text{Т}}}{L}, \quad (3.31)$$

$$f_{\text{фр см}} = f_{\text{фр п}} = \frac{0,17}{0,64} = 0,26 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Коефіцієнт проходу

$$\kappa_0 = \frac{\delta_{\text{т}} \cdot \beta}{\delta_{\text{т}} + \ell_{\text{п}} + 2\delta_{\text{п}}}, \quad (3.32)$$

$$\kappa_0 = \frac{6,35 \cdot 1204}{6,35 + 3,175 + 2 \cdot 0,152} = 777,8 \left(\frac{\text{м}^2}{\text{м}^3} \right).$$

Поверхня тепловіддачі з боку кожного теплоносія

$$F_{1,2} = \kappa_0 \cdot V_{\text{Т}}, \quad (3.33)$$

$$F_{1,2} = 777,8 \cdot 0,17 = 132 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Фронтальний коефіцієнт

$$\zeta = \frac{\kappa_0 \cdot d_{\text{е}}}{2}, \quad (3.34)$$

$$\zeta = \frac{777,8 \cdot 3,08 \cdot 10^{-3}}{2} = 1,198.$$

Живий переріз пакета для обох теплоносіїв

$$f_{\text{ж12}} = \zeta \cdot f_{\text{фр}}, \quad (3.35)$$

$$f_{\text{ж1,2}} = 1,198 \cdot 0,26 = 0,31 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Висота пакета (матриці)

$$H = \frac{f_{\text{ж}}}{L}, \quad (3.36)$$

$$H = \frac{0,31}{0,64} = 0,49 \approx 0,5 \text{ (м)}.$$

3.3.5 Аеродинамічні втрати і підбір вентиляторів

Втрати напору

$$\Delta P = \frac{\rho \cdot \omega^2}{2 \left[\xi \frac{L}{d_e} \right] + \xi_{\text{вх}} + \xi_{\text{вих}}}, \quad (3.37)$$

де $\xi_{\text{вх}}, \xi_{\text{вих}}$ – місцеві коефіцієнти опору на вході і виході з матриці, беремо рівними 0,5 [33].

$$\Delta P_{\text{см}} = \frac{0,83 \cdot 15^2}{2} \left[0,0674 \frac{0,64}{3,08 \cdot 10^{-3}} + 0,5 + 0,5 \right]^{-1} = 94 \text{ (Па)},$$

$$\Delta P_{\text{п}} = \frac{1,06 \cdot 15^2}{2} \left[0,0553 \frac{0,64}{3,08 \cdot 10^{-3}} + 0,5 + 0,5 \right]^{-1} = 119 \text{ (Па)}.$$

Необхідна подача вентиляторів

$$Q_{\text{в}} = \frac{G}{\rho} \cdot 3600, \quad (3.38)$$

$$Q_{\text{в}} = \frac{9,3}{1,06} \cdot 3600 = 31585 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right). \text{ (м}^3/\text{год)}.$$

Для роботи візьмемо вентилятор ВР 89-76-8 [37] з потужністю електроприводів 22 кВт, частотою обертання 1410 об/хв, повним напором 1800 Па. Вентилятори ВР 89-76 відцентрові мають односторонній забір перероблюваного

повітря і газової суміші. Конструкція корпусу спіральна, її можна повертати на потрібний кут, двигун і робоче лопаткове колесо мають обертання передбачене в обох напрямках [37].

3.4 Розрахунок очисного обладнання

3.4.1 Вихідні дані

- температура сушильного агента на вході $t'_1 = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- вологість вихідного сушильного агента $\varphi_2 = 50\%$;
- витрата теплоносія на нагрівання 25600 кг/год.
- медіанний розмір часток пилу $d_m = 9\text{ мм}$;
- кінематична в'язкість $\nu = 20,02 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$;
- стандартне відхилення функції розподілу парціальних коефіцієнтів очистки $\lg \delta_4 = 0,497$;
- концентрація пилу на вході в циклон $C_{\text{вх}} = 20 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$.
- густина часток пилу $\rho_{\text{ч}} = 2000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;
- задана ефективність очищення газу в циклоні $\eta = 0,8$.

3.4.2 Параметри теплоносія за робочих умов

Густина сухого повітря для температури $70\text{ }^{\circ}\text{C}$,

$$\rho_{\text{пв}} = \frac{P_6}{RT}, \quad (3.39)$$

де P_6 – тиск в циклоні, беремо 100000 (Па);

R – газова стала повітря, беремо $287 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right)$.

$$\rho_{\text{пв}} = \frac{100000}{287 \cdot (273 + 70)} = 1,016 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right).$$

Тиск насичення водяної пари за температури 70°C [43]:

$$P_{\text{н}} = 31,2 \text{ (кПа)}.$$

Парціальний тиск водяної пари за відносної вологості 50%

$$P_{\text{п}} = \varphi \cdot P_{\text{н}}, \quad (3.40)$$

$$P_{\text{п}} = 0,5 \cdot 31,2 = 15,6 \text{ (кПа)}.$$

Для температури 70°C за відносної вологості 50%, вологовміст повітря

$$d = \frac{622 \cdot P_{\text{п}}}{P_{\text{г}} - P_{\text{п}}}, \quad (3.41)$$

$$d = \frac{622 \cdot 15,6}{100 - 15,6} = 115 \left(\frac{\text{г}}{\text{кг}} \right).$$

Густина вологого повітря

$$\rho_{\text{вп}} = \rho_{\text{пв}} \frac{1 + d}{1 + 1,6078 \cdot d}, \quad (3.42)$$

$$\rho_{\text{вп}} = 1,016 \cdot \frac{1 + 0,115}{1 + 1,61 \cdot 0,115} = 0,956 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right).$$

Масова витрата теплоносія відповідно до завдання $G = 25600 \text{ (кг/год)}$.

Об'ємна витрата відпрацьованого повітря для очищення

$$V = \frac{G}{\rho_{\text{вп}}}, \quad (3.43)$$

$$V = \frac{25600}{0,956} = 26778 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right) / 3600 = 7,43 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right).$$

3.4.3 Розрахунок діаметра циклона

Користуючись таблицею 1.1 [41] для очищення газів візьмемо циклон типу БЦШ.

Оптимальні параметри для циклона БЦШ [41]

$$\omega_{\text{оп}} = 3,5 \text{ м/с}, \quad d_{\text{оп}}^T = 4,5 \text{ мкм}, \quad \lg \delta_{\eta}^T = 0,352.$$

Приймаємо кількість циклонів $N = 1$.

Діаметр циклона

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot \omega_{\text{оп}} \cdot N}}, \quad (3.44)$$

де N – кількість циклонів.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,43}{3,14 \cdot 3,5 \cdot 1}} = 1,64 \text{ (м)}.$$

Діаметр циклона занадто великий. Візьмемо збірку з 4 циклонів (4БЦШ)

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,43}{3,14 \cdot 3,5 \cdot 4}} = 0,556 \text{ (м)}.$$

Вибираємо найближче значення типового діаметра циклона $D = 0,55 \text{ м}$ [42].

Виконаємо перевірку. Дійсна швидкість газу в циклоні

$$\omega_{\text{ц}} = \frac{4 \cdot V_{\text{ц}}}{3,14 \cdot N \cdot D^2}, \quad (3.45)$$

$$\omega_{\text{ц}} = \frac{4 \cdot 7,43}{3,14 \cdot 4 \cdot 0,55^2} = 3,61 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right).$$

Розбіжність

$$\varepsilon = \frac{|3,5 - 3,61|}{3,5} \cdot 100 = 3,14\%.$$

Оскільки швидкість середовища змінилась в допустимих межах, зупинимося на вибраному діаметрі циклона $D = 0,55$ м, а для очищення теплоносія використаємо збірку 4БЦШ-550.

3.4.4 Ефективність роботи циклона

Теоретичний діаметр часток, що осаджуються з ефективністю 50%

$$d_{50}^T = \frac{d_m}{2}, \quad (3.46)$$

$$d_{50}^T = 9 / 2 = 4,5 \text{ (мкм)}.$$

Динамічна в'язкість газу

$$\mu_r = \nu \cdot \rho_{\text{вп}}, \quad (3.47)$$

$$\mu_r = 20,02 \cdot 10^{-6} \cdot 0,956 = 19,14 \cdot 10^{-6} \text{ (Па} \cdot \text{с)}.$$

Динамічна в'язкість газу за робочих умов

$$\mu_{\text{гр}} = \mu_{\text{г}} \left(\frac{T_0 + C}{(T_0 + t_{\text{г}}) + C} \right) \left(\frac{T_0 + t_{\text{г}}}{T_0} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (3.48)$$

де $C = 124$ – константа.

$$\mu_{\text{гр}} = 16,53 \cdot 10^{-6} \left(\frac{273 + 124}{(273 + 70) + 124} \right) \left(\frac{273 + 70}{273} \right)^{\frac{3}{2}} = 19,79 \cdot 10^{-6} \text{ (Па} \cdot \text{с)}.$$

Визначаємо діаметр частинок, що реально осаджуються з ефективністю 50% при робочих умовах

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{\frac{D_{\text{ц}} \cdot \mu_{\text{гр}} \cdot \rho_{\text{т}} \cdot \omega_{\text{т}}}{D_{\text{т}} \cdot \mu_{\text{т}} \cdot \rho_{\text{гр}} \cdot \omega_{\text{п}}}}, \quad (3.49)$$

$$d_{50} = 4,5 \sqrt{\frac{0,55}{0,556} \cdot \frac{1930}{2000} \cdot \frac{19,79 \cdot 10^{-6}}{16,53 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{3,5}{3,61}} = 4,74 \text{ (мкм)}.$$

Значення повинно бути менше (заданого). Якщо це не виконаються, то необхідно вибрати інший циклон з меншим значенням. $d_{50} = 4,74 < d_{\text{м}} = 9$ мкм.

Параметр X

$$X = \frac{\lg(d_{\text{м}} / d_{50})}{\sqrt{\lg^2 \delta_{\eta}^T + \lg^2 \delta_{\eta}^{\text{ч}}}}, \quad (3.50)$$

де $\lg^2 \delta_{\eta}^T = 0,352$ стандартне відхилення функції розподілу парціальних коефіцієнтів очистки [41];

$\lg^2 \delta_{\eta}^{\text{ч}} = 0,497$ стандартне відхилення розмірів частинок пилу [41].

$$X = \frac{\lg\left(\frac{9}{4,74}\right)}{\sqrt{0,352^2 + 0,497^2}} = 0,457.$$

За величиною параметра X визначаємо значення нормальної функції розподілу $\Phi(X)$, де $\Phi(X)$ – повний коефіцієнт очищення газу, виражений в частках.

$$\Phi(X) = \begin{cases} 0,3762 \cdot X + 0,5 & \text{при } 0 \leq X \leq 0,6 \\ 1 - \frac{1}{5,8 \cdot X + 0,5} & \text{при } X > 0,6 \end{cases}, \quad (3.51)$$

$$\Phi(X) = 0,3762 \cdot 0,457 + 0,5 = 0,672.$$

Ефективність очищення

$$\eta = \frac{1 + \Phi(X)}{2}, \quad (3.52)$$

$$\eta = \frac{1 + 0,672}{2} = 0,836.$$

Отримане значення потрібно співставити із заданим. Якщо η виявиться менше необхідного, то потрібно вибрати інший тип циклону з меншим значенням $\omega_{\text{оп}}$ і d_{50}^T . Для нашого розрахунку отримане значення заданої ефективності очищення газу в циклоні співпадає.

3.4.6 Коефіцієнт гідравлічного опору циклона

$$\xi = K_1 \cdot K_2 \cdot \xi_{550} + K_6, \quad (3.53)$$

де K_1 – коефіцієнт поправки на діаметр циклона, $K_1 = 1$ [44],

K_2 – коефіцієнт поправки на запиленість газу, $K_2 = 0,93$ [44],

ξ_{550} – коефіцієнт гідравлічного опору одного циклона, що має діаметр 550 мм.

Для циклона БЦШ $\xi_{550} = 155$.

Для групи циклонів (батареї) загальний коефіцієнт гідравлічного опору повинен містити коефіцієнт, що враховує додаткові втрати тиску, пов'язані з компонуванням циклонів у групу прямокутного компонування.

Для прямокутного компонування, при організованому підведенні запиленого газу, циклонні елементи розташовують на одній площині. Виведення чистого газу із загальної камери – $K_6 = 35$.

$$\xi = 1 \cdot 0,93 \cdot 155 + 35 = 179,15.$$

Гідравлічний опір циклона

$$\Delta P = \xi \frac{\rho_{\text{вп}} \cdot \omega_p^2}{2}, \quad (3.54)$$

де $\rho_{\text{вп}}$ – густина газу, кг/м³;

ω_p – швидкість газу в циклоні, м/с.

$$\Delta P = 179,15 \cdot \frac{0,956 \cdot 3,61^2}{2} = 1116 \text{ (Па)}.$$

Потужність приводу для подачі газу

$$N = \frac{K_3 \cdot \Delta P \cdot V}{\eta_m \cdot \eta_b}, \quad (3.55)$$

де K_3 – коефіцієнт запасу потужності, ($K_3 = 1,2$);

η_m – ККД передачі потужності від електродвигуна до вентилятора, приймаємо $\eta_m = 0,8$ [41].

η_m – ККД вентиляторів, приймаємо $\eta_m = 0,8$ [41].

$$N = \frac{1,2 \cdot 1116 \cdot 2,3}{0,8 \cdot 0,8} = 4812 \text{ (Вт)}.$$

Концентрація пилу на виході з циклона

$$C_{\text{вих}} = C_{\text{вх}} \cdot (1 - \eta), \quad (3.56)$$

$$C_{\text{вих}} = 20 \cdot (1 - 0,836) = 3,28 \left(\frac{\text{г}}{\text{м}^3} \right).$$

Таким чином, обраний циклон 4БЦШ–550 забезпечує необхідний ступінь очищення. Передочистки газу робити не потрібно.

Довжина шляху, що проходить газовий потік в циклоні

$$L = 2 \cdot (\pi \cdot D), \quad (3.57)$$

$$L = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,55 = 3,454 \text{ (м)}.$$

Швидкість у вхідному патрубку

$$v_{\text{окр}} = \frac{V}{N \cdot b \cdot a}, \quad (3.58)$$

де $b = 0,228$ – ширина вхідного патрубка, м (табл. 2.1);

$a = 0,641$ – висота вхідного патрубка, м (табл. 2.1).

$$v_{\text{окр}} = \frac{7,43}{4 \cdot 0,228 \cdot 0,641} = 12,7 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right).$$

Швидкість осадження часток

$$\omega_{\text{ос}} = \frac{d_{\text{ч}}^2 \cdot (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{вп}}) \cdot v_{\text{окр}}^2}{g \cdot \mu_{\text{вх}} \cdot D}, \quad (3.59)$$

де $\rho_{\text{ч}}$ – густина часток пилю, кг/м^3 ;

$\mu_{\text{вх}}$ – динамічна в'язкість газу на вході в циклон, $\text{Н}\cdot\text{с/м}^2$;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ;

$d_{\text{ч}}$ – діаметр часток для осаджування.

$$\omega_{\text{ос}} = \frac{(4,5 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (2000 - 0,956) \cdot 12,7^2 \cdot 0,956}{9,81 \cdot 19,79 \cdot 10^{-6} \cdot 0,55} = 0,584 \text{ (м/с)}.$$

Мінімальний час перебування частинок в циклоні

$$\tau = \frac{L}{\omega_{\text{ос}}}, \quad (3.60)$$

$$\tau = \frac{3,454}{0,584} = 5,91 \text{ (с)}.$$

4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок повітропроводів

4.1.1 Перерізи повітропроводів

Об'ємна витрата гарячих газів

$$V_{\text{вг}} = \frac{G_{\text{вг}}}{\rho_{\text{вг}}}, \quad (4.1)$$

$$V_{\text{вг}} = \frac{2085}{0,223} = 9350 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right).$$

Об'ємна витрата свіжого повітря

$$V_{\text{п}} = \frac{G_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}}}, \quad (4.2)$$

$$V_{\text{п}} = \frac{68100}{1,227} = 55500 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right).$$

Об'ємна витрата гарячого теплоносія, за (1.8)

$$V_{\text{п}} = \frac{55500 + 9350}{0,84} = 64850 \approx 65000 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right).$$

Для установки вибираємо вентилятори радіальні ВЦ 14-76 №6,3 продуктивністю 35000 м³/год з двигуном АІР200L6 30 кВт, 1000 об/хв, масою 335 кг кожен. Розмір вихідного отвору 400×400 мм [45].

Швидкість повітря за вихідним отвором нагнітальної машини

$$w_{\text{в}} = \frac{V_{\text{в}}}{F \cdot \eta \cdot n}, \quad (4.3)$$

де V_B – паспортна подача нагнітальної машини;

F – площа перерізу вихідного отвору;

η – ККД нагнітальної машини;

n – число обертів роторного колеса.

$$w_B = \frac{35000}{0,4 \cdot 0,4 \cdot 0,85 \cdot 1000} = 64,4 \left(\frac{m}{c} \right).$$

Прийmemo швидкість повітря в повітропроводах $w = 50,0 \text{ м/с} < w_B$ [8].

Переріз повітропроводів

$$F = \frac{G}{w \cdot \rho}, \quad (4.4)$$

– переріз повітропроводу з гарячими газами від топки

$$F_{гг} = \frac{9350}{50 \cdot 3600} = 0,052 (m^2);$$

– переріз повітропроводу свіжого повітря для змішування

$$F_{т} = \frac{55500}{50 \cdot 3600} = 0,3 (m^2);$$

– переріз повітропроводів для подачі гарячого теплоносія (з розрахунку 2-х вентиляторів)

$$F_{п} = \frac{65000}{2 \cdot 50 \cdot 3600} = 0,18 (m^2).$$

Для монтажу повітропроводів від топки вибираємо повітропроводи квадратного перерізу:

– для подачі газів з топки в камеру змішування

$$a_1 = \sqrt{0,052} = 0,23 \text{ (м)};$$

– для подачі повітря в камеру змішування

$$a_2 = \sqrt{0,3} = 0,5 \text{ (м)};$$

– для подачі суміші в теплообмінний апарат

$$a_3 = \sqrt{0,18} = 0,42 \text{ (м)};$$

Для всіх повітропроводів вибираємо товщину 0,7 мм, класу Н, з нержавіючої сталі AISI 324 з фланцями, що монтуються з готових вузлів (ПФПН 2729 – L) [46, 47].

4.2 Розроблення технології монтажу

4.2.1 Загальна характеристика об'єкта, що підлягає монтажу

В даній бакалаврській роботі розробляється технологія монтажу системи подачі чистого нагрітого теплоносія в колонки сушарки Астра-20 для підвищення екологічної чистоти зерна після сушіння.

Відмінною рисою сушарки є тривалий період збереження якісних характеристик зерна після просушування. Колонкова зерносушарка Astra, призначена для культур, обробка яких потребує делікатного підходу, а саме: рису, кукурудзи, насіннєвого зерна, білої квасолі (харчової).

Окремою категорією йдуть олійні культури, для обробки яких потрібний теплообмінник.

Джерелами енергії для роботи колонкової зерносушарки можуть виступати скраплений або природний газ та дизельне паливо.

Основною технологічною особливістю модельного ряду ASTRA є бага-

торазове отримання користі з нагрітого повітря. Повернення частини тепла з відпрацьованого повітря відбувається на кожному з етапів через розташування блоку рециркуляції повітря – від низу сушарки до зернообмінника, що знаходяться біля розвантажувальної системи. Покращені якості попередньо пом'якшеного повітря забезпечують збереження якості зерна.

До складу колонкової сушарки для зерна входять:

- пристрій завантаження;
- зернова колона;
- зернообмінник (інвертор);
- обслуговуючі майданчики;
- пальник (повітронагрівач);
- вентилятор;
- пульт керування.

Для обшивки вузлів використовуються герметичні стінки, що фіксуються на несучій рамі. Через такий пристрій сушарки відбувається відчутне зниження рівня шуму та ізоляція робочої області. Наявність конструкції окремих модулів дає можливість додавати елементи, здатні підвищити потужність працюючої сушарки.

Основними перевагами зерносушарок ASTRA є:

- невелика ціна зерносушарки;
- висока ефективність;
- екологічна безпека;
- наявність модулів у конструкції;

Для модернізації сушарки необхідно установити систему, яка б унеможливила попадання гарячих відхідних газів з топки в колонки і контакт висушеного зерна з цими відхідними газами був відсутнім.

Система має камеру змішування відхідних гарячих газів з топки зі свіжим повітрям, яке подається витяжними відцентровими вентиляторами ВЦ 14-46 №6,3, теплообмінного блоку, який складається з двох теплообмінників з по-

вітропроводами і блоку нагнітання гарячого теплоносія в колонки, що містить два відцентрових вентилятори ВЦ 14-46 №6,3, повітропроводи і регулювальну арматуру.

4.2.2 Розрахунок та комплектування основних та допоміжних матеріалів та виробів, складання відомостей

До монтажних робіт входить монтаж двох теплообмінників (по одному для кожної із зон) і двох нагнітальних вентиляторів, разом з необхідними повітропроводами і відповідною регулювально-запірною арматурою.

В об'єм монтажних робіт не входять роботи по монтажу камери змішування, оскільки вона присутня в старій схемі, але необхідно передбачити подачу гарячої газоповітряної суміші з неї в теплообмінники.

В результаті аналізу конструктивних особливостей об'єкту складено перелік основних та допоміжних виробів та матеріалів. Розрахунок та комплектування основних та допоміжних матеріалів та виробів наведенні у таблиці 4.1.

4.2.3 Визначення складу і об'ємів робіт

Склад робіт:

- доставка деталей до місць монтажу та їх складування;
- монтаж несучої конструкції;
- розмітка місць прокладання повітропроводів;
- монтаж теплообмінників;
- монтаж вентиляторів;
- встановлення віброізоляторів;
- встановлення вставок гнучких;
- прокладання повітропроводів пререрізом 420×420 мм;
- прокладання повітропроводів перерізом 500×500 мм;
- встановлення запірної арматури;
- перше робоче випробування системи циркуляції сушильного агента;
- кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію;

– повернення допоміжного обладнання на склад.

Таблиця 4.1 – Відомість витрат матеріалів

№ п.п.	Найменування матеріалу	Одиниці вимірювання	Кількість	Маса одиниці, кг	Маса, кг
Основні матеріали					
1	Повітропроводи із нержавіючої сталі класу Н з фланцями та зварними стиками на умовний тиск не більше 2,5 МПа, що монтуються з готових вузлів, переріз 420×420×0,7 мм [46]	м ²	4,8	5,8	27,84
2	Повітропроводи із нержавіючої сталі класу Н з фланцями та зварними стиками на умовний тиск не більше 2,5 МПа, що монтуються з готових вузлів, 500×500×0,7 мм [46]	м ²	8,9	6,2	55,1
3	Теплообмінник пластинчастий розбірний тип ВВ – 0,9	шт	2	925	1850
4	Вентилятор ВЦ 14-46 №6,3 з двигуном [45]	шт	4	335	1340
5	Віброізолятори ДО-44 [47]	шт	20	3,8	76
6	Вставка гнучка прямокутна ВВГ 400×400-420×420 мм [47]	шт	4	12,3	49,2
7	Вставка гнучка кругла В.00.00-15 d =630 мм [48]	шт	4	17,2	68,8
8	Заслінка регульована дросельна SRC 50-50 прямокутна з приводом [49]	шт	2	26,5	53
9	Патрубок перехідний квадрат/квадрат для повітропроводів 420×420/400×400 мм нержавіючий, з шинорейкою [50]	шт	6	12	72
10	Патрубок перехідний прямокутний для повітропроводів 400×400/500×500 мм нержавіючий, з шинорейкою [50]	шт	4	8,1	32,4
10	Відвід 45° 420×1 вентиляційний ДСТУ EN 12599:2006 [50]	шт	2	4,08	8,2
11	Швелер 14У	м	118,3	12,3	1453
12	Вата мінеральна теплоізоляційна	т	0,05		0,05

Продовження таблиці 4.1					
1	2	3	4	5	6
Допоміжні матеріали					
14	Азбестовий шнур загального призначення [ШАОН-1] діаметр 8 мм.	т	0,00084	-	1,82
15	Виріб гумовий технічний морозостійкий	кг	7,58	-	16,5
16	Болти будівельні з гайками і шайбами	т	0,011	-	23,9
17	Зварювальні електроди, марка ЭА400	т	0,00039	-	16
18	Мастика герметизуюча нетвердіюча "Гэлан"	т	0,00501	-	5,01

Загальна маса матеріалів 5278 кг.

В розрахунок об'ємів робіт входять:

– доставка деталей до місць монтажу та їх складування. Одиниці вимірювання в тоннах. Загальна маса усіх деталей 5278 кг (див. табл 4.1). Приймаємо об'єм робіт $V = 5,278$;

– встановлення несучої конструкції. Одиниці вимірювання в тоннах. Приймаємо об'єм робіт $V = 1,453$ [51];

– розмічання місць прокладання повітропроводів. Одиниці вимірювання 100 м. Довжина всієї мережі повітропроводів складає $L = 8,33$ м. Беремо $V = 0,083$ [52];

– монтаж теплообмінників. Одиниці вимірювання в штуках. Встановлюється два теплообмінники загальною масою 1850 кг. Приймаємо $V = 2$ [52];

– монтаж витяжних вентиляторів для подачі повітря та димових газів. Одиниці вимірювання штуки. Встановлюється 4 вентилятори загальною масою 1340 кг, на висоті понад 3 м над підлогою. Коефіцієнт 1,16. Беремо об'єм робіт $V = 4$ [52];

– встановлення віброізоляторів. Одиниці вимірювання 10 штук. Встановлюється 20 віброізоляторів. Приймаємо $V = 2$ [52];

– встановлення вставок гнучких. Одиниці вимірювання m^2 . Встановлюється 8 вставок, загальною площею $1,05 m^2$. Приймаємо $V = 1,05$ [52];

– прокладання повітропроводів діаметром 800 мм. Одиниці вимірювання 100 метрів. Довжина коробів з діаметром 800 мм складає 3,53 м. Приймаємо об'єм

робіт $V = 0,035$ м [52];

– прокладання повітропроводів перерізом 500×500 мм. Одиниці вимірювання 100 метрів. Довжина коробів з перерізом 500×500 мм складає 4,8 м. Приймаємо об'єм робіт $V = 0,048$ м [52];

– монтаж запірної арматури для повітропроводів перерізом 500×500 мм. Одиниці вимірювання 1 штука. Встановлюється 2 регульованих дросельних заслінки SRC 50-50 прямокутних з приводом. Приймаємо об'єм робіт $V = 2$ [52];

– перше робоче випробування системи циркуляції сушильного агента. Одиниці вимірювання в 100 метрах. Загальна довжина коробів становить 8,33 м. Приймаємо $V = 0,083$ [52];

– теплова ізоляція повітропроводів перерізом 500×500 мм. Одиниці вимірювання 10 м. Довжина повітропроводів 500×500 мм становить 3,53 м. Беремо $V = 0,35$ [52];

– теплова ізоляція повітропроводів перерізом 420×420 мм. Одиниці вимірювання 10 м. Довжина повітропроводів перерізом 420×420 мм становить 4,8 м. Приймаємо $V = 0,48$ [52];

– робоча перевірка системи в цілому і здача в експлуатацію. Загальна довжина монтажу системи 8,3 метри. Одиниці вимірювання 100 м. Отже, $V = 0,083$ [52];

– повернення залишків на склад. Одиниці вимірювання в тоннах. Загальна маса усього обладнання 110 кг. Приймаємо об'єм робіт $V = 0,11$.

4.2.4 Вибір і обґрунтування методів виконання робіт

Монтаж несучої конструкції. В даній системі несуча конструкція (монтажна рама) виготовляється за кресленням з швелерів У14 на місці установлення. Мірний прокат доставляється на місце монтажу, розрізається на заготовки у відповідності до креслення і зварюється в конструкцію ручним електродуговим зварюванням. Розрізання прокату на заготовки виконується абразивним відрізним кругом або газовим різак. При монтажі верхнього яруса несучої конструкції застосовують підймальні механізми. Конструкція закріплю-

ється анкерними болтами і ручним дуговим зварюванням.

Монтаж повітропроводів. В даній системі повітропроводи 500×500 мм мають незначну довжину (меншу від діаметра), тому додатково кріпити їх не потрібно. Повітропроводи поставляються із закріпленими до них шинорейками. Перед монтажем повітропроводів необхідно перевірити їх комплектність. Монтаж полягає в скручуванні частин системи болтами з гайками і шайбами і прокладанні між шинорейками герметизуючої гумової (див. таблицю 4.1) прокладки.

Монтаж повітропроводів виконати в такій послідовності;

- а) розмітити вісі;
- б) прокласти повітропроводи, вузли і заготовки по наміченим вісям;
- в) зібрати повітропровід та приєднати до них монтажні вузли;
- г) вивірити та установити задані уклони;

Укрупнювальне збирання вузлів і елементів повітропроводів в монтажні блоки перед установкою в проектне положення рекомендується проводити в тих випадках коли це передбачено проектом або це технічно доцільно в конкретних умовах монтажу.

Монтаж запірної арматури. При монтажі арматури яка не увійшла в вузли, необхідно дотримуватися наступних вимог:

- арматуру потрібно розміщувати в місцях, доступних для зручного і безпечного обслуговування і ремонту;
- ручний привід арматури потрібно розташовувати на висоті не більше 1,8 м а при частому використанні не більше 1,6 м від підлоги приміщення або обслуговуючої площі;
- вентиль з ручним приводом необхідно розміщувати шпинделем вгору (вертикально) або горизонтально, або в межах верхнього напівкола.

Установка арматури шпинделем вниз не допускається.

- на горизонтальних повітропроводах засувки встановлюють переважно маховиками вгору, на вертикальних повітропроводах - у положення на ребро.

Не слід розташовувати арматуру над проходами для обслуговування обладнання.

4.2.5 Підбір машин, механізмів, пристосувань для монтажних робіт

Для монтажу вузлів теплообмінника та несучої конструкції потрібно застосувати автокран КС-2561К на колісній базі автомобіля ЗіЛ – 130, характеристики якого наведено в таблиці 4.2 [53].

Апарати, деталі, матеріали та обладнання для встановлення системи завозяться централізовано автомашиною "ГАЗ – 3309". Технічні характеристики автомашини наведені в таблиці 4.3 [54] .

Для зварювання стиків повітропроводів використовується зварювальний апарат інверторного типу JASIC TIG 180P (W211). Його характеристики вказані в таблиці 4.3 [55].

Таблиця 4.2 – Технічні характеристики автокрану КС-2561К

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Вантажопідйомність	т	6,3
Висота підйому стріли	м	8
Розміри в транспортному положенні довжина висота ширина	м	8,5 3,6 2,5
Маса	т	9,25

Таблиця 4.3 – Технічні характеристики автомашини "ГАЗ – 3309"

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Вантажопідйомність	кг	до 4500
Кількість осей:		
всього	шт	2
ведучих	шт	1
Вантажна висота	мм	1365
Найбільша швидкість	км/год	95
Радіус повороту	м	8
Витрата палива	л/100 км	19,3
Габарити:		
Довжина	мм	6436
Ширина	мм	2700
Висота	мм	2905
Маса	кг	3530

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики зварювального апарата інверторного типу JASIC TIG 180P (W211)

Величина	Одиниця виміру	Значення
Номінальна напруга мережі	В	220
Номінальний зварювальний струм	А	10 – 280
Діаметр електродів	мм	2 – 4
Споживана потужність	кВт	6,5
Номінальна робоча напруга	В	17,2
Габарити	мм	355x130x210
Маса	кг	5,94

Для підгонки і розрізання металу застосовують кутову шліфмашину Mächtz MAG-28/2970 (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5 – Характеристики кутової шліфмашини Mächtz MAG-28/2970 [56].

Величина	Одиниця виміру	Значення
Номінальна напруга мережі	В	220
Номінальна потужність	Вт	2970
Швидкість обертання	об/хв	6600
Споживана потужність	кВт	6,5
Діаметр диска	мм	280
Маса	кг	6,4

Для випробування повітропроводів на міцність та щільність використовуємо відцентровий вентилятор НВВ-2-450/71-400Т, його характеристика в таблиці 4.6 [57].

Таблиця 4.6 – Технічна характеристика відцентрового вентилятора НВВ-2-450/71-400Т

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Максимальна витрата	м ³ /год	4000
Статичний тиск	Па	3500
Швидкість обертів	об/хв	2900
Маса	кг	75

Загальна маса обладнання 110 кг.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі бакалаврської роботи розглянуті заходи з охорони праці під час реалізації заходів з модернізації колонкової зерносушарки. На будівельно-монтажний персонал, який здійснює монтаж інженерного обладнання будівель і споруд для ефективної роботи колонкових сушарок: прокладання трубопроводів, монтаж сантехнічного, опалювального, вентиляційного та газового обладнання впливають такі шкідливі виробничі фактори [58, 59]: фізичні, хімічні та трудового процесу.

Фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо).

Хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил).

Фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Монтажні та налагоджувальні роботи під час монтажу обладнання системи забезпечення ефективної роботи колонкових сушарок потрібно виконувати з урахуванням вимог ДБН А.3.2-2-2009. Система стандартів безпеки праці. Державні будівельні норми України. Охорона праці і промислова безпека у

будівництві. Основні положення, роботи на висоті – згідно з вимогами НПАОП 0.00-1.15, роботи у вибухо-пожежонебезпечних зонах – відповідно до вимог НПАОП 0.00-5.12 [60].

Під час протягування кабелю через отвори в стінах робітники повинні перебувати по обидва боки стіни. Відстань від стіни до крайнього положення рук робітників повинна бути не менше ніж 1 м. Розпалення пальників, паяльних ламп, розігрівання кабельної маси і розплавленого припою необхідно робити на відстані не менше ніж 2 м від кабельного колодязя.

Підключення змонтованих електричних мереж і електрообладнання до діючих електромереж повинна здійснювати служба експлуатації цих мереж. Не допускається використовувати і приєднувати як тимчасові електричні мережі та електроустановки, що не прийняті у визначеному порядку в експлуатацію, а також виконувати без дозволу налагоджувальної організації електромонтажні роботи на змонтованих і переданих під налагодження електроустановках.

Запобіжники мереж керування апаратом, що монтується, необхідно зняти на весь час монтажу.

Випробування електроприводів дозволяється після встановлення зв'язку між персоналом, що перебуває у приміщенні щита чи пульта керування, і біля електроприводів.

Під час налагодження лінійних і кінцевих вимикачів, датчиків та інших засобів автоматики повинна бути знята напруга з силових електромереж.

5.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В). Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах підвищеної вологості.

Роботи в діючих електроустановках необхідно виконувати відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.21, Правил технічної експлуатації електроустановок

споживачів, Правил улаштування електроустановок, НПАОП 40.1-1.07, НПАОП 0.00-1.30. Електромонтажні і налагоджувальні роботи в діючих електроустановках необхідно здійснювати після зняття напруги з усіх струмопровідних частин, що знаходяться в зоні виконання робіт [60].

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні [61] встановлюють допустимі параметри мікроклімату, значення яких наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт IIа.

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	Середньої важкості IIа	18-27	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний		17-23	До 75%	не більше 0,3

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено [62]: температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні допустимих параметрів мікроклімату не повинна перевищувати 2°C; якщо температура поверхонь вище або нижче допустимої температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1 м; для забезпечення нормованих значень швидкості руху повітря проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ [63]. Нормовані параметри забруднення повітря в робочій зоні наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

-Найменування -речовини	-ГДК, мг/куб.м		-Клас -небезпечності
	-Максимальна -разова	-Середньодобова -	
-Оксид вуглецю	-	-20	-4
-Пил нетоксичний	-4	-4	-4

5.2.3 Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в». Допустимі рівні виробничого освітлення наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалент- ний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під- роз- ряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характе- ристика фону	Штучне при- системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загаль- ного		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	малий середній великий	світлий середній темний	400	200	4	2,4

5.2.4 Виробничий шум

Нормовані параметри виробничого шуму в робочій зоні за ССБТ. Шум загальні вимоги безпеки наведено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту – «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

5.2.5 Виробнича вібрація

Під час монтажних робіт присутня вібрація типу За. Нормовані параметри виробничої вібрації в робочій зоні наведено в таблиці 5.5.

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено: динамічне погашення вібрації – приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи; зміна конструктивних елементів машин; застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація: на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	$\frac{1,3^*}{108}$	$\frac{0,45}{99}$	$\frac{0,22}{93}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	-	-	-	-
Локальна вібрація	-	-	$\frac{2,8}{115}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$

* В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, $\text{м/с} \cdot 10^{-2}$, в знаменнику – логарифмічні рівні вібрації, дБ.

5.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [64]. Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [65], за якою визначається категорія

приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [66,67].

Отже, приміщення, де встановлене обладнання колонкової зерносушарки, за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відноситься до категорії В (пожежонебезпечна) – горючі гази, легкозаймисті, горючі і/або важкогорючі рідини, а також речовини і/або матеріали, як здатні вибухати та горіти або тільки горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним; тверді горючі і/або важкогорючі речовини та матеріали (включно горючий пи́л і/або волокна).

Будівля, в якій розташовані ці приміщення категорії В, характеризується II ступенем вогнестійкості. До II ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [68] наведено в таблиці 5.6.

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [69] наведено в таблиці 5.7.

Таблиця 5.6 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, кос-тури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між поверхів (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи сумі-щених покрит-тів	
	несучі та схо-до-вих кліток	само-несучі	зов-ніш-ні не-несу-чі	внут-рішні не-несучі (пере-город-ки				пли-ти, на-сти-ли, про-го-ни	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0

Таблиця 5.7 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбуру, не нижче
Стіни	3	REI 45	2	2
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	4	REI 15	3	2

На території підприємства встановлено 22 газових вогнегасника ВВК-7 і 19 порошкових вогнегасника ВВП-5 (ВП-5) [70].

ВИСНОВКИ

В бакалаврській кваліфікаційній роботі виконано розрахунок існуючої колонкової зерносушарки Астра-20 для сушіння соняшникового насіння від вологості 19% до сорбційної вологості зберігання 15%.

Встановлено, що сумарна потужність сушарки при сушінні зерна відхідними газами має становити 1191 кВт.

Розраховано теоретичний та дійсний процеси сушіння зерна по зонах, визначено теплові втрати сушарки і її к.к.д., який склав 53,6%.

Годинна кількість видаленої вологи складає $W=941$ кг/год.

Багатоваріантний аналіз показав, що найвигіднішими видами палива є кам'яне вугілля і пелети з соняшникового лушпиння.

Виконано тепловий та аеродинамічний розрахунок топки колонкової зерносушарки потужністю 2,0 МВт. Розрахунок проводився для спалювання кам'яного вугілля Донецького басейну класу П, проведено розрахунок об'ємів газів, теоретичного об'єму повітря та розрахунок ентальпій топкових газів.

Розраховано компактний теплообмінник в теплову схему сушарки Астра-20 для сушіння соняшникового насіння. У процесі роботи було визначено повну площу теплообміну TA , яка склала 188 м^2 , визначено розміри і кількість пластин в теплообміннику, площа фронту для обох пакетів матриці склала $0,26 \text{ м}^2$, висота теплообмінника 0,5 м. Виконано гідравлічний розрахунок TA ,

В роботі здійснено вибір і розрахунок циклонної збірки для очищення відпрацьованого теплоносія. В якості очисного обладнання вибрано циклонну збірку 4БЦШ-550. Ефективність очищення 0,836.

Розроблено технологію монтажу розбірного пластинчастого теплообмінного апарата для підігріву холодного теплоносія відхідними газами з топки колонкової сушарки Астра-20.

Виконано підбір обладнання і матеріалів для монтажу газоповітряного теплообмінника та нагнітальних вентиляторів ВЦ 14-46-6,3 Ж-02, визначено загальну масу обладнання, яка склала 5238 кг.

Визначено склад і об'єми робіт, трудомісткість виконання монтажних робіт, необхідне обладнання для монтажу.

Розроблено заходи по організації та технології монтажу системи та технічної частини.

Розроблено заходи з охорони праці.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Реформи нафтогазового сектору в Україні. Американська торгова палата в Україні. Київ : Горизонт парк, 2025. 33 с. URL : https://chamber.ua/wp-content/uploads/2020/01/reforms_in_oil_and_gas_sector_of_ukraine_ua.pdf. Дата звернення 18.05.2025.
2. Про Основні напрями реформування нафтогазового комплексу України. Постанова Кабінету міністрів України від 16.12.1996 р. № 1510.
3. Модульні (колонкові) зерносушарки: переваги та особливості URL: <https://intekzahid.com.ua/article/view/modulni-kolonkovi-zernosusharki-perevagi-ta-osoblivosti/> . Дата звернення 18.05.2025.
4. Поляшенко С. О., Єсіпов О. В. Джерела теплової енергії та енергетичні ресурси. Системи теплопостачання і теплові мереж : конспект лекц. Харків. ДБТУ, 2023. 156 с.
5. Класифікація вугілля. Вікіпедія. URL : <https://uk.wikipedia.org/wiki/> . Дата звернення 18.05.2025.
6. Співак, О., Педченко, Н., Матола, І. (2025). Вплив відносної вологості оточуючого середовища на вологовміст теплоізоляційних матеріалів. в *ВНТКП ВНТУ. Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії*. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/23687/19565> Дата звернення 17.05.2025.
7. Способи та обладнання для сушіння зерна. URL: <https://agroexpert.ua/sposoby-ta-obladnannia-dlia-sushinnia-zerna/> (Дата звертання 20.05.25).
8. Ткаченко С. Й. Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки: навч. посібн. Вінниця, : ВНТУ, 2008. 98с.
9. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Київ: Мінрегіон України, 2014, 55с.
10. Станкевич Г. М. Страхова Т. В., Атаназевич В.І. Сушіння зерна: Підручник. Київ: Либідь, 1997. 352 с.
11. Співак О. Ю., Резидент Н. В. Тепломасообмін: навч. посібн. Части-

на 1. Вінниця: ВНТУ, 2020. 113 с.

12. Резидент Н. В., Співак О. Ю. Тепломасообмін: навч. посібн. Частина 2. Вінниця: ВНТУ, 2022. 101 с.

13. Степанов Д. В., Корженко Є. С., Боднар Л. А. Котельні установки промислових підприємств : навч. посібн. Вінниця : ВНТУ, 2011. 120 с.

14. Альтернативні види твердого палива в сучасних реаліях. Енергія-сервіс. URL: <https://energyservice.com.ua/article/texts-alternativnye-vidy-tverdogo-topliva-v-sovremennykh-realiyakh.html> . Дата звернення 19.05.2025.

15. Maltry V., Petke E., Schneider B. Trocknungsanlagen für landwirtschaftliche Zwecke. Berlin: Maschinenbau, 1979. 508 p.

16. Паламарчук І. П. та ін. Тепломасообмінні процеси та обладнання переробного та харчового виробництва. Том 2: навч. посібн. Львів: Бескид Біт, 2006. 368 с.

17. Станкевич, Г. М., Страхова Т. В., Борта А. В. Сушіння зерна. Вид. 2-ге, перероб і допов. Одеса: КП ОМД, 2021. 248 с.

18. Атаманюк В. М. Зовнішній тепломасообмін під час фільтраційного сушіння // Промислова теплотехніка. 2006, Т.28, №5, С.47–54.

19. Зерносушарки на альтернативному паливі. FinProGroup. URL : <https://finpro.group/uk/wiki-uk/zernosusharki/palivo/alternativnoye-toplivo> . Дата звернення 19.05.2025.

20. Патент України на винахід № 95421 "Спосіб одержання твердого палива та тверде паливо", опубл. 25.07.2011, Бюл. № 4.

21. Патент України на корисну модель № 101804 від 05.05.2015 "Тверде альтернативне паливо", опубл. 25.09.2015 р., МПК С10L 5/00.

22. Патент України на винахід № 128410 від 02.08.2021 "Тверде паливо", опубл. 15.12.2011, Бюл. № 50.

23. Вугілля марки ДГ 13-100. URL : <https://icoal.com.ua/uk/product/vugillya-marky-dg-13-100-czina-za-1-tonnu/> . Дата звернення 30.05.2025.

24. Нафтогаз. Тарифи. URL : <https://gas.ua/uk/business/tariffs>. Дата звернення 30.05.2025.

25. Пелети з лушпиння URL : <https://baza-drov.com.ua/uk/peleti/z-lushpinnya-sonyashnika>. Дата звернення 30.05.2025.
26. Пелети з дров URL : <https://baza-drov.com.ua/uk/peleti/peleti-6-mm>. Дата звернення 30.05.2025.
27. Брикети з торфу. URL : <https://drova-kiev.in.ua/ua/briketi/torfiani-brykety> . Дата звернення 30.05.2025.
28. Марки вугілля і їх характеристики. URL : <https://drova-kiev.in.ua/ua/blog-ua/marki-vugillya-i-yih-harakteristiki> . Дата звернення 29.05.2025.
28. Чепурний М. М., Степанов Д. В., Корженко Є. С. Теплові розрахунки парогенераторів : навч. посібн. Вінниця : ВНТУ, 2005. 142 с.
29. ДБН В.2.5-77 : 2014 Котельні. Київ : Мінрегіон України, 2014. 53 с.
30. Лабай В. Й. Тепломасообмін : підруч. для студ. теплотехн. спец. Львів : Тріада Плюс, 2004. 260 с.
31. Чепурний М. М., Ткаченко С. Й. Розрахунки тепломасообмінних апаратів: навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2006. 129 с.
32. Корнієнко Я. М. Процеси та обладнання хімічної технології 1: підручник / Я. М. Корнієнко та ін. Київ : НТУУ „КПІ”, 2011. Ч.1. 300 с.
33. Kays W. M., London A. L. Compact Heat Exchangers. A training package for engineers. New York : ENERGY EFFISIENCY, 2000. 255 p. URL : <https://pdfcoffee.com/qdownload/w-m-kays-a-l-london-compact-heat-exchangers-pdf-pdf-free.html> . Дата звернення 23.05.2025.
34. Співак О. Ю., Резидент Н. В. Тепломасообмін. Методи інтенсифікації : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] Вінниця : ВНТУ, 2023. 112 с.
35. Алексахін О. О., Панчук О. В. Теплогазопостачання і вентиляція. Вибрані задачі: Навч. посіб. Харків : УкрДУЗТ, 2017. 230 с.
36. ДСТУ 3949-2000. Апарати теплообмінні пластинчасті розбірні. Параметри та основні розміри. Київ : Держстандарт України, 2001. 18 с.
37. Промисловий вентилятор ВР 88-75 (ВЦ 4-75) №8 URL : https://www.vent.com.ua/ventilyator-vr-88-75-vc-4-75-8-ehldv-11_750/ Дата зве-

рнення 23.05.2025.

38. Пластинчасті теплообмінники. Види пластинчастих теплообмінників. URL : <https://www.truba.ua/ua/library/art-plastynchasti-teploobminnyky-vydy> Дата звернення 23.05.2025.

39. Циклонні сепаратори. Особливості та принцип їх роботи. URL : <https://abtechnologies.com.ua/korysni-instrumenty/tsiklonni-separatori-osoblivosti-ta-printsip-yih-roboti/> (дата звернення 20.05.2025).

40. Лютий Є. М., Нахаєв П. П., Ляшеник А. В. Ефективність застосування циклонів із фільтруючими зовнішніми стінками // *Наук. вісник УкрДЛТУ*: 3б. наук.-техн. праць. Львів: УкрДЛТУ. 2001, вип.12.2. С. 121-125.

41. Методичні вказівки для виконання самостійної та практичної роботи із навчальної дисципліни «Технології захисту атмосферного повітря» / Укл. І.В. Давидова, І.Г. Коцюба, Житомир : вид-во Житомирського державного технологічного університету, 2020. 33 с.

42. Розрахунок основних параметрів циклонів пиловловлювачів для пневмосепараторів. URL : <https://www.metallum.com.ua/ua/blog/czikloni/raschet-osnovnyix-parametrov-cziklonov-dlya-pnevmosteparatorov> . Дата звернення 21.05.2025.

43. TLV. Saturated Steam Table by Temperature. URL : <https://toolbox.tlv.com/global/US/calculator/steam-table-temperature.html>. Дата звернення 21.05.2025.

44. Ратушняк Г. С., Лялюк О. Г. Технічні засоби очищення газових викидів: навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2005. 158 с.

45. Вентилятори радіальні ВЦ 14-46 №6,3. URL : <https://v-a.com.ua/pr246-vc-14-46-63> Дата звернення 21.05.2025.

46. Повітропровід прямокутний ПФПН. URL : <https://tez.ua/specification/> Дата звернення 21.05.2025.

47. Вставка гнучка прямокутна 400×400 мм/ URL : <https://turbovent.com.ua/p1559487533-gibkaya-pryamougolnaya-vstavka.html> Дата звернення 21.05.2025.

48. Вставка гнучка кругла 630 мм URL : <https://systemax.ua/komplektuyushie/gibkie-vstavki/v/v-00-00-15.html> Дата звернення 21.05.2025.

49. Заслінка дросельна прямокутна URL : <https://termal.com.ua/wpcos>

[ntent/uploads/2015/03/AEROSTAR-Termal.pdf](#) Дата звернення 21.05.2025.

50. Патрубок перехідний. URL : <https://prom.ua/p721997376-patrubok-perehodnoj-300h450.html?&primelead=My42> Дата звернення 21.05.2025.

51. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 9. Металеві конструкції. Чинний від 2023-02-07. Київ : Мінрегіон України, 2021. 141 с. URL: <https://e-construction.gov.ua/files/upload/2022-11-05/399b64a5-df06-4b5d-bacb-ab93c3408a2a.pdf> Дата звернення 22.05.2025.

52. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 20. Вентиляція та кондиціонування повітря. Чинний від 2023-02-07. Київ: Мінрегіон України, 2021. 150 с. URL: <https://econstruction.gov.ua/files/upload/2022-11-05/d55e5c6b-59be-464f-a9f60c2555f5ad79.pdf> Дата звернення 22.05.2025.

53. Будівельна техніка. Довідник. URL : <https://budtehnika.pp.ua/7330-krank-2561k-ks-2561k-1-vantazhopdyomnstyu-63-t.html>. Дата звернення 22.05.2025.

54. Каталог будівельних машин ГАЗ. Режим доступу до ресурсу: <http://powertools.co.nz>. Дата звернення 23.05.2025.

55. Каталог зварювальних апаратів JASIC TIG. URL: <http://domsvarki.lg.ua>. Дата звернення 22.05.2025.

56. Шліфмашина кутова Mächtz MAG-23/2970/ URL : <https://machtz.com.ua/products/bolgarka-mchzt-mag-232970> . Дата звернення 22.05.2025.

57. Відцентровий вентилятор високого тиску HVB. URL : <https://polvent.com.ua/ua/tovar-tsentrobezhyiy-radialnyiy-ventilyator-3/> Дата звернення 22.05.2025.

58. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014. [Чинний від 2014-05-30].

59. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. [Чинний від 2007-12-01].

60. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2009-01-27]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2009. 116 с.

61. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

62. НПАОП 40.1-1.32-01. (ДНАОП 0.00-1.32-01). Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [Чинний від 2002-01-01].

63. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Постанова МОЗ № 42 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01].

64. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2018. 133 с.

65. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Постанова МОЗ № 37 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01].

66. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. [Чинний від 2021-01-22]. Вид. офіц. К. : МВС України, 2014. 47 с.

67. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 84 с.

68. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. [Чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2016. 31 с.

69. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017-02-01]. Вид. офіц. К. : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2016. 35 с.

70. Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників. Наказ МВС № 765 від 28.10.2020. [Чинний від 2021-01-26].

ДОДАТКИ

Додаток А
(обов'язковий)
ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Модернізація колонкової зерносушарки «АСТРА-20»

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)
Підрозділ ФБЦЕІ, кафедра ТЕ, група ТЕ-216
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 30,8 %

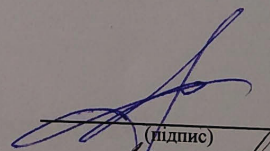
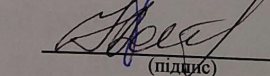
Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

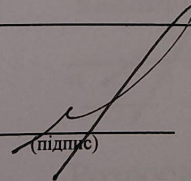
- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Степанов Д.В., зав. кафедри ТЕ
(прізвище, ініціали, посада)

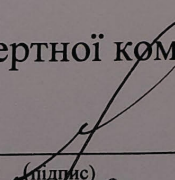
Резидент Н.В., доцент кафедри ТЕ
(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

(підпис)

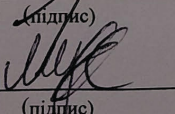
Особа, відповідальна за перевірку 
(підпис)

Співак О.Ю.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник 
(підпис)

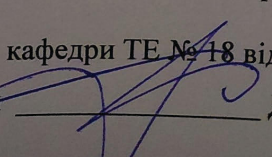
Співак О.Ю.
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач 
(підпис)

Матола І.Р.
(прізвище, ініціали)

У відповідності до розпорядження 03/15 від 01.06.2022 р на засіданні кафедри теплоенергетики прийнято рішення виключити в кваліфікаційних роботах здобувачів кафедри з перевірки на наявність текстових запозичень розділ Охорони праці та Економічний розділ.

Протокол засідання кафедри ТЕ № 18 від 14.05.2024 р.

Зав. кафедри  Д.В. Степанов

Додаток Б
(обов'язковий)

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії

ЗАТВЕРДЖЕНО
Завідувач кафедри ТЕ
доц. Д. В. Степанов
_____ 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи

МОДЕРНІЗАЦІЯ КОЛОНКОВОЇ ЗЕРНОСУШАРКИ «АСТРА-20»
за спеціальністю 144 – теплоенергетика

08-15.БКР.003.00.00.000 ТЗ

Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи
_____ к.т.н., доц. Співак О. Ю.
_____ 2025 р.

Розробив студент гр.ТЕ-216
_____ Матола І.Р.
_____ 2025 р.

1 Найменування та область застосування розробки

Розробка та модернізація джерел теплоти сушильних комплексів для сушіння сільськогосподарської сировини. Розробка стосується проблем енергозбереження при сушінні сільськогосподарської сировини, з подальшим використанням в різних галузях.

2 Основа для проведення розробки

Наказ ректора ВНТУ №247 від 18.09.2023 р.

Основою для розробки стала технічна документація на колонкову конвективну зерносушарку «Астра-20». Розрахунки по підвищенню енергоефективності сушильних установок. Літературні джерела, патентна документація та розробки кафедри ТЕ ВНТУ. Тематичний план науково-дослідних робіт кафедри теплоенергетики, протокол №12 від 25.01.2023 р.

3 Джерела розробки

Основним джерелом розробки є методики покращення енергозбереження при роботі сушарок для сушіння зернових культур, а також нормативні дані по необхідних параметрах, наведених в інших теплоенергетичних джерелах:

3.1 Ткаченко С. Й. Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки.

Навч. посібн.: Вінниця : ВНТУ. 2008. 98 с.

3.2 Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки. Приклади та задачі.

Навч. посібн.: Вінниця : ВНТУ, 2013. 112 с.

3.3 Патент України. Сушильна шафа. U200704163. 16.04.2007.

F26.B9/06. №29962, опубл. 11.02.2008. бюл.№3.

3.4. Патент України. Пристрій для сушіння. U200387725. 14.08.2003.

F26B9/06. №71120A, опубл. 15.11.2004. бюл. №11.

3.5 Патент України. Пристрій для сушіння. U200608145. 20.07.2006.

F26B9/06. №20276, опубл. 15.01.2007. бюл. №1.

3.6 Патент України. Сушильна камера. U190041958. – 07.04.1999. F26B9/06. – №32327, опубл. 15.12.2000. бюл. №7(II).

3.7 Патент України. Сушильна шафа. U2001031697. 13.03.2001. F26B9/06. №49170A, опубл. 16.09.2002. бюл. №9.

4 Технічні вимоги

Тепловий розрахунок колонкової сушарки «Астра-20»; масовий і тепловий баланси процесу сушіння; коефіцієнт корисної дії сушарки; багатоваріантний аналіз; розрахунки обладнання для модернізації; тепловий розрахунок топки на кам'яному вугіллі; розрахунок теплообмінного апарата; розрахунок очисного обладнання; технологічна частина; розрахунок повітропроводів; розроблення технології монтажу; охорона праці; висновки; додатки.

Схематичне зображення сушарки на плакатах, основні характеристики сушарки і вартість сушіння. Дотримання стандартів щодо виготовлення готової продукції та її якості.

5 Економічні показники

На сьогоднішній день більша частина готової сушеної продукції має низьку якість, або високу ціну, що пов'язано з високою вартістю теплоносіїв, що застосовуються в сушильній техніці.

В даній роботі проводиться: дослідження можливості і економічної доцільності використання різних видів теплогенеруючого устаткування для роботи камерних сушарок; побудова математичної моделі для розрахунку характеристик палива і дослідження впливу окремих складових теплового балансу на коефіцієнт корисної дії сушильного обладнання.

6 Заходи з енергозбереження

Модернізація сушильного комплексу, розроблення технології монтажу обладнання для модернізації та додаткового обладнання.

Використання сучасного обладнання, що дозволяє значно зменшити теплові втрати.

7 Вимоги до стандартизації та уніфікації

Магістерська кваліфікаційна робота виконується згідно ДСТУ та нормативної документації, яка діє в Україні. Всі креслення, плани та схеми виконуються на листах формату А3. Деталі обладнання вибираються стандартними та уніфікованими, щоб забезпечити можливість швидкого монтажу та можливість їх ремонту чи заміни.

8 Вимоги з надійності

Надійність роботи комплексу забезпечується дотриманням вимог усіх необхідних нормативних документів. Усі розрахунки проводяться згідно державних стандартів. Процес монтажу та експлуатації повинен проводитися згідно стандартів з охорони праці.

9 Стадії і етапи розробки

№ з/п	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Прим.
		початок	закінчення	
1.	Аналіз літературних та патентних джерел	25.03.2025	29.03.2025	викон.
2.	Розрахунок колонкової зерносушарки «Астра-20»	30.03.2025	05.04.2025	викон.
3.	Багатоваріантний аналіз	05.04.2025	10.04.2025	викон.
4.	Розрахунки допоміжного обладнання	11.04.2025	25.05.2025	викон.
4.1	Розрахунок камери змішування теплоносіїв	11.04.2025	20.04.2025	викон.
4.2	Розрахунок пластинчастого теплообмінника-рекуператора	21.04.2025	25.05.2025	викон.
4.3	Розрахунок очисного обладнання	16.05.2025	20.05.2025	викон.
4.4	Розрахунок повітропроводів	21.05.2025	23.05.2025	викон.
4.5	Розробка технології монтажу	24.05.2025	26.05.2025	викон.
5.	Розробка заходів з охорони праці	27.05.2025	30.05.2025	викон.
7.	Оформлення висновків по роботі	31.05.2025	01.06.2025	викон.

8.	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу.	02.06.2025	03.06.2024	викон.
9.	Перевірка на антиплагіат	03.06.2025	04.06.2025	викон.
10.	Нормоконтроль	04.06.2025	05.06.2025	викон.
11.	Попередній захист БДР, доопрацювання, рецензування БДР	06.06.2025	11.06.2025	викон.
12.	Захист БДР ЕК	12.06.2025	12.06.2025	

10 Порядок контролю та прийняття магістерської кваліфікаційної роботи

Виконання етапів графічної та розрахункової документації магістерської кваліфікаційної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи.

Прийняття роботи здійснюється ЕК затвердженою ректором університету згідно з графіком захисту.

Корегування технічного завдання допускається з дозволу керівника роботи.

Технічне завдання розроблено на підставі джерел розробки і може уточнюватись протягом виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

Додаток В
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
МОДЕРНІЗАЦІЯ КОЛОНКОВОЇ ЗЕРНОСУШАРКИ «АСТРА-20»

Перше використання	Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка	
					Документація			
				08-15.БКР.003.01.00.000СК				
					Складальні одиниці			
Додатковий №			1	08-15.БКР.003.01.01.000	Шахта колонкова	1		
			2	08-15.БКР.003.01.02.000	Топка мазутна	1		
			3	08-15.БКР.003.01.03.000	Розтруб нагнітальний	1		
			4	08-15.БКР.003.01.04.000	Затвор	1		
			5	08-15.БКР.003.01.05.000	Норія верхня	1		
			6	08-15.БКР.003.01.06.000	Норія нижня	1		
			7	08-15.БКР.003.01.07.000	Труба витяжна	1		
			8	08-15.БКР.003.01.08.000	Бункер завантажувальний лівий	1		
			9	08-15.БКР.003.01.09.000	Бункер завантажувальний правий	1		
			10	08-15.БКР.003.01.10.000	Колонки	12		
			11	08-15.БКР.003.01.11.000	Бункер сирого зерна	1		
			12	08-15.БКР.003.01.12.000	Конус	1		
			13	08-15.БКР.003.01.13.000	Клинопаси	2		
			14	08-15.БКР.003.01.14.000	Запірний механізм	1		
			15	08-15.БКР.003.01.15.000	Повітропровід нагнітальний	1		
Підп. і дата	Підп. і дата	Інв. № докл.	Інв. №	Взам. інв. №	Підп. і дата	08-15.БКР.003.01.00.000		
						Зм.	Арк.	№ докум.
Інв. № ориг	Розроб.	Матола І.Р.	Підп.	Дата	Сушарка колонкова Астра-20	Літ.	Аркцш	Аркцшів
	Перевір.	Співак О.Ю.						1
	Реценз.					ТЕ-218		
	Н.контр.	Боднар Л.А.						
	Затв.	Степанов Д.В.						

[illegible]

[illegible]

Перше використання	Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка		
Додатковий №					Документація				
				08-15.БКР.003.04.00.000 СК	Складальне креслення				
					Деталі				
		1	08-15.БКР.003.04.00.001	Лист гофрований алюмінієвий 0,152x724x724	90				
					Матеріали				
		2	08-15.БКР.003.04.00.002	Лист алюмінієвий 0,152x724x724	92				
		3	08-15.БКР.003.04.00.003	Кутник В-25x25x4 ДСТУ ГОСТ8509-93	4				
		4	08-15.БКР.003.04.00.004	Кутник В-30x30x4x65	8				
		5	08-15.БКР.003.04.00.005	Кутник В-30x30x4x720	4				
		6	08-15.БКР.003.04.00.006	Кутник В-30x25x4x778	4				
Підп. і дата		7	08-15.БКР.003.04.00.007	Кутник В-45x45x4x848	4				
				Силікон термотсійкий	0,4	к2			
				Soudal Gasket Seal					
				Гума кислотостійка листова	1	к2			
Взам. інв. №									
Підп. і дата									
Інв. № ориг	Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Газоповітряний пластинчастий теплообмінник	Літ.	Аркцш	Аркцшів
	Розроб.	Матола І.Р.							1
	Перевір.	Співак О.Ю.							
	Реценз.								
	Н.контр.	Боднар Л.А.							
	Затв.	Степанов Д.В.							
08-15.БКР.003.04.00.000									
ТЕ-218									

[illegible]

Перше застосування

Довідковий №

Підп. і дата

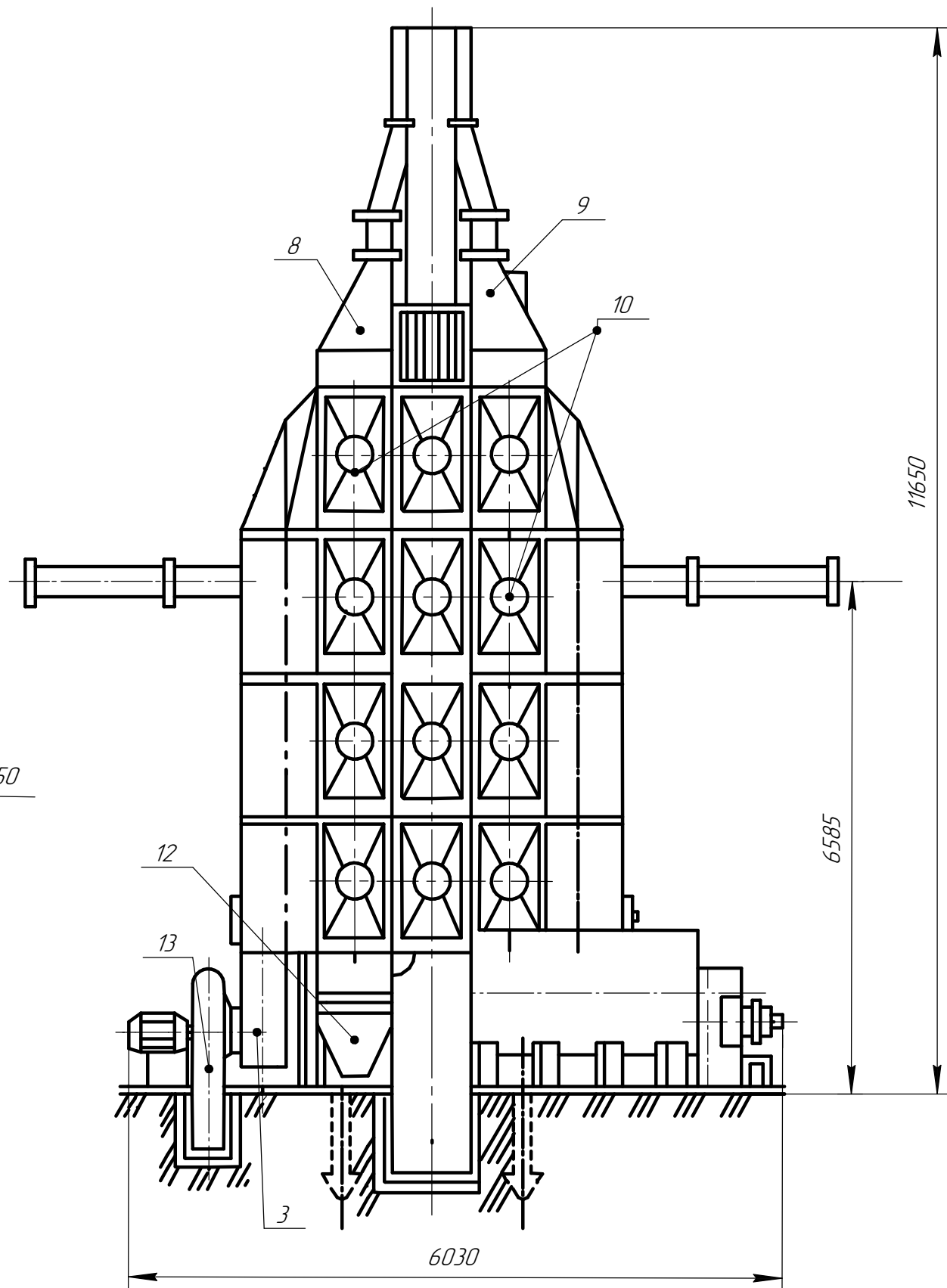
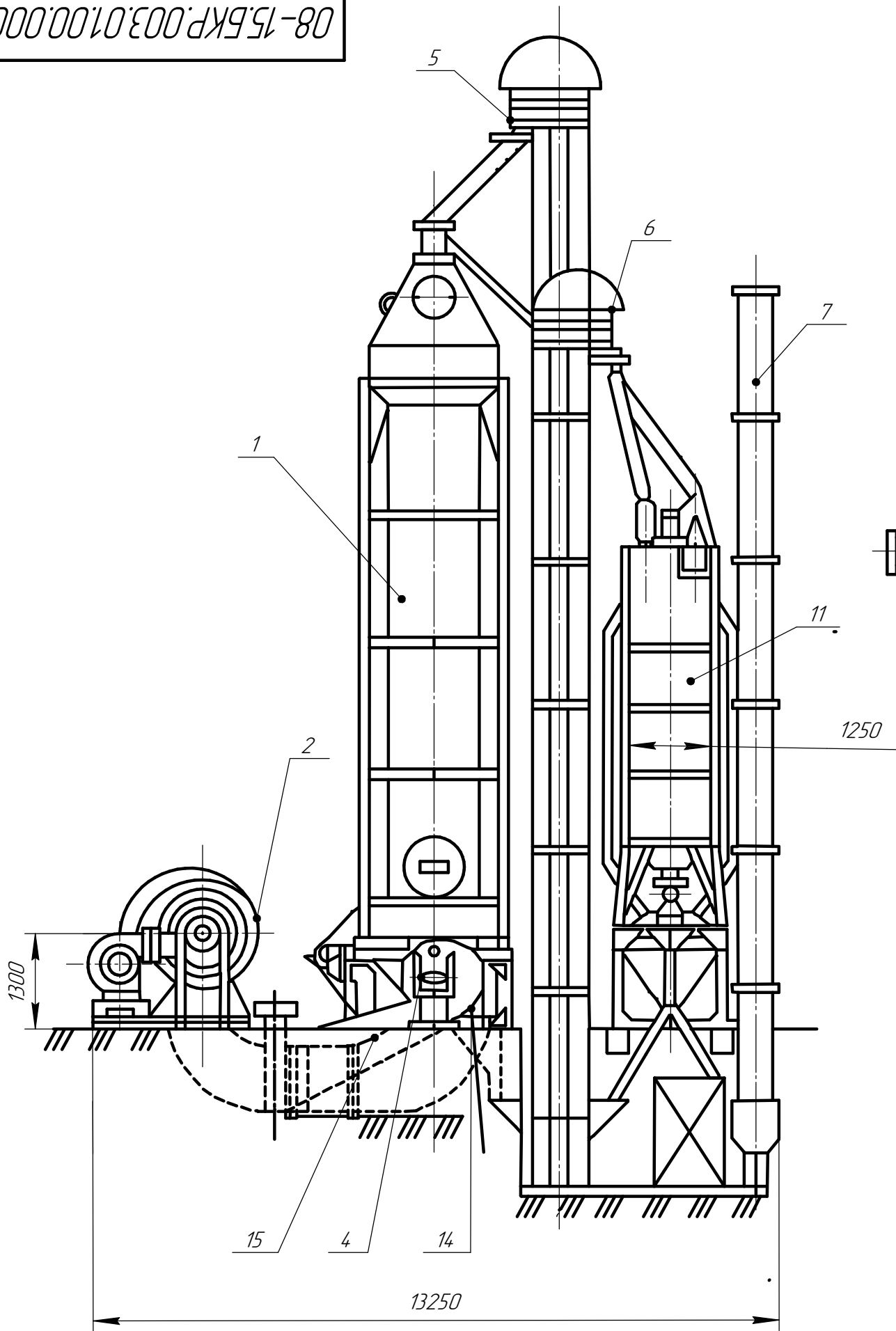
Інв. № дудл.

Зам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № ор.

08-15.БКР.003.01.00.000



Технічні характеристики

Видатність: $G=20$ т/год,

Маса: $M=12$ т,

Температура теплоносія: $t=70$ °C,

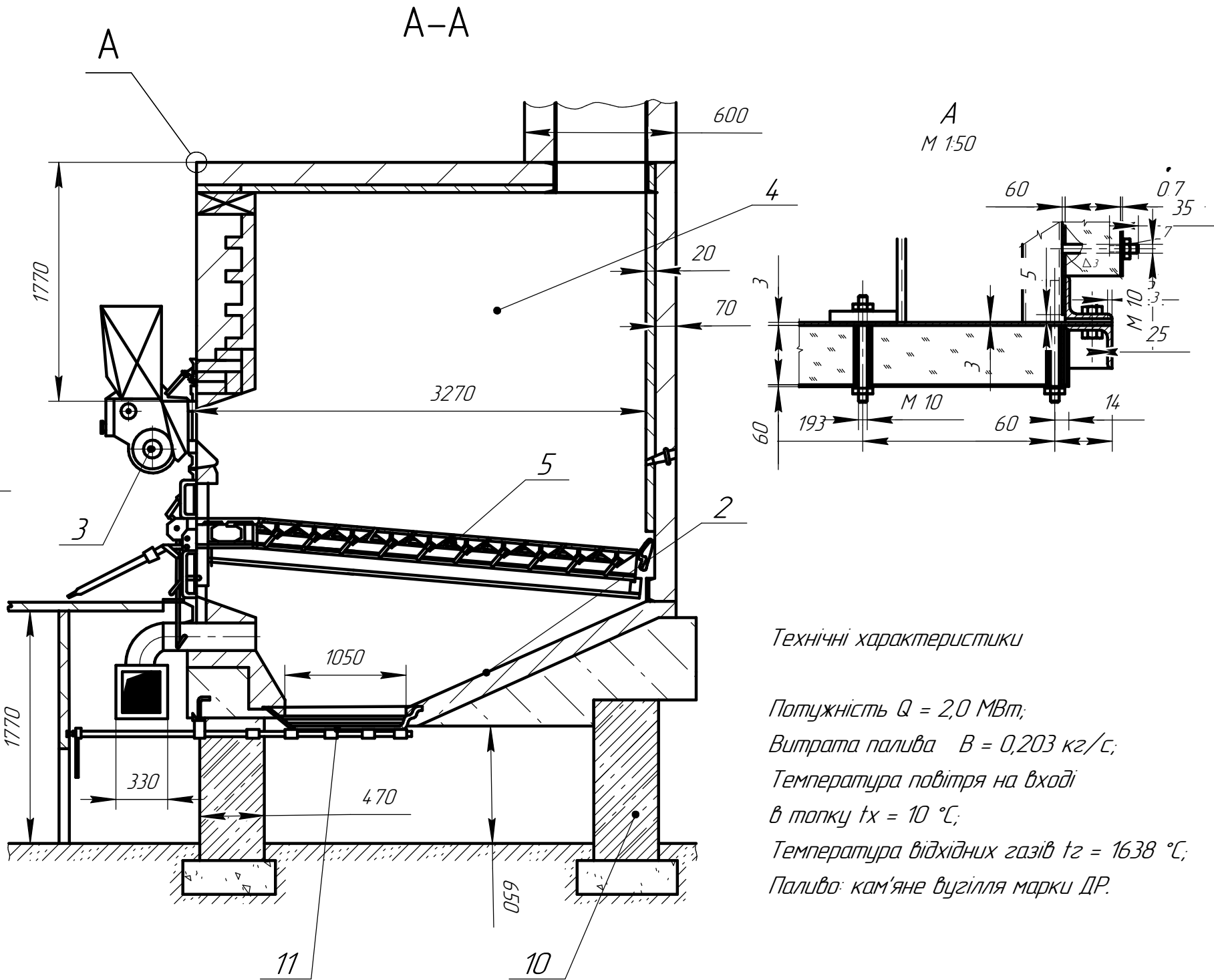
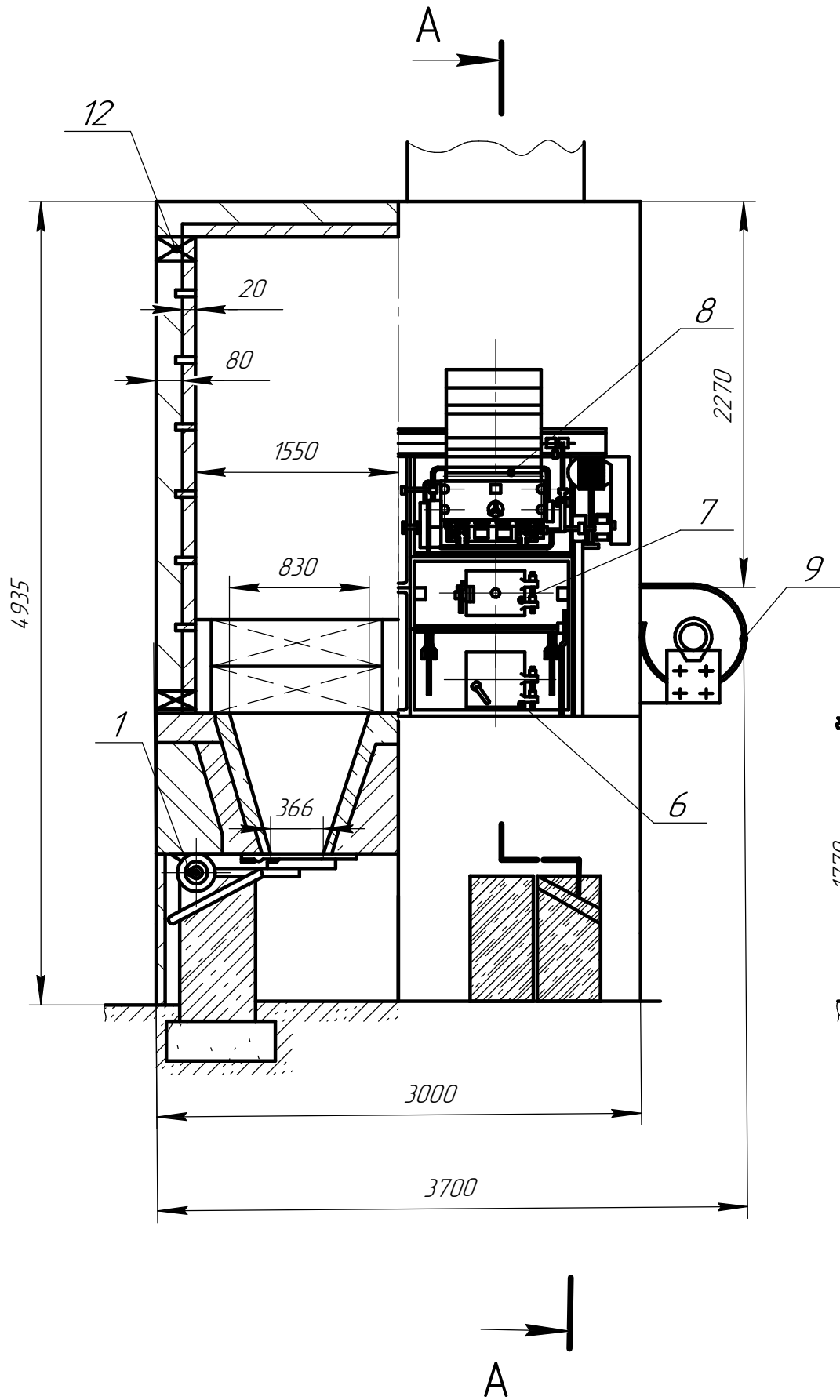
Паливо: вугілля

08-15.БКР.003.01.00.000					Сушарка колонкова Астра-20 Складальне креслення			Літ.	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						1:30
Розроб.	Матола І.Р.									
Перев.	Співак О.Ю.									
Т.контр.								Арк.	Аркушів	1
Реценз.								ВНТУ, гр. ТЕ-216		
Н.контр.	Боднар Л.А.									
Затв.	Степанов Д.В.									

Копіював

Формат А3

Перше застосування	08-15.БКР.003.02.00.000 СК			
Довідковий №				
Підп. і дата				
Інв. № докл.				
Зам. інв. №				
Підп. і дата				
Інв. № ор.				



Технічні характеристики

Потужність $Q = 2,0$ МВт;

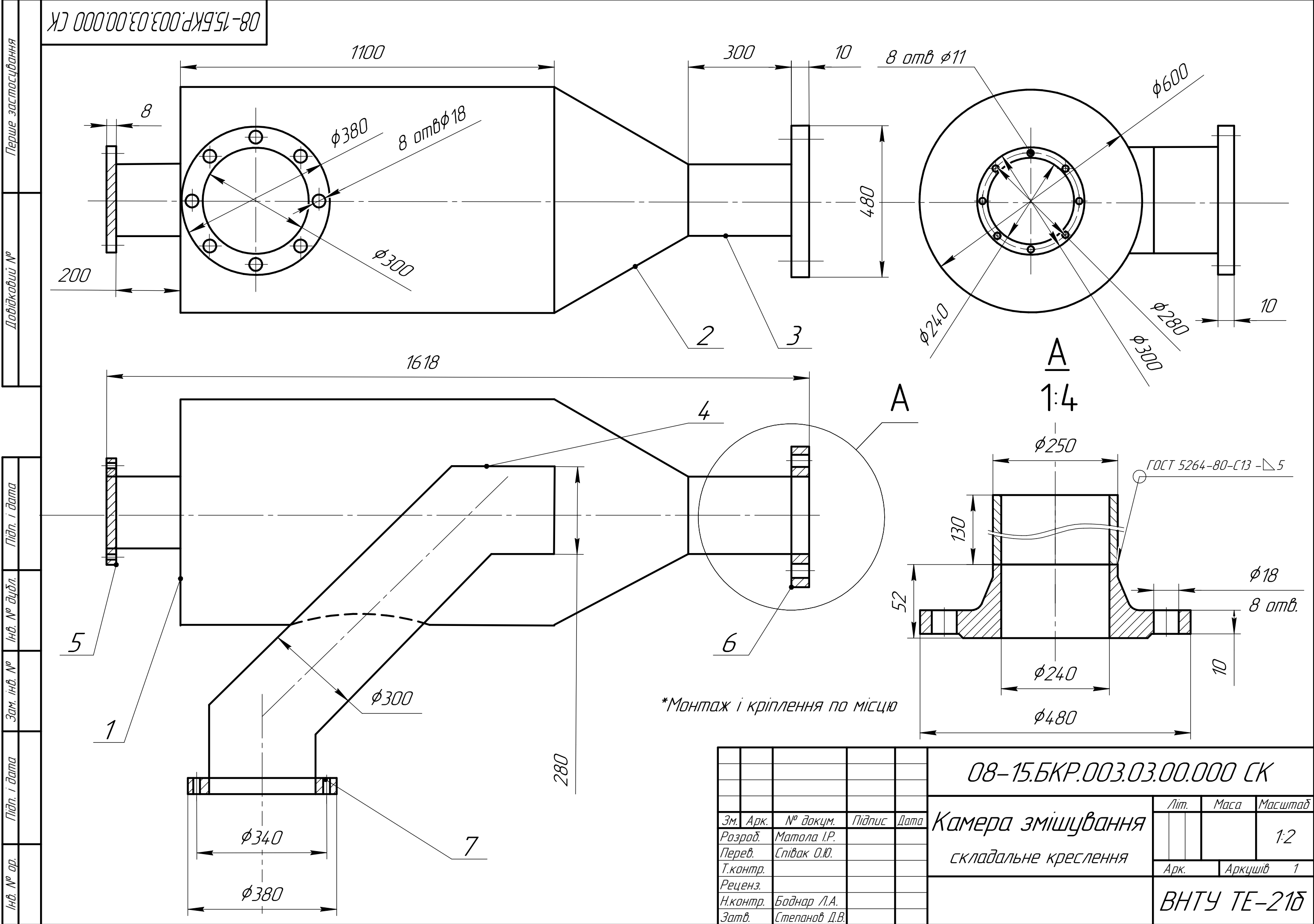
Витрата палива $B = 0,203$ кг/с;

Температура повітря на вході в топку $t_x = 10$ °С;

Температура відхідних газів $t_z = 1638$ °С;

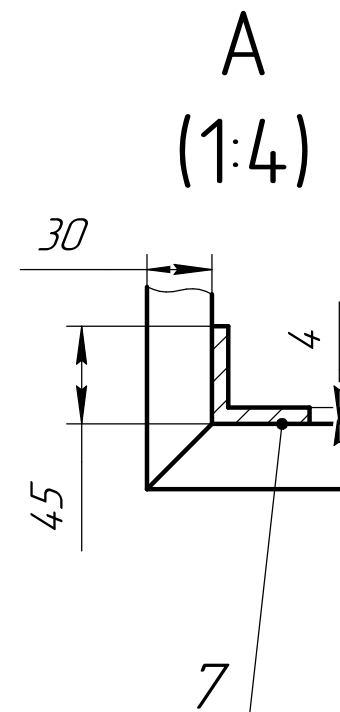
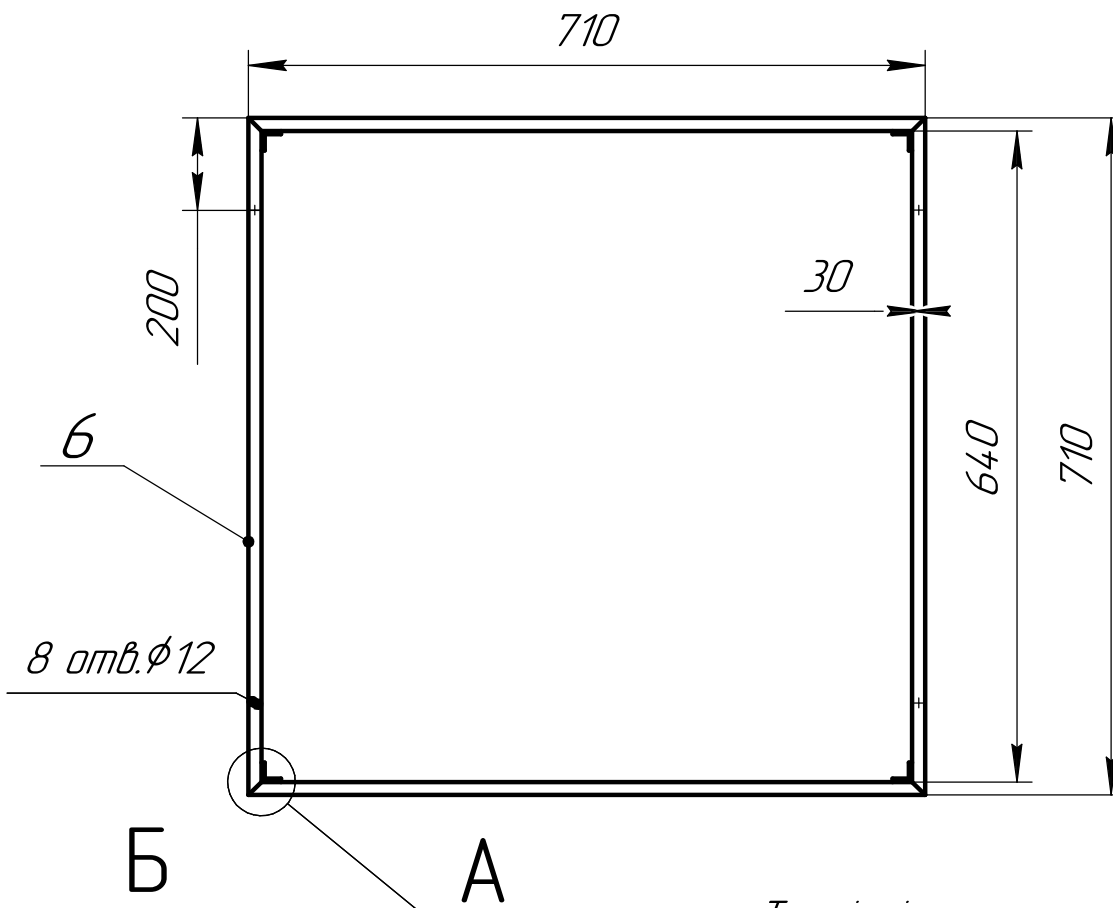
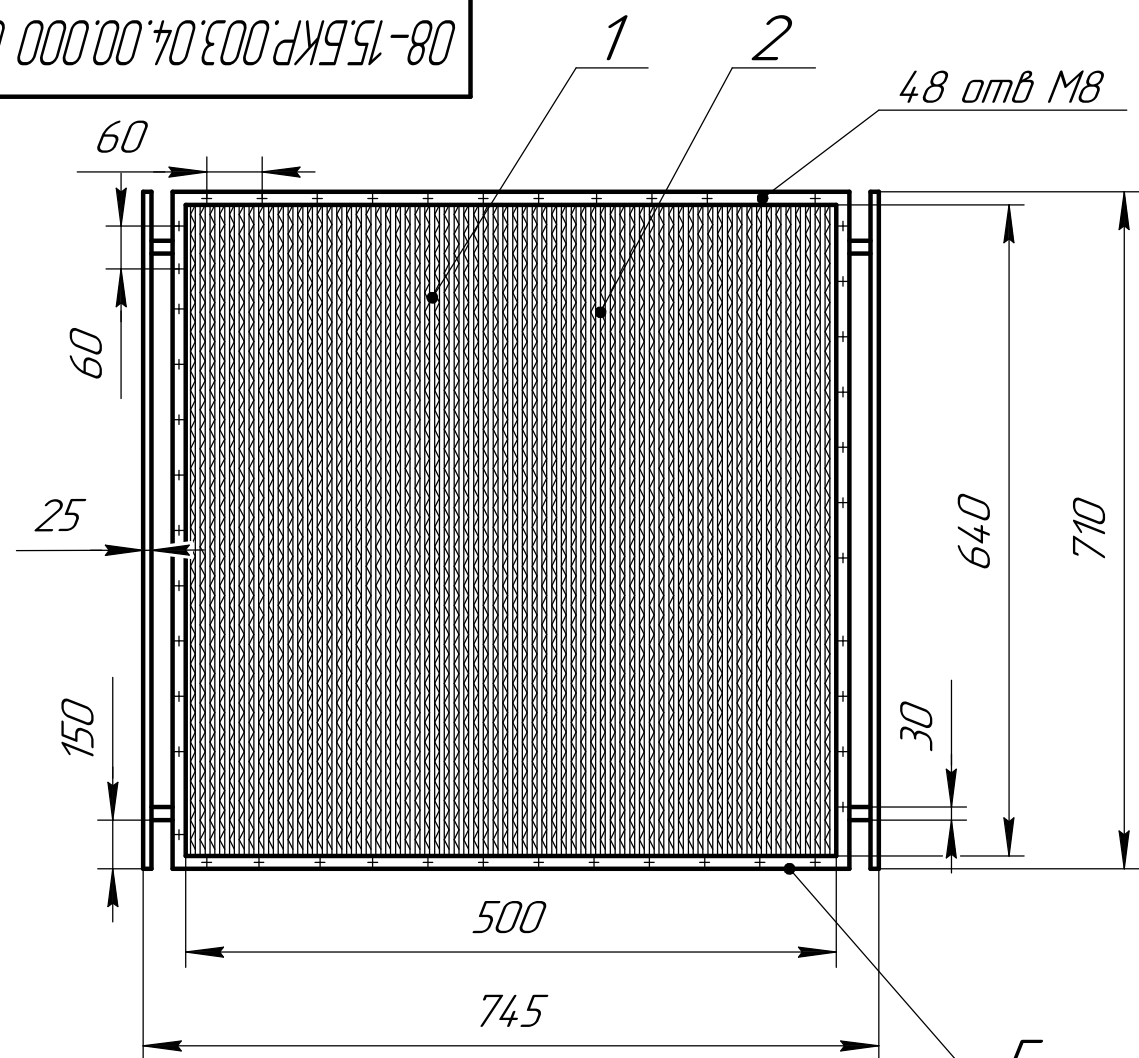
Паливо: кам'яне вугілля марки ДР.

08-15.БКР.003.02.00.000 СК					Топка вугільна потужністю 2000 кВт для колонкової зерносушарки			Літ.	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Складальне креслення					1:35
Розроб.	Матюла І.Р.							Арк.	Аркушів	1
Перев.	Співак О.Ю.							гр. ТЕ-218		
Т.контр.								Формат А3		
Реценз.										
Н.контр.	Боднар Л.А.									
Затв.	Степанов Д.В.									

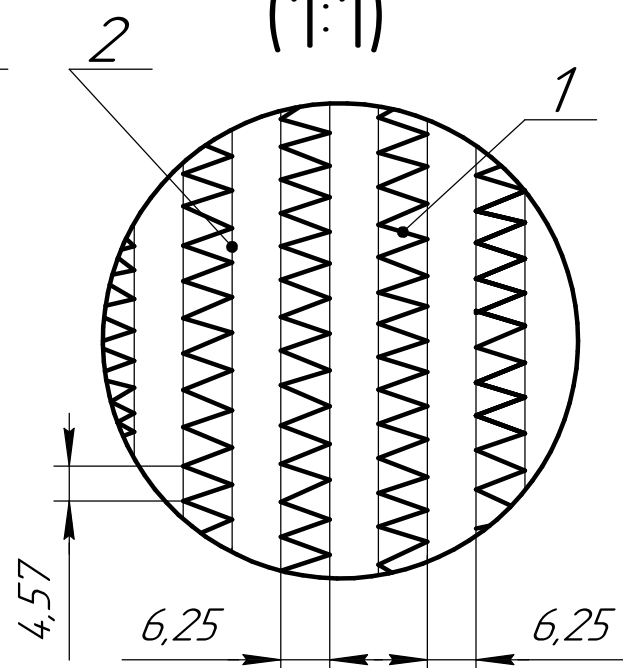


08-15.БКР.003.03.00.000 СК					Камера змішування		
складальне креслення					Літ.	Маса	Масштаб
							1:2
					Арк.	Аркушів	1
					ВНТУ ТЕ-218		

Technical drawing of a rectangular frame assembly. The drawing shows a central rectangular panel with a wavy texture, surrounded by a frame. The overall width is 500. The overall height is 150. The frame has a thickness of 30. The distance from the left edge of the frame to the left edge of the panel is 65. The distance from the right edge of the panel to the right edge of the frame is 30. The distance from the bottom edge of the panel to the bottom edge of the frame is 30. The frame is labeled with '4' and '5'. A small circle is shown on the right side of the panel, labeled with '3'.



Б
(1:1)



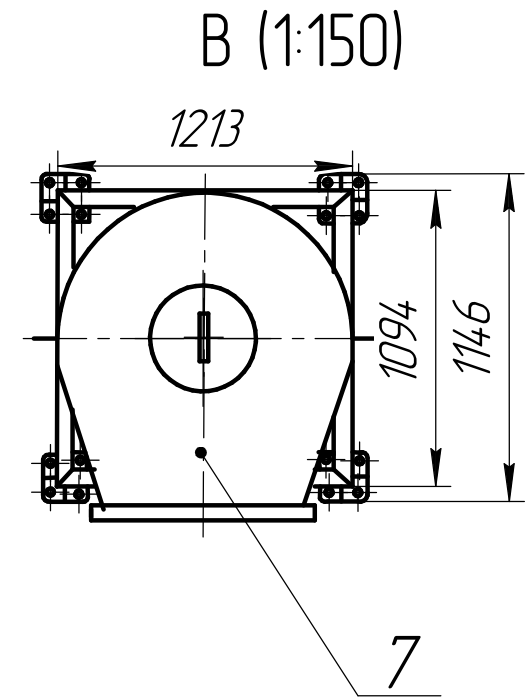
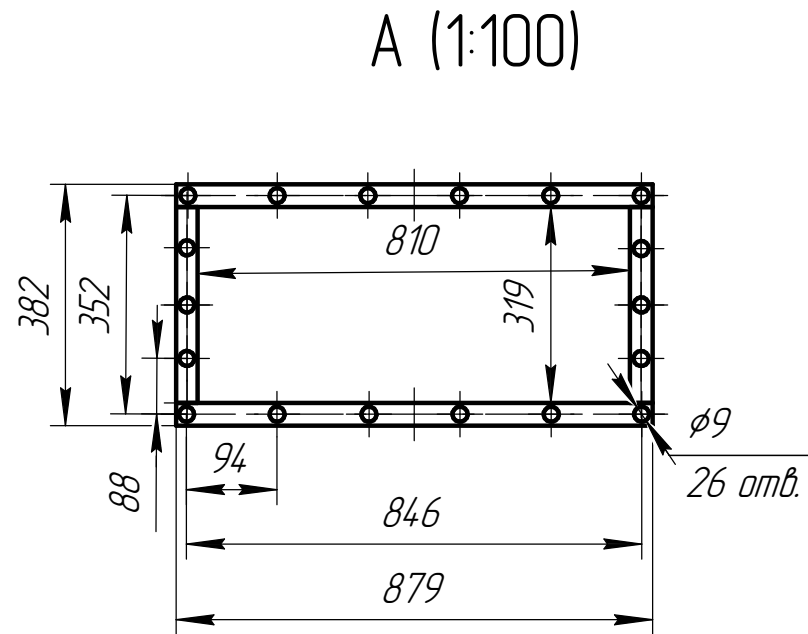
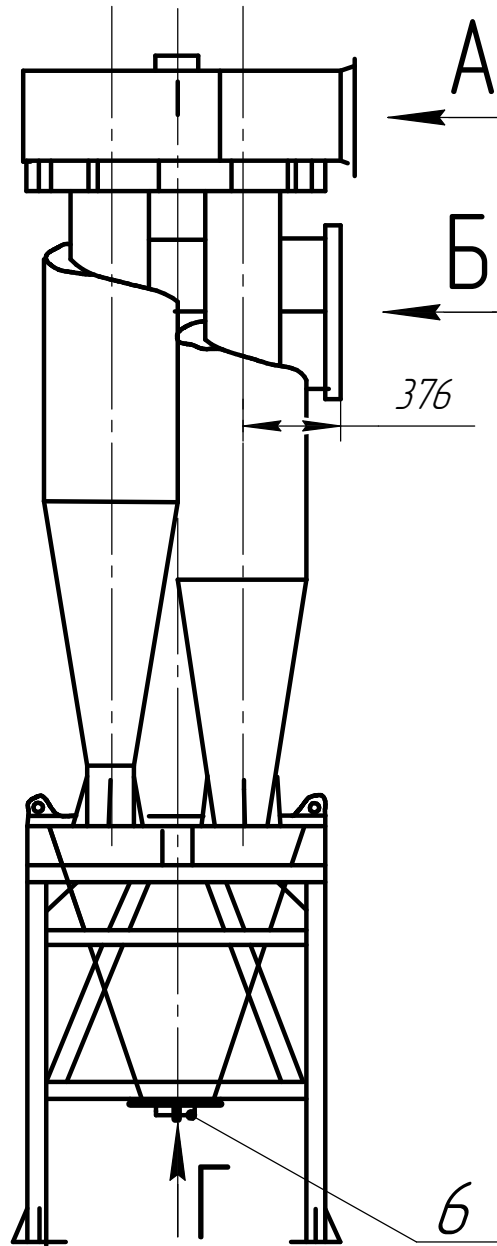
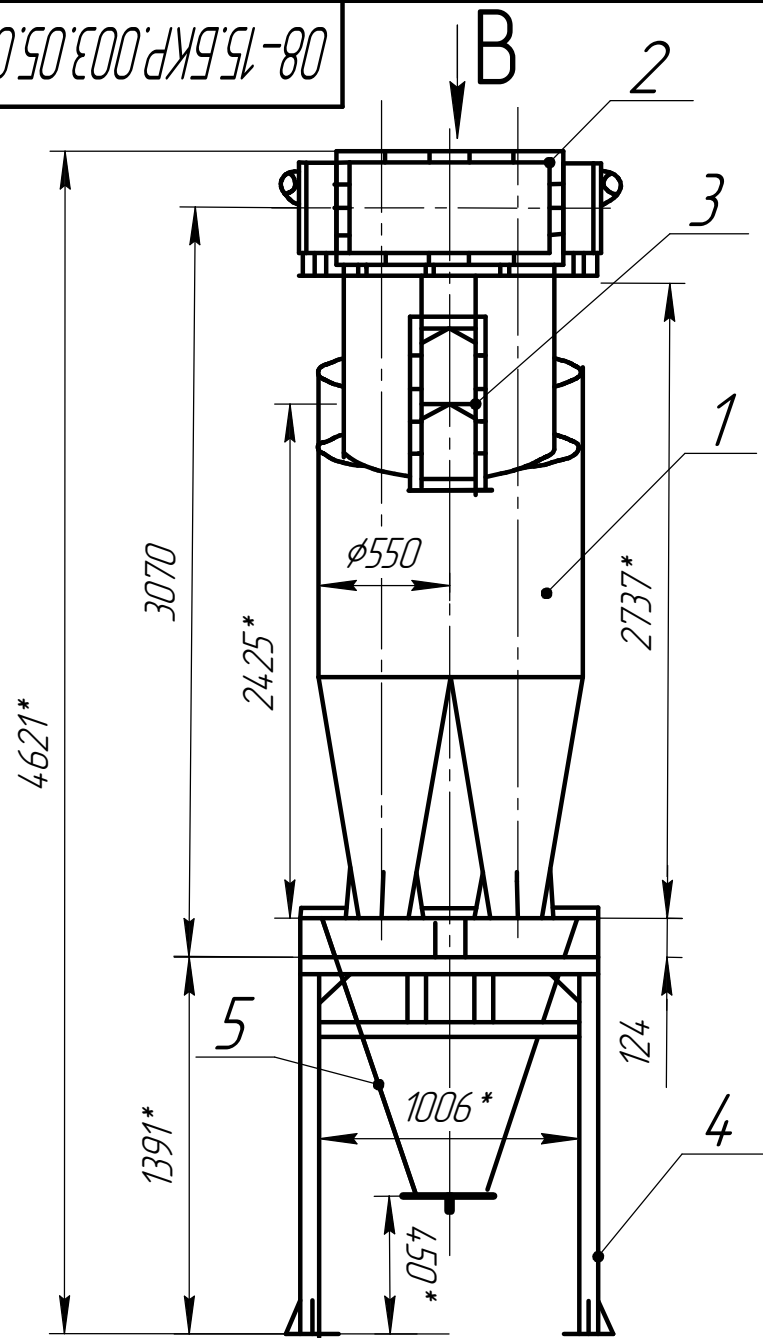
Технічні характеристики

- 1 Теплова потужність ТА $Q=950(\text{кВт})$.
- 2 Температура газів:
 - на вході $t=200\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 - на виході $t=100\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 3 Температура повітря:
 - на вході $t=10\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 - на виході $t=115\text{ }^{\circ}\text{C}$.

					08-15.БКР.003.04.00.000 СК				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Газоповітряний пластинчастий теплообмінник Складальне креслення	Лім.	Маса	Масштаб	
Розроб.		Матола І.Р.				1		250	1:15
Перев.		Співак О.Ю.							
Т.контр.						Арк.	Аркушів 1		
Реценз.									
Н.контр.		Боднар Л.А.				ВНТУ зр. ТЕ-218			
Затв.		Степанов Д.В.							

Формат А3

08-15.БКР.003.05.00.000 СК



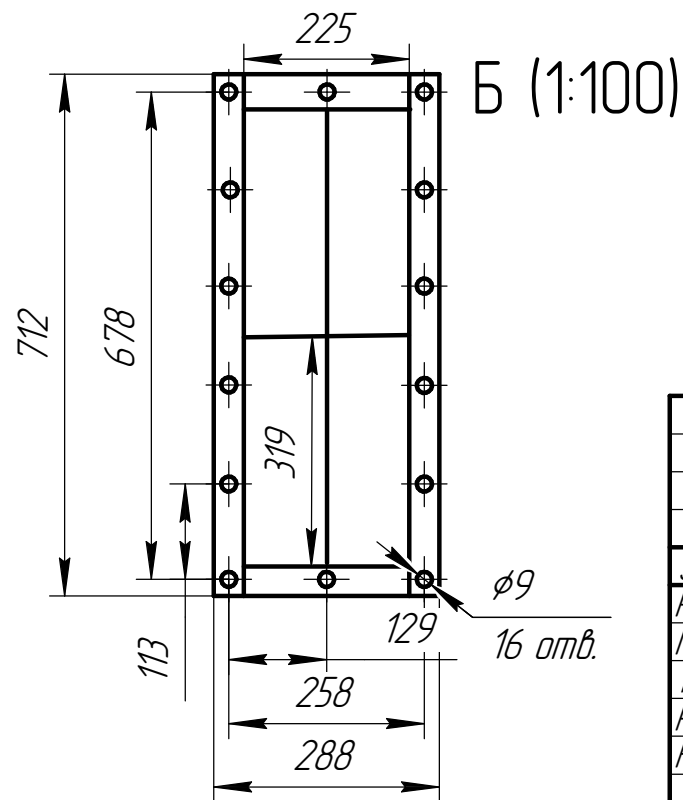
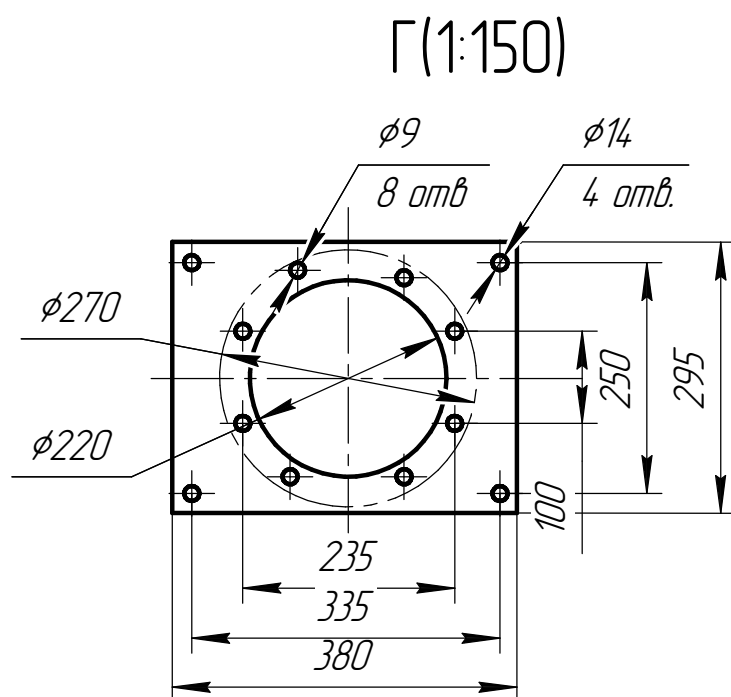
Технічні характеристики

1.Комплектація:
циклон БЦШ – 550 – 4 шт.
дункер – 1 шт.
равлик – 1 шт.
постамент 1 шт.

Маса 530 кг.
Швидкість газу 3.61 м/с
Ефективність очищення 0,812

Технічні вимоги:

Зварні шви виконати за ДСТУ EN ISO 5817:2022;
*Розміри для довідок



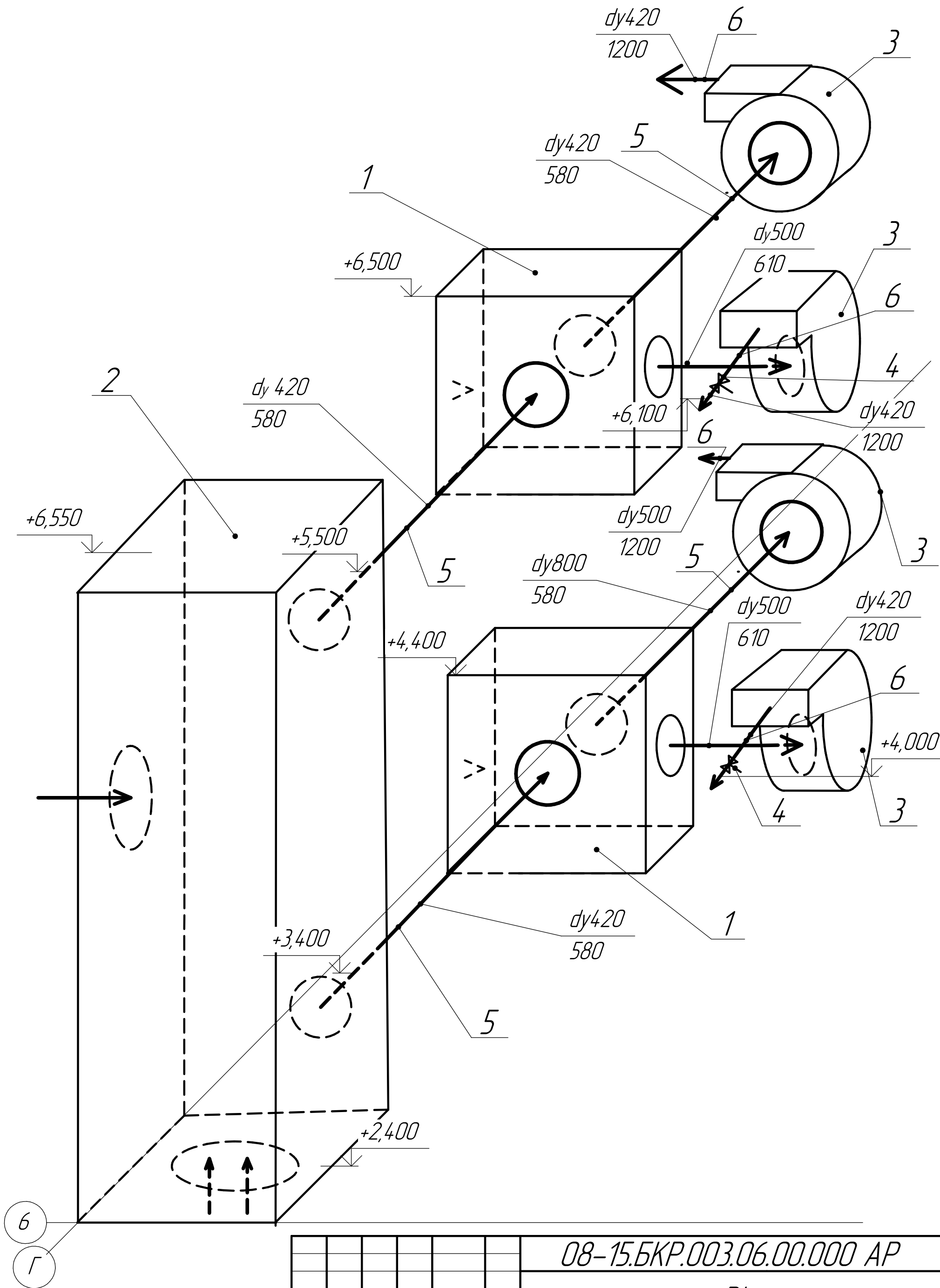
08-15.БКР.003.05.00.000 СК				Блок циклонів 4БЦШ-550 Складальне креслення			Літ.	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата					1:25
Розроб.	Матюла І.Р.								
Перев.	Сніжак О.Ю.								
Т.контр.								Арк.	Арк.цвів 1
Реценз.								ТЕ-218	
Н.контр.	Боднар Л.А.								
Затв.	Степанов Д.В.								

Погоджено:

Зам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № оп.



Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата
Розробив		Матюла І.Р.			
Перевірив		Снівак О.Ю.			
Т. Контр.					
Рецензент					
Н. Контр.		Боднар Л.А.			
Затвердив		Степанов Д.В.			

08-15.БКР.003.06.00.000 АР

м. Вінниця

Модернізація колонкової
зерносушарки Астра-20

Стадія

Аркцш

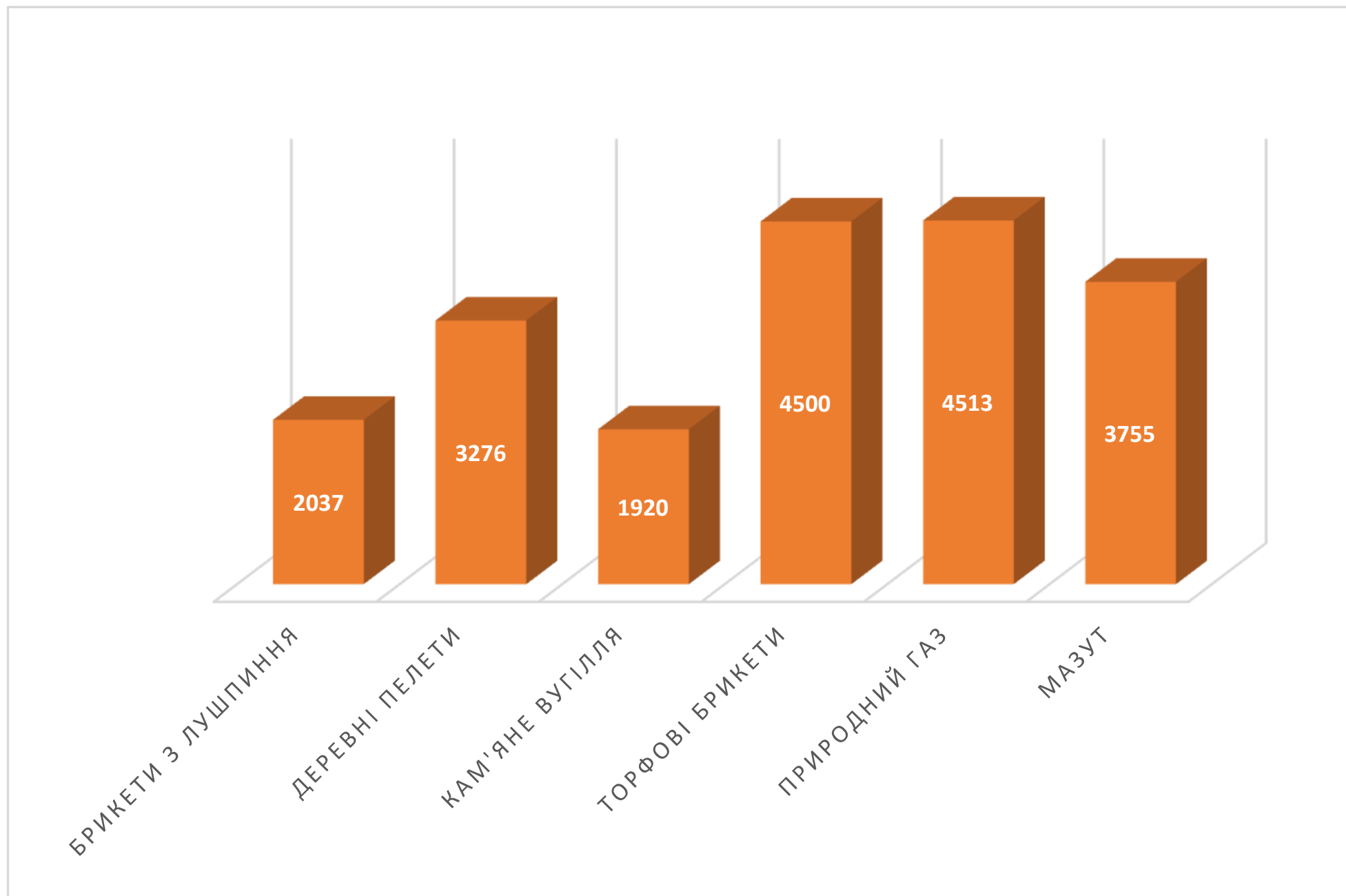
Аркцшів

П

1

Схема аксонометрична
монтажна

ТЕ-218



Додаток Г
(довідниковий)

Лістинг програми для багатоваріантного аналізу

Варіанти альтернативного палива для використання в
колонкових сушарках

Види палив	ORIGIN := 1
Брикети з лущиння - 1	1 6000 21.21
Деревні пелети - 2	2 9100 20
Кам'яне вугілля - 3	3 6000 22.5
Торфові брикети - 4	4 11000 17.6
Природний газ - 5	5 21000 33.5
Мазут - 6	6 20000 38.35

PL2 - вартість палива, грн/тонна
PL3 - теплотворна здатність палива, МДж/кг

Необхідна потужність топки, кВт

Q := 2000

Кількість палива

$$M := \frac{Q \cdot 1000}{PL^{(3)} \cdot 10^6} \cdot 3600$$



Вартість палива

$$E := \frac{\overrightarrow{(M \cdot PL^{(2)})}}{1000}$$

$$E = \begin{pmatrix} 2037 \\ 3276 \\ 1920 \\ 4500 \\ 4513 \\ 3755 \end{pmatrix}$$

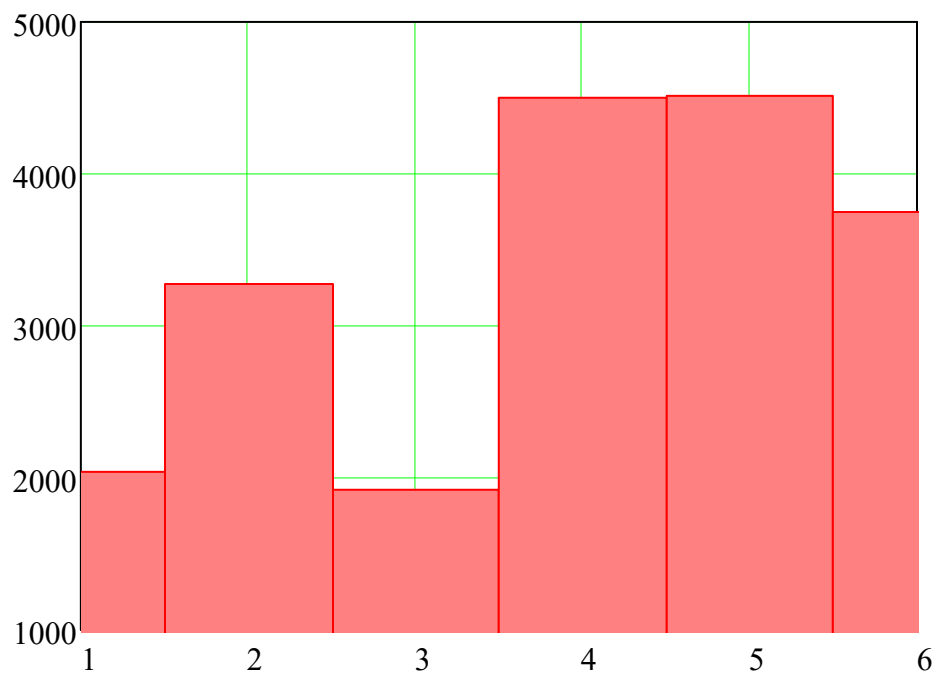


Рисунок Г.1 - Вартість палива для 1 год роботи топки потужністю 2000 кВт

Таблиця Д1 – Визначення ентальпій повітря та продуктів згорання в залежності від температури

Θ, °C	$V_{\text{RO}_2} = 1,32 \text{ м}^3/\text{кг}$ $V_{\text{N}_2}^0 = 5,72 \text{ м}^3/\text{кг}$ $V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,716 \text{ м}^3/\text{кг}$ $V^0 = 7,22 \text{ м}^3/\text{кг}$					
	$I_{\text{RO}_2}^0 = V_{\text{RO}_2} (c\theta)_{\text{RO}_2}$, кДж/кг	$I_{\text{N}_2}^0 = V_{\text{N}_2}^0 (c\theta)_{\text{N}_2}$, кДж/кг	$I_{\text{H}_2\text{O}}^0 = V_{\text{H}_2\text{O}}^0 (c\theta)_{\text{H}_2\text{O}}$, кДж/кг	$I_{\text{п}}^0 = V^0 (c\theta)_{\text{п}}$, кДж/кг	$I_{\text{г}}^0 = I_{\text{RO}_2}^0 + I_{\text{N}_2}^0 + I_{\text{H}_2\text{O}}^0$, кДж/кг	$I_3 = \frac{A^p}{100} \cdot \alpha_{\text{вин}} \cdot (c\theta)_{\text{зп}}$, кДж/кг
1	2	3	4	5	6	7
100	174,2	966,7	93,1	1090,2	1234,0	0,6
200	351,1	2042,0	186,2	2194,9	2579,3	1,2
300	532,0	3197,5	280,7	3342,9	4010,1	1,9
400	715,4	4415,8	377,3	4519,7	5508,6	2,6
500	902,9	5697,1	475,4	5732,7	7075,4	3,3
600	1095,6	6989,8	575,7	6981,7	8661,1	4,0
700	1292,3	8356,9	677,3	8281,3	10326,5	4,8
800	1491,6	9746,9	782,6	9638,7	12021,1	5,5
900	1690,9	11159,7	890,0	11133,2	13740,6	6,3
1000	1895,5	12595,4	998,1	12454,5	15489,1	7,1
1100	2105,4	14054,0	1106,2	13905,7	17265,7	7,9
1200	2315,3	15541,2	1213,6	15385,8	19070,1	8,7
1300	2527,8	17085,6	1326,0	16923,7	20939,5	10,0
1400	2740,3	18532,8	1438,4	18468,8	22711,6	11,3
1500	2955,5	20037,2	1550,9	20064,4	24543,5	12,2

Додаток Д
(довідниковий)

Продовження таблиці Д1

1	2	3	4	5	6	7
1600	3172,0	21547,2	1663,3	21667,2	26382,5	13,2
1700	3387,1	23080,2	1777,1	23313,4	28244,4	14,5
1800	3602,3	24613,2	1891,7	24966,8	30107,1	15,7
1900	3822,7	26157,6	2006,9	26201,4	31987,2	16,9
2000	4044,5	27702	2122,2	28345,7	33868,7	18,1
2100	4264,9	29257,8	2238,9	30049,6	35761,7	19,0
2200	4486,7	30813,6	2355,6	31760,8	37656,0	19,9

Таблиця Д2 – Ентальпії теоретичного об'єму повітря і продуктів згорання (І - 9 таблиця)

ϑ °С	I_{Γ}^0 , кДж/кг	I_{Π}^0 , кДж/кг	I_{Γ} , кДж/кг	$I=I_{\Gamma}+I_{\Sigma}$, кДж/кг
100	1234,0	1090,2	2160,7	2161,3
200	2579,3	2194,9	4445,0	4446,2
300	4010,1	3342,9	6851,5	6853,4
400	5508,6	4519,7	9350,4	9353,0
500	7075,4	5732,7	11948,2	11951,5
600	8661,1	6981,7	14595,6	14599,6
700	10326,5	8281,3	17365,7	17370,4
800	12021,1	9638,7	20214,0	20219,5
900	13740,6	11133,2	23203,9	23210,2
1000	15489,1	12454,5	26075,4	26082,5
1200	17265,7	13905,7	29085,5	29093,4
1400	19070,1	15385,8	32148,1	32156,8
1500	24543,5	16923,7	35324,6	35334,6
1600	26382,5	21667,2	38410,0	38421,3
1700	28244,4	23313,4	41598,2	41610,5
1800	30107,1	24966,8	44799,6	44812,8
1900	31987,2	26201,4	48060,8	48075,3
2000	33868,7	28345,7	51328,9	51344,6
2100	35761,7	30049,6	54258,4	54275,3
2200	37656,0	31760,8	57962,5	57980,6

Додаток Е
(довідниковий)

Тепловий баланс і витрата палива в топці сушарки

Для теплового балансу необхідно розрахувати всі теплові потоки в топці і визначити коефіцієнт корисної дії топкового пристрою. Ескіз стін топки представлений на рисунку Е.1.

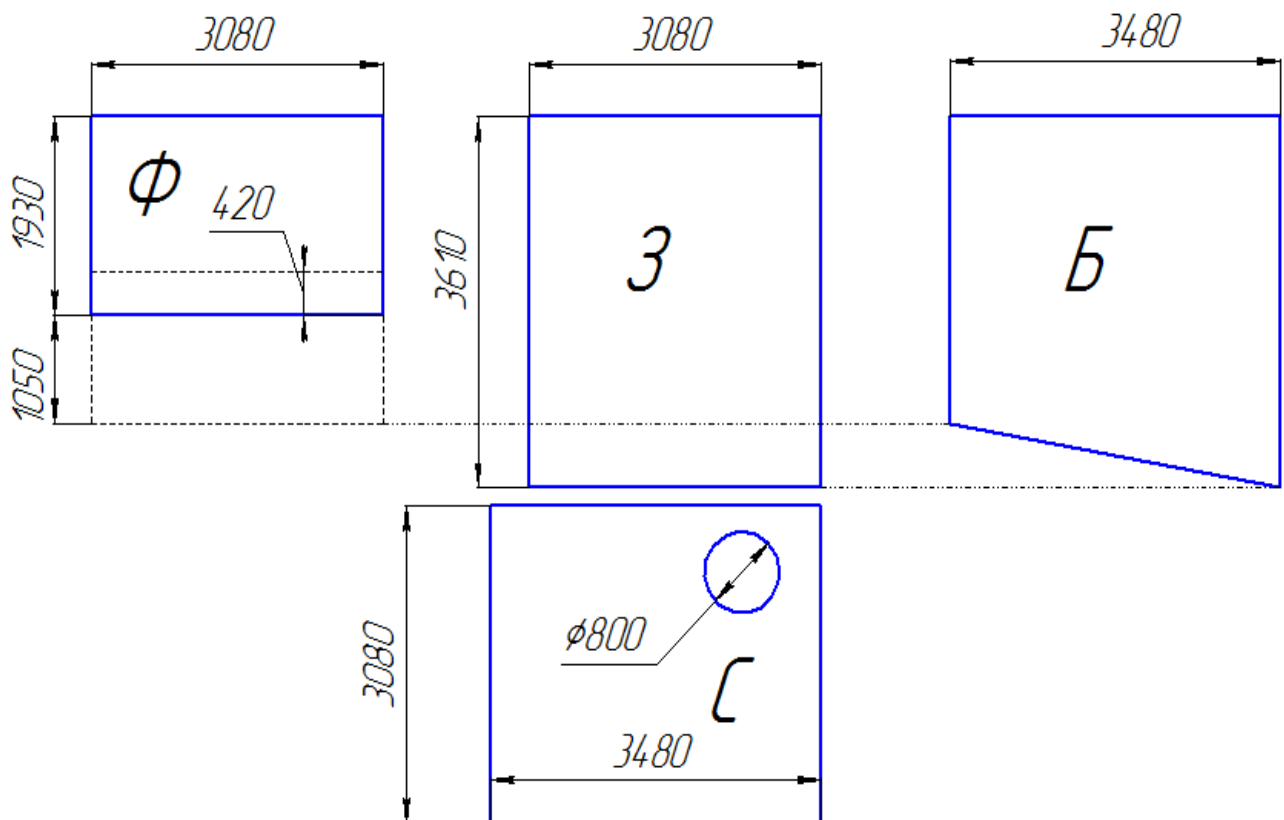


Рисунок Е.1 – Ескіз стін топкової камери

Для виконання розрахунку з ескізу і креслень визначаємо всі необхідні для розрахунку втрат теплоти через огородження параметри. Всі дані заносимо до таблиці Е.1. Оскільки фронтна стіна умовно складається з трьох різних за теплопередачею частин, то її розрахунок ведемо для цих частин окремо. Для розрахунку необхідні теплофізичні властивості шамотної цегли, силікатної цегли і повітря, значення яких разом з розрахунком занесені в таблицю Е.2.

Таблиця Е.1 – Геометричні параметри стін топки

Величина		Формула або спосіб визначення	Роз- мір- ність	Числові значення
Найменування	Позна- чення			
1	2	3	4	5
Фронтowa стіна 1	$a_{\phi 1} \times b_{\phi 1}$	креслення	мм	1420×3080
Фронтowa стіна 2	$a_{\phi 2} \times b_{\phi 2}$	креслення	мм	3080×420
Фронтowa стіна 3	$a_{\phi 3} \times b_{\phi 3}$	креслення	мм	1050×3080
Задня стіна	$a_3 \times b_3$	креслення	мм	3080×3610
Бокова стіна 1	$a_{61} \times b_{61}$	креслення	мм	2980×3480
Бокова стіна 2	$a_{62} \times b_{62}$	креслення	мм	630×3480
Стеля	$a_c \times b_c$	креслення	мм	3080×3480
Вихід з топки	d_b	креслення	мм	400
Площа фронтowej стіни 1	$F_{\phi 1}$	$a_{\phi 1} \times b_{\phi 1}$		$1,42 \cdot 3,08 = 4,37$
Площа фронтowej стіни 2	$F_{\phi 2}$	$a_{\phi 2} \times b_{\phi 2}$		$3,08 \cdot 0,42 = 1,29$
Площа фронтowej стіни 3	$F_{\phi 3}$	$a_{\phi 3} \times b_{\phi 3}$		$1,05 \cdot 3,08 = 3,23$
Площа задньої стіни	F_3	$a_3 \times b_3$		$3,61 \cdot 3,8 = 11,12$
Сумарна площа бічної стіни	F_6	$a_{61} \times b_{61} + 0,5 \cdot (a_{62} \times b_{62})$		$2,98 \cdot 3,48 + 0,63 \cdot 3,48 \cdot 0,5 = 11,47$
Сумарна площа стелі	F_c	$a_c \times b_c - \pi \cdot d^2$		$3,08 \cdot 3,48 - \pi \cdot 0,4^2 = 10,22$
Товщина кладки фронтowej стіни 1 Шамотна цегла Силікатна цегла	$\delta_{ш1\phi}$ $\delta_{с1\phi}$	З креслення	мм мм	120 380
Товщина кладки фронтowej стіни 2 Шамотна цегла	$\delta_{ш2\phi}$	З креслення	мм	500
Товщина кладки фронтowej стіни 3 сталь теплоізоляція	$\delta_{ст3\phi}$ $\delta_{а3\phi}$	З креслення	мм мм	2,5 100

Продовження таблиці Е.1

1	2	3	4	5
Товщина кладки задньої стіни: шамотна цегла силікатна цегла	$\delta_{шз}$ $\delta_{сз}$	3 креслення	мм мм	65 120
Товщина кладки бічної стіни: шамотна цегла силікатна цегла	$\delta_{шб}$ $\delta_{сб}$	3 креслення	мм мм	65 200
Товщина кладки стелі : шамотна цегла силікатна цегла	$\delta_{шс}$ $\delta_{сс}$	3 креслення	мм мм	65 200

Таблиця Е.2 – Розрахунок втрат теплоти і витрати палива

Величина		Формула або спосіб визначення	Розмірність	Числові значення
Найменування	Позначення			
1	2	3	4	5
Теплопровідність матеріалів стін топки: шамотна цегла силікатна цегла азбест сталь	$\lambda_{ш}$ $\lambda_{с}$ $\lambda_{а}$ $\lambda_{с}$	3 креслення	$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	1,14 0,82 0,116 45
Температура газів на виході з топки	ϑ_a	Із завдання	°С	1600
Наявна теплота	$Q_n = Q^p_n$	Попередньо розраховано	кДж/кг	27400
Втрати теплоти від хімічної неповноти згорання	q_3	Приймаємо	%	1
Втрати теплоти від механічної неповноти згорання	q_4	Приймаємо	%	1,5
Температура повітря в цеху	$t_{н.с.}$	Приймаємо	°С	30

Продовження таблиці Е.2

1	2	3	4	5
Ентальпія холодного повітря	$I^0_{\text{х.п.}}$	$I^0_{\text{хп}} = V^0 (c\theta)_{\text{хп}}$	кДж/кг	$7,22 \cdot 20 = 144,4$
Потужність топки	$Q_{\text{т}}$	Задано	МВт	2,0
Температурний коефіцієнт об'ємного розширення повітря	β	$\frac{1}{273 + t_{\text{н.с}}}$	1/К	$\frac{1}{10 + 273} = 3,5 \cdot 10^{-3}$
Усереднений критерій Грасгофа	Gr	$\frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot \ell^3}{\nu^2}$	-	$\frac{9,81 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 40}{(17,95 \cdot 10^{-6})^2} \times$ $\times 2,98^3 =$ $= 9,98 \cdot 10^{10}$
Критерій Релея	Ra	$\text{Gr} \cdot \text{Pr}$	-	$9,98 \cdot 10^{10} \cdot 0,698 =$ $= 6,97 \cdot 10^{10}$
Критерій Нуссельта	Nu	$0,15 \text{Ra}^{0,333}$	-	$0,15 \cdot (6,97 \cdot 10^{10})^{0,333} =$ $= 612$
Коефіцієнт тепло-віддачі до повітря	$\alpha_{\text{п}}$	$\frac{\text{Nu} \cdot \lambda_{\text{п}}}{\ell}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$2 \cdot 0,028 / 2,98 =$ $= 6$
Температура внутрішньої поверхні стін	t_1	Приймаємо	°С	1600
Коефіцієнт тепло-передачі через фронтову стіну 1	k_1	$\left(\frac{1}{\alpha_{\text{п}}} + \frac{\delta_{\text{ш1ф}}}{\lambda_{\text{ш1ф}}} + \frac{\delta_{\text{с1ф}}}{\lambda_{\text{с1ф}}} \right)^{-1}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$\left(\frac{1}{6} + \frac{0,12}{1,14} + \frac{0,38}{0,82} \right)^{-1} =$ $= 1,4$
Втрати теплоти фронтовою стіною 1	$Q_{\text{ф1}}$	$k_1 \cdot \Delta t \cdot F_{\text{ф1}}$	Вт	$1,4 \cdot 1570 \cdot 4,37 =$ $= 9258$
Коефіцієнт тепло-передачі через фронтову стіну 2	k_2	$\left(\frac{1}{\alpha_{\text{п}}} + \frac{\delta_{\text{ш2ф}}}{\lambda_{\text{ш2ф}}} \right)^{-1}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$\left(\frac{1}{6} + \frac{0,5}{1,14} \right)^{-1} =$ $= 1,6$
Втрати теплоти фронтовою стіною 2	$Q_{\text{ф2}}$	$k_2 \cdot \Delta t \cdot F_{\text{ф2}}$	Вт	$1,6 \cdot 1570 \cdot 1,3 =$ $= 3340$
Коефіцієнт тепло-передачі через фронтову стіну 3	k_3	$\left(\frac{1}{\alpha_{\text{п}}} + \frac{\delta_{\text{ш3ф}}}{\lambda_{\text{ш3ф}}} + \frac{\delta_{\text{с3ф}}}{\lambda_{\text{с3ф}}} \right)^{-1}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$\left(\frac{1}{6} + \frac{0,0025}{45} + \frac{0,1}{0,116} \right)^{-1} =$ $= 0,97$

Продовження таблиці Е.2

1	2	3	4	5
Втрати теплоти фронтовою стіною 3	$Q_{\phi 3}$	$k_3 \cdot \Delta t \cdot F_{\phi 3} \cdot$	Вт	$0,97 \cdot 1570 \cdot 3,23 =$ $= 4902$
Сумарні втрати теплоти фронтовою стіною	Q_{ϕ}	$Q_{\phi 1} + Q_{\phi 2} + Q_{\phi 3}$	Вт	$9258 + 3340 + 4902 =$ $= 17500$
Коефіцієнт теплопередачі через задню стіну	$k_{3д}$	$\left(\frac{1}{\alpha_{\Pi}} + \frac{\delta_{шз}}{\lambda_{шз}} + \frac{\delta_{сз}}{\lambda_{сз}} \right)^{-1}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$\left(\frac{1}{6} + \frac{0,065}{1,14} + \frac{0,12}{0,82} \right)^{-1} =$ $= 2,7$
Втрати теплоти задньою стіною	$Q_{3д}$	$k_{3д} \cdot \Delta t \cdot F_{3д} \cdot$	Вт	$2,7 \cdot 1570 \cdot 11,12 =$ $= 46794$
Коефіцієнт теплопередачі через бокову стіну	k_6	$\left(\frac{1}{\alpha_{\Pi}} + \frac{\delta_{шб}}{\lambda_{шб}} + \frac{\delta_{сб}}{\lambda_{сб}} \right)^{-1}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$\left(\frac{1}{6} + \frac{0,065}{1,14} + \frac{0,2}{0,82} \right)^{-1} =$ $= 2,14$
Втрати теплоти боковою стіною	Q_6	$k_6 \cdot \Delta t \cdot F_6 \cdot$	Вт	$2,7 \cdot 1570 \cdot 11,46 =$ $= 38012$
Коефіцієнт теплопередачі через стелю	k_c	$\left(\frac{1}{\alpha_{\Pi}} + \frac{\delta_{шс}}{\lambda_{шс}} + \frac{\delta_{сс}}{\lambda_{сс}} \right)^{-1}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$\left(\frac{1}{6} + \frac{0,065}{1,14} + \frac{0,2}{0,82} \right)^{-1} =$ $= 2,14$
Втрати теплоти стелею	Q_c	$k_c \cdot \Delta t \cdot F_c \cdot$	Вт	$2,7 \cdot 1570 \cdot 10,22 =$ $= 33899$
Сумарна потужність втрат теплоти від огорожень топки	$\sum Q$	$Q_a + Q_3 + 2 Q_6 + Q_c$	Вт	$17500 + 46794 +$ $+ 2 \cdot 38012 + 33899 =$ $= 174217$
Коефіцієнт втрат теплоти в топці від механічної і хімічної неповноти згорання	$\eta_{мф}$	$100 - q_3 - q_4$	%	$100 - 1 - 1,5 = 97,5$
Повна витрата палива	В	$\frac{Q_{\tau} + \sum Q}{Q_{\Pi} \cdot \eta_{мф}}$	кг/с	$\frac{2,0 + 0,174}{17,77 \cdot 0,975} =$ $= 0,206$

Продовження таблиці Е.2

1	2	3	4	5
Розрахункова витрата палива	B_p	$B \cdot (100 - q_4) / 100$	кг/с	$\frac{0,206 \cdot (100 - 1,5)}{100} = 0,203$
Втрати теплоти через огороження	Q_5	$\sum Q / B_p$	кДж/кг	$174,217 / 0,35 = 489,4$
Відсоткові втрати теплоти від огорожень	q_5	$Q_5 / Q_n \cdot 100$	%	$0,489 / 17,77 \cdot 100 = 2,75$
Сумарні втрати теплоти в топці	$\eta_{втр}$	$100 - q_3 - q_4 - q_5$	%	$100 - 1 - 1,5 - 2,75 = 94,75$
Ентальпія газів на виході з топки з врахуванням втрат	I''	$Q_n \cdot \eta_{втр}$	кДж/кг	$17770 \cdot 0,9475 = 16837$
Температура газів на виході з топки	ϑ''	Табл. 1.4	°C	1638
Визначення похибки розрахунку	ε_ϑ	$(\vartheta'' - \vartheta_a) / \vartheta''$	-	$(1638 - 1600) / 1638 = 0,023$ або 2,3%
Сумарна площа стін топки	F	$\sum F_\phi + F_3 + F_6 + F_c$	м²	$4,37 + 1,29 + 3,23 + 11,12 + 11,47 \cdot 2 + 10,22 = 53,17$
Коефіцієнт теплопередачі між газами і повітрям	K	$\frac{Q}{\Delta t \cdot F}$	$\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	$\frac{174217}{(1638 - 30) \cdot 53,17} = 2,1$
Середній термічний опір стін топкової камери	$\bar{R}$	$\frac{\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}}{n}$	$\frac{м^2 \cdot К}{Вт}$	$0,12 / 1,14 + 0,38 / 0,82 + 0,5 / 1,14 + 0,0025 / 45 + 0,1 / 0,116 / 3 + (0,065 / 1,14 + 0,2 / 0,82) \cdot 4 / 5 = 0,31$
Коефіцієнт тепловіддачі від газів	α_0	$\frac{1}{K^{-1} - \bar{R} - \alpha_1^{-1}}$	$\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	$\frac{1}{2,1^{-1} - 0,3 - 6^{-1}} = 5$
Середня температура внутрішніх стін топкової камери	$t_{ст}$	$t_1 - \frac{Q}{\alpha_0 \cdot F}$	°C	$1638 - \frac{174217}{53,17 \cdot 105} = 1607$
Похибка	ε_c	$\frac{t_c - t_1}{t_c}$	-	$\frac{1607 - 1600}{1607} 100\% = 0,44\%$

Оскільки розрахункова розбіжність менше 2,5%, то перерахунок не проводимо і приймаємо температуру газів на виході з топки $\vartheta'' = 1638$ °C.

Додаток Ж
(довідниковий)

Аеродинамічний розрахунок топки

Ж.1 Початкові дані

Розрахунки виконані за методикою та рівняннями нормативного методу аеродинамічного розрахунку котлоагрегатів [13, 28, 29].

За результатами теплового розрахунку початковими даними є:

- витрата палива $B_p = 0,203$ кг/с;
- теоретична витрата повітря $V^0 = 7,22$ м³/кг;
- дійсний об'єм димових газів $V_r = 7,756$ м³/кг;
- коефіцієнт надлишку повітря $\alpha = 1,6$;
- температура повітря на вході в топку $t_x = 10^\circ\text{C}$;

Об'єми газів та повітря V_r та V^0 виражені в м³/кг при 0°C і 101325 Па.

Оскільки топка працює під наддувом, то вважатимемо, що присмоктувань повітря немає.

Ж.2 Розрахунок повітряного тракту

Схема повітропроводів первинного і вторинного повітря представлена на рисунку Ж.1.

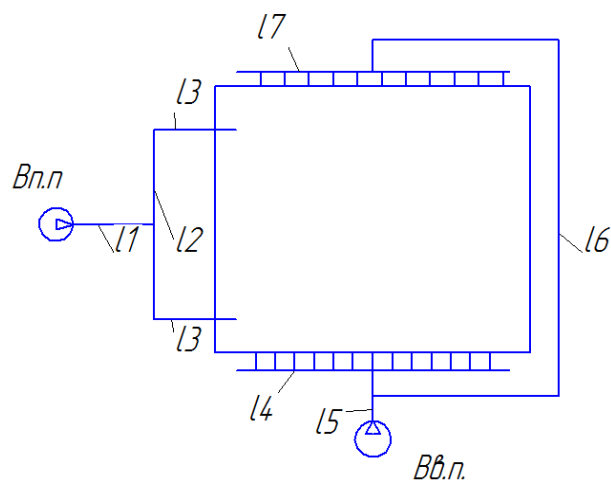


Рисунок Ж.1 – Схема повітряного тракту топки

Для розрахунку повітряного тракту і вибору вентилятора визначаємо всі необхідні характеристики тракту і заносимо їх у таблицю Ж.1.

Аеродинамічний розрахунок повітряного тракту представлено в таблиці Ж.2 [13,29].

Таблиця Ж1 – Геометричні характеристики повітряного тракту

Величина		Тракт	Розмірність	Числові значення	Діаметр
Найменування	Позначення				
1	2	3	4	5	
Основний повітропровід первинного повітря	ℓ_1	Первинне повітря	м	2,8	0,5
Роздаючий трубопровід первинного повітря	ℓ_2	Первинне повітря	м	1,6	0,4
Подаючі трубопроводи первинного повітря	ℓ_3	Первинне повітря	м	1,3	0,4
Подаючі колектори вторинного повітря	ℓ_4, ℓ_7	Вторинне повітря	м	2,8	0,5
Основний повітропровід вторинного повітря	ℓ_5	Вторинне повітря	м	3,2	0,5
Роздаючий трубопровід вторинного повітря	ℓ_6	Вторинне повітря	м	9	0,4

Так як всмоктувальний повітропровід має еквівалентний діаметр 1 м, то швидкості в ньому невеликі і його аеродинамічним опором нехтують.

Таблиця Ж.2 – Аеродинамічний розрахунок повітряного тракту

Величина		Формула або спосіб визначення	Розмірність	Числові значення
Найменування	Позначення			
1	2	3	4	5
Коефіцієнт запасу за продуктивністю	β_1	Вибираємо [28]	-	1,1
Коефіцієнт запасу за тиском	β_2	Вибираємо [28]	-	1,2
Коефіцієнт запасу за споживаною потужністю	β_3	Вибираємо [28]	-	1,05

Продовження таблиці Ж.2

1	2	3	4	5
Кількість повітря, яке всмоктується вентиляторами	V_{xp}	$B_p \cdot \beta_1 \cdot V^0 \cdot \alpha \cdot \frac{t_x + 273}{273}$	$\frac{m^3}{c}$	$0,203 \cdot 7,22 \cdot 1,1 \times 1,6 \cdot 283 / 273 = 2,67$
Витрата первинного повітря (60%)	$V_{пп}$	$V_x \cdot 0,6$	$\frac{m^3}{c}$	$2,67 \cdot 0,6 = 1,6$
Витрата вторинного повітря (40%)	$V_{вп}$	$V_x \cdot 0,4$	$\frac{m^3}{c}$	$2,67 \cdot 0,4 = 1,07$
Площі перерізів трубопроводів:	$f_1 = f_5 = f_4 = f_7$	$\frac{\pi \cdot d^2}{4}$	m^2	0,196
	$f_2 = f_3 = f_6$	$\frac{\pi \cdot d^2}{4}$	m^2	0,125
Витрата первинного повітря через кожний патрубок	$V_{пп1}$	$V_{пп} / 2$	$\frac{m^3}{c}$	$1,6 / 2 = 0,8$
Витрата вторинного повітря через кожний колектор	$V_{вп1}$	$V_{вп} / 2$	$\frac{m^3}{c}$	$1,07 / 2 = 0,54$
Швидкість повітря 1	w_1	$V_{пп} / f_1$	m/c	$1,6 / 0,196 = 8,1$
Швидкість повітря 2	w_2	$V_{пп1} / f_2$	m/c	$0,8 / 0,125 = 6,4$
Швидкість повітря 4	w_4	$V_{вп1} / f_4$	m/c	$0,54 / 0,196 = 2,8$
Швидкість повітря 5	w_5	$V_{вп} / f_5$	m/c	$1,07 / 0,196 = 5,5$
Швидкість повітря 6	w_6	$V_{вп1} / f_6$	m/c	$0,54 / 0,125 = 4,32$
Абсолютна шорсткість повітропроводів	k_e	Таблиця VII-1 [28]	m	$2 \cdot 10^{-4}$

Продовження таблиці Ж.2

1	2	3	4	5
Критерії Рейнольдса	Re ₁ Re ₂ Re ₄ Re ₅ Re ₆	$\frac{w \cdot d}{\nu}$	-	$10 \cdot 0,5/16 \cdot 10^{-6} = 2,9 \cdot 10^5$ $7,8 \cdot 0,4/16 \cdot 10^{-6} = 1,8 \cdot 10^5$ $3,2 \cdot 0,5/16 \cdot 10^{-6} = 0,9 \cdot 10^5$ $6,2 \cdot 0,5/16 \cdot 10^{-6} = 1,9 \cdot 10^5$ $5 \cdot 0,4/16 \cdot 10^{-6} = 1,2 \cdot 10^5$
Відносна шорсткість трубопроводу 1	d ₁ /k _e	d ₁ /k _e	-	500/0,2=2500
Відносна шорсткість трубопроводу 2	d ₂ /k _e	d ₂ /k _e	-	400/0,2=2000
Динамічний тиск повітропроводу 1	h _{д1}	Номограма VII-2 [28]	мм вод. ст.	5,95
Динамічний тиск повітропроводів 2 і 3	h _{д2}	Номограма VII-2 [28]	мм вод. ст.	3,1
Динамічний тиск повітропроводу 4	h _{д4}	Номограма VII-2 [28]	мм вод. ст.	1
Динамічний тиск повітропроводу 5	h _{д5}	Номограма VII-2 [28]	мм вод. ст.	2,7
Динамічний тиск повітропроводу 6	h _{д6}	Номограма VII-2 [28]	мм вод. ст.	1,4
Коефіцієнт гідрав- лічного тертя повітропроводу 1	λ ₁	Рисунок VII-3 [28]	-	0,017
Коефіцієнт гідрав- лічного тертя повітропроводів 2 і 3	λ ₂	Рисунок VII-3 [28]	-	0,018
Коефіцієнт гідрав- лічного тертя повітропроводу 4	λ ₄	Рисунок VII-3 [28]	-	0,018

Продовження таблиці Ж.2

1	2	3	4	5
Коефіцієнт гідравлічного тертя повітропроводу 5	λ_5	Рисунок VII-3 [28]	-	0,017
Коефіцієнт гідравлічного тертя повітропроводу 6	λ_6	Рисунок VII-3 [28]	-	0,0185
Сумарні втрати напору в трубопроводі 1	h_1	$h_{д1} \cdot (\lambda_1 \cdot \ell_1 / d_1 + \sum \xi)$	м вод. ст.	$0,00595 \cdot (0,017 \times \times 2,8 / 0,5 + + 1,8) = 0,0113$
Сумарні втрати напору в трубопроводах 2, 3	h_2	$h_{д2} \cdot (\lambda_2 \cdot \ell_2 / d_2 + \sum \xi)$	м вод. ст.	$0,0031 \cdot (0,018 \times \times 4,2 / 0,4 + + 1 \cdot 5 + 2 \cdot 1,1) = 0,023$
Сумарні втрати напору в трубопроводі 5	h_5	$h_{д5} \cdot (\lambda_4 \cdot \ell_5 / d_5 + \sum \xi)$	м вод. ст.	$0,0027 \cdot (0,017 \times \times 3,2 / 0,5 + + 1 \cdot 2 + 2 \cdot 1,8 \cdot 2) = = 0,0254$
Сумарні втрати напору в трубопроводі 6	h_6	$h_{д6} \cdot (\lambda_6 \cdot \ell_6 / d_6 + \sum \xi)$	м вод. ст.	$0,0014 \cdot (0,0185 \times \times 9 / 0,4 + + 1 \cdot 2) = 0,009$
Сумарні втрати напору в трубопроводі 4	h_4	$h_{д4} \cdot (\lambda_4 \cdot \ell_4 / d_4 + \sum \xi)$	м вод. ст.	$0,001 \cdot (0,018 \times \times 2,8 / 0,5 + + 21,5) = 0,023$
Необхідний напір під колосниковою решіткою	Δh	Таблиця VII-7 [28]	мм вод. ст.	80
Сумарний опір тракту первинного повітря	$\sum h_{п.п}$	$(h_1 + h_2 + \Delta h) \cdot \beta_2$	мм вод. ст.	$(11,3 + 23 + 80) \cdot 1,2 = = 137$
Сумарний опір тракту вторинного повітря	$\sum h_{в.п}$	$(h_5 + h_6 + h_4 \cdot 2) \cdot \beta_2$	мм вод. ст.	$(25,4 + 9 + 23 \cdot 2) \times \times 1,2 = 97$