

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра теплоенергетики
(повна назва кафедри)

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Підвищення енергоефективності одношахтної зерносушарки М819»

Виконав: студент 2 курсу групи ТЕ-20м
спеціальності 144 – Теплоенергетика
(шифр і назва спеціальності)

_____ Задорожний В.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т. н., доцент каф ТЕ
_____ Співак О. Ю.
(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2021 р.

Опонент: д.т.н., проф. каф. БМГА
_____ Сердюк В.Р.
(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2021 р.

Допущено до захисту
В.о. завідувача кафедри ТЕ
_____ к.т.н., доц. Степанов Д.В.
(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2021 р.

Вінниця ВНТУ - 2021 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання
Кафедра теплоенергетики
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань 14 – електрична інженерія
Спеціальність 144 - теплоенергетика
Освітньо-професійна програма Теплоенергетика

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри ТЕ
_____ Д. В. Степанов
_____ 2021 року

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

Задорожному Вадиму Вячеславовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Підвищення енергоефективності одношахтної зерносушарки М819»
керівник роботи Співак Олександр Юрійович, к. т. н., доцент
затверджені наказом вищого навчального закладу від 24.09.2021 р., № 277
2. Строк подання студентом роботи 10.12.21 року.
3. Вихідні дані до роботи: зовнішнє повітря з параметрами: $t_0=15^{\circ}\text{C}$; $\phi_0=70\%$; повітря, яке поступає в I ступінь (зону): $t=120^{\circ}\text{C}$; повітря, яке поступає в II ступінь (зону): $t=150^{\circ}\text{C}$; повітря, яке поступає в охолоджуючу камеру: $t=10^{\circ}\text{C}$; теплоносії, який виходить з I зони: $\phi=70\%$; теплоносії, який виходить з II зони: $\phi=65\%$; повітря, яке виходить з охолоджуючої камери: $t=30^{\circ}\text{C}$, сировина: при вході в сушарку: $W=28\%$; $t=15^{\circ}\text{C}$; при виході з I зони: $W=20\%$; $t=30^{\circ}\text{C}$; при виході з II зони: $W=15\%$; $t=50^{\circ}\text{C}$; при виході з охолоджуючої камери: $W=14\%$; $t=10^{\circ}\text{C}$.
4. Зміст текстової частини: аналіз літературних та патентних джерел, наукова частина, технічна частина, організаційно-технологічна частина, економічна частина, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): шахтна сушарка М819, газоповітряний пластинчасто-оребрений теплообмінник, циклон батарейний БЦ-2-5х(3+2), схема аксонометрична, календарний план монтажних робіт, к.к.д. топки на різних видах палива, структурна схема математичної моделі, зміна к.к.д. і теплоти в топці сушарки М819 на різних видах палива, затрати на різні види палива, температура і вологість насіння в залежності від висоти шахти з коливальним ходом температури, температура і вологість насіння від висоти шахти з провалом температурної кривої.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Кобилянська І.М.		
Економічна частина	Лялюк О. Г.		

7. Дата видачі завдання 25.09.2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Науково-аналітичний огляд літературних та патентних джерел	5.10.2021	
Розробка математичної моделі сушарки	15.10.2021	
Аналітичні і числові дослідження з використанням математичної моделі	25.10.2021	
Аналіз результатів числового експерименту	05.11.2021	
Розрахунок теплообмінного обладнання	07.11.2021	
Розрахунок газоочисного обладнання	10.11.2021	
Модернізація схеми автоматизації сушарки	15.11.2021	
Розробка технології монтажу системи відведення відпрацьованого повітря	25.11.2021	
Охорона праці	03.12.2021	
Економічна оцінка інноваційного проекту	05.12.2021	
Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	07.12.2021	

Студент _____
(підпис)

Задорожний В.В.

Керівник роботи _____
(підпис)

Співак О.Ю.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.33.221

Задорожний В.В. Підвищення енергоефективності одношахтної зерносушарки М819. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 144 – теплоенергетика, освітня програма - теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2021. 117 с.

Укр. мовою. Бібліогр.: 119 назв; рис.: 18; табл. 19.

У магістерській дипломній роботі розроблені заходи для підвищення енергоефективності зерносушарки М819, а саме: складена математична модель і виконані числові дослідження кінетики сушіння зернових культур в конвективній шахтній зерносушарці М819; виконані числові дослідження можливості переведення зерносушарки М819 на альтернативний вид палива; розроблено і сконструйовано газоповітряний теплообмінник для утилізації теплоти відпрацьованого теплоносія; розраховано газоочисне обладнання для очищення теплоносія сушарці. Здійснено модернізацію схеми автоматизації шахтної зерносушарки М819 і виконано розробку технології монтажу системи очищення відпрацьованого теплоносія. Здійснено економічне обґрунтування монтажних робіт.

Ілюстративна частина складається з 11 креслень і плакатів із результатами моделювання та експериментальних досліджень.

У розділі охорони праці опрацьовано такі питання, як причини виникнення, дія 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, та розглянуто норми пожежної безпеки.

Ключові слова: сушіння, шахтна сушарка, сушіння зерна, тепловологісне відношення, сушильний процес, тепломасообмін.

ANNOTATION

Zadorozhny VV Improving the energy efficiency of a single-mine grain dryer M819. Master's degree in specialty 144 - heat energy, educational program - heat energy. Vinnytsia: VNTU, 2021. 117 p.

Ukr. language. Bibliogr. : 119 titles; fig. : 18; table 19.

In the master's thesis developed measures to improve the energy efficiency of the grain dryer M819, namely: a mathematical model and numerical studies of the kinetics of drying of cereals in the convective mine grain dryer M819; numerical studies of the possibility of converting grain-balls M819 to an alternative type of fuel; developed and constructed a gas-air heat exchanger for heat utilization of spent coolant; calculated gas cleaning equipment for cleaning the coolant dryer. The modernization of the M819 mine grain dryer automation scheme was carried out and the technology of installation of the spent coolant cleaning system was developed. The economic substantiation of installation works is carried out.

The illustrative part consists of 11 drawings and posters with the results of modeling and experimental research.

The section of labor protection deals with such issues as the causes, effects on the human body and the rationing of harmful and dangerous production factors in the production premises; map of working conditions (substantiation of the choice of normalized values of harmful and dangerous production factors, assessment of factors of production and labor processes, hygienic assessment of working conditions, assessment of technical and organizational level, certification of the workplace); recommendations for improving working conditions, and considered fire safety regulations.

Key words: drying, mine dryer, grain drying, heat-moisture ratio, drying process, heat-mass exchange.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ТА ПАТЕНТНИХ ДЖЕРЕЛ.....	7
1.1 Теоретичні основи технології сушіння зерна.....	7
1.2 Технологія сушіння зерна.....	11
1.3 Способи інтенсифікації процесу сушіння у шахтних зерносушарках	15
Висновки до Розділу 1	17
2 НАУКОВА ЧАСТИНА.....	18
2.1 Етапи моделювання процесу сушіння зернових.....	18
2.2 Опис математичної моделі	21
2.3 Розробка математичної моделі.....	24
2.4 Результати числового експерименту і їх аналіз	27
2.5 Аналіз можливості використання альтернативного палива	29
Висновки до Розділу 2	36
3 ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	37
3.1 Розрахунок теплобмінного обладнання	37
3.2 Розрахунок батарейного циклона і повітропроводів.....	50
Висновки до Розділу 3	56
4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	57
4.1 Технологія монтажу газоочисного обладнання	57
4.2 Функціональна схема автоматизації шахтної зерносушарки	70
Висновки до Розділу 4	82
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	83
5.1 Кошторисна вартість.....	83
5.2 Оцінювання економічної ефективності інноваційного проекту	87
5.3 Термін окупності інвестицій.....	88
Висновки до Розділу 5.	89

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	90
6.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта.....	91
6.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	97
ВИСНОВКИ.....	105
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	107
ДОДАТКИ.....	118
Додаток А_(обов'язковий)_Технічне завдання.....	119
Додаток Б_(обов'язковий)_Математична модель роботи шахтної сушарки М819 ..	124
Додаток В_(обов'язковий)_Ілюстративна частина.....	131

ВСТУП

Актуальність теми. Сушіння є сукупністю тепло- і масообмінних процесів у вологому матеріалі, яка складається з двох задач: процесів на поверхні матеріалу (зовнішня задача) і всередині вологого матеріалу (внутрішня задача). Сушіння є невід’ємною частиною багатьох технологічних процесів виробництва, як правило кінцевою частиною процесу і (з точки зору енергетики) самою дорогою. В ряді випадків сушіння супроводжується структурно-механічними, хімічними, біохімічними, реологічними змінами матеріалу, який висушується, в результаті чого на виході отримують висушений продукт із зовсім іншими властивостями, ніж вихідна сировина [1].

Швидкість протікання таких процесів, залежить не тільки від способу підведення теплоти до матеріалу, а й від вибраного режиму сушіння.

Зерносушарка шахтного типу М-819 польського виробництва (фірма Agromet Rofama) призначена для сушіння чотирьох основних зернових (пшеницю, жито, ячмінь та кукурудзу), а також насіння бобових і олійних культур, рису та інших рослин. Процес сушіння відбувається безперервно за конвективним принципом, як теплоносій виступає очищене, підігріте повітря (без топкових газів). Вибрані відповідним чином параметри теплоносія надають можливість сушити і продовольчий і посівний матеріал. Сушарка за своєю конструкцією пристосована до тривалої роботи на відкритому повітрі [2].

Такі сушарки почали поставлятися в нашу країну більше 25 років назад і зараз є морально застарілими, а їх енергетична ефективність дуже низька. В даний час парк зерносушильних комплексів оновлюється новими сучасними зерносушарками, технологічний процес сушіння на яких керується комп’ютером. За конструкцією ці зерносушарки переважно шахтного типу, тобто аналогічні зерносушарці М-819. Однак, відстань між коробами, що підводять та відводять теплоносій, що характеризує товщину шару сушіння зерна, в 2-3 рази більше ніж у зерносушарки М-819, і тому рівномірність і якість сушіння на сучасних зерносушарках гірша, ніж у зерносушарки М819.

Кількість підведених та відповідних коробів на польській зерносушарці більше в 2 рази, ніж на сучасних, а це сприяє гарному перемішуванню зерна. Виходячи з цього, можна дійти невтішного висновку, що за всіх інших однакових умов ведення сушіння зерна польська зерносушарка М-819 забезпечує більш рівномірне сушіння зерна з більшим ККД процесу сушіння. Але все це відноситься до технічно справних зерносушарок М-819. Результати обстеження стану сушарок М819 [3] дозволяють зробити висновок, що технічне відновлення зерносушарок М-819 можливе, і об'єми відновлення не перевищать 35-40% від початкової вартості машини. Тож проблема підвищення енергоефективності такої сушарки є **актуальною**.

Мета і завдання дослідження.

Метою роботи є виявлення основних закономірностей сушіння зернових культур в шахтних сушарках та вироблення рекомендацій з модернізації таких сушарок для підвищення їх енергоефективності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- 1) здійснити аналітичний пошук літературних та патентних джерел для виявлення стану питання;
- 2) числовими методами дослідити кінетику сушіння зернової сировини в шахтних сушарках;
- 3) визначити основні оптимальні параметри сушіння цих продуктів;
- 4) розробити заходи для підвищення енергоефективності шахтної сушарки М819;
- 5) оцінити економічну привабливість проекту;
- 6) розробити заходи з охорони праці.

Об'єктом дослідження є тепломасообмінні процеси при обезводненні сировини в шахтних сушарках.

Предметом дослідження є особливості кінетики сушіння зернової сировини у конвективній шахтній сушарці М819, які в науковій літературі представлені у вигляді поодиноких експериментальних даних.

Методи дослідження. В роботі проведені теоретичні дослідження, та числове дослідження кінетики сушіння за допомогою оригінальної математичної моделі.

Наукова новизна результатів дослідження.

Вперше запропоновано нову методику для оцінки ефективності сушіння зернових культур в шахтних сушарках, який відрізняється від існуючих тим, що для його реалізації застосовано елементи експериментально-розрахункового методу визначення потрібних параметрів теплоносія.

Особистий внесок здобувача полягає в аналітичному огляді літературних та патентних джерел, складанні математичної моделі та проведенні числових експериментів на моделі.

Апробація результатів роботи.

Основні результати роботи доповідались на 2 міжнародних конференціях у 2020 і 2021 р.

Публікації. Матеріали роботи опубліковані в 2 тезах міжнародних конференцій [4, 5].

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ТА ПАТЕНТНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Теоретичні основи технології сушіння зерна

Принцип роботи шахтних сушарок, їх незаперечні переваги і недоліки досить повно описані в роботах [6-12].

Такі шахтні сушарки працюють неперервно і застосовуються для сушіння сипучих матеріалів (пшениці, ячменю, кукурудзи тощо). Сушарка має камеру, в якій матеріал, що висушується, рухається за рахунок сил тяжіння. Сушіння виконують підігрітим повітрям чи його сумішшю з топковими газами за температури суміші 60 – 170 °С [2].

Сушіння зерна в шахтних сушарках здійснюється, як правило, за допомогою гарячого повітря. Цей спосіб досить простий і дозволяє сушити якісно і акуратно, через це він і набув найбільшого розповсюдження. Експлуатаційні і інвестиційні кошти в порівнянні з іншими методами (наприклад, променеве сушіння, зберігання при низькій температурі чи в вакуумі) набагато нижчі [13].

Існує декілька варіантів прямого та непрямого нагрівання теплоносія для сушарки [14]. Сучасні сушильні агрегати характеризуються чистим спалюванням використовуваного пального. Продукти горіння практично майже повністю складаються з водяної пари і діоксиду вуглецю, котрі входять до складу повітря. За прямого спалювання продукти горіння змішуються в пропорції близько 60 до 1 з свіжим повітрям і подаються в сушарку.

Сьогодні безперечно можна сказати, що на зв'язок вологи з матеріалом вирішальний вплив чинять дисперсність матеріалу та його фізико-хімічні властивості. Чим більша дисперсність матеріалу, тим більше у ньому міцно зв'язаної вологи. Разом з тим для пористих матеріалів велике значення має значення радіуса капіляра. Чим менший тиск пари над меніском рідини, тим більше енергії необхідно витратити на видалення води із капілярів.

У зв'язку з цим А. В. Ликов [15] запропонував розділити усі тверді складні матеріали на три групи: капілярно-пористі, колоїдні та капілярно-пористі колоїд-

ні. Ця класифікація вологих матеріалів з точки зору процесу сушіння не є абсолютно строгою, але вона має велике практичне значення для уявлення про розміщення вологи у матеріалі та для розкриття механізму видалення вологи при сушінні.

Відповідно до цієї класифікації, зерно відноситься до капілярно-пористих колоїдних тіл, в яких рідина має різні форми зв'язку. Проте слід зазначити, що практично важко провести різку межу між окремими видами зв'язку вологи з твердим скелетом зерна. Важливо, що природа утворення різних видів зв'язку вологи у зерні зумовлює механізм видалення її при сушінні. Так, для видалення адсорбційно-зв'язаної води, її потрібно всередині зерна перетворити на пару, після чого вона переміщається всередині зерна по капілярах у вигляді пари. Волога набухання переважно переміщається всередині зерна у вигляді рідини шляхом дифузії через стінки клітин, тобто таким самим шляхом, як вона проникла в зерно. Залежно від режимів сушіння капілярна волога може переміщатися як у вигляді рідини, так і у вигляді пари.

Вологість зерна, при якій переважно залишається хімічно пов'язана та адсорбційно-пов'язана волога, часто називається критичною.

Адсорбційно-пов'язана волога не бере участь у життєвих процесах зерна як живого організму, вона також не може бути використана більшістю мікроорганізмів для підтримки своєї життєдіяльності. Отже, наявність адсорбційно пов'язаної вологи в зерні не може впливати на його стійкість у процесі зберігання. Тому сушити зерно необхідно до такого стану, щоб у ньому залишалася переважно адсорбційно зв'язана вода.

Таким чином, при тепловому сушінні витрати енергії витрачаються в основному для переведення вологи в пароподібний стан.

У конвективних сушарках енергія передається зерну від нагрітого сушильного агента. Тут він є не тільки вологопоглиначем, призначення якого евакуувати із сушильної камери пару, що виділилася із зерна, а й теплоносієм, що забезпечує зерно теплотою. Ця теплота витрачається на нагрівання зерна, на перегрів пари,

що утворюється, на нагрівання самого теплоносія і вологи, яка міститься в ньому до сушіння, на нагрівання конструкції зерносушильного агрегату.

Таким чином, конвективне сушіння є цілим комплексом явищ, що одночасно протікають і впливають один на одного.

До них відносяться:

- перенесення тепла від сушильного агента до зерна через його поверхню;
- випаровування вологи;
- перенесення вологи всередині матеріалу;
- перенесення у середовище сушильної камери вологи з поверхні матеріалу.

Як і весь процес сушіння, перенесення теплоти є нестационарним процесом. Інша особливість перенесення теплоти при сушінні у тому, що він ускладнюється перенесенням вологи. Для глибокого розуміння всього цього процесу необхідно вивчити весь складний механізм перенесення вологи як усередині зерна, так і з його поверхні.

Теорія перенесення вологи в зерні показує під дією яких сил відбувається цей процес і які засоби є у розпорядженні конструкторів для управління процесом сушіння, що забезпечує максимальне збереження якості зерна, мінімальні витрати енергії при його сушінні та збільшення продуктивності установки.

На випаровування вологи із зерна впливають в основному два процеси – вологопровідність та термовологопровідність, що характеризують внутрішнє тепло- та масоперенесення у вологому зерні. При випаровуванні вологи із зерна поверхневі шари підсушуються. Створюється перепад вмісту вологи – усередині зернівки її більше, але на поверхні менше. Створюється градієнт вмісту вологи. Це призводить до переміщення вологи з внутрішніх шарів зернівки до поверхневих шарів. Таке явище називається вологопровідністю і описується відомим рівнянням Фіка.

$$j = -D \text{grad}C, \quad (1.1)$$

де D – коефіцієнт молекулярної дифузії вологи.

Коефіцієнт дифузії вологи залежить від температури і виражається статичною функцією. Звідси впливає потреба підвищення температури зерна до гранично-можливих значень на початку сушильного процесу. Волога переміщується в зерні не тільки завдяки градієнту вмісту вологи, але і за рахунок градієнта температур (явище термовологопровідності). Термовологопровідність характеризується переміщенням вологи у напрямку потоку теплоти. Випаровування вологи під впливом термовологопровідності пояснюється наступним прикладом. При горінні сирих дров спостерігається інтенсивне виділення вологи як рідини з протилежного кінця полена з його центральних шарів. Потік тепла як би жене перед собою вологу.

Напрямок переміщення вологи під впливом градієнта вмісту вологи і температурного градієнта в одному випадку можуть збігатися, а іншому бути протилежними. У першому випадку процес сушіння протікатиме набагато інтенсивніше, ніж у другому. Перший випадок характеризується випаровуванням вологи, коли температура на поверхні зернівки буде нижчою за температуру всередині зернівки. Другий випадок характеризується випаровуванням вологи, коли температура поверхневих шарів зернівки вища за температуру внутрішніх шарів.

При конвективному сушінні в шахтних зерносушарках явище термовологопровідність перешкоджає переміщенню вологи зсередини до поверхні матеріалу та інтенсивність випаровування вологи зменшується.

Інтенсивність випаровування вологи з поверхні матеріалу виражається рівнянням, аналогічним рівнянню інтенсивності випаровування води з вільної поверхні.

$$Sh = C Re^n Sc^{0,33} Gu^{0,135}, \quad (1.2)$$

де Sh , Sc , Gu – відповідно критерії Шервуда, Шмідта і Гухмана.

При рециркуляційному сушінні випаровування вологи йде як під впливом градієнта вологовмісту, так і температурного градієнта та інтенсивність випаровування вологи підсумовується.

Коефіцієнт вологообміну головним чином залежить від швидкості сушильного агента, від форми та розміру поверхні, умов обтікання поверхні, температури.

Важливим параметром інтенсифікації процесу сушіння є швидкість руху сушильного агента щодо зерна. Теоретично, чим вища ця швидкість, тим більшими будуть коефіцієнти зовнішнього тепло- та масообміну. Практично, максимально можлива швидкість буде близька до швидкості витання окремих зерен, тобто до швидкості, при якій відбувається зважування зерен потоком сушильного агента. Причому для окремих зерен швидкість може бути досягнута як при прямотоку сушильного агента, так і при протитечії. Більш економічною і ефективною є протитечія, так як при ній різко знижується абсолютна швидкість сушильного агента та у зв'язку з цим знижується витрата енергії на сушіння, і, крім того, при протиточі досягається повніше використання теплоти за рахунок великого зниження температури сушильного агента на виході із сушарки.

1.2 Технологія сушіння зерна

1.2.1 Сушіння зерна в щільному нерухомому шарі

Як правило, сушіння в щільному нерухомому шарі неефективне. Його прикладом є сушіння в бункерах, металевих ємностях з перфорованим днищем.

Сушіння в нерухомому шарі характеризується значною нерівномірністю нагрівання зерна та видалення вологи. Шар зерна, що прилягає до місця входу теплоносія, перегрівается та пересушується, а шари зерна по мірі віддалення від місця входу теплоносія не догріваються та не досушуються. Товщину шару при такому сушінні приймають рівною 600-1500 мм, значно рідше приймається товщина шару до 350 мм. При такому сушінні використовують дуже низьку температуру агента, щоб якось знизити перегрів зерна. Використання низьких температур веде до значного подовження процесу сушіння, збільшення витрати палива та електроенергії. При сушінні зерна у щільному нерухомому шарі використовується одностороннє або реверсивне продування сушильним агентом. Реверсивне продування широко застосовується в камерних сушарках для сушіння кукурудзи в качанах [19].

Сушіння при односторонньому продуванні може бути у вертикальному або горизонтальному шарі (рис. 1.1).

При русі сушильного агента знизу вгору починає підсушуватись нижній шар, при цьому вологість середнього шару в залежності від температури агента може залишатися тією ж, а може й підвищитись на 1-2%. Коли зона сушіння досягне середнього шару, нижній шар пересушуватиметься, а верхній шар зволожуватиметься або залишатиметься незмінним. За весь період сушіння вологість за висотою насипу сильно різниться і коли підсохне верхній шар, ця різниця у вологості дещо згладжується.

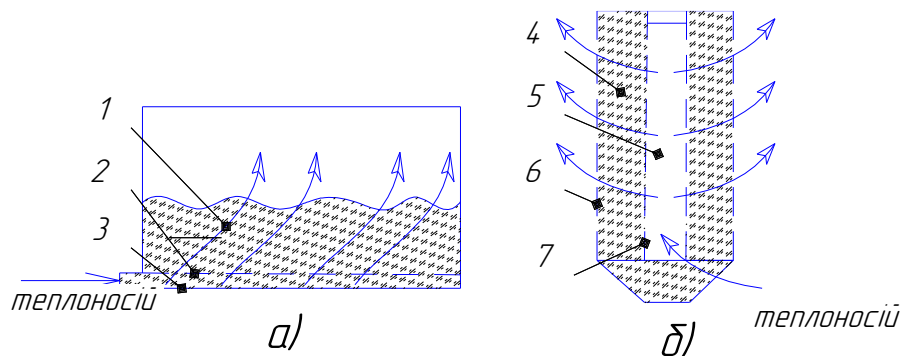


Рисунок 1.1 – Сушіння у щільному нерухомому шарі:
а - вертикальне продування шару; б - горизонтальне продування шару:

- 1 – горизонтальний шар зерна; 2 – перфоровані ґрати;
- 3 – повітропідвідний канал; 4 – вертикальний шар зерна;
- 5 – повітропідвідний канал; 6, 7 – перфоровані стінки

Щоб не допустити пересушування зерна, необхідно застосовувати сушильний агент з відносною вологістю 55-60%, що відповідає рівноважній вологості зерна 12-14%. Щоб отримати сушильний агент з відносною вологістю 55-60%, його температура повинна бути на 5-10 °С вища за температуру атмосферного повітря. Природно, за таких параметрів агента сушіння буде протікати дуже повільно. Звідси випливає висновок. Сушіння зерна в щільному шарі малоефективне та його застосування на практиці має бути обмежене. Як правило, застосування цієї технології та техніки говорить про некомпетентність конструктора сушильного апарату [20].

1.2.2 Сушіння зерна в щільному малорухливому шарі

Щільний малорухливий шар набув найбільшого поширення в зерносушильній техніці. Під дією сил гравітації такий шар рухається зверху вниз шахтою сушарки. Товщина шару зерна, що стикається з сушильним агентом, постійно змінюється від нуля до максимуму (150-250 мм), що створює рівноцінні умови як нагрівання, так сушіння (рис. 1.2).

У цьому випадку використовується сушильний агент з температурою, що перевищує кілька разів температуру зерна (120-160 °С). Питома подача агента дорівнює 3500 м³/год. Тривалість нагрівання зерна становить 15-20 хв.

Сушіння зерна в щільному малорухомому шарі широко використовується в шахтних зерносушарках з підвідними та відвідними коробами. Зерно, рухаючись зверху вниз, багаторазово перетинає зони підведення та відведення сушильного агента, а також зони підведення та відведення атмосферного повітря.

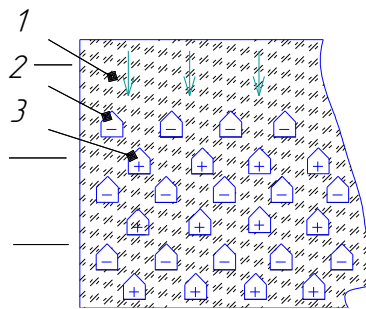


Рисунок 1.2 – Сушіння в щільному малорухливому шарі:

1 – шахта із зерном; 2 - ряд відвідних коробів; 3 - ряд підвідних коробів

Завдяки такій конструкції шахт відбувається згладжування вологості та температури зерна по висоті шару.

1.2.3 Сушіння зерна в псевдозрідженому шарі

Якщо щільний шар певної товщини розмістити на сітці або перфорованому дніщі і продувати його, то при певних параметрах шару і швидкості сушильного агента щільний шар розпушується і переходить в псевдозріджений стан. Такий шар може переміщатися, набуваючи властивостей рідини, може кипіти як рідина. При цьому кожне зерно обдувається повітрям чи сушильним агентом. Сушіння в псевдозрідженому шарі відрізняється швидким прогріванням зерна та великою

швидкістю сушіння. Здатність псевдозрідженого шару переміщатися використовують і для транспортування зерна, у процесі якого зерно інтенсивно сушиться (рис. 1.3). Характерною особливістю сушіння зерна у псевдозрідженому шарі є інтенсивний теплообмін між сушильним агентом та зерном.

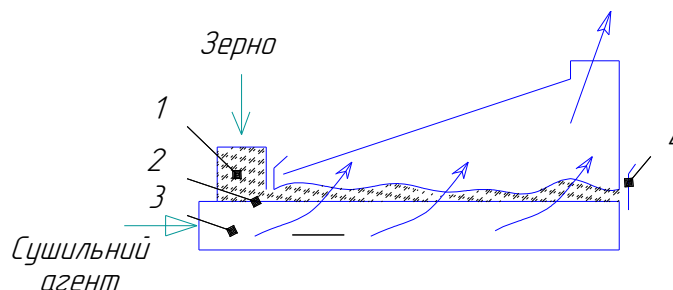


Рисунок 1.3 – Сушіння в псевдозрідженому шарі:

- 1 – бункер зерна; 2 – перфоровані ґрати;
- 3 – повітропідвідний канал; 4 – шибер

Температура сушильного агента при продуванні зернового шару різко падає і на висоті 50 мм від ґрат практично дорівнює температурі зерна. Зерно нагрівається в залежності від температури агента за 2-2,5 хв. Швидкість сушіння зерна різко зростає із збільшенням температури сушильного агента. При збільшенні її з 60 до 140 °С швидкість сушіння зростає в 2,5 рази, а час прогріву зерна скорочується в 4 рази [22].

Різновидом псевдозрідженого шару є віброкиплячий шар [23]. Віброкиплячий стан шару досягається за меншого тиску сушильного агента за рахунок впливу на шар віброуючих (струшуючих) коливань з амплітудою 2-10 мм.

1.2.4 Сушіння зерна в комбінованому шарі

Зерно є вологоінерційним матеріалом. Воно швидко нагрівається, але повільно віддає вологу. Для характеристики вологоінерційних властивостей зерна використовується критерій Ликова, згідно з яким швидкість нагрівання зерна в 300-400 разів вища за швидкість випаровування з нього вологи. Тому при інтенсифікації процесу сушіння повинні бути узгоджені інтенсивність нагрівання зерна з інтенсивністю випаровування вологи, а також інтенсивність випаровування вологи з поверхні зерна з внутрішнім вологоперенесенням, тобто зі швидкістю підве-

дення вологи з центральної частини зернівки до її поверхні.

Процес сушіння зерна у псевдозрідженому шарі супроводжується швидким нагріванням зерна (40-50 с) та високим значенням величини випаруваної вологи за цей проміжок часу (1-1,5%). Проте швидке зневоднення поверхневих шарів зернівки та уповільнена дифузія вологи з внутрішніх її шарів з часом різко знижує швидкість сушіння, що неминуче тягне за собою перегрівання зерна. Щоб цього не допустити, потрібне відлежування зерна без підведення до нього теплоти. Через невеликий проміжок часу (10-15 хв) волога із внутрішніх шарів зернівки за законом вологопровідності, рушійною силою якого є градієнт вологості, переміститься до поверхні зернівки і цю вологу знову легко можна випарувати в псевдозрідженому шарі. Проте в реальних умовах такий процес (осцилюючий режим) існуючих зерносушарках здійснити важко. Значно простіше створити конструкцію сушильного апарату, в якому можна було б використовувати при сушінні як псевдозріджений, так і щільний малорухливий шар. Такий спосіб умовно названо сушінням у комбінованому шарі (рис. 1.4).

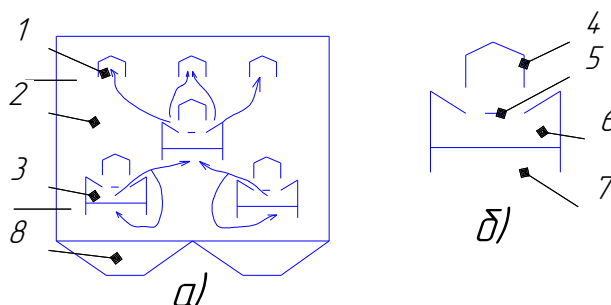


Рисунок 1.4 – Схема шахти для сушіння зерна у комбінованому шарі:

а) загальний вигляд шахти; б) аерожолоб шахти;

1 – відвідний короб; 2 – шахта; 3 – аерожолоб; 4 – короб аерожолоба;

5 – перфоровані ґрати; 6 - повітропідвідний канал;

7 - відвідний канал; 8 – випускний пристрій

1.3 Способи інтенсифікації процесу сушіння у шахтних зерносушарках

Метод сушіння зерна в щільному рухомому шарі з використанням шахти з коробами застосовується з давно. Конструкція коробів сучасних зерносушарок майже не змінюється. Короба прості у виготовленні, досить ефективно забезпе-

чують рівномірність процесу сушіння.

Розрахунок шахти зерносушарки зводиться до визначення площі F перерізу відвідних коробів, задавшись швидкістю відпрацьованого сушильного агента з короба трохи більше 5 м/с числом шахт Z .

Однак існуючі шахти зерносушарок з коробами мають один головний недолік. Їх конструкція не дозволяє подати в шахту сушильного агента або повітря більше за певне значення. Кількість сушильного агента обмежується швидкістю його на виході з короба, яка не повинна перевищувати 5 м/с. Це обмеження дозволяє довести швидкість фільтрації сушильного агента через шар зерна до 0,5 м/с. Розрахункова кількість сушильного агента або повітря, що подається в шахту визначається, виходячи з цього обмеження. Тому висота сучасних шахтних зерносушарок прямо пропорційна їх продуктивності і досягає 20 м і більше.

Зменшити висоту шахти сушарки можна за рахунок застосування нової конструкції короба та шахти, що дозволяють збільшити швидкість фільтрації сушильного агента та повітря у кілька разів.

Одне з таких рішень запропоноване в роботі [22]. Оригінальність нового рішення полягає в тому, що в шахті відсутня напірна камера, яка в існуючих конструкціях займає 30% об'єму сушарки та не заповнена зерном. Другою та головною перевагою нової конструкції є те, що площа перерізу відвідних коробів збільшена в три рази за рахунок того, що відвідний короб відкритий з обох кінців і кількість відвідних коробів збільшено.

Третьою перевагою є застосування коробів із перфорованими стінками. Це дозволило збільшити площу перерізу короба при збереженні висоти продуваного шару зерна в межах 200-250 мм, знизити висоту шахти більш ніж удвічі, збільшити зернову ємність шахти та, найголовніше, збільшити швидкість фільтрації сушильного агента та повітря у 2,6 рази.

Секція шахти нової конструкції складається з корпусу, в якому змонтовано три ряди коробів. Верхні і нижні короби відвідні і відкриті з обох кінців, а середні підвідні. Бічні стінки коробів виконані перфорованими. Основні технічні характеристики наведеної секції шахти:

- шахти нової конструкції майже втричі нижчі за існуючу;
- коефіцієнт заповнення зерном шахти на 72% вищий;
- кількість коробів у 45 разів менша;
- швидкість фільтрації у 2,6 рази більша.

Технологію виготовлення нової шахти значно спрощено. Якщо для порівнянової конструкції (ДСП-32от) необхідно виготовити 1792 короби і в стінках шахти пробити 3584 отвори для їх монтажу, то для нової конструкції шахт необхідно виготовити товити 40 коробів і 64 отвори їхнього монтажу, тобто, витрати на виробництво нової шахти значно знижено.

Цікавим є також патент на корисну модель [23], в якому пропонується шахтна сушарка зерна, складена з топки, вентиляторів, надсушильного бункера, секцій першої і другої зон сушіння, секцій охолодження, розвантажувального пристрою, яка відрізняється тим, що вентилятор подачі теплоносія від топки з'єднаний за допомогою колектора з секціями другої зони сушіння, в результаті досягається процес сушіння зерна меншої вологості при більш високій температурі теплоносія, що забезпечує підвищення ефективності сушіння при збереженні якості зерна.

Багато патентів присвячено рекуперації теплоти відпрацьованого теплоносія, наприклад [24-26].

Висновки до Розділу 1.

Модернізація зерносушарки М-819 може проводитись за такими напрямками:

- збільшення зони сушіння зерна за рахунок використання охолоджувача;
- встановлення сучасних систем автоматизації та контролю процесу сушіння зерна;
- використання системи рекуперації теплоносія;
- переобладнання пальника при ремонті та модернізації топки М-819;
- комбіноване використання разом із стандартним паливом місцевих видів палива залежно від умов сушіння зерна.

2 НАУКОВА ЧАСТИНА

2.1 Етапи моделювання процесу сушіння зернових

На процес сушіння зерна у сушильних установках сільськогосподарського призначення у режимі їх нормального функціонування впливають численні фактори. Деякі з них є спільними для всіх сушильних установок. Ступінь впливу того самого фактора на процес сушіння в зерносушарках різних типів різна. Функціонування зерносушарки сільськогосподарського призначення можна описати як реакцію на вхідні зовнішні збурення і управляючі впливу, тобто сушильну камеру можна розглядати як динамічну систему [47].

Процес побудови математичної моделі процесу сушіння включає чотири етапи, кожен з яких має можливість отримання математичної моделі відповідного рівня.

1 етап – концептуалізація. Отримання моделі елементарного шару (спрощеної моделі у вигляді системи з чотирьох алгебраїчних балансових рівнянь з використанням енерго- і масобалансового методу, положень теорії сушіння і методу термодинамічної аналогії між добре вивченими тепловими процесами і тими, що представляють певну теплофізичну проблему, і як наслідок, складний математичний опис. Модель першого рівня є системою алгебраїчних рівнянь, що наближено описують статику процесу сушіння. Вона не придатна для постановки та вирішення оптимізаційних завдань, але є невід'ємною базовою основою для побудови моделей вищого рівня.

$$\rho \frac{1}{100} \bar{D}W = -j(W(x,t), \Theta(x,t)), \quad (2.1)$$

$$\varepsilon \rho_T c_T \bar{D}T = -\alpha \rho (T - \Theta) f', \quad (2.2)$$

$$\rho_H = f' \rho \frac{R}{m}, \quad (2.3)$$

$$J = \frac{100}{k_\beta \rho} j, \quad (2.4)$$

де \bar{D} – середній коефіцієнт молекулярної дифузії;

W – вологість сировини;

ρ – густина сировини;

T – температура теплоносія;

Θ – температура сировини;

J, j – повний і питомий потоки маси відповідно.

При переході від першого до другого етапу визначається оператор відповідного типового шару з урахуванням особливостей взаємодії зернового матеріалу та сушильного агента. Порядок похибки цього переходу визначається двома складовими: похибкою апроксимації (системою балансових алгебраїчних рівнянь) моделі елементарного шару та ідеалізаціями (допущеннями) у схемі відносного руху (продування) зернового матеріалу теплоносієм (наприклад, припущення про сталість вектора швидкості руху зерна до оператора у рівняннях щільного рухомого шару).

2 етап - формалізація, класифікація та структурна ідентифікація. Складання моделей типових шарів (щільних: нерухомого, малорухомого і рухомого з механічним переміщенням; вібросушіння зерна у шарі).

Модель другого рівня є системою лінійних диференціальних рівнянь, що описують кінетику процесу сушіння зерна (для щільного рухомого шару – диференціальні рівняння субстанційного переносу)

$$\frac{dW}{dt} = -k_{\beta} J (W - W_p, \theta - \theta_0), W_p = aY_0 + b, \quad (2.5)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = -\frac{rk_{\beta}}{100c} J (W - W_p, \theta - \theta_0) + \frac{m(1-\varepsilon)}{Rc} k_{\alpha}^c (T - \theta). \quad (2.6)$$

Зазначимо, що між коефіцієнтами рівнянь сусідніх рівнів системи існує «спадковий» зв'язок (на кожному ступені процедури ідентифікації, що здійснює перетворення моделі на більш високий ієрархічний рівень як початкові значення ідентифікованих модельних коефіцієнтів, беруться результати ідентифікації, отримані на попередньому рівні).

Перехід від другого етапу складання математичної моделі до третього (тоб-

то від рівнянь шарів до рівняння сушильної камери, яка може містити кілька різних або однорідних типових шарів з певними порядковими номерами та значеннями параметрів для кожної зони сушіння) здійснюється за допомогою методів математичної композиції рівнянь шарів зон, що становлять сушильну камеру. Похибку цього переходу можна оцінити, наприклад, для моделі шахтної сушарки, одержаної методами інтегрування.

3 етап – *декомпозиція*, суперпозиція, власне моделювання. Побудова узагальнених імітаційних моделей для шахтних сушильних камер з врахуванням особливостей системоутворюючих внутрішньоконструкційних елементів сушильних зон зерносушарки з певною сукупністю або системою якогось фіксованого числа відомих типових шарів.

Модель третього рівня в узагальненому вигляді є системою диференціальних рівнянь у часткових похідних, що описують динаміку процесу сушіння.

Модель для шахтної зерносушарки представляється у вигляді

$$\begin{cases} \frac{\partial W}{\partial t} + V \frac{\partial W}{\partial x} = -K_{\beta} W \theta, \\ \frac{\partial \theta}{\partial t} + V \frac{\partial \theta}{\partial x} = -BK_{\beta} W \theta + AK_{\alpha}^c (1 + K_{\alpha}^v W \theta)(T - \theta), \\ W(0, x) = W(t, 0) = W_0, \quad \theta(0, x) = \theta(t, 0) = \theta_0. \end{cases} \quad (2.7)$$

Перехід від третього етапу до четвертого вимагає наявності деякого об'єму експериментальних даних про процес в усталеному стані в якому-небудь режимі (близькому до нормального), або даних про перехідні процеси, або статистичні дані про стан і вид зернового матеріалу для опису процесу сушіння. Він здійснюється з використанням методів ідентифікації (методом вирішення оберненої задачі тепломасообміну, методом найменших квадратів, експериментальним способом). Ці методи можна використовувати послідовно у порядку їх перерахування, тобто. визначити початкові наближення значень коефіцієнтів моделі методом циліндричного зонда нестационарного теплового потоку на лабораторній установці, (знайти теплофізичні параметри: коефіцієнти теплоємності, теплопровідності та темпера-

туропровідності як функції та, використовуючи зв'язок їх через критерії подібності та отримати залежності теплообмінних параметрів, таких як коефіцієнти тепло та вологообміну для кожного типового шару. На відміну попередніх переходів, коли значення коефіцієнтів оцінювалися лише порядком, і перехід супроводжувався похибкою, у цьому відбувається присвоєння їм конкретних числових значень.

4 етап - функціональна та параметрична ідентифікація функції, що визначає характер вологообміну, та коефіцієнтів, що характеризують теплообмін та вологообмін для конкретної ситуації – виду та стану зернового матеріалу та конструктивних особливостей конкретної сушарки певного типу, тобто, налаштування моделі сушильної камери цього типу.

Модель четвертого рівня є нелінійною системою звичайних диференціальних рівнянь, що описують результуючу динаміку процесу сушіння:

$$\begin{cases} \frac{\partial W}{\partial t} + V \frac{\partial W}{\partial x} = -K_{\beta} I, I = W\Theta, \\ \frac{\partial \Theta}{\partial t} + V \frac{\partial \Theta}{\partial x} = -\frac{r \cdot K_{\beta}}{100 \cdot c} \cdot I + \frac{m(1-E)}{R \cdot c} K_1^c (1 + K_1^v \cdot K_{\beta} \cdot I)(T - \Theta). \end{cases}, \quad (2.8)$$

Таким чином, дана узагальнена модель побудови та методика налаштування математичної моделі процесу сушіння зерна у зерносушарці сільськогосподарського призначення.

Подальше перетворення отриманої в остаточному вигляді математичної моделі процесу сушіння зерна в сушильній камері дозволяє із безлічі можливих постановок оптимізаційних завдань дозволить виділити найбільш важливе.

2.2 Опис математичної моделі

Запропонована математична модель з достатньою точністю відтворює режими сушіння в шахтних сушарках, в тому числі:

- режим з монотонним зростанням температури зерна в сушарці;
- режим з практично сталою температурою в зоні постійної швидкості;

- режим випаровування вологи;
- режим зі зменшенням температури сировини в зоні максимальної швидкості випаровування вологи;
- коливальну зміну температури сировини в зоні з постійною швидкістю випаровування вологи.

Процес сушіння є нестационарним нелінійним процесом з розподіленими параметрами, але конструкції зерносушарок і їх автоматичні системи управління орієнтовані на лінійний процес і скалярне керування. В шахтних сушарках основними керуючими параметрами є температура сушильного агента і швидкість руху шару процесів сушіння в утвореному щільному рухомому шарі.

Такі протиріччя між об'єктом з розподіленими параметрами (зерносушаркою) і системою керування цим об'єктом (на основі моделі із частково зосередженими параметрами) не дозволяють нормально оптимізувати процеси сушіння.

Найбільш повно динаміку процесів сушіння зерна описує система рівнянь в частинних похідних, але її практичне застосування значно утруднене через складнощі визначення динаміки в зміні теплофізичних параметрів, котрі разом з основними змінними мають входити в рівняння під знаком диференційного оператора.

Саме тому виникає необхідність в розробці такої операційної моделі, що дозволяє вирішувати різні практичні завдання, такі як управління процесом, чи вибір режимних параметрів або визначення статичних і динамічних характеристик процесу.

Моделі, котрі побудовані для різних зернових сушарок що здійснюють конвективний спосіб сушіння в щільному рухомому зерновому шарі, можуть бути розділені на два різних класи. Моделі першого класу є емпіричними і напівемпіричними, вони мають вузьку область застосування і вимагають для побудови проведення трудомістких важких експериментальних досліджень. Моделі другого класу є суто теоретичними і включають змінні коефіцієнти, котрі важко ідентифікувати, а також класичні фізичні величини, які важко виміряти. В зв'язку з цим часто виникають питання розроблення такої імітаційно-аналітичної моделі, яка б дозволила з достатньою для розв'язування практичних задач точністю описувати

динаміку сушіння в щільному рухомому зерновому шарі, в тому числі найбільш перспективного осцилюючого і квазіізотермічного виду зміни температури в зерні в зоні максимальної швидкості вологознімання і за граничних (допустимих) значень температури теплоносія.

Процеси сушіння зерна в більшості сушарок конвективного типу, які реалізують безперервний принцип дії (жалюзійні, шахтні, колонкові, модульні), мають загальну термодинамічну природу, тому їх стаціонарні режими можуть бути описані єдиною математичною моделлю [48]. В цій моделі абстрагуються від постійних конструктивних параметрів, що не входять в поняття режиму сушіння, наприклад таких як товщина шару зерна, яка продувається сушильним агентом, швидкість продування зерна, вихідний стан зерна, його передсушильна підготовка перед процесом сушіння, та тривалість перебування в зоні сушіння.

Після теоретичного аналізу системи балансових рівнянь взаємопов'язаного тепло- і вологообміну між теплоносієм і шаром зерна нами зроблена спроба побудувати нелінійну математичну модель, з її відмінною особливістю – це відсутність змінних, які складно виміряти (наприклад парціальний тиск водяної пари) та які швидко змінюються в часі чи в процесі сушіння (наприклад, вологість сировини чи вологовміст теплоносія).

При побудові математичної моделі нами прийнято припущення, що можливо побудувати загальну математичну модель процесів конвективного сушіння в щільному зерновому рухомому шарі, яка б мала переваги обох моделей існуючих класів і в той же час вирівнювала їх недоліки. Така модель не буде чисто аналітичною, вона повинна включати модельні коефіцієнти, можуть бути прийняті постійними і мають імітаційну направленість.

Результати нашого числового моделювання показали, що запропонована модель відтворює практично і теоретично можливі режими (тобто є досить гнучкою і фізично коректною) і дозволяє виділити раціональні і оптимальні параметри процесу. Така модель має невелику чутливість до малої варіації параметрів (тобто є досить грубою і математично коректною). Простота моделі і відповідність реальним процесам дають нам можливість її застосування для широкого класу задач

автоматичного керування процесами сушіння в конвективних сушарках з щільним рухомим зерновим шаром.

Аналіз відомих моделей, що побудовані для опису процесів в сушарках шахтного типу [49-51] показав, що вони переважно базуються на лінійних співвідношеннях між параметрами самого процесу сушіння при використанні змінних величин, які є недоступними або малодоступними для вимірювання (таких, як наприклад парціальний тиск пари в сушильному агенті або його різниця з тиском насиченої водяної пари за різних умов по температурі сушильного агента і вологості зернового поверхневого шару або вологовміст агента). Однак, самі автори як правило і вказують, що лінійна модель сушильного процесу, котра базується на використанні лінійних функцій щільності потоку вологи, не забезпечує відповідності з експериментальними результатами, тому використання цих моделей в завданнях автоматичного керування тепловологісним режимом роботи сушарки є складним.

2.3 Розробка математичної моделі

Основою запропонованої математичної моделі є нелінійна модель процесу теплообміну в зернових, на підставі якої отримана модель процесу сушіння в щільному рухомому зерновому шарі. При складанні моделі як керуючий параметр прийнята температура сушильного агента на вході сушильної камери, а як керувані параметри використані вологість на загальну масу і температура зерна на виході з сушарки. Збурюючими параметрами прийнято початкову вологість зерна і його температуру. Тоді рівняння динаміки процесу сушіння в щільному рухомому зерновому шарі мають такий вигляд

$$\frac{\partial w}{\partial t} + v \frac{\partial w}{\partial x} = -k_w \theta [(t - \tau)(x - v\tau)] w(tx), \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + v \frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{r}{c} \left(\frac{\partial w}{\partial t} + v \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \alpha \left[1 - k_\alpha \left(\frac{\partial w}{\partial t} + v \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] (T_0 - \theta(tx)), \quad (2.10)$$

де граничні умови $w(t,0) = w(t)$, $\theta(t,0) = \theta(t)$;

початкові умови $w(0,x) = w(x)$, $\theta(0,x) = \theta(x)$,

тут $w(t,x) = w_3(t,x) - w_\infty$; $\theta(t,x) = \theta_3(t,x) - \theta_0$; $T(t,x) = \theta_{ca} - T_0$ є середніми значеннями вологості; температури сушильного агента; температури зерна;

k_α – еквівалентний коефіцієнт теплообміну між сушильним агентом і зерном;

k_w – коефіцієнт внутрішнього тепловологообміну;

α – коефіцієнт, який характеризує залежність інтенсивності теплообміну між сушильним агентом і зерном в залежності від швидкості випаровування вологи;

r – питома теплота випаровування води;

τ – час активації вологовиділення;

v – швидкість переміщення зерна;

c – питома теплоємність зерна;

x, t – просторова (поточна по висоті сушильної камери) і часова координати.

Коефіцієнти k_α k_w можна визначити експериментально для кожного виду зернових і залежать також від типу сушарки.

Систему рівнянь (2.9) і (2.10) можна переписати так

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial w}{\partial t} + v \frac{\partial w}{\partial x} = -k_w \theta[(t - \tau), (x - v\tau)] w(t, x), \\ \frac{\partial \theta}{\partial t} + v \frac{\partial \theta}{\partial x} = -k_w \frac{r}{c} [\theta((t - \tau), (x - v\tau))] \cdot [w(t, x)] + \\ + \alpha [1 - k_\alpha (k_w \theta(t - \tau), (x - (x - v\tau)) w(t, x))] (T_0 - \theta(t, x)), \end{array} \right. \quad (2.11)$$

Якщо процес сушіння стаціонарний – параметри зернового шару залежать тільки від одного аргументу з двох - просторової координати x , в будь-якій фіксованій точці за висотою камери вони будуть константами.

Для стаціонарного процесу сушіння, коли вхідні параметри зерна і теплоно-

сія залишаються сталими, похідні основних змінних стану по часу можна прийняти рівними нулю. Тоді система рівнянь (2.11) буде мати вигляд

$$\begin{cases} v \frac{\partial w}{\partial x} = -k_w \theta(x - vt) w(x), \\ \frac{\partial \theta}{\partial t} = b \frac{\partial w}{\partial t} + \alpha \left[1 - k_\alpha \frac{\partial w}{\partial t} \right] (T_0 - \theta(x)). \end{cases} \quad (2.12)$$

Якщо зробити додаткове припущення про те, що швидкість зерна стала і замінити аргументи змінних рівнянь (2.12), пов'язані у випадку стаціонарного режиму співвідношенням $x = vt$, то отримаємо систему диференціальних рівнянь за усталеного режиму сушіння

$$\begin{cases} \frac{\partial w}{\partial t} = -k_w \theta(t - \tau) w(t), \\ \frac{\partial \theta}{\partial t} = b \frac{\partial w}{\partial t} + \alpha \left[1 - k_\alpha \frac{\partial w}{\partial t} \right] (T_0 - \theta(x)). \end{cases} \quad (2.13)$$

Ці рівняння стаціонарного режиму можна вважати рівнянням руху зернового матеріалу в синхронній системі координат. Коли зерно сушиться, цей елементарний об'єм можна вважати усередненим одиничним зерном або насіниною.

При проведенні числового експерименту на математичній моделі (2.13) частина теплофізичних параметрів [$b = r/c$], а також і початкові дані (w_0, θ_0, T_0) з метою спрощення вважалися константами. Основними змінними параметрами є модельні коефіцієнти, котрі визначаються характером і особливостями внутрішнього і зовнішнього тепломасообміну між зерновим шаром і теплоносієм. Залишкова частка математичної моделі імітувалася підсистемою (2.14)

$$\begin{aligned} y_0 &= -K(\tau)y_0 + K(\tau)y_1, \\ y_1 &= -K(\tau)y_1 + K(\tau)y_2, \end{aligned} \quad (2.14)$$

$$y_2 = -K(\tau)y_2 + K(\tau)y_3,$$

$$y_3 = -K(\tau)y_3 + K(\tau)y_4,$$

котрою в загальній системі замінювали рівняння, які містять залишковий аргумент

$$K=1,5, \quad y_0 = (\tau) = \theta(t), \quad y_5(t - \tau) = \theta(t - \tau). \quad (2.15)$$

Якщо доповнити систему основними рівняннями, які описують динаміку зміни основних змінних стану процесу, то отримаємо операційну модель

$$y_4 = -k_w y_0 y_4, \quad (2.16)$$

$$y_5 = 1,12y_4 + \alpha(1 - k_\alpha y_4)(50 - y_5), \quad (2.17)$$

що дозволяє вивчати стаціонарні режими сушіння зерна в щільному рухомому шарі. Рівняння (2.16) в такій системі описує закон зміни вологості зерна в процесі висушування, а рівняння (2.17) – закон зміни температури зерна в процесі сушіння.

2.4 Результати числового експерименту і їх аналіз

Результати числового експерименту на розробленій математичній моделі представлені на Рис. 2.1, Рис. 2.2. При визначених співвідношеннях між швидкістю агента сушіння, його температурою і теплофізичними параметрами зерна, разом із звичайним режимом, коли температура зерна монотонно зростає (Рис. 2.1, криві 1-1'), в сушарках з щільним рухомим шаром були відзначені режими, при яких на температурній кривій нагріву зерна в області максимальної швидкості випаровування вологи спостерігається коливання (Рис. 2.1, криві 2-2', 3-3'), провал температури внаслідок зупинення подачі теплоти для відволоження насіння (Рис. 2.2, криві 2-2', 3-3').

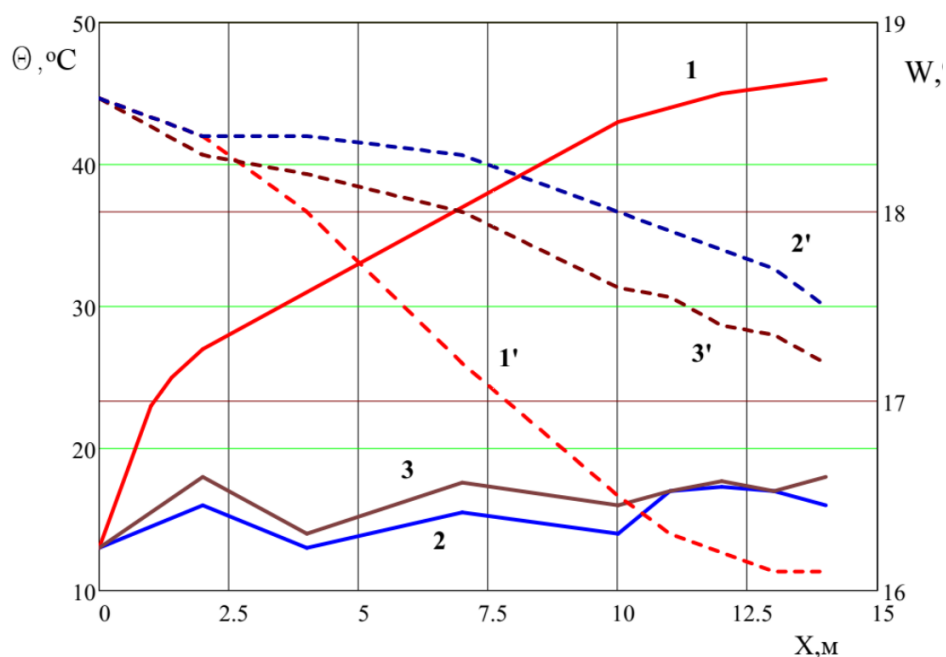


Рисунок 2.1 – Температура насіння Θ (1-3) і вологість W (1'-3') в залежності від висоти камери X в сушарці з "коливальним" ходом температурної кривої

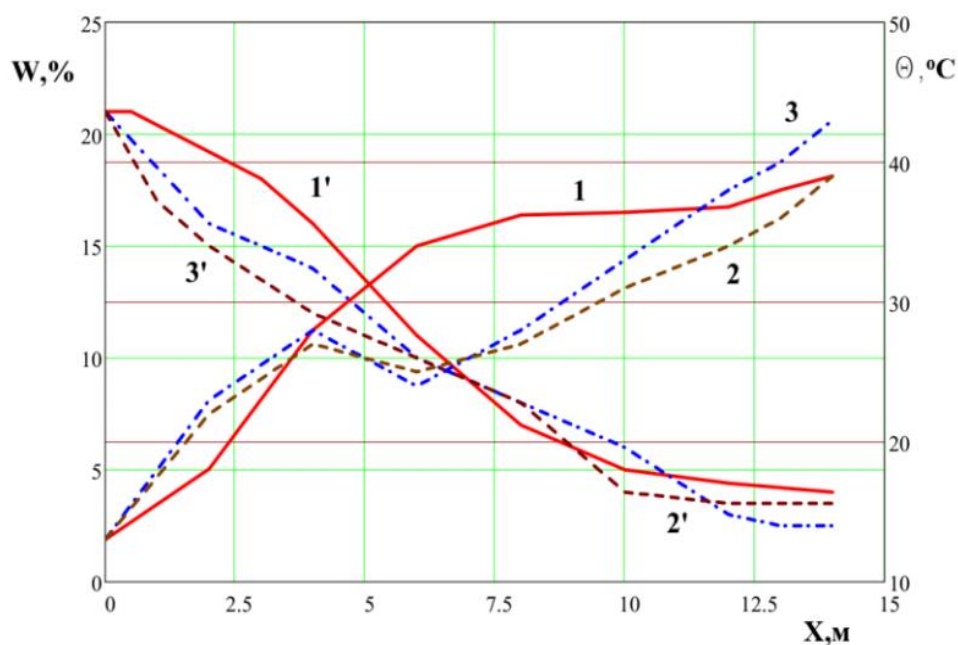


Рисунок 2.2 – Температура насіння Θ (1-3) і вологість W (1'-3') в залежності від висоти камери X в шахтній конвективній сушарці з провалом температурної кривої на відволоження

Питання користування моделлю пов'язане і з питанням знаходження оптимальних режимів процесу сушіння: мінімум витрати палива на одиницю (тонну) висушеного зерна; мінімум витрати енергії на одиницю випаруваної вологи, шви-

дкість її з врахуванням обмежень на температуру теплоносія і температуру зерна, а при сушінні насіння також і з врахуванням обмежень на максимальне вологознімання за один прохід зерна через шахту.

Як вихідні дані для моделювання з врахуванням нормування лінійних розмірів сушильної камери нами прийняті наступні параметри: $y=20$; $y_s=0$; $T_0=50$; $\nu=0,7$. Нульовий рівень змінних параметрів був обраний такий: $k_w = 0,06$; $\alpha = 0,40$; $k_\alpha = 0,90$. При моделюванні і проведенні числових експериментів крок параметрів був прийнятий 0,02; 0,05; 0,10, відповідно. В моделі коефіцієнти теплообміну і масообміну змінюються

$$\alpha((W, \Theta) = I(W, \Theta, k_\alpha, \alpha, k_w, \tau)) = \alpha(J(W, \Theta, k_w, \tau) k_\alpha \frac{\partial w}{\partial t}) , \quad (2.18)$$

$$\beta(W, \Theta, k_w, \tau) = k_w \Theta W. \quad (2.19)$$

Це відповідає результатам експериментальних досліджень [47].

2.5 Аналіз можливості використання альтернативного палива

2.5.1 Опис математичної моделі

Кон'юктура цін, що склалася на ринку України останнім часом на класичні види палива (газ, скраплений газ) змушує багатьох власників зерносушарок замислитися про переведення їх на альтернативні, дешевші види палива. Проте, вартість хороших теплогенераторів для альтернативних видів палива є досить-таки значною. Тому постає питання про доцільність переходу на альтернативний вид палива і вигідність того чи іншого виду.

До альтернативних видів палива для зерносушарок прийнято відносити [35]:

- щепу дерева;
- пелети;
- дрова;

- соломі
- лущиння насіння.

Для розрахунку вигідності того чи іншого виду палива в якості альтернативного в зерносушарках нами складена математична модель.

Дана математична модель включає в себе 21 лінійне і нелінійне рівняння. Модель є детермінованою, статичною, структурно-функціональною, відносно розмірності простору – одновимірною, відносно зміни параметрів – дискретною. Така модель є оптимізаційною, критерій оптимізації – вибір палива для стабільної надійної роботи сушарки.

Модель включає в собі базові рівняння термодинаміки (балансові рівняння, рівняння нерозривності потоку) і спеціальні емпіричні експериментальні залежності. Структурна схема матмоделі сушарки М819 приведена на рис. 2.3.

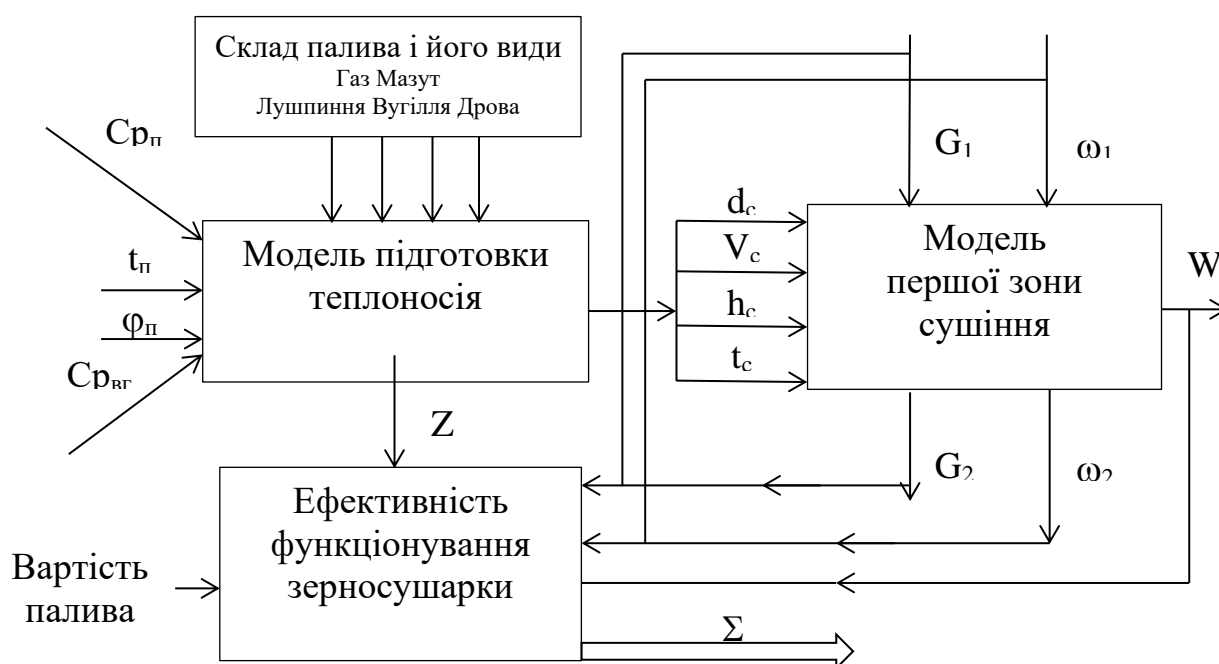


Рисунок 2.3 – Структурна схема математичної моделі

Модель сушарки реалізована в пакеті Mathcad. Вона включає в себе комплекс моделей, об'єднаних в єдину структуру: модель тепломасообмінних процесів в першій зоні сушіння; модель підготовки сушильного агента (СА), з моделлю тепломасообмінних процесів в топці і змішувачі, а також модель ефективності функціонування сушарки на різних видах місцевого палива.

Щоб спростити модель, вона реалізована тільки для першої зони сушіння в шахті сушарки. Отримані в ході тестування окремих моделей і моделі шахтної зерносушарки М819 в цілому результати підтверджують її адекватність як моделі об'єкта управління і її можна використовувати.

Математична модель зерносушарки М819 подана нижче, а приклад розрахунку за такою моделлю – в Додатку Б.

Елементарний склад палива визначаємо за довідковими даними [52-56].

Теплота згорання палива (вища), кДж/кг

$$Q_p^B = [81 \cdot C^P + 300 \cdot H^P - 26 \cdot (O^P - S^P)] \cdot 4,19, \quad (2.20)$$

Необхідна кількість повітря для спалювання 1 кг палива

$$q_0 = \frac{2,67 \cdot C^P + 8 \cdot H^P + S^P - O^P}{23}, \quad (2.21)$$

Коефіцієнт надлишку повітря в топці

$$\alpha = \frac{Q_B^P \cdot \eta_T + C_T \cdot t_T - \frac{9 \cdot H^P + W^P}{100} \cdot h_{п.см} - \left(1 - \frac{H^P + W^P + A^P}{100}\right) \cdot C_{см} \cdot t_{см}}{q_0 \cdot \left(\frac{d_0 \cdot h_{п.см}}{1000} - h_0 \cdot C_{см} \cdot t_{см}\right)}, \quad (2.22)$$

де η_T – ККД топки;

C_T – питома теплоємність палива;

$h_{п.см}$ – ентальпія водяної пари в газоповітряній суміші;

t_T – температура палива, яку приймаємо 0°C ;

$C_{см}$ – питома теплоємність газоповітряної суміші;

d_0 і h_0 – відповідно вологовміст і ентальпія зовнішнього повітря, що визнача-

ються по h-d діаграмі вологого повітря.

Вологовміст газів, які потрапляють в сушильну камеру з топки

$$d = \frac{90 \cdot H^P + 10 \cdot W^P + q_0 \cdot \alpha \cdot d_0}{q_0 \cdot \alpha + \left(1 - \frac{H^P + W^P + A^P}{100}\right)}, \quad (2.23)$$

Втрати теплоти на нагрів матеріалу

$$Q_M = G_M \cdot C_{PM} \cdot (t_{II} - \theta_M), \quad (2.24)$$

де G_M – витрата матеріалу;

C_{PM} – теплоємність матеріалу;

Площа шахти зерносушарки

$$F = 2 \cdot h \cdot b + 2 \cdot h \cdot a, \quad (2.25)$$

де h, b, a – відповідно: висота, довжина і ширина шахти.

Різниця температур

$$\Delta t = t_{II} - t_{H.C}, \quad (2.26)$$

Критерій Рейнольдса

$$Re = \frac{w \cdot l^*}{\nu}. \quad (2.27)$$

Критерій Нуссельта для вимушеної конвекції

$$Nu = 0,21 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot (Pr_p / Pr_c)^{0,25}, \quad (2.28)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія до стінки

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l^*} \quad (2.29)$$

Критерій Грасгофа

$$\text{Gr} = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot l^{*3}}{\nu^2}, \quad (2.30)$$

де β – коефіцієнт температурного розширення повітря,

$$\beta = \frac{1}{T}, \quad (2.31)$$

Критерій Релея

$$\text{Ra} = \text{Gr} \cdot \text{Pr}, \quad (2.32)$$

Критерій Нуссельта для природної конвекції

$$\text{Nu} = 0,15 \cdot \text{Ra}^{0,333} \cdot \epsilon^{0,25}, \quad (2.33)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від навколишнього середовища до стінки

$$\alpha = \frac{\text{Nu} \cdot \lambda}{h}, \quad (2.34)$$

Коефіцієнт теплопередачі

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (2.35)$$

Втрати теплоти через теплову ізоляцію в навколишнє середовище

$$Q_{\text{огр}} = k \cdot F \cdot \Delta t, \quad (2.36)$$

Сума теплових втрат (загальна)

$$\Sigma Q = Q_{\text{тер}} + Q_{\text{огр}} + Q_{\text{м}}, \quad (2.37)$$

Витрата палива

$$B = \frac{Q}{\eta_T \cdot Q_H^p \cdot 10^3}, \quad (2.38)$$

Витрата умовного палива

$$b_y = \frac{B \cdot Q_H^p}{Q_{HY}^p}, \quad (2.39)$$

Ціна години роботи на даному паливі

$$C = C_{\Pi} \cdot B, \quad (2.40)$$

де C_{Π} – ціна одиниці палива.

Аналіз коефіцієнта корисної дії можливих варіантів використання різних видів палива поданий на рис. 2.4.

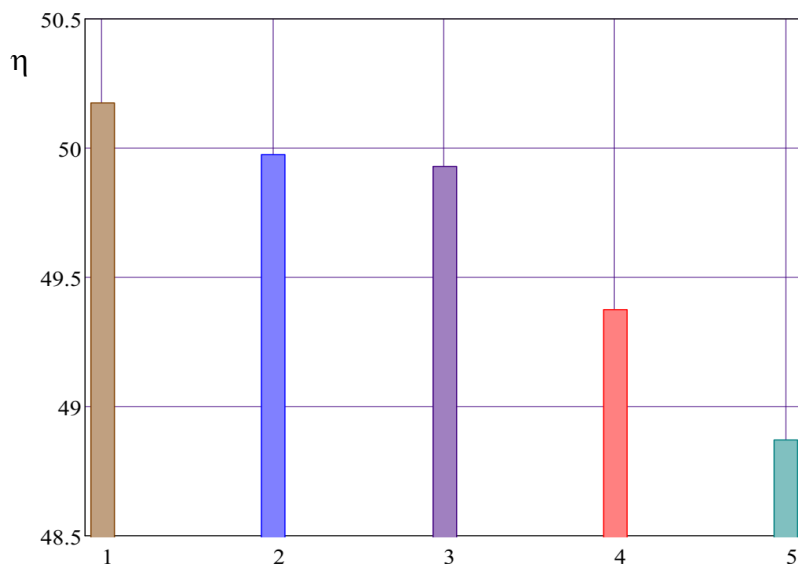


Рисунок 2.4 – К.к.д топки на різних видах палива

1 – газ; 2 – вугілля; 3 – мазут; 4 – пелети; 5 – лушпиння

За рис. 2.4 найбільший к.к.д. топка сушарки має на природному газі, а найменший на пелетах, крім того, газ є найтехнологічнішим видом палива, не потре-

бує додаткових затрат на встановлення ТА.

Оптимізаційні розрахунки (рис.2.5) показують, що найбільш оптимальним видом палива для топки зерносушарки М819 є природний газ.

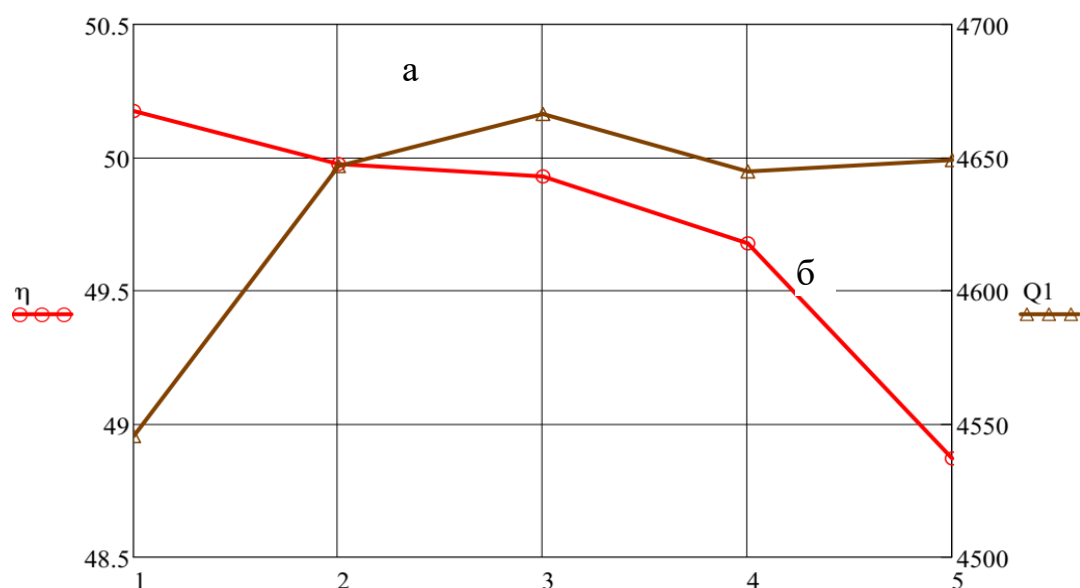


Рисунок 2.5 – Залежності зміни к.к.д. і теплоти в топці сушарки М819

на різних видах палива: а) $\eta=f(z)$; б) $Q=f(z)$;

1 – мазут; 2 – газ; 3 – вугілля; 4 – пелети; 5 – лушпиння

Годинні затрати на паливо для сушіння представлені на рис. 2.6. З рисунка видно, що найбільші затрати – при використанні мазуту, а найменші – при використанні вугілля, хоча рівень затрат для газу, вугілля, деревини і пелет з лушпиння відрізняється на 10-15%.

Здійснено розрахунок оптимального варіанту палива для зерносушарки М819, з вибраних п'яти варіантів палива (мазут, вугілля, пелети, природний газ, лушпиння соняшника) обрано оптимальний, визначені параметри сушильного агента, витрата умовного палива 0,1077 (кг/с), та витрати реальних видів палива: мазуту 293 (кг/год), газу 315,7 (м³ / год), вугілля 440,3 (кг/год), пелет 688 (кг/год). Розрахована вартість години роботи сушарки: мазут-2930 грн, вугілля-2202 грн, газ-1976 грн, пелети-2408 грн.

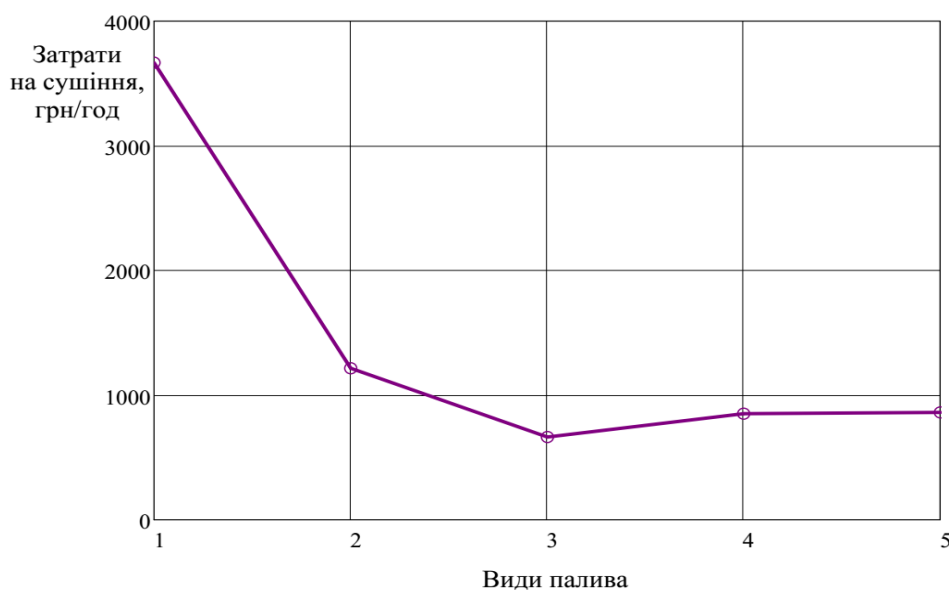


Рисунок 2.6– Затрати на різні види палива

1 – мазут; 2 – газ; 3 – вугілля; 4 – пелети; 5 – лушпиння

За цими результатами розрахунку встановлено що станом на листопад 2021 року, оптимальним варіантом палива є природний газ.

Висновки до Розділу 2

Запропонована нами математична модель повністю відтворює практично реалізовані та теоретично можливі режими сушіння, такі як:

- режим з монотонним зростанням температури матеріалу в сушарці;
- режим з провалом кривої температури матеріалу в зоні максимальної швидкості випаровування;
- коли хід температурної кривої матеріалу змінює свій знак в зоні постійної швидкості сушіння.

Запропонована модель достатньо простота, а також має грубість і гнучкість. Вона з доброю кількісною і повною якісною точністю відтворює процес сушіння. Матмодель має слабку чутливість до зміни параметрів, тобто коректна.

Розробка даної математичної моделі дозволяє покращити автоматичне управління процесом сушіння, дозволяючи тим самим підвищити енергоефективність сушарки, але таке її використання потребує розробки надійної схеми автоматики.

3 ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок теплообмінного обладнання

3.1.1 Аналіз об'єкта проектування

Теплообмінник (надалі ТА) – апарат, що передає теплоту від одного теплоносія до іншого. За принципом дії, всі теплообмінні пристрої діляться на регенеративні коли теплообмінна поверхня омивається спочатку гарячим, а потім холодним теплоносієм, (регенеративні теплообмінники працюють циклічно) і рекуперативні коли теплоносії одночасно рухаються по різні сторони поверхні теплопередачі і обмінюються теплотою через роздільну перегородку, цей вид теплообмінного обладнання застосовується в енергетиці, хімічній, харчовій, нафтопереробній, та інших галузях промисловості. Існують контактні теплообмінники, теплоперенесення в них відбувається через безпосередній контакт двох теплоносіїв. На різних промислових підприємствах найчастіше використовують кожухотрубчасті, спіральні, оребрені, пластинчасті ТА. Пластинчастий ТА складається з пакета пластин, через які передається теплота від гарячого теплоносія до нагріваного середовища.

Пластинчасті ТА бувають трьох видів: розбірні, напіврозбірні і зварні. ТА трубчастий складається з корпусу, патрубків, пучка труб, трубної решітки і елементів компенсації теплових напружень. Умовно такі ТА поділяються на три категорії – похилий, вертикальний і горизонтальний. Спіральний ТА – поверхня теплообміну утворюється двома тонкими листами з нержавіючої сталі (чи інших спеціальних сплавів), які приварені до основи і скручені спіраллю.

Перевагою пластинчастих теплообмінників є їх значна поверхня нагріву за невеликих габаритів, у порівнянні з традиційними спіральними чи кожухотрубними. При однаковій тепловій потужності габарити трубчастого теплообмінника більші, ніж пластинчастого. При цій беззаперечній перевазі існують ще два непрямих позитивних чинники: мала металоємність пластинчастих ТА, а значить і

мала вага, а також малі розміри приміщення, необхідного для його установки. Більш компактний і легкий пристрій легше змонтувати в порівнянні з громіздким. Вартісні показники виявляються на стороні компактного пластинчастого теплообмінника. Через це при термомодернізації будівель та споруд питання заміни фізично зношеного чи морально застарілого теплообмінного устаткування завжди вирішується за допомогою пластинчастих ТА.

Найчастіше перевагу віддають розбірним пластинчастим теплообмінникам. Основною причиною, якою користуються практично всі без винятку теплопостачальні експлуатуючі організації, є можливість розбирання даного типу теплообмінників з метою механічного очищення від накипу й інших відкладень. Складнішою є експлуатація теплообмінника наприклад, в системі гарячого водопостачання, тому що на грійній стороні циркулює взагалі не підготовлена питна вода. Вона містить солі, які при нагріванні утворюють накип на поверхні теплообміну в апаратах.

Причиною уваги до забруднення теплообмінної поверхні є зниження ефективності. З плином часу, при збільшенні шару забруднення, потужність ТА, а, відповідно, і температура нагрівання середовища, неухильно падають. Саме тому з'являється нагальна необхідність періодичного очищення поверхні теплообміну від відкладень, з метою відновлення її ефективності.

Для зменшення утворення накипу і, спрощення обслуговування сучасного ТА його теплообмінну поверхню виготовляють зі спеціально профільованих елементів для турбулізації потоків теплоносія в каналах. При правильно організованій експлуатації пластинчастих теплообмінників, найчастіше, достатньо направити потоки теплоносіїв у зворотному напрямку, щоб унеможливити можливі відкладення. Дешевші паяні пластинчасті теплообмінники, що мають всі перевагами даного класу обладнання, є нерозбірними і механічно не очищаються. За існуючою і прийнятою в усіх європейських країнах практикою, такі теплообмінники після вироблення свого ресурсу просто замінюють новими. Середній їх термін експлуатації складає приблизно 10 років.

Паяні ТА також мають певні недоліки. Вони не завжди можуть нормально

замінити розбірні. Максимальна потужність паяних теплообмінників знаходиться приблизно на рівні 1-3 Гкал/год, що накладає певні обмеження на можливість їх застосування. Так наприклад, в ЦТП, котельнях, в системах з великими витратами теплоносія потрібні ТА з потужністю від 3-4 Гкал/год або й більше. Для таких систем використання паяних теплообмінників стає неефективним, а часом і просто неможливим. У випадку паралельної установки декількох паяних теплообмінників, перевага буде на боці розбірного, як за ціновими, так і за габаритно-ваговими показниками. У цих випадках кращим є вибір саме розбірного ТА, номінальна потужність якого може досягати 100-200 Гкал/год, що на два порядки більше, ніж у паяного [28].

3.1.2 Конструктивний розрахунок пластинчастого теплообмінника

Початкові дані для розрахунку ТА.

Параметри відхідних газів:

- температура суміші газів на вході в ТА $t'_{см} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$;
- температура газів після топки $\Theta''_{вг} = 1630 \text{ }^\circ\text{C}$;

Потужність ТА $Q = 3500 \text{ кВт}$.

Масова витрата свіжого повітря $G_{п} = 12 \text{ кг/с}$.

Параметри свіжого повітря навколишнього середовища:

- температура на вході в ТА, $t'_{п} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$;
- температура на виході з ТА, $t''_{п} = 110 \text{ }^\circ\text{C}$;

Оскільки відхідні газів з топки сушарки подаються з адіабатною температурою в топці, для нормальної роботи теплообмінника їх необхідно змішати зі свіжим повітрям до температури $t_{вг\text{ вх}} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$.

Параметри газів і повітря [66]:

- густина відхідних газів з топки $\rho_{г} = 0,223 \text{ кг/м}^3$;
- теплоємність газів $C_{р\text{ вг}} = 1,55 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$;
- теплоємність повітря $C_{р\text{ п}} = 1,005 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$;

Для спрощення розрахунку витрату відхідних газів перед ТА після змішування приймаємо рівною витраті свіжого повітря.

На рисунку 3.1 представлено процес змішування двох теплоносіїв

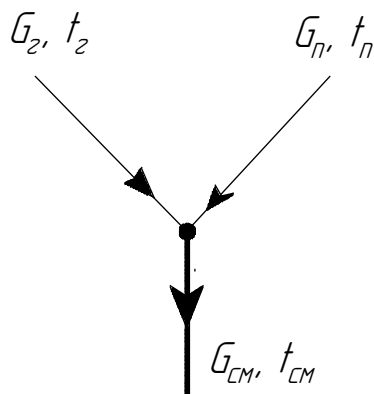


Рисунок 3.1 – Розрахунок змішування потоків

Матеріальний баланс

$$G_{см} = G_{п} + G_{вг} , \quad (3.1)$$

$$G_{п} = G_{см} - G_{вг}$$

Тепловий баланс в точці змішування

$$G_{см} \cdot h_{см} = G_{п} \cdot h_{п} + G_{вг} \cdot h_{вг} , \quad (3.2)$$

Витрата повітря, яке необхідно домішати в гарячі газу

$$G_{п} = \frac{G_{см} \cdot h_{см} - G_{вг} \cdot h_{вг}}{h_{п}} = \frac{G_{см} \cdot C_{p_{см}} \cdot t'_{см} - G_{вг} \cdot C_{p_{вг}} \cdot \Theta''_{вг}}{C_{p_{п}} \cdot t'_{п}} , \quad (3.3)$$

$$G_{п} = \frac{G_{см} \cdot 200 \cdot 1,06 - G_{вг} \cdot 1,55 \cdot 1630}{10 \cdot 1,005} = 392,3 - G_{вг} \cdot 251 \text{ (кг/с)}.$$

Якщо підставимо (3.1) в (3.3), отримаємо

$$G_{см} \cdot (200 \cdot 1,06 - 1630 \cdot 1,55) = G_{п} \cdot (1,005 \cdot 10 - 1630 \cdot 1,55) , \quad (3.4)$$

Витрата свіжого повітря та газів в процесі змішування

$$G_{п} = 22,9 \left(\frac{\text{кг}}{\text{с}} \right).$$

$$G_{\text{вг}} = 25 - 22,9 = 2,1 \left(\frac{\text{кг}}{\text{с}} \right).$$

Масові частки (долі) компонентів

– відхідних газів

$$g_{\text{вг}} = G_{\text{вг}} / G_{\text{см}}, \quad (3.5)$$

$$g_{\text{вг}} = 2,1/25=0,084.$$

– повітря

$$g_{\text{п}} = (1 - g_{\text{вг}}), \quad (3.6)$$

$$g_{\text{п}} = (1 - 0,084) = 0,916.$$

Теплоємність отриманої суміші

$$C_{p_{\text{см}}} = C_{p_{\text{вг}}} \cdot g_{\text{вг}} + C_{p_{\text{п}}} \cdot g_{\text{п}}, \quad (3.7)$$

$$C_{p_{\text{см}}} = 1,55 \cdot 0,084 + 1,005 \cdot 0,916 = 1,05 \text{ (кДж / (кг·К))}.$$

Температура суміші на виході з теплообмінника

$$t''_{\text{см}} = t'_{\text{см}} - \frac{Q}{G_{\text{см}} \cdot C_{p_{\text{см}}}}, \quad (3.8)$$

$$t''_{\text{см}} = 200 - \frac{3500}{25 \cdot 1,04} = 65,4(^{\circ}\text{C}).$$

3.1.3 Розрахунок площі теплообміну

Для теплообмінника виберемо алюмінієві пластини з профілем типу ПЛР-1, які мають наступні характеристики [67]:

- еквівалентний діаметр каналу $d_e = 3,08$ мм;
- відстань між пластинами $\delta_T = 6,35$ мм ;
- товщина ребра $\delta_p = 0,152$ мм;

- висота ребра $l_p = \frac{\delta_r}{2} = \frac{6,35}{2} = 3,175$ мм;
- теплопровідність матеріалу пластин (алюміній) $\lambda_p = 204$ Вт/(м·К);
- умовний коефіцієнт компактності $\beta = 1204$ м²/м³;
- коефіцієнт $\frac{F_p}{F} = 0,756$.

Прийmemo швидкість теплоносіїв $\omega_{\text{п}} = \omega_{\text{см}} = 5$ м / с.

Гофрований лист теплообмінника показано на рисунку 3.2.

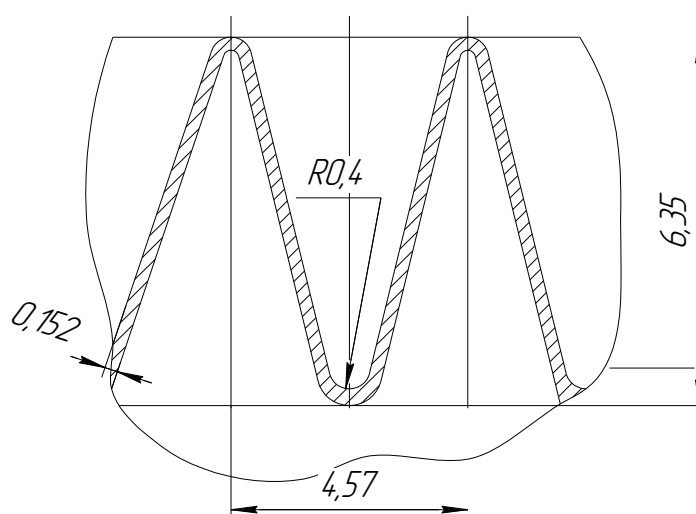


Рисунок 3.2 – Гофрований лист теплообмінника

Крок гофра, за [67]

$$S = 4,57 \text{ (мм)},$$

Визначимо середні температури теплоносіїв в ТА

$$\bar{t}_{\text{п}} = \frac{t'_{\text{п}} + t''_{\text{п}}}{2}, \quad \bar{t}_{\text{см}} = \frac{t'_{\text{см}} + t''_{\text{см}}}{2}, \quad (3.9)$$

$$\bar{t}_{\text{п}} = \frac{10 + 110}{2} = 60^{\circ}\text{C}, \quad \bar{t}_{\text{см}} = \frac{200 + 65,4}{2} = 132,7^{\circ}\text{C}.$$

Для цих температур з таблиць визначаємо фізичні параметри теплоносіїв.

Таблиця 3.1 – Фізичні параметри теплоносіїв

Фізичний параметр	Суміш	Повітря
λ , Вт/(м·К)	$3 \cdot 10^2$	$2,90 \cdot 10^2$
ν , м ² /с	$19,24 \cdot 10^{-6}$	$18,97 \cdot 10^{-6}$
ρ , кг/м ³	1,028	1,060
Pr	0,695	0,696

Знайдемо критерій Рейнольдса для гарячої суміші і повітря відповідно

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{\text{екв}}}{\nu}, \quad (3.10)$$

$$Re_{\text{см}} = \frac{5 \cdot 3,08 \cdot 10^{-3}}{19,24 \cdot 10^{-6}} = 800,$$

$$Re_{\text{п}} = \frac{5 \cdot 3,08 \cdot 10^{-3}}{18,97 \cdot 10^{-6}} = 811.$$

За таких значень критерію Рейнольдса, критеріальне рівняння для пластин ПЛР-1, [68]

$$Nu = 0,123 Re^{0,649} Pr^{0,33}, \quad (3.11)$$

$$Nu_{\text{см}} = 0,123 \cdot 800^{0,649} \cdot 0,695^{0,33} = 8,53$$

$$Nu_{\text{п}} = 0,123 \cdot 811^{0,649} \cdot 0,696^{0,33} = 8,43.$$

Коефіцієнти тепловіддачі з обох боків

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_{\text{екв}}}, \quad (3.12)$$

$$\alpha_{\text{см}} = \frac{8,53 \cdot 3 \cdot 10^{-2}}{3,308 \cdot 10^{-3}} = 77,5 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right),$$

$$\alpha_{\text{п}} = \frac{8,43 \cdot 2,9 \cdot 10^{-2}}{3,308 \cdot 10^{-3}} = 76,4 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right).$$

Параметр ребра

$$m = \sqrt{\frac{2\alpha}{\lambda_p \cdot \delta_p}}, \quad (3.13)$$

$$m_{\text{см}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 77,5}{204 \cdot 0,152}} = 2,23 \left(\frac{1}{\text{м}} \right),$$

$$m_{\text{п}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 76,4}{204 \cdot 0,152}} = 2,21 \left(\frac{1}{\text{м}} \right).$$

Відносна ефективність оребрення пластин

$$\eta_p = \frac{\text{th}(m \cdot \ell_p)}{(m \cdot \ell_p)}, \quad (3.14)$$

$$\eta_{\text{рсм}} = \frac{\text{th}(2,23 \cdot 3,175)}{(2,23 \cdot 3,175)} = 0,1412,$$

$$\eta_{\text{рп}} = \frac{\text{th}(2,21 \cdot 3,175)}{(2,21 \cdot 3,175)} = 0,1425.$$

Ефективність теплопередаючої поверхні

$$\eta_0 = 1 - \frac{F_p}{F} (1 - \eta_p), \quad (3.15)$$

$$\eta_{\text{осм}} = 1 - 0,756 \cdot (1 - 0,1412) = 0,3507,$$

$$\eta_{\text{оп}} = 1 - 0,756 \cdot (1 - 0,1425) = 0,3517.$$

Коефіцієнт теплопередачі в теплообміннику

$$k = \left[\frac{1}{\eta_{\text{оп}} \cdot \alpha_{\text{п}}} + \frac{1}{\left(\frac{F_{\text{см}}}{F_{\text{п}}} \right) \cdot \eta_{\text{осм}} \cdot \alpha_{\text{см}}} \right]^{-1}, \quad (3.16)$$

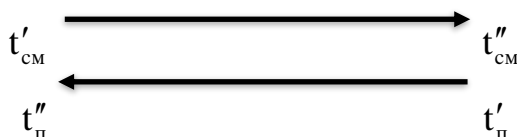
Термічним опором перегородки знехтуємо, оскільки він малий в порівнянні з термічними опорами тепловіддачі.

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

$$k = \left[\frac{1}{0,3517 \cdot 76,4} + \frac{1}{1 \cdot 0,3507 \cdot 77,5} \right]^{-1} = 13,51 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right).$$

3.1.4 Температурний напір

Приймаємо для розрахунку перехресний хід теплоносіїв. Температурний напір



$$\Delta t_{\text{с}} = t''_{\text{см}} - t'_{\text{п}} = 200 - 110 = 90\text{C},$$

$$\Delta t_{\text{м}} = t'_{\text{см}} - t''_{\text{п}} = 65,5 - 10 = 55,5\text{C}.$$

Оскільки $\frac{\Delta t_{\text{г}}}{\Delta t_{\text{м}}} = 1,62 \geq 1,4 \rightarrow$ використаємо формулу для середньологарифмічного температурного напору.

$$\Delta \bar{t}_{\text{лог}} = \frac{\Delta t_{\text{г}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \left(\frac{\Delta t_{\text{г}}}{\Delta t_{\text{м}}} \right)}, \quad (3.17)$$

$$\Delta \bar{t}_{\text{лог}} = \frac{90 - 55,5}{\ln \left(\frac{90}{55,5} \right)} = 71,36.$$

$$\text{Значення } P = \frac{t''_{\text{п}} - t'_{\text{п}}}{t'_{\text{см}} - t'_{\text{п}}} = \frac{110 - 10}{200 - 10} = 0,526.$$

$$\text{Значення } R = \frac{t'_{\text{см}} - t''_{\text{см}}}{t''_{\text{п}} - t'_{\text{п}}} = \frac{200 - 65,5}{110 - 10} = 1,49.$$

За номограмою [68] знаходимо величину поправки на перехресний хід.

$$\varepsilon_{\Delta t} = 0,85.$$

Тоді площа теплообміну

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta \bar{t}_{\text{лог}} \cdot \varepsilon_{\Delta t}}, \quad (3.18)$$

$$F = \frac{3500 \cdot 10^3}{13,51 \cdot 71,36 \cdot 0,85} = 4271 \text{ (м}^2\text{)}.$$

3.1.5 Аеродинамічні втрати в ТА

Знайдемо об'єм теплообмінника

$$V_T = \frac{F}{\beta}, \quad (3.19)$$

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

$$V_T = \frac{4271}{1204} = 3,55 \text{ м}^3.$$

За [67] для пластин ПЛР-1 з врахуванням критерію Рейнольдса $Re = 600 \dots 2000$ значення коефіцієнтів в рівнянні: $B = 9,572$; $n = 0,574$

Критерій Ейлера для обох сторін

$$Eu = B \cdot Re^{-n}. \quad (3.20)$$

$$Eu_{\text{см}} = 9,572 \cdot 800^{-0,574} = 0,206,$$

$$Eu_{\text{п}} = 9,572 \cdot 811^{-0,574} = 0,204.$$

Коефіцієнт гідравлічного опору з обох боків

$$\xi = \frac{Eu \cdot d_e}{\delta_T}, \quad (3.21)$$

$$\xi_{\text{см}} = \frac{0,206 \cdot 3,08}{6,35} = 0,099,$$

$$\xi_{\text{п}} = \frac{0,204 \cdot 3,08}{6,35} = 0,098.$$

Прийmemo число ходів теплоносіїв: $z_{cm} = 11$; $z_{п} = 11$.

Тоді довжина теплообмінних поверхонь в напрямку руху теплоносіїв

$$L = \frac{V_T \cdot \xi \cdot \rho \cdot \omega \cdot z}{G}, \quad (3.22)$$

де ω – швидкість теплоносія, м/с;

ρ – густина теплоносія, кг/м³;

G – масова витрата теплоносія, кг/с.

$$L_{cm} = \frac{3,55 \cdot 0,099 \cdot 1,028 \cdot 5 \cdot 11}{25} = 0,8(\text{м});$$

$$L_{п} = \frac{3,55 \cdot 0,098 \cdot 1,060 \cdot 5 \cdot 11}{22,9} = 0,9(\text{м}).$$

Прийmemo довжину ходів для холодного і гарячого теплоносія 1 метр.

Площа фронту теплоносіїв

$$f_{фр} = \frac{V_T}{L}, \quad (3.23)$$

$$f_{фр cm} = f_{фр п} = \frac{3,55}{1} = 3,55(\text{м}^2).$$

Коефіцієнт проходу

$$K_0 = \frac{\delta_T \cdot \beta}{\delta_T + \ell_p + 2\delta_p}, \quad (3.24)$$

$$K_0 = \frac{6,35 \cdot 1204}{6,35 + 3,175 + 2 \cdot 0,152} = 777,8 \left(\frac{\text{м}^2}{\text{м}^3} \right).$$

Повна поверхня тепловіддачі з боку кожного з теплоносіїв

$$F_{1,2} = \kappa_0 \cdot V_T, \quad (3.25)$$

$$F_{1,2} = 777,8 \cdot 3,55 = 219 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Фронтальний коефіцієнт ТА

$$\zeta = \frac{\kappa_0 \cdot d_e}{2}, \quad (3.26)$$

$$\zeta = \frac{777,8 \cdot 1,65 \cdot 10^{-3}}{2} = 0,641.$$

Живий переріз пакета для теплоносіїв

$$f_{ж12} = \zeta \cdot f_{фр}, \quad (3.27)$$

$$f_{ж1,2} = 0,641 \cdot 3,55 = 2,27 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Висота матриці

$$H = \frac{f_{ж}}{L}, \quad (3.28)$$

$$H = \frac{2,27}{1} = 2,27 \text{ (м)}.$$

Втрати напору по обох сторонах

$$\Delta P = \frac{\rho \cdot \omega^2}{2 \left[\xi \frac{L}{d_e} \right] + \xi_{вх} + \xi_{вих}}, \quad (3.29)$$

де $\xi_{\text{вх}}, \xi_{\text{вих}}$ – місцеві коефіцієнти виходу і входу в матриці, приймаємо рівними 0,5.

$$\Delta P_{\text{см}} = \frac{1,028 \cdot 5^2}{2 \cdot \left[0,099 \cdot \frac{1}{3,08} \right] + 0,5 + 0,5} = 24,14 (\text{Па}),$$

$$\Delta P_{\text{п}} = \frac{1,060 \cdot 5^2}{2 \cdot \left[0,098 \cdot \frac{1}{3,08} \right] + 0,5 + 0,5} = 25 (\text{Па}).$$

Подача вентилятора

$$Q_{\text{в}} = \frac{G}{\rho} \cdot 3600, \quad (3.30)$$

$$Q_{\text{в}} = \frac{22,9}{1,060} \cdot 3600 = 77773 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right). (\text{м}^3/\text{год}).$$

Для роботи використаємо вентилятори ВЦ 4-76-10ж-02 [69]. Вентилятори ВЦ 4-76 відцентрові здійснюють одностороннє всмоктування повітря і газових сумішей. Конструкція корпусу виконана у формі спіралі, яку можна повертати під потрібним кутом, двигун реверсивний і обертання робочого лопаткового колеса передбачено в правому, і в лівому напрямках [69].

3.2 Розрахунок батарейного циклона і повітропроводів

3.2.1 Початкові дані

- витрата повітря $G_{\text{п}} = 15,2$ кг/с;
- стандартне відхилення функції розподілу парціальних коефіцієнтів очищення $\lg \delta_4 = 0,497$;

- концентрація пилу на вході в патрубок циклона $C_{\text{вх}} = 20 \frac{\text{Г}}{\text{М}^3}$;
- густина часток пилу $\rho_{\text{ч}} = 2000 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$;
- задана ефективність очищення газу в циклоні $\eta = 0,8$;
- густина газу за робочих умов $1,29 \text{ кг/м}^3$;
- в'язкість газу за робочих умов $\mu = 24,1 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$;
- розрідження в циклоні $p = 8 \text{ кПа}$;
- запиленість газу що поступає на очищення $z_1 = 6 \text{ г/м}^3$;
- максимальна температура запиленого повітря $150 \text{ }^\circ\text{С}$.
- фракційний склад пилу приймаємо вказаний в таблиці 3.2 [69].

Таблиця 3.2 – Фракційний склад пилу у відпрацьованому теплоносієві

Величина частинок, мкм	< 5	5-10	10-20	20-40	> 40
Масова частка	8	9	16	24	46

3.2.2 Розрахунок повітропроводів

Приймемо [69] швидкість руху повітря в повітропроводі $W = 20 \text{ м/с}$.

Масова витрата повітря $G = 15,2 \text{ кг/с}$.

За довідковими даними [68], густина повітря за нормальних умов при концентрації пилу на вході $C_{\text{вх}} = 20 \frac{\text{Г}}{\text{М}^3}$ складає $1,29 \text{ кг/м}^3$.

Об'ємна витрата повітря

$$V = \frac{G}{\rho_0}, \quad (3.31)$$

$$V_0 = \frac{15,2}{1,29} = 11,78 \left(\frac{\text{М}^3}{\text{с}} \right).$$

Знайдемо густину газу за робочих умов

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{273(P_H - P)}{(273 + t) \cdot P_H}, \quad (3.32)$$

$$\rho = 1,29 \cdot \frac{273(101325 - 8000)}{(273 + 150) \cdot 101325} = 0,77 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right).$$

Витрата газу за робочих умов

$$V = V_0 \frac{\rho_0}{\rho}, \quad (3.33)$$

$$V = 11,78 \frac{1,29}{0,77} = 19,7 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right) = 70920 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right).$$

3.2.3 Розрахунок циклона

Враховуючи властивості пилу у відпрацьованому теплоносієві приймемо циклонний елемент діаметром $D = 250$ мм з напрямним апаратом типу «розетка» з $\alpha = 30^\circ$ [70].

Оптимальна швидкість газу в циклонному елементі в цьому випадку складе $\omega_{\text{опт}} = 4,5$ м/с [6], а витрата газу через один циклонний елемент становить

$$V_1 = \omega_{\text{опт}} \frac{\pi D^2}{4}, \quad (3.34)$$

$$V_1 = 4,5 \frac{3,14 \cdot 0,25^2}{4} = 0,62 \left(\frac{\text{м}^2}{\text{с}} \right).$$

Необхідна кількість циклонних елементів

$$N = \frac{V}{V_1}, \quad (3.35)$$

$$N = \frac{19,7}{0,62} = 35,5 \text{ (штук)}.$$

Тоді беремо 36 циклонних елементів типу ЦН-15, з компоновкою в одну групу, розташовуючи в 6 рядів, з розміщенням по 6 елементів в кожному ряду.

Такий батарейний циклон матиме умовне позначення БЦ-2-6х(4+2).

Умовна швидкість газу в циклонних елементах

$$\omega_y = \frac{V}{0,785 \cdot D^2 \cdot N}, \quad (3.36)$$

$$\omega_y = \frac{19,7}{0,785 \cdot 0,25^2 \cdot 36} = 4,46 \left(\frac{m}{c} \right).$$

Відхилення від оптимальної швидкості складе

$$\varepsilon_\omega = \frac{\omega_{opt} - \omega_y}{\omega_{opt}} 100\%, \quad (3.37)$$

$$\varepsilon_\omega = \frac{4,5 - 4,46}{4,5} 100 = 0,89\%,$$

що не виходить з рекомендованих меж $\pm 15\%$.

3.2.4 Ступінь вловлювання пилу

Гідравлічний опір такого батарейного циклона

$$\Delta P = \zeta \frac{\omega_y}{2} \rho, \quad (3.38)$$

де ζ – коефіцієнт гідравлічного опору циклонного елемента;

ω_y – умовна швидкість газу в циклонному елементі, м/с;

ρ – густина газу за робочих умов, кг/м³.

Для напрямних апаратів типу «гвинт» $\zeta = 85$, для апаратів типу «розетка» з лопатками, нахиленими під кутом $\alpha = 25^\circ$ $\zeta = 90$, а при 30° $\zeta = 65$ [71].

$$\Delta P = 65 \frac{4,46^2}{2} \cdot 0,77 = 498 \text{ (Па)}.$$

В процесі експлуатації опір батарейних циклонів зростає через зношування напрямних апаратів або занесення їх пилом і в умовах зерносушильного виробництва може досягати $1,5 \div 2,0$ кПа і більше.

Розмір частинок, що вловлюються на 50% таким циклонним елементом

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{\frac{\rho_{1T} \cdot \mu}{\rho_1 \cdot \mu_T} \cdot \frac{\omega_T}{\omega}}, \quad (3.39)$$

де d_{50}^T – розмір частинок, уловлюваних на 50% умовним елементом [71];

ρ_1, μ, ω – параметри, що відповідають фактичним умовам роботи;

$\rho_{1T}, \mu_T, \omega_T$ – параметри, що відповідають умовам, узятим для умовного елемента батарейного циклону.

За [69] : $\rho_{1T}=2200$ кг/м³; $\mu_T=23,7 \cdot 10^{-6}$ Па·с; $w_T=4,5$ м/с.

$$d_{50} = 5,0 \sqrt{\frac{2200}{2000} \cdot \frac{24,1 \cdot 10^{-6}}{23,7 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{4,5}{4,46}} = 5,3 \text{ (мкм)}.$$

За заданим фракційним складом пилу побудуємо інтегральну криву (рис.3.3), що показує відносний вміст частинок пилу з розмірами меншими за даний розмір.

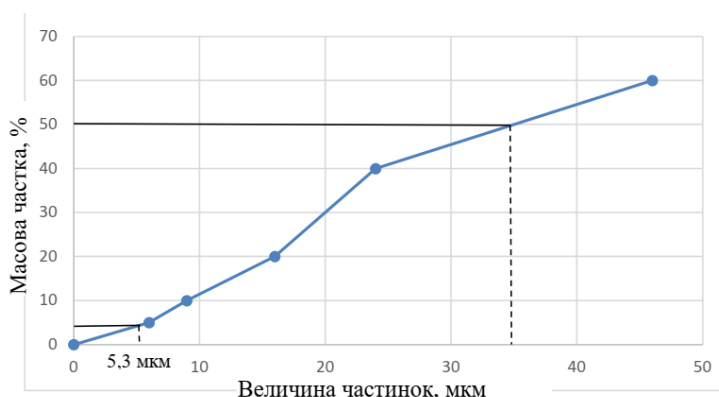


Рисунок 3.3 – Фракційний склад пилу

Для визначення значення d_m з точки, котра відповідає 50,0% вмісту пилу, проводимо горизонтальну лінію до перетину з інтегральною кривою і з отриманої точки опускаємо перпендикуляр на вісь абсцис (пунктирна лінія). Знайдене зна-

чення $d_m = 33$ мкм дозволяє визначити середньоквадратичне відхилення функції розподілу вловлюваних частинок пилу.

$$\lg \sigma_n = \lg \left(\frac{33}{5,3} \right) = 0,7942.$$

Значення x

$$x = \frac{\lg \left(\frac{d_m}{d_{50}} \right)}{\left(\lg^2 \sigma_r + \lg^2 \sigma_n \right)^{0,5}}, \quad (3.40)$$

де d_m – середньомедіанний розмір уловлюваних частинок пилу (розмір частинки, при якому маса всіх частинок розміром більших за d_m дорівнює масі всіх частинок менших за d_m), мкм;

d_{50} – розмір частинок, уловлюваних на 50% обраним циклоном за фактичних умов роботи, мкм;

$\lg \sigma_r$ – величина, що характеризує дисперсію частинок пилу, уловлюваних в умовному циклоні;

$\lg \sigma_n$ – середньоквадратичне відхилення функції розподілу (дисперсія) уловлюваних частинок пилу.

$$x = \frac{\lg \left(\frac{33}{5,3} \right)}{\left(0,46^2 + 0,7942^2 \right)^{0,5}} = 0,8653.$$

Значення функції нормального розподілу для даного значення x : $\Phi(x) = 0,8079$ [7].

Ступінь вловлювання пилу складає

$$\eta = 100 \cdot 0,8079 = 80,8\%.$$

Для монтажу вибираємо батарейний циклон БЦ-2-6х(4+2) масою 4900 кг [70].

Висновки до Розділу 3

В розділі визначено повну площу теплообміну теплообмінника, яка склала 4271 м². Втрати тиску за грійним теплоносієм складають 24,14 Па, за нагріваним 25 Па.

Розраховано аеродинамічні втрати і підібрано вентилятор ВЦ 4-76 для роботи даного теплообмінника, визначено характеристики цього вентилятора: видатність вентилятора 80 тис. м³/год; частота обертання 1140 об/хв; потужність електроприводу 55 кВт; повний напір 1275 Па.

Здійснено розрахунок повітропроводів і підібрано марку газоочисного обладнання – циклона БЦ-2-6х(4+2).

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Технологія монтажу газоочисного обладнання

4.1.1 Опис об'єкта монтажу.

Процес сушіння відбувається безперервно за принципом конвекції, як теплоносієм використано чисте, підігріте повітря. Підібрані належним чином параметри теплоносія надають можливість сушити як продовольчий так і посівний матеріал. Зерносушарка за своєю конструкцією пристосована до роботи без приміщення. Зерносушарка оснащена шахтою сушіння з фільтрами повітря, топкою, що працює або на рідкому, або на газовому паливі, розподільною шафою з установкою управління і димовідвідними трубами.

В даному розділі розробляється технологія монтажу газоочисного обладнання для очищення запиленого відпрацьованого теплоносія з шахтної зерносушарки М-819.

До монтажних робіт при модернізації сушарки входить монтаж батарейного циклона, вентилятора та повітропроводів з відповідною арматурою.

Батарейний циклон БЦ-2-6х(4+2) складається з 36 елементів типу ЦН-15 і має масу 4900 кг [70].

Для продування теплоносія через циклон передбачається встановлення вентилятора: приймаємо вентилятор ВРП 80-75 № 12,5, з двигуном АИР200L8, 18,5 кВт, загальною масою 777 кг [72].

Монтаж циклона починають з установки на даху зерносушарки опорної металоконструкції, що складається з вертикальних стійок з опорами, що з'єднані між собою зв'язками з швелерів і кутників, яка поставляється разом з циклоном. Перед монтажем циклона його перевіряють на щільність вальцювання кромки листів, для чого виконують візуальний огляд конструкції. Якщо пошкодження можуть вплинути на нормальну роботу циклона, його замінюють.

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

До монтажних робіт входить: монтаж батарейного циклона, вентилятора та повітропроводів з відповідною арматурою.

В результаті аналізу конструктивних особливостей об'єкта складено перелік основних та допоміжних виробів та матеріалів. Розрахунок та комплектування основних та допоміжних матеріалів та виробів наведені в таблиці 4.1 та 4.2 відповідно.

Таблиця 4.1 – Основні матеріали для встановлення та обв'язки батарейного циклона БЦ-2-6х(4+2).

№ п.п.	Найменування матеріалу	Одиниці вимірювання	Кількість	Маса одиниці, кг	Маса, кг
1	Повітропроводи із оцинкованої сталі класу Н з фланцями та зварними стиками. Периметром 1633 мм. Ø520×0,7 мм.	м ²	15,67	5,8	91
3	Батарейний циклон БЦ-2-6х(4+2)	шт	1	4900	4900
5	Вентилятор ВРП 80-75 № 12,5, з двигуном АИР200L8, 18,5 кВт	шт	1	777	777
4	Засувка шиберна Ø520 СМО (Іспанія)	шт	1	90	90
6	Відвід 90° Ø520×0,7 вентиляційний	шт	2	11,5	23
7	Збирач повітря	шт	1	129	129
8	Рама несуча монтажна в зборі	шт	1	1200	1200
9	Вставка гнучка - перехід від вентилятора до повітропроводу	шт	1	3	3
	Загальна маса матеріалів				7122

Таблиця 4.2 – Допоміжні матеріали для встановлення та обв'язки батарейного циклона БЦ-2-6х(4+2). [76]

№ п.п.	Найменування матеріалу	Одиниці вимірювання	Кількість	Маса, кг
Повітропроводи				
1	Азбестовий шнур загального призначення [ШАОН-1] діаметр 8-10 мм.	т	0,011	4,748
2	Виріб гумовий технічний морозостійкий	кг	4,57	4,57
3	Мастика герметизуюча не-твердіюча "Гелан"	т	0,00167	1,67
4	Дріт зварювальний, марки Св-08Г2С	т	0,005	5
5	Болти будівельні з гайками і шайбами	т	0,0098	9,8
Вентилятор				
1	Болти анкерні	т	0,0014	1,4
2	Болти будівельні з гайками і шайбами	т	0,0074	7,4
Засувка шиберна				
1	Азбестовий шнур загального призначення [ШАОН-1] діаметр 8-10 мм.	т	0,00038	0,38
2	Виріб гумовий технічний морозостійкий	кг	1,378	1,378
3	Болти будівельні з гайками і шайбами	т	0,004	4
	Загальна маса матеріалів			40,346
	Загальна маса всіх деталей			≈ 7162,5

4.1.3 Визначення складу і об'ємів робіт

4.1.3.1 Склад робіт

1. Доставка деталей до місця монтажу та їх складування.
2. Встановлення рами несучої.
3. Розмітка місць прокладання повітропроводів.
4. Монтаж батарейного циклона БЦ-2-6х(4+2).

5. Монтаж вентилятора ВРП 80-75 № 12,5.
6. Монтаж збирача повітря.
7. Прокладання повітропроводів діаметром 520 мм.
8. Встановлення запірної арматури Ду 520.
9. Перше робоче випробування окремих частин.
10. Робоча перевірка системи в цілому і здача в експлуатацію.
11. Повернення допоміжного обладнання на склад.

4.1.3.2 Об'єми робіт

1. Доставка деталей до місця монтажу та їх складування. Одиниці вимірювання в тоннах. Загальна маса усіх деталей та допоміжного обладнання $7162,5+633,15=7795,5$. Приймаємо $V=7,7955$.
2. Встановлення рами несучої. Одиниці вимірювання в штуках. Приймаємо $V=1$.
3. Розмітка місць прокладання повітропроводів. Одиниці вимірювання 100м. Довжина усієї мережі повітропроводів складає $L=9,6$ м. Приймаємо $V=0,96$.
4. Монтаж циклона. Одиниці вимірювання в штуках. Приймаємо $V=1$.
5. Монтаж вентилятора. Одиниці вимірювання в штуках. Приймаємо $V=1$.
6. Монтаж збирача повітря. Одиниці вимірювання в штуках. Приймаємо $V=1$.
7. Прокладання повітропроводів периметром 1633 мм. Одиниці вимірювання 100м^2 . Довжина повітропроводів складає $L=9,6$ м. Отже $V=1,633 \cdot 9,6/100=0,16$.
8. Встановлення запірної арматури Ду 520. Одиниці вимірювання в 100 шт. Приймаємо $V=0,01$.
9. Перше робоче випробування окремих частин. Одиниці вимірювання в 100м. Отже $V = 0,96$
10. Робоча перевірка системи і здача в експлуатацію. Одиниці вимірювання 100м. Загальна довжина трубопроводів становить $L=9,6$ м. Отже, $V=0,96$.
11. Повернення допоміжного обладнання на склад. Одиниці вимірювання в тоннах. Загальна маса усіх деталей 633,15 кг. Приймаємо $V=0,633$.

4.1.4 Вибір і обґрунтування методів виконання робіт

4.1.4.1 Монтаж повітропроводів

В даній системі повітропроводи розташовані відкрито, без теплової ізоляції. При їх прокладанні мінімальний уклон становить 0,003. Уклони повітропроводів спрямовуються в сторону повітровипускних пристроїв.

Монтаж повітропроводів виконати в такій послідовності;

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

Монтаж повітропроводів слід проводити переважно готовими вузлами і збирати з них блоки, максимально використовуючи механізацію. До початку монтажу готових вузлів, секцій, повітропроводів, арматури необхідно перевірити їх комплектність, в відповідності до проекту. 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. [76]

Укрупнювальне збирання повітропроводів рекомендується проводити на стелажах із застосуванням спеціальних пристосувань.

4.1.4.2 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 необхідно 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 трубопроводах засувки встановлюють переважно маховиками вгору, на вертикальних трубопроводах - у положення на ребро.

4.1.4.3 Монтаж циклона

Батарейний циклон БЦ-2-6х(4+2) поставляється в обв'язці з несучою рамою.

Монтаж виконати в такій послідовності:

- а) встановити циклон з рамою по місцю;
- б) закріпити раму анкерними болтами;
- в) приєднати повітропроводами вхід циклона до нагнітального вентилятора.

Монтаж циклона починають з установки на бетонну основу зерносушарки опорної металоконструкції, що складається з вертикальних стійок з опорами, з'єднаних між собою зв'язками з швелерів і кутників, яка поставляється разом з циклоном. Перед монтажем циклона його перевіряють на щільність вальцювання кромки зовнішнього корпусу візуальним способом.

Економічність і простота обслуговування даного циклона полягає в тому що при засміченні він може бути розібраний, промитий і зібраний назад протягом 2-6 годин. Низька засміченість поверхні досягається внаслідок високої турбулентності потоку теплоносія, утвореною циклонними елементами, а також за допомогою якісної механічної обробки поверхні елементів. Термін роботи батарейних циклонів за робочих температур в сушарці 20 – 25 років. Вартість заміни ущільнень коливається в межах 3 – 5 % від вартості циклона. Вартість монтажу батарейного циклона складає 2 – 4 % від вартості обладнання

4.1.4.4 Монтаж вентилятора

Перед установкою вентилятора перевіряється і приймається за актом зведений фундамент та опорна конструкція під вентилятор.

Перевіряємо комплектність вентилятора, доставляємо до місця монтажу, стропуємо вентилятор, піднімаємо і встановлюємо на опорній конструкції в проектне положення і закріплюємо опорні болти на віброопорах.

Приєднуємо повітропроводи, електроживлення перевіряємо правильність напрямку обертання робочого колеса.

4.1.5 Підбір машин, механізмів, пристосувань для монтажних робіт

4.1.5.1 Вибір машин і механізмів

Для монтажу витяжної труби використаємо автокран «Івановець» КС 35715.

Технічні характеристики автокрану наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3– Технічні характеристики автокрана КС 35715.Х [80]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Вантажопідйомність	кг	14000
Виліт стріли	м	8-14
Маса автокрана в транспортному положенні	т	15,7
Габарити автокрана	м	9,8×2,5×3,6
Швидкість руху	км/год	60
Габарити:		
Довжина	мм	1000
Ширина	мм	1300
Висота	мм	560
Маса	кг	350

Труби, деталі, конструкції та обладнання завозяться централізовано автомашиною "КАМАЗ 53501". Технічні характеристики автомашини наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики автомашини "КАМАЗ 53501"[81]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
1	2	3
Вантажопідйомність	кг	12000
Кількість осей:		
всього	шт	3
ведучих	шт	2
Вантажна висота	мм	2300
Найбільша швидкість	км/год	100
Радіус повороту	м	8,6
Колія колес:		
передні	мм	1800
задні	мм	1650
Витрата палива	л/100 км	18

Продовження таблиці 4.4		
1	2	3
Габарити:		
Довжина		6400
Ширина		2400
Висота		2300
Маса	кг	8550

Для зварювання використовується зварювальний напівавтомат Tesla Weld TIG 302 [82]. Його технічні характеристики представлені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Технічні характеристики зварювального апарата Tesla Weld TIG 302

Величина	Одиниця вимірювання	Значення
Номінальна напруга в мережі	В	190-240
Номінальний зварювальний струм	А	32
Діаметр зварювального дроту	мм	0,8
Споживана потужність	кВт	7
Габарити	мм	250x350x430
Маса	кг	4,8

Для монтажу повітропроводів і виготовлення вузлів застосовується кутова шліфмашина Makita GA7020 [83], що має наступні технічні характеристики:

- діаметр круга 180 мм;
- потужність 2200 Вт;
- частота обертання 8500 об/хв;
- маса 5,5 кг

Для підйому вантажів використовуємо лебідку з електроприводом ЛЭЦ-2. Її характеристики вказані в таблиці 4.6.

Для переміщення вантажу використовуємо візок гідравлічний ручний спеціальний Модель DFZ. Його характеристики вказані в таблиці 4.7.

Таблиця 4.6 – Технічні характеристики лебідки ЛЭЦ-2 [84]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Тягове зусилля в канаті	кН	20
Швидкість навивки каната	м/с	0,3
Діаметр барабана	мм	190
Канатоємність	м	50
Потужність двигуна	кВт	5,5
Габарити:		
Довжина	мм	1000
Ширина	мм	1300
Висота	мм	560
Маса	кг	350

Таблиця 4.7 – Візок гідравлічний ручний спеціальний Модель DFZ [85]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Вантажопідйомність	кг	2000
Довжина вил	мм	1550
Ширина вил	мм	840
Маса	кг	80

Таблиця 4.8 – Набір інструментів та пристосувань для монтажників

Найменування	ГОСТ, марка	Кільк., шт.	Заг. маса, кг
Плоскогубці комбіновані	ГОСТ 5547-75	6	1,6
Викрутки	ГОСТ 5423 - 79	6	0,31
Молоток слюсарний	ГОСТ 2310-77	6	1,8
Зубило слюсарне довжиною 200 мм	ГОСТ 7211-72	6	2,1
Молоток гумовий		6	1,9
Стрічка вимірювальна, 20 м	ГОСТ 7502 - 61	6	0,12
Рівень металевий	ГОСТ 7948-80	2	0,22
Ящик переносний з інструментом		6	31,2
Всього:			39

Для випробування повітропроводів на міцність та щільність використовуємо відцентровий вентилятор високого тиску ВВД №5, його характеристика в таблиці 4.9 [86].

Таблиця 4.9 – Технічна характеристика відцентрового вентилятора ВВД №5

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Максимальна витрата	м ³ /год	900
Статичний тиск	Па	1450
Швидкість обертів	об/хв	1500
Споживана потужність	кВт	1,5
Маса	кг	32

Загальна маса допоміжного обладнання складає 633,15 кг.

4.1.6 Витрати на енергетичні та паливні ресурси

На роботу електроприладів

$$E = P \cdot \tau \cdot k, \quad (4.1)$$

де P – потужність приладу чи механізму, кВт;

k – коефіцієнт, що враховує періодичність дії електричного обладнання.

τ – термін роботи приладу, год;

Витрати електроенергії на роботу зварювального напівавтомату інверторного типу Tesla Weld TIG 302.

$$k = 0,1; \tau = 35,47 \text{ (год)}; P = 7 \text{ (кВт)}; E_{\text{за}} = 7 \cdot 35,47 \cdot 0,1 = 28,83 \text{ (кВт}\cdot\text{год)}.$$

Витрати електроенергії на роботу нагнітального відцентрового вентилятора ВВД №5

$$k = 0,1; \tau = 24 \text{ (год)}; P = 1,5 \text{ (кВт)}; E_{\text{за}} = 1,5 \cdot 24 \cdot 0,1 = 6,6 \text{ (кВт}\cdot\text{год)}.$$

Витрата пального, необхідного для доставки матеріалів та виробів:

- відстань $\ell = 100$ км;
- кількість ходок $n = 1$;

– витрата пального $Q = 18$ л/100 км.

Потрібна кількість пального для доставки обладнання

$$Q_{\text{п}} = 2 \cdot Q \cdot n \cdot \ell, \quad (4.2)$$

$$Q_{\text{п}} = 2 \cdot 1 \cdot 100 \cdot 18 / 100 = 36 \text{ (л)}.$$

4.1.7 Визначення трудомісткості виконання монтажних робіт

4.1.7.1 Визначення складу бригад і підбір монтажних інструментів

Склад бригад для виконання монтажних робіт та середній розряд робітників визначається згідно з нормативними документами.

1. Доставка деталей до місць монтажу та їх складування. Водій і 2 робітники.
2. Встановлення рами несучої. Два монтажники, 1 - 3, 1 - 6 розрядів.
3. Розмітка місць прокладання повітропроводів. Два слюсарі-вентиляційники 3, 2 розрядів.
4. Монтаж циклона. Два монтажники 3, 4 розрядів.
5. Монтаж вентилятора. Два монтажники 3, 4 розрядів.
6. Монтаж збирача повітря. Два монтажники 3, 4 розрядів.
7. Прокладання повітропроводів діаметром 520 мм. Два слюсарі-вентиляційники 3, 2 розрядів.
8. Встановлення запірної арматури Ду 520. Слюсар-сантехнік 4 розряду.
9. Перше робоче випробування окремих частин. Два слюсарі-вентиляційники 5, 3 розрядів.
10. Робоча перевірка системи в цілому. Два слюсарі-вентиляційники 5, 3 розрядів.
11. Повернення допоміжного обладнання на склад. Робітник, водій.

4.1.7.2 Трудомісткість монтажних робіт

$$Q = V \cdot H_{\text{ч}} / B, \quad (4.3)$$

де V – об'єм робіт;

$H_{\text{ч}}$ – норма часу на одиницю виміру, люд/год;

B – кількість годин в зміні, год.

Тривалість монтажних робіт

$$T = Q / n, \quad (4.4)$$

де Q – трудомісткість монтажних робіт, люд/дні;

n – кількість робітників, люд.

Результати розрахунку зведені в таблицю 4.10.

Таблиця 4.10 – Визначення трудомісткості виконання монтажних робіт

Найменування робіт	Од. виміру	Об'єм робіт	Норма часу, люд/год	Трудомісткість люд/дні	Виконавці		Тривалість, днів
					кількість	Склад ланки	
1	2	3	4	5	6	7	8
Доставка деталей до місць монтажу та їх складування	т	7,7955	4,4	4,287	3	2 Робітники, водій	1,43
Встановлення рами несучої [87]	шт	1	27,36	3,42	2	2 Монтажники 3, 6 розрядів	1,71
Розмітка місць прокладання повітропроводів [79]	100 м	0,096	0,396	0,0047	2	2 Слюсарі-вентиляційники, 3, 2 розр.	0,0024
Монтаж циклона [79].	шт	1	12,75	1,6	2	2 Монтажники 4, 3 розрядів	0,8
Монтаж вентилятора [79].	шт	1	15,91	1,99	2	2 Монтажники 4, 3 розрядів	0,995

Продовження таблиці 4.10							
1	2	3	4	5	6	7	8
Монтаж збирача повітря [79]	шт	1	23,6	2,95	2	2 Монтажни- ники 4, 3 розрядів	1,475
Прокладання повітропроводів діаметром 520мм [79].	100 м ²	0,16	231,2	4,624	2	2 Слюсарі- вентиля- ційники, 3, 2 р.	2,312
Встановлення запірної арматури ДУ 520 [79].	100 шт	0,01	2,5	0,003	1	Слюсар сантехнік 4 розряду	0,003
Перше робоче випробування системи циркуляції [79]	100 м	0,096	5,4	0,0648	2	2 Слюсарі вентиляц. 5, 3 розря- дів	0,0324
Робоча перевірка системи в цілому [79]	100 м	0,096	5,4	0,0648	2	2 Слюсарі вентиляц. 5, 3 розря- дів	0,0324
Повернення допоміжного обладнання на склад	т	0,633	3,1	0,245	2	Робітник Водій	0,122
				19,25			8,914

4.1.8 Заходи із техніки безпеки під час виконання монтажу системи

При виконанні монтажних робіт слід дотримуватися «Інструкції з охорони праці під час виконання монтажних робіт інструментами і пристроями» [88].

4.2 Функціональна схема автоматизації шахтної зерносушарки

4.2.1 Характеристика об'єкта автоматизації

Зерносушарка шахтна М-819 призначена для сушіння зерна основних зернових, а також насіння бобових і олійних культур, рису та інших рослин. Процес сушіння відбувається безперервно, в якості теплоносія служить чисте, підігріте повітря (без топкових газів). Висталені відповідним чином параметри підігрітого повітря надають можливість сушити як продовольчий так і посівний матеріал. За своєю конструкцією зерносушарка пристосована до роботи на відкритому повітрі. Ця зерносушарка має сушильну шахту з фільтрами повітря, розподільною шафою з установкою управління, топкою, що працює на рідкому або газовому паливі та димовідвідними трубами [89].

Модернізація автоматизацією сушарки “М819 ” призначена для надійності роботи усієї сушильної установки, високої якості процесу сушіння та самого технологічного процесу. Сушарка “М819” призначена для сушіння кукурудзи та іншої сільськогосподарської продукції. Висока якість висушеної сировини, яка досягається за рахунок автоматичного підтримання оптимальних температурно-вологісних параметрів теплоносія є головною задачею автоматизації процесу сушіння.

В шахтних конвективних сушарках основним елементом є камера, яка відіграє важливу роль у процесі сушки. Вона розділена на три зони сушіння. У кожній зоні розташовані розділювачі потоку сировини (розподільчі короба), половина яких слугує для підведення гарячого теплоносія, а інші для відведення відпрацьованого сушильного агента [90].

Сировина для сушіння надходить у сушарку через розподільчі пристрої, які знаходяться над верхньою зоною сушіння. Кукурудза проходить дві зони сушіння і зону охолодження і виходить із сушарки. Після першого циклу сушіння сировина за допомогою транспортних механізмів повертається до верхнього розподільчого пристрою, після чого цикл сушіння повторюється. Сушіння завершується після того, як продукт досягне заданої вологості згідно режимної карти сушіння.

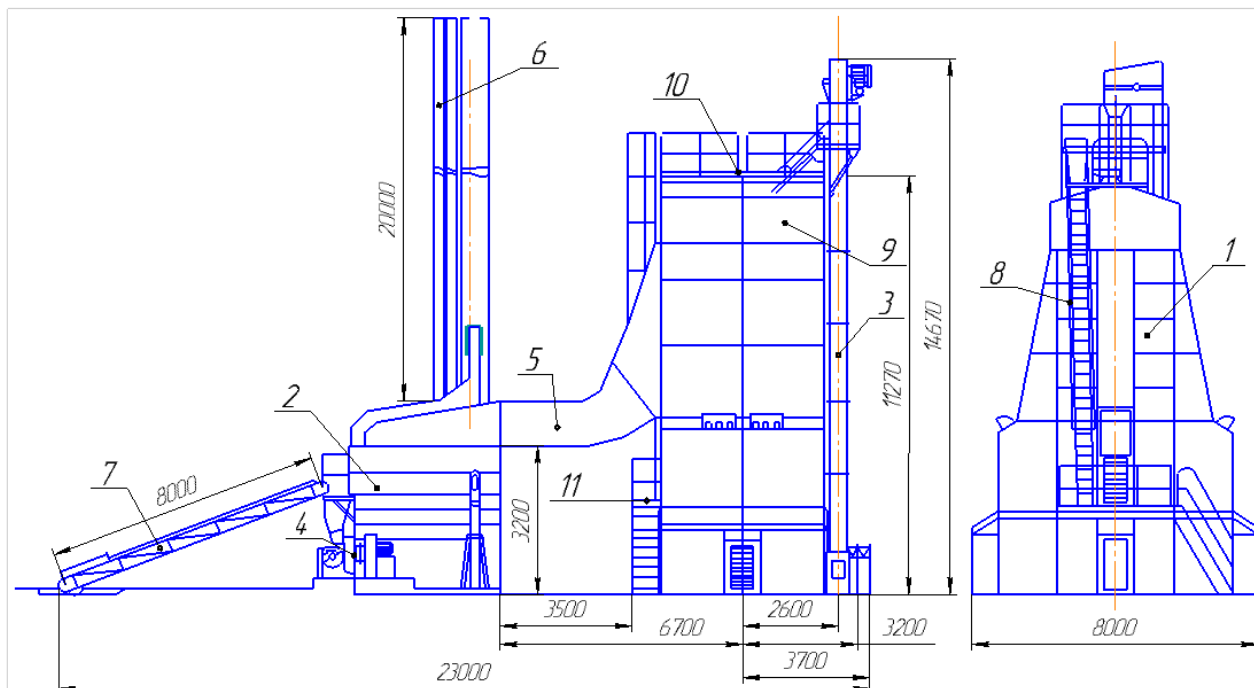


Рисунок 4.1 – Сушарка М819 (габаритне креслення)

В таких сушарках сушать сільськогосподарську продукцію: зернові та злакові культури.

Для підготовки сушильного агента використовують теплоту гарячих газів отриманих при спаленні вугілля. Процес отримання гарячих газів наступний: паливо і повітря подається в топку, де згорає з утворенням забруднених продуктів згорання. Далі гази очищаються у циклоні, змішуються з холодним повітрям до певної температури і постачаються на теплообмінник. Холодне повітря нагнітається вентилятором проходить через теплообмінник, де забирає тепло у гарячих газів і йде на сушарку. Після процесу сушки через вихідні розподільчі короба відпрацьований теплоносії викидається на зовні.

Дана схема виконання зерносушильного комплексу дозволяє виконувати сушку матеріалів у досить широкому діапазоні температурних режимів сушіння і забезпечити оптимальну якість готового продукту.

4.2.2 Обґрунтування вибору величин, які регулюються та каналів регулюючого впливу

4.2.2.1 Схеми автоматичного регулювання

Найголовніший показник роботи сушарки та мета її роботи це якісний продукт, для досягнення найвищої якості готового продукту з поміж різних варіантів модернізації можна виділити автоматизацію, адже завдяки автоматизації процесу сушіння ми можемо задавати, регулювати, та контролювати основні величини які прямо впливають на якість продукту і безпеку виробничого процесу.

Основними величинами що регулюються в шахтній зерносушарці М819 є: температура та витрата зерна в бункері, витрата готової продукції, температура та вологість зерна в робочій камері температура зерна після сушарки. Також для забезпечення стабільної та якісної роботи потрібно проводити регулювання рівня зерна в бункері над сушаркою, температури повітря на вході в робочу камеру сушарки, витрати повітря на сушіння, готовності продукту.

Перераховані величини змінюються в результаті регулюючих впливів і під дією зовнішніх і внутрішніх збурень, що носять детермінований або випадковий характер.

Отже, сушарка як об'єкт керування є складною динамічною системою з декількома взаємопов'язаними вхідними, і вихідними величинами.

4.2.2.2 Регулювання рівня зерна в бункері над сушаркою

Рівень зерна в бункері та завантаження робочої камери сушарки є одними з основних процесів за якими потрібно здійснювати якісний контроль та регулювання. В інструкціях по експлуатації шахтних сушарок вказано що вищевказані процеси виконуються за допомогою трьох датчиків рівня.

Верхній (аварійний) датчик рівня призначений для запобігання попаданню зерна в камеру нагрівання. Цей датчик встановлюють так, щоб рівень зерна при його спрацьовуванні був не ближче 0,5 м від нижньої кромки камери нагріву або від отвору самопливу, за яким йде заповнення тепло-волого-обмінника. Середній (робочий) датчик призначений для підтримки в тепло-волого-обмінника заданого постійного рівня зерна, його встановлюють на 0,5 м нижче верхнього датчика.

Нижній датчик рівня призначений для сигналізації про повне спорожнення тепло-волого-обмінника, його встановлюють в нижній частині тепло-волого-обмінника над рециркуляційною шахтою. У сушарці з рециркуляцією охолодженого зерна установка датчиків рівня зерна не обов'язкова [3].

Автоматичне регулювання завантаження сушарки зерном здійснюється за допомогою позиційного регулятора рівня.

В існуючих системах управління застосовують електронні ємнісні датчики рівня. Застосування таких регуляторів на практиці дозволило значно поліпшити працю оператора по управлінню сушаркою. До негативних особливостей слід віднести необхідність періодично налаштовувати датчики та наявність помилкових спрацювань.

Схема регулювання рівня в бункері представлена на рисунку 4.2.

В якості датчика рівня використаємо ультразвуковий датчик FineTek серії ЕА (1). Із датчика рівня сигнал подається на реле-регулятор рівня ОВЕН ТРМ501 (2). Регулятор виробляє сигнал неузгодження та передає його на пускову апаратуру (3) виконавчого механізму (4), в якості якого слугує електропривід для шибера.

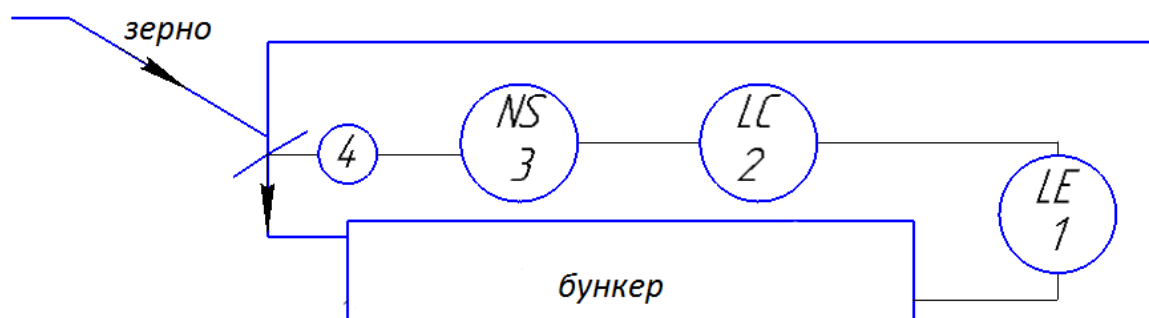


Рисунок 4.2 – Регулювання рівня в бункері-розподільнику

Коли бункер повністю заповнений зерном поворотний механізм діє на шибера і подача сировини припиняється.

4.2.2.3 САР температури повітря на вході в робочу камеру сушарки

Основним параметром, який характеризує тепловий режим зерносушарки є температура теплоносія, що подається до сушарки. Відомо, що продуктивність сушарки залежить в першу чергу від цього параметра. Тому найбільш інтенсив-

ним процес сушіння буде тоді, коли температура агента сушіння на вході в сушарку $t_{0\text{пов}}$ буде граничною, при якій температура зерна $t_{0\text{зер}}$ в процесі сушіння не підніметься понад допустимі межі. Для ефективного ведення процесу сушіння із збереженням якості зерна необхідно, щоб температура зерна не перевищувала певних граничних значень.

Для вимірювання температури агента сушіння і атмосферного повітря користуватися логометри з термометрами опору або потенціометрами з термопарами. Термометр опору встановлювати в підвідному дифузори або повітропроводі безпосередньо перед сушильними зонами, камерою нагріву, в пневмотрубі (перед місцем введення зерна в пневмотрубу). Відомо, що температурне поле в шахтних зерносушарках нерівномірне. Для правильного протікання процесу необхідна інформація про температуру зерна в точках максимального його нагрівання, оскільки тільки ці точки визначають місця теплового пошкодження зерна.

Управління температурою повітря на вході в робочу камеру та виході з робочої камери сушарки здійснюється за схемою зображеною на рисунку 4.3.

Зміна температури повітря на вході в шахту сушарки відіграє роль головної збурюючої дії. Через таке збурення процес сушіння є ненадійним.

Для надійності процесу сушіння необхідно підтримувати задану температуру повітря. Визначення температури повітря здійснюється за допомогою датчика температури яким служить термоперетворювач опору ТСП-1588.

Сигнал про відхилення заданих величин температур виводиться на пульт. Даний діапазон температур дозволяє точно проводити регулювання. При зміні температури повітря на вході в шахту подається сигнал на регулятор ОВЕН МПР51-Щ4.03.RS. Цей регулятор виробляє сигнал неузгодження і подає його до перетворювачів частоти (на виконавчий механізм приводу завантажувального механізму палива у топку сушарки) та на виконавчий механізм двигуна вентилятора.

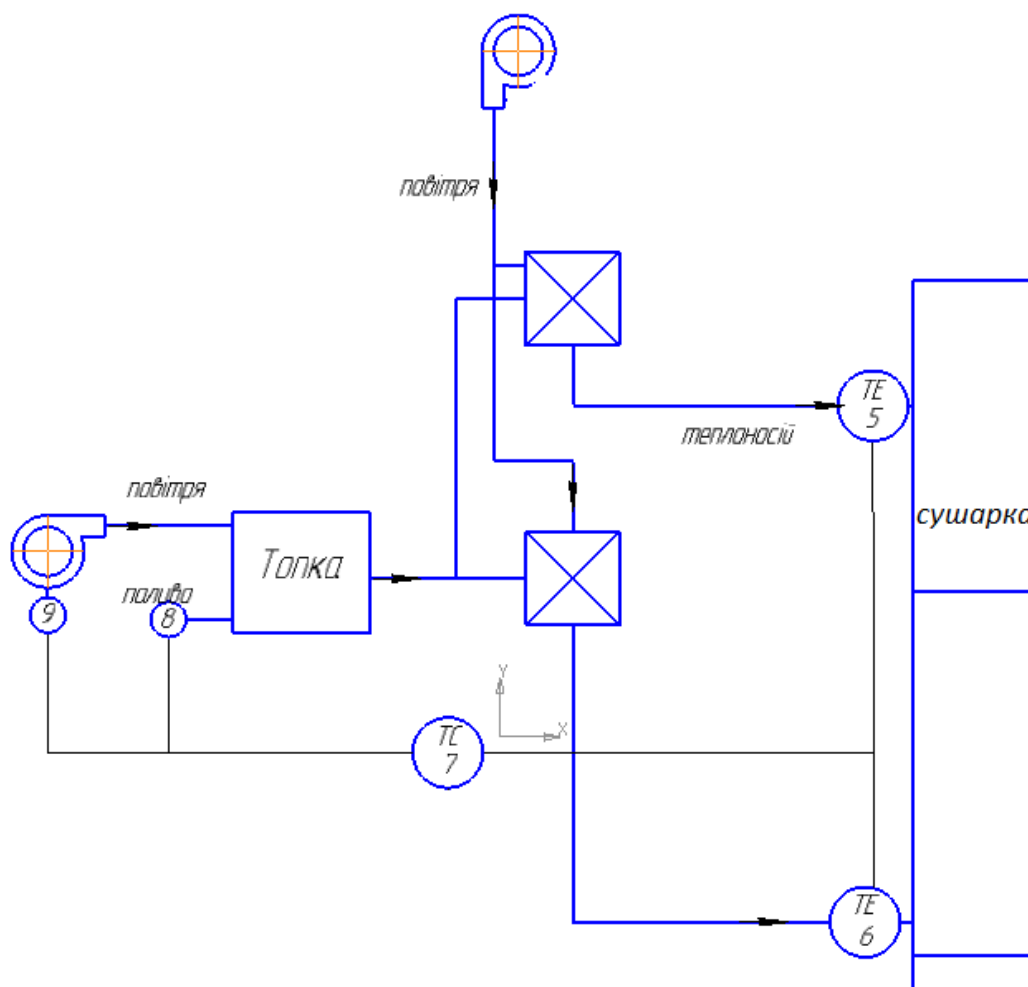


Рисунок 4.3 – Регулювання температури повітря
на вході в робочу камеру сушарки

4.2.2.4 САР витрати повітря на сушіння

Повітря, в шахтній зерносушарці М819, виступає сушильним агентом, тому від контролю за витратою повітря залежить весь процес отримання якісного продукту. Регулювання витрати повітря для сушіння виконується за витратою матеріалу, який сушиться.

Процес регулювання витрати повітря на сушіння наведений на рисунку 4.4.

На початку процесу сушіння вимірюється датчиком витрати зерна яка поступає на сушарку, в якості датчика слугує витрато-вологомір (10), що також вимірює початкову вологість зерна і відображає її на пульті та реєструється. Після вимірювання сигнали подаються на регулятор ОВЕН ТРМ138 (11), який виробляє

сигнал для перетворювача частоти Lenze ESV453NO4TX (12), що відповідає за роботу вентилятора свіжого повітря на сушіння (13).

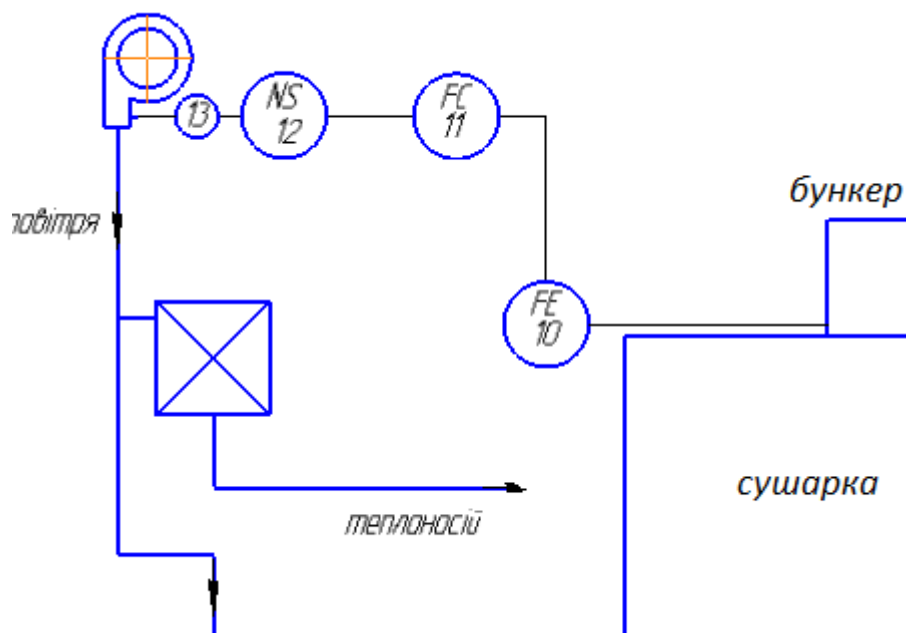


Рисунок 4.4 – САР витрати повітря на сушіння

4.2.2.5 САР готовності продукту

Завершення роботи циклу сушіння відбувається при досягненні вологості матеріалу відповідно до заданого значення.

Вологість це вміст у зерні гігроскопічної води, виражене у відсотках від маси наважки, взятої для аналізу. Вологість як показник якості зерна має dvojake значення: економічний і технологічний. При продажу партія зерна приймається без обмежень, якщо вологість зерна не перевищує обмежувальних кондицій (для пшениці і ячменю - 14,5%), оскільки в зерні цінуються сухі речовини, а не вода. За взаємною домовленістю сторін може прийматися зерно з підвищеною вологістю, але в цьому випадку зменшується оплачувана маса партії зерна, тобто проводиться натуральна знижка з фізичної маси в розмірі один відсоток за кожен зайвий відсоток води. Крім того, стягується плата за сушку зерна і насіння.

Технологічне значення вологості величезне. Зернові культури тривалий час зберігають з мінімальними втратами, якщо вони знаходяться в сухому стані (коли в них немає вільної води). Для успішної переробки зерна потрібна певна воло-

гість, при великій вологості не можна успішно розмолоти зерно в борошно або переробити його в крупу, виділити масло з насіння олійних культур.

В залежності від вологості зерно злаків поділяють на чотири стани: сухе (до 14%), середньої сухості (14,1-15,5%), вологе (15,6-17%) і сире (понад 17%). Сухе зерно добре зберігається. Стан середньої сухості характеризується тим, що з'являється невелика кількість вільної води при критичній вологості (14,5-15,5%), для тривалого зберігання зерно не придатне, проте володіє хорошими технологічними якостями для перемелення. Вологе і сире зерно підлягає негайному просушуванню [91].

Навіть невелике відхилення від потрібних, заданих параметрів вологості зерна після процесу сушіння може призвести до великих втрат як з економічної так і з технологічної точки зору. Тому потрібно розробляти удосконалювати і обов'язково встановлювати САР готовності продукту. Схема регулювання готовності продукту сушки наведена на рисунку 4.5.

Датчики температури та вологості повітря після сушарки (14 – 17) знімають покази та направляють їх до регулятора ОВЕН ТРМ138 (18), що в свою чергу згідно заданого процесу виробляє і направляє на виконавчий механізм (19) наступні сигнали: при відсутності зміни температури і вологості на виході з робочої камери сушарки сушильного агента (повітря) на протязі 30 хв, подається сигнал на заслонку вивантаження матеріалу про відкриття.

Після завершення процесу вивантаження, що вимірюється витратоміром «Композит 25» (10), передається сигнал на регулятор та з нього на заслінку бункера завантаження про надходження наступної порції продукту.

4.2.3 Вибір та обґрунтування засобів автоматизації

Можна виділити наступні етапи проектування вибору засобів автоматизації:

1. Обстеження технологічного процесу або об'єкта керування з метою визначення меж зміни вихідних і вхідних параметрів, кількості контрольованих параметрів, каналів керування тощо.

2. Вибір датчиків, первинних перетворювачів і виконавчих пристроїв відповідно до значення параметрів, отриманих в п. 1.

3. Оцінюється необхідна швидкодія системи на підставі теоретичних досліджень, досвіду роботи пристрою з аналоговими регуляторами, досвіду розробки подібних систем.

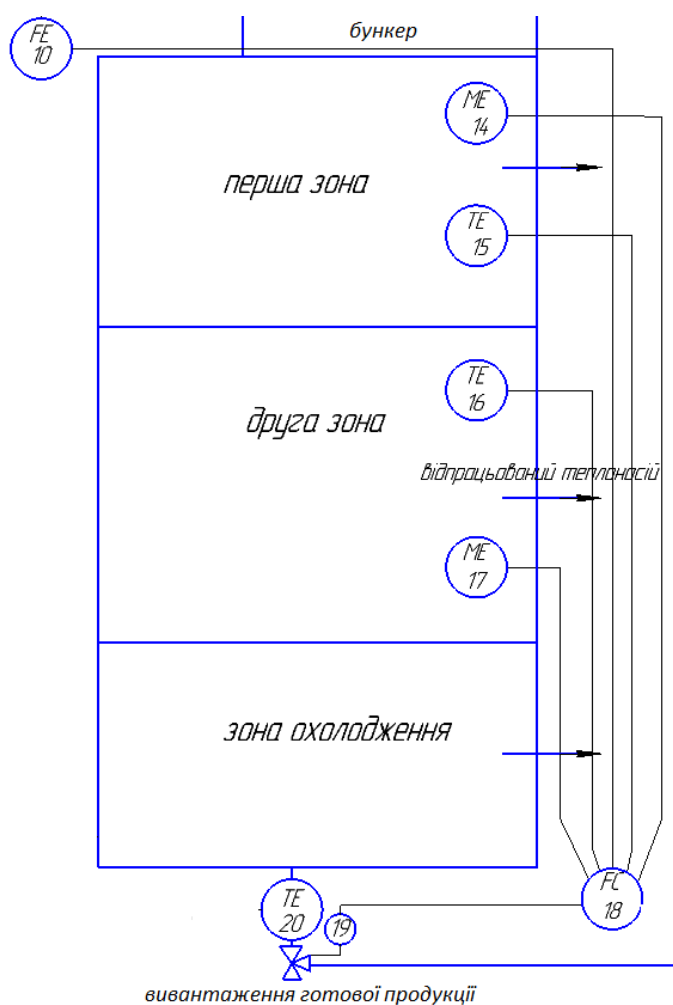


Рисунок 4.5 – Регулювання готовності продукту

4. На підставі п. 3 обирають процесорний модуль контролера.
5. За вихідними параметрами перетворювачів і вхідними сигналами виконавчих пристроїв вибираються необхідні модулі аналогового вводу-виводу.
6. Якщо в системі, крім регулювання, треба вирішувати питання блокувань дискретного керування, необхідно вибрати потрібну кількість дискретних модулів вводу та виводу.
7. Розробляється схема з'єднань і виконується монтаж

Вибираючи датчики технологічних параметрів і інших засобів виділення інформації варто враховувати наступні основні фактори: припустима для АСКТП похибка, що визначає клас точності датчика; інерційність датчика, що характеризується його постійною часу; межі виміру з гарантованою точністю; вплив фізичних параметрів контрольованого й навколишнього середовища (температури, тиску, щільності, вологості) на нормальну роботу датчика; вплив на датчик контрольованого й навколишнього середовища внаслідок його абразивних властивостей, хімічних параметрів тощо; наявність у місці установки датчика неприпустимих для його нормального функціонування вібрацій, магнітних і електричних полів, радіоактивних випромінювань та ін.; можливість застосування датчика з погляду вимог пожежо- і вибухобезпечності; відстань, на яку може бути передана інформація, що виділяється датчиком; граничні значення вимірюваної величини й інших параметрів середовища. Датчики вибирають, як правило, у два етапи. На першому задається різновид датчика (наприклад, при вимірі температури – манометричний термометр, термометр опору, термопара). На другому етапі визначається типорозмір обраного датчика (наприклад, термометр опору мідний, градировки 23, типу ТСМ-5071, голівка водозахисна). Вибір датчиків рівня, концентрації, складу і вологості газу, щільності, кута повороту, переміщення, наявності сили, швидкості обертання і прискорення в основному зводиться до обліку і підбора згаданих вище факторів і характеристик. При використанні датчиків, що реагують на радіоактивність, необхідно постійно контролювати вплив проникаючої радіації і дотримуватись спеціальних санітарно-технічних правил і техніки безпеки. Для деяких типів датчиків, таких як кондуктометричні, ємнісні й інші, варто враховувати вплив температури і передбачати компенсуючі пристрої. Багато датчиків концентрації, складу газу є спеціалізованими і можуть застосовуватися тільки в дуже вузькій галузі. Наприклад, розглянемо методику вибору найбільш поширених датчиків технологічних параметрів.

До основних характеристик мікропроцесорних систем можна віднести наступні показники: тип використовуваного мікропроцесора або контролера, набір периферійних модулів, мови програмування, засоби комунікації, рівень захисту.

Під типом мікропроцесора розуміється: фірма-виробник, розрядність арифметико-логічного пристрою, розрядність і обсяг пам'яті програм і пам'яті даних, розмір внутрішнього конвеєра команд, наявність вбудованих операцій множення й ділення, наявність співпроцесора операцій із плаваючою комою, кількість операцій, що виконуються за секунду, кількість рівнів переривань, споживана електрична потужність тощо. Модулі відрізняються функціями, що виконуються, кількістю каналів, рівнем вхідних і вихідних сигналів. Найпоширенішими є наступні типи модулів: - дискретного вводу, що характеризується постійним або змінним рівнем струму або напруги, послідовною або паралельною шиною, за допомогою якої підключається до процесорного модуля, кількістю каналів, напругою гальванічної розв'язки; - дискретного виводу, що характеризується типом вихідного каскаду: сухий контакт, відкритий колектор NPN або PNP типу, припустима напруга, що комутується, або струм; наявністю додаткового сигналу від майстер-реле, наявністю індикації виходу, наявністю захисту вихідного каскаду, кількістю каналів, напругою гальванічної розв'язки; - аналогового входу, що характеризується розрядністю АЦП, кількістю АЦП, кількістю каналів АЦП, часом перетворення, часом перемикання між каналами, що вимірюють, наявністю гальванічної розв'язки, діапазоном вхідних напруг або струмів, наявністю буфера перетворених сигналів; - аналогового виводу, що характеризується розрядністю ЦАП, кількістю каналів, діапазоном вихідних струмів або напруг, мінімальним періодом видачі вихідного сигналу, швидкістю наростання сигналу на виході, наявністю гальванічної розв'язки. - модуль лічильників, що характеризується кількістю каналів, рівнем вхідних сигналів, максимальною частотою надходження сигналів, розрядністю лічильників, напругою гальванічної розв'язки; - модуль таймерів, що характеризується кількістю каналів фіксації часових інтервалів, розподільною здатністю, рівнем вхідних сигналів.[92]

Для реалізації проекту АСУ шахтною зерносушаркою М819 необхідно вибрати програмно-технічні засоби, також проаналізувати їх сумісність. До програмно-технічних засобів входять: вимірювальні та виконавчі пристрої, контролерне обладнання, а також системи сигналізації.

Збором інформації про технологічний процес займаються вимірювальні пристрої, а виконавчі пристрої перетворюють електричну енергію в механічну чи іншу фізичну величину для здійснення впливу на об'єкт управління відповідно з обраним алгоритмом управління

4.2.4 Технологічний захист і сигналізація

При роботі зерносушильного комплексу виникають ситуації за яких можливе псування продукції чи обладнання, що тягне за собою значні капітальні затрати або створює загрозу здоров'ю чи життю обслуговуючого персоналу. Для запобігання таких ситуацій необхідно забезпечити аварійну зупинку комплексу. Повне відключення повинно бути забезпечене в таких випадках:

- відключення електроенергії;
- зупинка чи вихід з ладу вентилятора повітря для топки;
- зупинка чи вихід з ладу вентилятора повітря для сушіння;
- раптове підвищення більше ніж на 20 °С температури повітря для сушіння;
- зупинка руху зерна у сушарці;
- при перегріві зерна;
- поломка завантажувального бункеру.

При відключенні електроенергії автоматично зупиняється весь комплекс та всі заслінки залишаються у робочих положеннях крім заслінок подачі палива та подачі свіжого продукту для сушіння.

При відключенні будь-якого вентилятора відбувається автоматичне вимкнення процесу сушіння. При відключенні вентилятора, подається світловий сигнал на щит управління.

Перевищення температури сушильного агента за певну межу веде за собою зупинку комплексу, переривання подачі палива у топку, при цьому залишається ввімкненими вентилятори подачі повітря та механізми циркуляції зерна.

Повне відключення відбувається наступним чином. При несправності циркуляційного вентилятора повітря не надходить до теплообмінника. Внаслідок чого відбувається автоматичне переключення засувки на витяжному димососі та ве-

нтиляторі. Заслінка перекриває хід димових газів до газоповітряного теплообмінника і гази відразу викидаються в атмосферу. Заслінка перед витяжним вентилятором перекриває викид відпрацьованого повітря і відбувається відключення нагріву повітря. Технологічний захист описаних величин здійснюється за допомогою багатоканального регулятора ОВЕН.

Висновки до Розділу 4

Розроблено технологію монтажу батарейного циклона БЦ-2-6х(4+2) в теплову схему зерносушарки М819.

Здійснено розрахунок повітропроводів, розроблено монтажну схему системи, план, та необхідні розрізи.

Визначено склад і об'єми робіт, потребу в машинах, механізмах та в матеріальних ресурсах. Вибрано допоміжне обладнання для монтажу системи.

Визначено трудомісткість виконання робіт.

На підставі розрахунків складено календарний план виконання робіт, а також графіки руху робітників, машин та механізмів.

Розроблена функціональна схема автоматизації зерносушарки М819, яка дозволила визначити склад необхідного обладнання для проведення автоматизації сушильного процесу. Підібрано технічні засоби для реалізації автоматизованої системи. Показані схеми автоматичного регулювання: рівня зерна в бункері над сушаркою, температури повітря на вході в робочу камеру сушарки, витрати повітря на сушіння, готовності продукту. Підібрано засоби автоматизації та регулюючі органи.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Кошторисна вартість

Для розрахунку кошторисної вартості влаштування обладнання дотримувалися вимог ДСТУ Б Д 1.1.1 – 2013 „Правила визначення вартості будівництва” і використовували кошторисну програму “АВК”.

Для визначення кошторисної вартості влаштування обладнання розробляємо локальний кошторисний документ за допомогою програмного комплексу АВК (табл.4.11) на основі: ресурсних елементних кошторисних норм на будівельні роботи (РЕКН, ДБН Д.2.2 - 2000); збірника єдиних середніх кошторисних цін на матеріали, вироби та конструкції загально виробничі витрати розраховані відповідно до усереднених показників додатка 3 до ДСТУ Б Д.1.1 – 1 – 2013.

Кошторисна вартість влаштування конструкцій враховує трудовитрати та заробітну плату будівельників та машиністів, кількість та вартість матеріальних ресурсів, експлуатацію будівельних машин та механізмів. Кошторисна вартість влаштування конструкцій визначається як сума прямих та загальновиробничих витрат.

Прямі витрати (ПВ) враховують в своєму складі заробітну плату робочих, вартість експлуатації будівельних машин та механізмів, вартість матеріалів, виробів та конструкцій.

Загальновиробничі витрати (ЗВВ) – це витрати будівельно-монтажної організації, які входять у виробничу собівартість будівельно-монтажних робіт. Усі затрати, які відносяться до ЗВВ, згруповані в три групи.

Таблиця 5.1 - Локальний кошторис на влаштування обладнання

Основа:
креслення (специфікації) №

Кошторисна вартість 46,458 тис. грн.
Кошторисна трудомісткість 0,152 тис.люд.-год.
Кошторисна заробітна плата 3,204 тис. грн.
Середній розряд робіт 3,6 розряд

Складений в поточних цінах станом на "3 грудня" 2021 р.

№ п/п	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.-год.	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	не зайнятих обслуговуванням машин	
										тих, що обслуговують машини	
					заробітної плати	в тому числі заробітної плати	в тому числі заробітної плати	на одиницю	всього		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	E20-1-7	Прокладання повітроводів із листової сталі класу Н [нормальні] товщиною 0,7 мм, діаметром від 500 до 560 мм	100м2	0,1567	<u>17848,33</u> 3932,30	<u>77,40</u> 24,09	2797	616	<u>12</u> 4	<u>207,4</u> 1,4418	<u>32,5</u> 0,23
2	E20-39-3	Установлення циклонів масою до 1 т	10шт	0,1	<u>17392,84</u> 7830,00	<u>9212,75</u> 2301,87	1739	783	<u>921</u> 230	<u>384,2</u> 109,4103	<u>38,42</u> 10,94
3	C1630-1054	Циклони поодинокі ЦН-15, марка 600П, продуктивність 3720 м3/г	шт	1	<u>8763,55</u> -	-	8764	-	-	-	-
4	E20-31-1	Установлення вентиляторів	шт	1	<u>19272,72</u> 205,43	<u>9,70</u> 2,86	19273	205	<u>10</u> 3	<u>10,2</u> 0,163	<u>10,2</u> 0,16
5	E20-38-1	Установлення збирача повітря	10шт	0,1	<u>76793,30</u> 3125,59	<u>1823,49</u> 434,84	7679	313	<u>182</u> 43	<u>143,31</u> 20,944	<u>14,33</u> 2,09
6	E20-3-11	Прокладання повітроводів з оцинкованої сталі класу Н [нормальні] товщиною 0,7 мм, периметром до 2400 мм	100м2	0,16	<u>21528,61</u> 2958,90	<u>68,67</u> 20,92	3445	473	<u>11</u> 3	<u>156,06</u> 1,2521	<u>24,97</u> 0,2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	E20-15-3	Установлення заслінок повітряних і клапанів повітряних КВП з електричним або пневматичним приводом діаметром до 560 мм	шт	1	<u>630,18</u> 66,06	<u>3,57</u> 1,11	630	66	<u>4</u> 1	<u>3,4</u> 0,0665	<u>3,4</u> 0,07
Разом прямі витрати по кошторису							44327	2456	<u>1140</u> 284		<u>123,82</u> 13,69
Разом будівельні роботи, грн.							44327				
в тому числі:											
вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн.							40731				
всього заробітна плата, грн.							2740				
Загальновиробничі витрати, грн.							2131				
трудоємність в загальновиробничих витратах, люд.год.							14,34				
заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн.							464				
Всього будівельні роботи, грн.							46458				

Всього по кошторису							46458				
Кошторисна трудоємність, люд.год.							152				
Кошторисна заробітна плата, грн.							3204				

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Загальні витрати проекту представлені в таблиці 5.2, розраховуються у відсотках від кошторисної вартості влаштування обладнання (значення приймається із локального кошторису таблиці 5.1).

Таблиця 5.2 – Перелік інноваційних витрат

Орієновна робота	Питома вага вартості роботи, %	Термін виконання роботи, міс.	Загальна вартість виконання роботи, тис. грн.
Формування інноваційної ідеї проекту	1	1	0,46
Вивчення інформаційних джерел, патентний пошук	0,2	1	0,09
Техніко-економічне обґрунтування	1,5	3	0,70
Проектування	2,5	4	1,16
Експертиза інноваційного рішення	1	1	0,46
Витрати на придбання патентів, ліцензій, ноу-хау, технологій	2	2	0,93
Виготовлення нового виробу	100	6	46,458
Витрати на пусконаладжувальні роботи, комплексне освоєння проектних потужностей і досягнення техніко-економічних показників	3	1	1,39
Витрати на підготовку кадрів	5	2	2,32
Всього		21	53,98

Показники комерційної ефективності проекту представлені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Показники комерційної ефективності проекту, тис. грн.

№	Показники	Рік						
		-1	0	1	2	3	4	5
1	Потік реальних грошей	-3,81	-181,175	180,66	164,46	147,47	130,49	147,86
2	Сальдо реальних грошей	-3,81	287,8454	180,66	122,23	105,24	92,38	113,87
3	Сальдо накопичених реальних грошей за п.2	-3,81	284,0358	464,69	586,92	692,16	784,54	898,41
4	Коефіцієнт дисконтування при нормі дисконту 16%	1,16	1,00	0,86	0,74	0,64	0,55	0,48
5	Чиста поточна вартість (п.1×п.4)	-4,42	-181,17	155,74	122,22	94,48	72,07	70,40
6	Інтегральний економічний ефект(накопичена чиста вартість) за п 5 ((t)+(t-1))	-4,42	-185,59	-29,86	92,36	186,84	258,91	329,31

З таблиці 5.3 видно додатне сальдо накопичених реальних грошей на другому році реалізації проекту.

5.2 Оцінювання економічної ефективності інноваційного проекту

Чисті грошові надходження

$$NV = \sum_{t=0}^{T_p} NCF_t = \sum_{t=0}^{T_p} R_t - Z_t - N_t - K_t, \quad (5.1)$$

де NCF_t – чистий грошовий потік на t -ому році;

R_t – результат виручки у t -й рік;

Z_t – витрати у t -й рік;

N_t – податки у t -й рік;

K_t – інвестиції у t -й рік;

T_p – розрахунковий період.

$NV = 585,95$ тис. грн.

Чиста поточна вартість

$$NPV = \sum_{t=0}^{T_p} NCF_t \cdot \eta_t = \sum_{t=0}^{T_p} (R_t - Z_t - N_t - K_t) \cdot \eta_t, \quad (5.2)$$

де η_t – коефіцієнт дисконтування.

$NPV = 329,31$ тис. грн.

Якщо $NPV > 0$, то проект можна рекомендувати до реалізації;

якщо $NPV < 0$, то проект необхідно відхилити;

якщо $NPV = 0$, то в разі прийняття рішення про реалізацію проекту інвестори не отримують доходів на вкладений капітал.

Висновок. Оскільки NPV та NV є додатними, тобто за розрахунковий період грошові надходження перевищують суму капітальних вкладень, що призведе до зростання доходів інвестора, то проект вважається ефективним.

5.3 Термін окупності інвестицій

Термін окупності

$$\sum_{t=0}^{T_p} (P_t - B_t) \cdot \eta_t = \sum_{t=0}^{T_p} K_t \cdot \eta_t. \quad (5.3)$$

Розрахунок терміну окупності кумулятивним методом. Кумулятивний метод передбачає знаходження періоду окупності так

$$T = t + \frac{COF_t}{CIF_{t+1}}, \quad (5.4)$$

де COF_t – залишок інвестиційних витрат, не забезпечених доходами на початок t -го періоду, грн.,

CF_t – чисті грошові надходження (t +1)-го періоду, грн.

Розрахунок представлений в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Розрахунок простого терміну окупності кумулятивним методом, тис. грн.

Показник	Номер кроку розрахункового періоду						
	-1	0	1	2	3	4	5
Потік реальних грошей	-3,809556	-181,175	180,66	164,46	147,47	130,49	147,86
Кумулятивна	-3,809556	-184,984	-4,33	160,13	307,60	438,09	585,95

Як видно з таблиці 4.14 за показником залишку інвестиційних витрат, строк окупності даного проекту знаходиться між 1 та 2 роком (перехід від від'ємного до додатного залишку). Відповідно, за формулою (5.4) термін окупності

$$T = 1 + 4,33 / 164,46 = 1,02 \text{ років.}$$

Висновки до Розділу 5.

Склали кошторисний документ – локальний кошторис. В локальному кошторисі пораховано:

- кошторисна вартість $K_v = 46,458$ тис. грн.
- кошторисна заробітна плата ЗП = 3,204 тис. грн.
- кошторисна трудомісткість $T = 0,152$ тис. люд – год.
- вартість матеріалів – 40,731 тис. грн.

Розраховували основні показники ефективності інвестицій в інноваційний проект:

- чисті грошові надходження – 585,95 тис. грн.;
- чиста поточна вартість – 329,31 тис. грн.;
- термін окупності, розрахований кумулятивним методом та методом усереднених параметрів – 1,02 роки.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У магістерській роботі досліджуються заходи з підвищення енергоефективності одношахтної зерносушарки.

На сьогодні з зростанням темпів розвитку сучасного виробництва значно зростає роль і значення охорони праці на підприємстві. Для дотримання нормального режиму праці робітників роботодавець зобов'язаний створити безпечні та сприятливі умови роботи, зокрема, такі, щоб забезпечували досягнення високих та ефективних результатів. Про це йдеться, зокрема в Законі України «Про охорону праці». Законодавством України установлені соціальні гарантії у сфері охорони праці найманих працівників, які потрібно виконувати в обов'язковому порядку.

Отже, охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, лікувально-профілактичних заходів спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Основна мета охорони праці – зведення до мінімуму імовірності травматизму та захворювань працівників. Це здійснюється за рахунок забезпечення нормальних умов праці.

На оперативно-ремонтний персонал, який здійснює обслуговування технологічного обладнання зерносушарок, згідно ГОСТ 12.0.003-74 впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

а) фізичні:

- рухомі машини і механізми;
- рухомі частини виробничого обладнання;
- вироби, заготовки, матеріали, що пересуваються;
- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищена та знижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та знижена рухомість повітря;
- підвищена та знижена вологість повітря;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;

- підвищений рівень вібрації;
 - небезпечне значення напруги в електричному колі, замикання якого може відбутись через тіло людини;
 - підвищений рівень інфрачервоної радіації;
 - нестача природного освітлення;
 - недостатнє освітлення робочої зони;
 - гострі кромки, задирки і шорсткість на поверхнях заготовок, інструментів та обладнання;
- в) психофізіологічні:
- фізичні перевантаження (динамічні)
 - нервово-психічні перевантаження (монотонність праці).

6.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

6.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Адміністративно-побутові приміщення розташовують з максимальним наближенням до робочих місць, щоб не було зустрічних потоків людей, а також переходів через виробничі приміщення зі шкідливими виділеннями, неопалювані частини будівлі та відкриті простори.

Площа приміщення, де розміщується оперативно-ремонтний персонал становить 85 м², об'єм – 255 м³. У приміщенні є 2 вікна шириною 2,3 м і висотою 1,5 м і двері шириною 1,5 м. У приміщенні працює 5 осіб. Тобто площа на одного працівника складає 16,1 м², що повністю відповідає встановленим нормам, згідно ДНАОП 0.00-1.31-99, ДСанПіН 3.3.2.007-98.

Робоче місце – непостійне, оскільки робітник знаходиться тут менше 50% робочого часу.

Робоче місце, його устаткування і оснащення має забезпечувати безпеку та охорону здоров'я працюючих. Для захисту працюючих від небезпек, які виникають на окремих ділянках робочих місць устаткуванням що рухається, та під час технологічних процесів використовувати засоби індивідуального та колек-

тивного захисту працюючих. Проведення робіт без використання цих засобів забороняється.

Для обслуговування великогабаритного устаткування та його частин, що потребують огляду, ремонту та налагодження, застосовуються стаціонарні майданчики з огороженням і сходами.

Технологічне обладнання повинно відповідати експлуатаційній документації заводу-виробника.

Всі обертаючі та рухомі частини устаткування, незалежно від швидкості їх руху, закриваються суцільним або сітчастим огороженням. Огороження має бути міцним, надійно закріпленим, безпечним для працюючих та не торкатися рухомих частин устаткування. Всі поверхні устаткування, що виділяють тепло і працюють при температурі зовнішньої поверхні стінки вище 43 °С – теплоізовані. Ізоляція стійка до вологи, механічних пошкоджень і вогнетривка.

Управління машинами і апаратами здійснюється з пультів управління. На органах управління зображені чіткі написи або умовні знаки про їх призначення. Конструкція органів управління устаткування виключає іскровиникнення в рухомих частинах. Біля машин, які включаються дистанційно або автоматично, розміщують написи «Обережно, включається автоматично» (дистанційно)». Пристрої для пуску і зупинки устаткування розташовують так, щоб працівнику було зручно користуватися ними з робочого місця.

Всі відкриті струмопровідні частини електроприладів, електронагрівальних пристроїв, а також проводи у місцях їх з'єднання огорожують. Огороження виключає можливість дотику до частин, які знаходяться під напругою.

Устаткування, яке пов'язане з виділенням шкідливих, токсичних і отруйних речовин, встановлюється в окремих приміщеннях, які обладнані припливно-витяжною вентиляцією.

Відкриті монтажні отвори в перекриттях огорожуються. Трапи і містки мають жорсткі та надійно закріплені поручні.

Для контролю рівня рідини в посудинах встановлюють звукові, світлові та інші сигналізатори рівня, які передбачені конструкцією заводу-виробника.

Забороняється:

- пуск і короткочасна робота механізмів при відсутності або несправному стані огорожуючих пристроїв;
- прибирання поблизу механізмів без захисних огорожень;
- очищення, обтирання і змащення частин робочих механізмів, що обертаються, під час їх дії;
- перелізати через огороження або просовувати руки за них для змащення і прибирання робочих механізмів;
- зупиняти вручну обертаючі і рухомі механізми;
- наступати на обладнання, проводи, які звисають або лежать на землі та підлозі, а також на обриви дроту, мотузки, тросу, які торкаються цих проводів;
- експлуатувати несправне устаткування, а також устаткування з несправними або відключеними пристроями захисту (блокування, запобіжні клапани);
- ремонтувати устаткування без виконання технічних заходів, що унеможливають його помилкове включення в роботу, самовільне переміщення або рух. Після закінчення очистки або ремонту устаткування необхідно впевнитись у тому, що в ньому не залишилось людей і будь-яких сторонніх предметів;
- застосовувати для миття та обезжирювання деталей і устаткування гас, бензин, бензол, ацетон та інші горючі і легкозаймисті речовини, а також трихлоретилен, дихлоретилен та інші хлорподібні вуглеводні.

Місця розташування пускових пристроїв (крім пристроїв дистанційного управління) електродвигунів напругою вище 1000 В оснащують діелектричними килимками, а у вологих приміщеннях - ізолюючими підставками.

При підготовці устаткування до монтажних, демонтажних і ремонтних робіт необхідно:

- ознайомити працівників з порядком проведення робіт і засобами безпеки;
- закрити доступ до устаткування, що ремонтується. Встановити попереджувальні знаки та плакати;
- припинити ведення технологічного процесу;
- звільнити апарати, збірники та інші резервуари від рідин чи продуктів ви-

робництва, промити їх;

- провентилювати устаткування та приміщення;
- перевірити кріплення фундаментних болтів, стан ізоляції електричної мережі та заземлення, наявність та справність огорожень, пускових, гальмівних, блокуючих пристроїв, запобіжних і контрольно-вимірювальних приладів;
- впевнитись у відсутності в середині устаткування людей і сторонніх предметів.

Працівники ремонтних бригад забезпечуються справними інструментами і пристроями. Працююче устаткування з рухомими частинами перед оглядом, ремонтом і очищенням знеструмлюють та знімають запобіжники. Забороняється доступ сторонніх осіб в зону ремонту. Під час ремонтних робіт, пов'язаних з монтажем, демонтажем устаткування та трубопроводів, а також заміною елементів устаткування, дотримуються послідовності операцій, передбаченої проектом виробництва робіт або технологічною картою. Під час ремонтних робіт на ділянках з температурою повітря понад 35 °С передбачаються пересувні повітряні вентиляційні установки.

Під час проведення ремонтних робіт у вибухонебезпечних приміщеннях забороняється кидати на підлогу металеві предмети і матеріали, які можуть викликати появу іскор. Використовувати спеціальний інструмент.

Не допускається усунення дефектів під час роботи машин і механізмів.

Забороняється ремонтувати включене устаткування.

Вимоги безпечної експлуатації сушильних установок для зерна

Сушильно-охолоджувальні установки укомплектовуються автоматичними регуляторами температури повітря і розрідження. Всі джерела утворення пилу в сушильних установках закриті і обладнані аспірацією.

Сушильні барабани герметично закриті і працюють під розрідженням. Повітря перед викидом у атмосферу знепилується.

З'єднувальні муфти, шківни, ланцюгові передачі, а також приводні зубчасті колеса і катки сушильних барабанів мають суцільне огороження.

Всі місця утворення пилу в приміщенні сушки цукру (пересипання цукру з

барабанів, елеваторів на стрічку конвеєра) укриті та обладнані місцевою витяжкою. Розсіювальні пристрої обладнують герметичними кожухами, які підключені до системи аспірації.

Рухома роликів опора вібраційного конвеєра огорожена.

Турнікети мають бути закриті. Конструкція вивантажувального лотка включає можливість вільного доступу до обертового барабана турнікету.

Сушильно-охолоджувальне обладнання має пристрої для відведення статичної електрики. Електропровід і пускові пристрої виготовлені з вибухобезпечних матеріалів.

У сушильному відділенні не повинно бути механічних і електричних джерел іскроутворення.

Бункери для цукру мають бути постійно закриті. Користуватися у сушильному відділенні відкритим вогнем, а також палити забороняється; для цього на видному місці розміщені попереджувальні знаки і написи.

Прибирання сушильного відділення від пилу проводиться із застосуванням засобів механізації відповідно до графіку.

6.1.2 Електробезпека

Досліджуване приміщення електрифіковано згідно з усіма відповідними нормами. Зокрема, в приміщенні використовується чотири провідна трифазна електромережа з заземленим нульовим проводом. Величина напруги цієї мережі становить 380 х 220В (фазна напруга (фаза – «0») – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов з небезпеки електротравматизму – без підвищеної небезпеки, оскільки відсутні чинники підвищеної небезпеки.

Для запобігання електротравмам у приміщенні здійснюються:

1) технічні рішення із запобігання електротравм від контакту з нормально струмоведучими елементами електроустаткування – ізоляція нормально струмоведучих елементів електроустаткування відповідно з вимогами нормативів;

2) технічні рішення щодо запобігання електротравмам при переході напруги на нормально неструмовідні елементи електроустаткування – захисне заземлення із використанням природних заземлювачів.

Для нейтралізації зарядів статичної електрики в приміщенні, де виконується робота на комп'ютерах, в тому числі на лазерних та світлодіодних принтерах, рекомендується збільшувати вологість повітря за допомогою кімнатних зволожувачів. Не рекомендується носити одяг з синтетичних матеріалів.

Згідно із ГОСТ 12.1.030-81, в якості захисту від ураження людей електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огороженням струмоведучих частин, використанням малих напруг. Особи, що обслуговують електроустановки повинні користуватися ЗІЗ - спецвзуття, рукавиці. Засоби захисту необхідно періодично випробувати, їх слід захищати від механічних пошкоджень, впливу факторів, що погіршують їх діелектричні властивості.

Загальні вимога безпеки до виробничого обладнання встановлені згідно з ГОСТ 12.2.003-74, в якому визначені вимоги до основних елементів конструкції, органів управління і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання любого виду і призначення.

Електропривід насосів, вентиляторів, іншого обладнання повинний бути виконаний відповідно до Правил устрою електричних установок.

В установках напругою до 1 кВ огороження роблять суцільними. Безпечні відстані між огороженнями і не ізолюваними струмоведучими частинами регламентується ПУЕ і в установках до 1 кВ із суцільними огороженнями - 5см. Висота розміщення не огорожених струмоведучих частин залежить від значення напруги і рівня підготовки людей, що працюють з електроустаткуванням. Струмоведучі частини напругою до 1 кВ у місцях, де працюють люди, висота розміщення повинна бути не менше 3,5 м. Постійний контроль за ізоляцією, тому що протягом часу відбувається старіння ізоляції, що може привести до пробую і створити небезпеку при дотику людини до ізолюваних проводів. Ви-

користовують наступні кольори для маркування ізоляції: чорна - для силових ланцюгів; червона - для ланцюгів керування.

Обов'язкова установка захисного заземлення і занулення та захисного відключення. При роботі з електроустановками використовуються основні і додаткові електрозахисні засоби. До основних відносяться: ізолюючі штанги; ізолюючі і струмовимірювальні кліщі; слюсарно-монтажні інструменти з ізолюючим руків'ям. До додаткових відносяться: діелектричні рукавички; переносне заземлення; огорожуючі пристосування; плакати та знаки безпеки.

На ключах керування і приводах роз'єднувачів віддільників і вимикачах навантаження, а також на підставках запобіжників, за допомогою яких може бути подана напруга до місця робіт, вивішують плакат: "Не включати - працюють люди". На вентилях, що закривають доступ повітря в пневматичні приводи таких апаратів, вивішується плакат: "Не відкривати - працюють люди".

Передбачена проектом апаратура повинна експлуатуватися у відповідності з паспортними значеннями номінального струму та напруги. В процесі експлуатації слід постійно контролювати стан контактних сполучень та ізоляції апаратури, відсутність слідів дуги та оплавлення ошиновування, опір ізоляції силових та освітлювальних мереж, правильність підключення. На всіх підготовлених місцях роботи після накладається заземлення вивішується плакат "Працювати тут".

6.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

6.2.1 Мікроклімат

Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікр оклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99 [16].

Мікроклімат цеху характеризується наступними чинниками: температурою повітря, відносною вологістю повітря, швидкістю руху повітря, інтенсивністю теплового випромінювання.

Робота оператора верстата відноситься до категорії Іб по важкості праці.

Енерговитрати за цією категорією становлять - до 140-174Вт.

Допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень приведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1– Допустимі норми параметрів повітря

Період року	Категорія робіт	Температура, °С		Відносна вологість	Швидкість руху, X
		Верхня межа	Нижня межа		
		20-24	17-25	75	не більше 0,2
Холодний	Іб	20-24	17-25	75	не більше 0,2
Теплий		21-28	19-30	55 при 27 °С	0,1-0,3

6.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³.

При сушінні зерна виділяється пил нетоксичний. При роботі системи вентиляції, провітрюванні у приміщенні може попадати пил та інші шкідливі речовини, які виділяються при технологічних процесах в цеху і знаходяться повітрі навколишнього середовища. Їх ГДК відповідно до [18] наведено в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Гранично опустимі концентрації шкідливих речовин для повітря атмосфери, в робочій зоні верстатника

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони відповідно до ГОСТу 12.1.004-91. ССБТ проектом передбачені наступні рішення [15]:

- застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами, які встановленні безпосередньо на дільницях біля обладнання із яких очищене повітря поступає у виробниче приміщення;

- необхідно проводити контроль за ГДК шкідливих речовин у приміщенні;
- застосовувати природну вентиляцію: організовану і неорганізовану.

6.2.3 Виробниче освітлення

Вплив світла на життєдіяльність людини вивчений досить добре. Воно впливає не лише на функцію зору, а й на діяльність організму в цілому: посилюється обмін речовин, збільшується поглинання кисню і виділення вуглекислого газу. Відомий сприятливий вплив природного освітлення на скелетну мускулатуру. Недостатня або надмірна освітленість, нерівномірність освітлення в полі зору втомлює очі, призводить до зниження продуктивності праці; при цьому зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків.

Раціональне освітлення – один з основних факторів створення сприятливих робочих умов праці. Недостатнє освітлення викликає передчасне стомлення працюючих, знижує продуктивність праці, може стати причиною нещасного випадку.

У приміщенні використовується штучне та природне освітлення.

Система штучного освітлення – комбінована, оскільки поряд із загальним освітленням (тип джерела освітлення – лампи світлодіодні) використовуються індивідуальні джерела світла (настільні світильники з лампами світлодіодними).

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО при природному та суміщеному освітленні (відповідно до ДБН В.2.5-28-2018, характеристика зорової роботи – дуже високої точності, розряд зорової роботи – II, підрозряд – в) зазначені у таблиці 6.2.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

Допустимі рівні виробничого освітлення наведені в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3. – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,15 до 0,3 включно	II	в	малий середній великий	світлий середній темний	1500	200	-	4,2

Для загального освітлення приміщень рекомендується використовувати головним чином, світлодіодні лампи, що обумовлюється наступними перевагами: високою світловою віддачею (до 75 лм/Вт і більше); довгим часом використання (до 10000 годин); малою яскравістю поверхні, що світиться; спектральним складом випромінюючого світла (для деяких видів ламп цей склад є близьким до природного світла, що забезпечує гарну передачу кольорів). Разом з тим необхідно врахувати і недоліки цих ламп: висока пульсація світлого потоку та пов'язана з цим можливість стробоскопічного ефекту; для запалювання та горіння лампи необхідно включення послідовно з ним пускорегулюючих апаратів; працездатність ламп залежить від температури оточуючого середовища, до кінця часу роботи світловий потік зменшується більш ніж на половину від номінального.

Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості.

6.2.4 Виробничий шум

На хлібокомбінаті джерелом шуму є обладнання, машини, механізми та верстати – механічний шум.

Шум – це хаотична сукупність різних за силою і частотою звуків, що зава-

жають сприйняттю корисних сигналів і негативно впливають на людину.

Постійна дія сильного шуму може не лише негативно вплинути на слух, але й викликати інші шкідливі наслідки - дзвін у вухах, запаморочення, головний біль, підвищення втоми, зниження працездатності.

Шум має кумулятивний ефект, тобто акустичні подразнення, накопичуючись в організмі людини, все сильніше пригнічують нервову систему. Тому перед втратою слуху від впливу шумів виникає функціональний розлад центральної нервової системи. Особливо шкідливий вплив шуму позначається на нерво-психічній діяльності людини. Процес нерво-психічних захворювань вищий серед осіб, що працюють у гомінких умовах, ніж у людей, що працюють у нормальних звукових умовах.

Відповідно до [11] рівень звуку вимірюється в децибелах

$$L = 10\lg(I/I_0) = 10\lg(p/p_0) = 10\lg(U/U_0), \quad (6.1)$$

де L - рівень шуму, дБ;

p - звуковий тиск, Па;

U_0 - коливальна швидкість, 5-10 м/с;

P_0 - нульове значення звукового тиску, умовно прийняте рівним $2 \cdot 10^5$ Па.

При санітарно-гігієнічному нормуванні шуму використовують два методи:

- нормування за гранично допустимим спектром шуму;
- нормування рівня звуку за шкалою А шумоміра.

За характером спектру шум - широкосмуговий з безперервний спектром шириною більше октави; за тональною характеристикою постійний; за походженням - гідродинамічний.

Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приймаються за вимогами СН 32.23-85 і наведені в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Допустимі рівні звукового тиску

Робоче місце	Рівні звукового тиску в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц									Рівні звукового тиску, ДБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Для зменшення рівня шуму до допустимого в цеху двигуни виконуються в металевому кожусі, а також виконують змащення, застосовують пластмасові деталі, використовують протишумні навушники, які закривають вушну раковину.

6.2.5 Виробничі вібрації

Вібрацією називають механічні коливання пружних тіл або систем, коли відбувається переміщення центра їх ваги в просторі відносно статичного стану. Загальна вібрація передається на тіло через опорні поверхні людини, що стоїть чи сидить (підшви ніг або сідниці).

Допустимі рівні виробничої вібрації на постійних місцях наведені в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних 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	$\frac{1,3}{108}$	$\frac{0,45}{99}$	$\frac{0,22}{93}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	-	-	-	-

В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, м/с 10^{-2} , знаменнику - логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Основними методами колективного віброзахисту є зниження вібрації шляхом дії на джерело виникнення: відстрочка від режиму резонанс; динамічне гасіння коливань, заміна конструктивних елементів уставок і будівельних конструкцій. Засоби індивідуального захисту діляться на засоби для ніг, рук та тіла працюючого.

6.2.6 Психофізіологічні фактори

а) класи умов праці за показниками важкості праці Па:

Загальні енергозатрати організму (кг/м):

Зовнішнє фізичне динамічне навантаження, виражене в одиницях механічної роботи за зміну, кг/(Вт);

При регіональному навантаженні(для чоловіків) - 12 000(40);

При загальному навантаженні (за участю м'язів рук, тулуба, ніг) – 40 000(80);

Маса вантажу. Що постійно підіймається – до 25.

Стереотипні робочі рухи:

При локальному навантаженні (участь м'язів кистей та пальців рук)- до 60 000;

При регіональному навантаженні(участь рук та плечового суглоба) – до 30 000;

Статичне навантаження (кг/с):

Двома руками (чоловіки) – до 70 000;

За участю м'язів тулуба та ніг – до 200 000.

Робоча поза:

Періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) до 25% часу зміни

Нахил тулуба:

Вимушені нахили протягом зміни – 150 разів;

Переміщення у просторі(переходи задля технологічного процесу) – більше
12.

б) класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження:

Зміст роботи - рішення складних завдань з вибором за алгоритмом;

Сприймання інформації та їх оцінка - сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій;

Розподіл функцій за ступенем складності завдання - обробка, контроль, перевірка завдання.

Сенсорні навантаження:

Зосередження (%за зміну) - до 50;

Щільність сигналів (звукові за 1 год) - до 150;

Навантаження на слуховий аналізатор (%) – розбірливість слів та сигналів від 50 до 80;

Навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 20 до 25.

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності - є відповідальним за функціональну якість основної роботи; Ступінь ризику для власного життя – вірогідний;

Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – є відповідальним за безпеку інших.

Режим праці:

Тривалість робочого дня - більше 8 год;

Змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

ВИСНОВКИ

Модернізація зерносушарки М-819 може проводитись за такими напрямками:

- збільшення зони сушіння зерна за рахунок використання охолоджувача;
- встановлення сучасних систем автоматизації та контролю процесу сушіння зерна;
- використання системи рекуперації теплоносія;
- комбіноване використання разом із стандартним паливом місцевих видів палива залежно від умов сушіння зерна.

Запропонована математична модель повністю відтворює практично реалізовані і теоретично можливі режими сушіння, в тому числі:

Запропонована модель має достатню простоту, а також грубість і гнучкість. Вона з повною якісною і доброю кількісною точністю відтворює процес сушіння. Модель має слабку чутливість до варіації параметрів, тобто коректна. У неї широка область застосування, її можна використовувати на будь-які зерносушарки, котрі реалізують конвективний спосіб сушіння в щільному рухомому шарі, її коефіцієнти сталі і їх легко визначити а змінні стану можна виміряти з прийнятною для практичних цілей точністю.

Розробка математичної моделі дозволяє покращити і автоматичне управління процесом сушіння, підвищивши тим самим енергоефективність сушарки, але потребує розробки надійної схеми автоматики.

Визначено повну площу теплообміну ТА, яка склала 4271 м^2 . Втрати тиску по грійному теплоносію складають 24,14 Па, по нагріваному 25 Па.

Підібрано вентилятор ВЦ 4-76 для даного теплообмінника та визначено характеристики цього вентилятора: продуктивність вентилятора 80 тис. $\text{м}^3/\text{год}$; потужність електроприводу 55 кВт; частота обертання 1140 об/хв, повний напір 1275 Па.

Здійснено розрахунок повітропроводів і підібрано марку газоочисного обладнання – циклона БЦ-2-6х(4+2).

Розроблено технологію монтажу батарейного циклона БЦ-2-6х(4+2) в теплову схему зерносушарки М819.

Здійснено розрахунок повітропроводів, розроблено монтажну схему системи, план, та необхідні розрізи.

Визначено склад і об'єми робіт, потребу в машинах, механізмах та в матеріальних ресурсах. Вибрано допоміжне обладнання для монтажу системи.

Визначено трудомісткість виконання робіт.

На підставі розрахунків складено календарний план виконання робіт, а також графіки руху робітників, машин та механізмів.

Розроблена функціональна схема автоматизації зерносушарки М819, яка дозволила визначити склад необхідного обладнання для проведення автоматизації сушильного процесу. Підібрано технічні засоби для реалізації автоматизованої системи. Показані схеми автоматичного регулювання: рівня зерна в бункері над сушаркою, температури повітря на вході в робочу камеру сушарки, витрати повітря на сушіння, готовності продукту. Підібрано засоби автоматизації та регулюючі органи.

Розрахована економічна привабливість інноваційного проекту та термін окупності, який склав 1,02 років.

Розроблено заходи з охорони праці.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Лыков А. В. Теория сушки. – Москва: Энергия, 1968. – 472 с.
2. Сушилка М819. Паспорт и руководство по эксплуатации. URL : <http://vitimdon.sbcompany.me/filemanager/download/252/>. (дата звертання: 09.10.2021).
3. Проблеми сушки зерна. URL : <https://apmt.by/problema-sushki-zerna.html> . (дата звертання: 09.11.2021).
4. Співак О. Ю. Математичне моделювання процесу сушіння зернових в сушарках шахтного типу [Електронний ресурс] / О. Ю. Співак, В. В. Задорожний, В. І. Мазур // Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 27-28 квітня 2020 р. – Електрон. текст. дані. – 2020. – URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2020/paper/view/9246>. (дата звертання: 09.11.2021)
5. Співак О. Ю., Задорожний В. В., Антошків Д. О. Математична модель процесу конвективного сушіння керамічних виробів простої форми// Матеріали міжнародної науково-технічної конференції "Енергоефективність в галузях економіки України 2021" (Вінниця, 23-25.11.2021 р.)/ Він.нац.техн.ун-т. Вінниця: ВНТУ, 2021. URL : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2021/paper/viewFile/14029/11884> (дата звертання: 09.11.2021).
6. Технічні характеристики сушарки М819: URL: <http://sush.by/zernosuhilka-m-819/>. (дата звертання: 09.11.2021).
7. Васильев А. Н., Северинов О. В., Галов А. С. Задачи совершенствования управления процессом активного вентилирования зерна // Инновации в сельском хозяйстве: электронный журнал. 2014, – No1(6). URL: <http://ej.viesh.ru/wp-content/uploads/2014/04/insel6.pdf>. (дата звертання: 12.11.2021).
8. Голубкович А. В., Павлов С. А. Оптимизация сушки зерна при осциллирующем режиме // Тракторы и сельхозмашины. 2014, – No 1. – С. 10-13.
9. Дубовский А. К. Сушилки и установки активного вентилирования Методич. указ. – Минск, : БГСХА, 2008. – 36 с.

10. Журавлёв А.П. Зерносушение и зерносушилки. Монография. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2014. – 293 с. – ISBN 978-5-88575-343-2.
11. Шевцов А. А., Дранников А. В., Куцов С. В. Зерносушение. Учебн. пособ. – Воронеж : ВГТА, 2011. – 80 с.
12. Баум А.Е., Резчиков В. А. Сушка зерна. Москва: Колос, 1983. – 223 с.
13. Подгородецкая Е. О., Новосад Н. И. К вопросу повышения энергоэффективности конвективной сушки URL : <http://hipzmag.com/tehnologii/k-voprosu-povysheniya-energoeffektivnosti-konvektivnoj-sushki/> (дата звертания:16.11.2021).
14. Механізація АПК. Сушарки для зерна. URL : <http://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/1072-susharky-dlia-zerna.html>. (дата звертання: 19.11.2021).
15. Лыков А. В. Тепло- и массообмен в капиллярно-пористых телах // Проблемы теплообмена. Сб. статей. / Под ред. Т. Ф. Ирвина, Дж. П. Харнетта. Пер. с англ. под ред. П. Л. Кириллова. — Москва: Атомиздат, 1967. — С. 97-141.
16. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. Москва: Пищевая промышленность, 1973. – 527 с.
17. Филоненко Г. К., Лебедев П. Д. Сушильные установки. – Москва: Госэнергоиздат. – 1952. – 210 с.
18. Федоров И. М. Теория расчета процесса сушки. – Москва: Госэнергоиздат. – 1955. 320 с.
19. Воронцов И. И. Сушка в химических производствах. – Москва – Ленинград: ГХИ. – 1951. 180 с.
20. Кувшинский М. Н., Соболева А. П., Курсовое проектирование по предмету “Процессы и аппараты химической промышленности. – Москва: Высшая школа. – 1968. – 262 с.
21. Машины и аппараты химических производств. Основы теории и расчёта. Под редакцией И. И. Чернобыльского. – Москва – Киев, : Машиностроение. – 1961.- 487 с.

22. Рециркуляционная сушилка : а.с. У 1021902 СРСР : кл. F 26 В 17/12; № 3800266/24-06; заявл 11.10.84; опубл. 07.02.86. бюл. 234. 4 с.
23. Сушарка зерна шахтна : пат. 33702 Україна: МПК: E04H 7/00, F26B 17/00; № 20001472; заявл. 12.05.2000; опубл. 15.02.2001, бюл. №4. 3 с.
24. Сушарка зерна : пат. 70960 Україна: МПК: F26B 17/12; № 20120038; заявл. 14.01.2012; опубл. 25.06.2012, Бюл. № 25. 4 с.
25. Сушарка для зерна : пат. 59572 Україна: МПК: B02B 5/00, F26B 3/14; № 20021562; заявл. 13.08.2002 ; опубл. 15.09.2003, Бюл №9. 5 с.
26. Рециркуляційна сушарка : пат. 9152 Україна: МПК B02B 5/00 ; № 19962349; заявл. 12.06.94; опубл. 30.09.1996, Бюл 28, 4 с.
27. Ривкин С. Л., Александров А. А. Теплофизические свойства воды и водяного пара: Справочник [Текст] . –Москва,: Энергия, 1980. – 428 с.
28. Бакластов А. М., Бродянский В. М., Голубев Б. П. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справ очник [Текст] / Под общ. ред. В. А. Григорьева и В. М. Зорина. – Москва,: Энергоатомиздат, 1983. – 552с.
29. Костерев Ф. М., Кушнырев В. И. Теоретические основы теплотехники: Учебник для энергетических и энергостроительных техникумов [Текст] / Москва,: Энергия, 1978. – 360с.
30. Алабовський О. М. Проектування котелень промислових підприємств. – Київ : Вища школа, 1992. – 270с.
31. Либерман Н. Б. Справочник по проектированию котельных установок систем централизованного теплоснабжения (общие вопросы проектирования и основное оборудование). – Москва, : Энергия, 1979. – 224 с.
32. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети. – Москва, : Энергоиздат, 1982.– 360с., ил.
33. Чернобыльский И. И., Тананайко Ю. М. Сушильные установки химической промышленности. – Киев: Техника. – 1969. – 273 с.
34. Смольский Б. М. Внешний тепло- и массообмен в процессе конвективной сушки. – Москва: БПИ. – 1957. – 205 с.

35. Співак О. Ю., Медведчук О. В. Використання повітря як сушильного агента. //Збірка тез доповідей учасників XXXII науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів ВНТУ, м. Вінниця – 2003. – С 56-57.
36. Федоров Н. Е. Аналитические расчёты сушильных установок. – Москва: Пищевая промышленность. – 1967. – 304 с.
37. Сполдинг Д. П. Конвективный массоперенос: (Пер. с англ.). – Москва: Энергия. – 1965. – 384 с.
38. Спосіб сушіння матеріалів і камера для здійснення способу: А.с.32043 Україна, МПК F 26 В 7/00. – №98126651; заявл.16.12.1998. опубл. 15.12.2000, Бюл.№7 – 3 с.
39. Фрумкин М. Л., Воскобойников В. А., Кац З. А. Технология производства быстровосстанавливаемых сушеных овощей. – Москва: ЦНИИТЭИпищепром. – 1977. – 107 с.
40. Чепурний М. М., Ткаченко С. Й. Основи технічної термодинаміки. – Вінниця: Поділля. – 2000, 2004. – 358с.
41. Ставников В. Н., Астапчук Н. В. Общая технология пищевых продуктов. – Москва: Пищевая промышленность. – 1980. – 356 с.
42. Ставников В. Н., Лисянский В. М., Попов В. Д. Процессы и аппараты пищевых производств. – Москва: Агропромиздат. – 1985. – 503 с.
43. Филоненко Г. К. Кинетика сушильного процесса. – Москва: Оборонгиз. – 1939. – 138 с.
44. Филоненко Г. К., Гришин М. А., Гольденберг Я. Н. Сушка пищевых растительных материалов. – Москва: Пищевая промышленность. – 1971. – 440 с.
45. Чудновский А. Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. – Москва: Госфизматиздат. – 1962. – 456 с.
46. Шервуд Т. К. Сушка твердых тел: (Пер. с англ.). – Москва: Гослесиздат. – 1975. – 347 с.

47. Манасян С. К. Имитационное моделирование процессов сушки зерна в зерносушилках сельскохозяйственного назначения // Вестник КрасГАУ, 2008, №6. – С. 150-157.
48. Голубкович А. В., Павлов С. А. Оптимизация сушки зерна при осциллирующем режиме // Тракторы и сельхозмашины. 2014, – № 1. – С. 10-13.
49. Васильев А. Н., Северинов О. В., Галов А. С. Задачи совершенствования управления процессом активного вентилирования зерна // Инновации в сельском хозяйстве: электронный журнал. 2014, – №1(6). URL: http://ej.viesh.ru/wp_content/uploads/2014/04/insel6, (дата звертання 23.11.2021).
50. Sysuev V. A., Saitov V. E., Savinyh P. A., Kazakov V. A., Saitov A.V. Improvement of machinery for grain production and feed // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2015, – № 2. URL: www.science-sd.com/461-24816 . (дата звертання 23.11.2021)
51. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сизов О.А. Перспективные пути применения энерго- и экологически эффективных машинных технологий и технических средств // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013, – № 4. – С. 811.
52. Шахта – сушильный универсал-долгожитель. URL : <https://propozitsiya.com/shahta-sushilniy-universal-dovgozhitel> (дата звернення 15.11.21).
53. Ставников В.М. Процеси і апарати харчових виробництв. – Київ: Урожай. – 1983. – 345.
54. Теплоиспользующие установки промышленных предприятий. // Под ред. Ильченко О.Т. – Москва: Высшая школа. – 1985. – 378 с.
55. Чепурний М. М., Співак О. Ю., Медведчук О. В. Сушка фруктів в конвективних сушарках.//Збірка тез доповідей учасників XXXIII науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів ВНТУ, м. Вінниця – 2004. – С.
56. Чубик И. А., Маслов А. М. Справочник по теплофизическим константам пищевых продуктов. – Москва: Пищевая промышленность. – 1965. – 248 с.

57. Орловский М. А., Кукушкина Т. И. Оборудование сушильных производств. – Москва: Пищевая промышленность. – 1973. – 237 с.
58. Петров И. К. Технологические измерения и приборы в пищевой промышленности. – Москва: Пищевая промышленность. – 1973. – 367 с.
59. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника. Справочник / Под ред. В. А. Григорьева и В. М. Зорина. – Москва: Энергоатомиздат. – 1991. – 584с.
60. Рамзин Л. К. Расчет сушилок и $I-d$ – диаграмма. – Москва: ВТИ. – 1930. – 48 с.
61. Ребиндер П. А., Лыков А. В. Физико-химические основы пищевых производств. – Москва: МТИПП. – 1946-1952. – 412 с.
62. Ребиндер П. А. Физико-химическая механика. – Москва: Пищевая промышленность. – 1958. – 128 с.
63. Ребиндер П. А. О формах связи влаги с материалами в процессе сушки. Всесоюзное техническое совещание по сушке. – Москва: Профиздат. – 1958. – 14 с.
64. Рогов И. А., Горбатов А. В. Физические методы обработки пищевых продуктов. – Москва: Пищевая промышленность. – 1974. – 583 с.
65. Филоненко Г. К., Лебедев П. Д. Сушильные установки. – Москва: Госэнергоиздат. – 1952. – 264 с.
66. Коваленко Л. М. Теплообменники с интенсификацией теплоотдачи. – Москва: Энергоатомиздат 1986. – 240 с.
67. Лондон А. Л., Кейс В. М. Компактные теплообменники. – Москва: Энергия, 1967. – 274 с.
68. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. – Москва: Энергия, 1977. – 344 с.
69. Допустимая скорость воздуха в воздуховоде циклона. URL : <https://xn----itbbja1ajgfcfvb9m.xn--p1ai/poter.html>. (дата звернения 16.11.21).
70. Параметры батарейного циклона URL : <https://www.kotel-kv.com/cyclone-bc-2-6-42.html>. (дата звернения 16.11.21).

71. Гічов Ю. О. Очищення газів. Частина 1. Дніпропетровськ, НМетАУ. 2015. 52 с.
72. Вентилятор ВР 80-75 (ВР 86-77) №12,5. URL : <https://yanvent.ru/ventilyator-vr-80-75-vr-86-77-125---220-kvt/> . (дата звернення 16.11.21).
73. Допустимая скорость воздуха в воздуховоде циклона. URL : <https://xn----itbbja1ajgfecfvb9m.xn--p1ai/poter.html>. (дата звернення 18.11.21).
74. Вентилятори радіальні пилові. URL : <https://www.vent.com.ua/promyshlennye-ventilyatory/pylevye-ventilyatory/pylevye-ventilyatory-vrp-5-45>. (дата звернення 20.11.21).
75. Значення функції нормального розподілу. URL : <https://studfile.net/preview/6272796/page:9/>. (дата звернення 20.11.21).
76. Жуковський С.С., Кінаш Р. І. Технологія заготівельних та спеціальних монтажних робіт : Львів, Видавництво науково-технічної літератури, 1999. – 448 с.
77. ДБН Д.2.4-15-2000. Збірник 15. Внутрішні сантехнічні роботи. [Чинний від 2000-10-01]. Вид. офіц. Київ, Держстандарт України, 2000. 106 с.
78. ДБН Д.2.2-26-99. Сборник 26. Теплоизоляционные работы. [Чинний від 2000-01-01]. Вид. офіц. Київ, Госстрой Украины, 2000. 51 с.
79. ДСТУ Б Д.2.2-20:2012. Сборник 20. Ресурсные элементные сметные нормы на строительные работы. Вентиляция и кондиционирование воздуха. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ, Госстрой Украины, 2014. 151 с.
80. Характеристики та вантажопідйомність автокранів : URL : <http://tbncom.com/html>. (дата звертання 19.11.21).
81. КАМАЗ 50501. Технические характеристики. URL : <https://proogorod.com/selhoztehnika/kamaz/kamaz-53501-tehnicheskie-harakteristiki>. (дата звертання 19.11.21).
82. Сварочные аппараты переменного тока. URL : <http://proizvodim.com/svarochnye-apparaty-peremennogo-toka.html>. (дата звертання 19.11.21).
83. Шлифмашина угловая Makita GA7020. URL : http://inprof.com.ua/tovar_Shlifmashina-uglovaya-Makita-GA7020/. (дата звертання 19.11.21).

84. Лебедка електрическа ЛЭЦ–2,0–50. URL : http://reduktorntc-k.com.ua/produkt/lebedki/lebedki_electro/LEC-20-50.shtm. (дата звертання 17.11.21).
85. Тележки гидравлические ручные специальные. URL : <http://rokla.com.ua/main.php?n1=4>. (дата звертання 17.11.21).
86. Вентилятори радіальні високого тиску ВВД. URL : https://simo.com.ua/obladnannya/ventilyatori-radialnie-visokogo-davleniya-vvd?gclid=Cj0KCQjwIMaGBhD3ARIsAPvWd6higYjdbQsWiiJMk7b2L996XcZR91yZrK7ICv2PzdBptWkar5SBVsaAsCEEALw_wcB (дата звертання 20.11.21).
87. ДБН Д.2.2-9-99 Металлические конструкции : Київ, Госстрой Украины, 2000. 77 с.
88. Інструкція з охорони праці під час виконання монтажних робіт URL : <http://zakon.rada.gov.ua/html> . (дата звертання 22.11.21).
89. Технічні характеристики сушарки М819: веб-сайт. URL: <http://sush.by/zernosuhilka-m-819/>. (дата звертання: 02.12.2021).
90. Ресурсосберегающие технологии возделывания сельскохозяйственных культур (Практическое руководство) . – М.: ФГНУ, 2001. – 96 с.
91. Оцінка якості зерна: веб-сайт. URL: <https://superagronom.com/slovnik-agronoma/ocinka-yakosti-zerna>. (дата звертання: 05.12.2021).
92. Пушкар М. С., Проценко С. М. Проектування систем автоматизації: навч. посібник. Дніпропетровськ : НГУ. – 2013. – 268 с.
93. Методичні вказівки до виконання розділу з охорони праці в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього ступеня магістра за спеціальностями 153, 163, 171 і 172 / Уклад.: С. В. Дембіцька, І. М. Кобилянська, О. В. Кобилянський. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 51 с.
94. Кобилянський О. В., Кобилянська І. М., Яблочников С. Л. Основи охорони праці. – Вінниця: Планер, 2007. – 171 с.
95. Кобилянський О. В. Охорона праці при експлуатації електроустановок. – Вінниця: ВДТУ, 2003. – 125 с.
96. Кобилянський О. В. Охорона праці у галузі. – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 139 с.

97. Кобилянський О. В. Основи охорони праці. Ч. 1. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 183 с.
98. Кобилянський О. В. Основи охорони праці. Ч. 2. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 171 с.
99. ДСН «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014 [Електронний ресурс]. – URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14>. (дата звернення 08.12.21).
100. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – [Електронний ресурс] – URL : <http://vsegost.com/Catalog/41/41131.shtml> (дата звернення 08.12.21).
101. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. – [Електронний ресурс] – URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf (дата звернення 08.12.21).
102. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. – [Електронний ресурс] – URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/docpage.html?id_doc=79885 (дата звернення 08.12.21).
103. ДБН В.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд. – Київ : Мінбуд України, 2006. – 154 с.
104. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування – Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. –149 с.
105. ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва [Електронний ресурс]. –URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-294> (дата звернення 08.12.21).
106. ДБН Б.2.2-12:2018 Планування і забудова територій [Електронний ресурс]. – URL : http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=76667 (дата звернення 08.12.21).
107. ДБН В.2.1-10:2018 Основи і фундаменти будівель та споруд [Електронний ресурс]. – URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_1_10/1-1-0-1828 (дата звернення 08.12.21).

108. ДБН А.3.2-2-2009. Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення [Електронний ресурс]. – URL: https://www.minregion.gov.ua/wpcontent/uploads/2016/04/32_2_2009.pdf (дата звернення 08.12.21).
109. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. – [Електронний ресурс] – URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html> (дата звернення 08.12.21).
110. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – [Електронний ресурс] – URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972> (дата звернення 08.12.21).
111. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. [Електронний ресурс]. – URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>. (дата звернення 08.12.21).
112. ДСН 3.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів [Електронний ресурс]. – URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03>. (дата звернення 08.12.21).
113. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Терміни та визначення [Електронний ресурс]. – URL : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text> (дата звернення 08.12.21).
114. ДСТУ ОHSAS18002:2015. Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання. – Київ : ГП «УкрНИУЦ», 2016. – 21 с.
115. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек [Електронний ресурс]. – URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759 (дата звернення 08.12.21).
116. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 109 с.

117. Кодекс цивільного захисту України. Київ : ВР України, 2012 [Електронний ресурс]. – URL : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>. (дата звернення 08.12.21).
118. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности [Электронный ресурс]. – URL : <https://docs.cntd.ru/document/901702428>. (дата звернення 08.12.21).
119. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности [Электронный ресурс]. – URL : <https://docs.cntd.ru/document/5200291> (дата звернення 08.12.21).

ДОДАТКИ

Додаток А
(обов'язковий)

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри ТЕ

_____ доц. Д.В. Степанов

підпис

“ ____ ” _____ 2021р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

до магістерської кваліфікаційної роботи
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ
ОДНОШАХТНОЇ ЗЕРНОСУШАРКИ М819

за спеціальністю 144 – теплоенергетика
08-11.МКР.005.00.00.000 ТЗ

Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи
_____ к.т.н. Співак О. Ю.

“ ____ ” _____ 2021 р.

Розробив студент гр.ТЕ–20м
_____ Задорожний В.В.

“ ____ ” _____ 2021 р.

1 Найменування та область застосування розробки

Розробка та модернізація шахтної конвективної сушарки для сушіння зернових культур. Розробка стосується процесу сушіння сировини (зернові), з подальшим використанням в різних галузях.

2 Основа для проведення розробки

Наказ ректора ВНТУ №277 від 24.09.2021 р.

Основою для розробки є дані літературних та патентних джерел і розробки співробітників та викладачів кафедри теплоенергетики. Також для виконання роботи проводиться патентний пошук та використовується нормативна документація. Тематичний план науково-дослідних робіт кафедри теплоенергетики, протокол №12 від 25.01.2021 р.

3 Джерела розробки

Основним джерелом розробки є параметри теплоносія в шахті сушарки, а також нормативні дані по необхідних параметрах, наведених в інших теплоенергетичних джерелах:

- 3.1 Ткаченко С. Й. Сушильні процеси та установки / С. Й. Ткаченко, О. Ю. Співак. – Вінниця : ВНТУ. 2008.-98 с.
- 3.2 Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки. Приклади та задачі / О. Ю. Співак. – 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. – №71120А, 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

4.1 Основні технічні показники

Початкові дані до розрахунку зерносушарки M819:

- а) зовнішнє повітря з параметрами: $t_0=15^{\circ}\text{C}$; $\varphi_0=70\%$;
- б) повітря, яке поступає в I ступінь (зону): $t=120^{\circ}\text{C}$;
- в) повітря, яке поступає в II ступінь (зону): $t=150^{\circ}\text{C}$;
- г) повітря, яке поступає в охолоджуючу камеру: $t=10^{\circ}\text{C}$;
- д) теплоносій, який виходить з I зони: $\varphi=70\%$;
- е) теплоносій, який виходить з II зони: $\varphi=65\%$;
- є) повітря, яке виходить з охолоджуючої камери: $t=30^{\circ}\text{C}$,
- ж) матеріал насіння.

Параметри теплоносія:

- 1) при вході в сушарку: $W=28\%$; $t=15^{\circ}\text{C}$;
- 2) при виході з I зони: $W=20\%$; $t=30^{\circ}\text{C}$;
- 3) при виході з II зони: $W=15\%$; $t=50^{\circ}\text{C}$;
- 4) при виході з охолоджуючої камери: $W=14\%$; $t=10^{\circ}\text{C}$.

Визначення температури та вологості повітря на всіх етапах проведення експериментальних досліджень, витрати повітря для основного технологічного процесу. Побудова математичної моделі. Схематичне зображення сушарки на плакатах, графіки залежностей значень поточних абсолютних вологостей, залежність зміни інтенсивності сушіння, залежність відносної швидкості сушіння. Дотримання стандартів щодо виготовлення готової продукції та її якості.

5 Економічні показники

На сьогоднішній день більша частина готової сушеної продукції має низьку якість, саме тому потрібно інтенсифікувати і оптимізувати процеси сушіння продукції.

В даному проекті проводиться: дослідження кінетики сушіння зернових культур у шахтній сушарці; побудова математичної моделі і відносної швидкості сушіння; розробка сушильного комплексу.

Буде проведений багатоваріантний аналіз використання альтернативних видів палива.

6 Заходи з енергозбереження

Автоматичне регулювання основних параметрів роботи сушарки М819.

Використання сучасного обладнання, що дозволяє значно зменшити теплові втрати.

7 Вимоги до стандартизації та уніфікації

Дипломний проект виконується згідно ДСТУ та нормативної документації, яка діє в Україні. Креслення основного обладнання виконується на листах формату А3. Деталі обладнання можливості виконуються стандартними та уніфікованими, щоб забезпечити можливість швидкого монтажу та можливість їх ремонту чи заміни.

8 Вимоги з надійності

На ефективність роботи впливає розрахунок та монтаж проекту. Усі розрахунки проводяться згідно державних стандартів. Процес монтажу та експлуатації повинен проводитися згідно стандартів з охорони праці.

9 Стадії і етапи розробки

9.1 Аналіз сучасного стану конвективної сушильної техніки та її енергоефективності.

9.2 Результати аналітичних і експериментальних досліджень. математичне моделювання.

9.3 Аналітичне дослідження ефективності теоретичних конвективних сушарок.

9.4 Експериментальні результати та їх обробка

9.5 Технологічний розділ

9.5.1 Модернізація схеми автоматики сушарки “Садочок-1”

9.5.2 Технологія монтажу системи відведення відпрацьованого повітря

9.5.3 Економічне обґрунтування проекту

9.5.4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

10 Порядок контролю та прийняття дипломної роботи

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

Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.

Коректування технічного завдання допускається з дозволу керівника роботи.

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

Розробив студент групи ТЕ-20м Задорожний В.В.

Додаток Б
(обов'язковий)

Математична модель роботи шахтної сушарки M819

Математична модель зерносушарки M819

Початкові дані

Склад
палива

C=1; H=2; S=3; O=4; N=5; W=6

ORIGIN := 1

Гас := 1

Мазут := 2

Вугілля := 3

Лушпиння := 4

Пелети := 5

Температура сушильного агента

t := 110 °C

t0 := 10

φ := 0.75

$$S1 := \begin{pmatrix} 86 & 13.7 & 0.2 & 0.05 & 0.05 & 0 & 0 \\ 84 & 10.1 & 0.9 & 1.1 & 0.8 & 3 & 0.05 \\ 74 & 4.4 & 2 & 5.1 & 2.7 & 8 & 4.8 \\ 50 & 6.1 & 0.1 & 36.1 & 0.1 & 7 & 0.6 \\ 42.5 & 4.9 & 0.2 & 34.6 & 0.4 & 15 & 2.4 \end{pmatrix}$$

$$\underline{C} := S1^{(1)}$$

$$\underline{H} := S1^{(2)}$$

$$\underline{S} := S1^{(3)}$$

$$\underline{O} := S1^{(4)}$$

$$\underline{N} := S1^{(5)}$$

$$\underline{W} := S1^{(6)}$$

$$\underline{A} := S1^{(7)}$$

$$v := \begin{pmatrix} \text{Гас} \\ \text{Мазут} \\ \text{Вугілля} \\ \text{Лушпиння} \\ \text{Пелети} \end{pmatrix}$$

Робота топки

Вища теплота згоряння
палива

Нижча теплота згоряння
палива

$$Q_b := 0.339 \cdot C + 1.25H - 0.109(O - S)$$

$$Q_n := Q_b - 2.5 \cdot \left(\frac{9H + W}{100} \right)$$

$$Q_n =$$

	1
1	43.21
2	38.73
3	29.06
4	19.1
5	15.31

$$Q_b =$$

	1
1	46.3
2	41.08
3	30.25
4	20.65
5	16.78

Теоретична кількість повітря для спалювання 1 кг палива

$$L_0 := 0.115C + 0.345H - 0.043(O - S)$$

$$L_0 =$$

	1
1	14.62
2	13.14
3	9.89
4	6.31
5	5.1

Процес в теоретичній сушарці

Ентальпія водяної пари в сушильному агенті

$$h_m := 2500 + 1.84t = 2702.4$$

Параметри свіжого повітря та відхідних газів

$$\eta := 0.9 \quad C_T := 2.2 \quad C_{ca} := 1.006$$

— тиск насичення

$$P_n := e^{[(1500.3 + 23.5 \cdot t_0) / (234 + t_0)]}$$

$$P_n = 1.226 \times 10^3$$

— парціальний тиск

$$P_p := \varphi \cdot P_n$$

$$P_p = 919.843$$

— вологовміст свіжого повітря, $\frac{\text{кг}}{\text{кг}}$

$$d_0 := 622 \cdot \frac{P_p}{101325 - P_p} \quad d_0 = 5.7$$

— теплота пароутворення, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$

$$r := -2.362 \cdot t_0 + 2501 = 2.477 \times 10^3$$

— ентальпія свіжого повітря, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$

$$h_0 := C_{ca} \cdot t_0 + (r + C_{ca} \cdot t_0) \cdot \frac{d_0}{1000} = 24.2$$

Коефіцієнт надлишку повітря

$$\alpha := \frac{Q_b \cdot \eta \cdot 1000 + C_T \cdot t_0 - \left(\frac{9H + W}{100} \right) h_m - \left(1 - \frac{9H + W + A}{100} \right) \cdot C_{ca} \cdot t}{L_0 \cdot \left(\frac{d_0 \cdot h_m}{1000} - h_0 + C_{ca} \cdot t \right)} = \begin{pmatrix} 25.777 \\ 25.755 \\ 25.713 \\ 26.308 \\ 25.977 \end{pmatrix}$$

Вологовміст сушильного агента на вході в робочу камеру сушарки

$$d_1 := 2.14 + \frac{10(9H + W) + \alpha \cdot L_0 \cdot d_0}{\alpha \cdot L_0 + \left(1 - \frac{9H + W + A}{100} \right)} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 1 \\ \hline 1 & 8.81 \\ \hline 2 & 8.58 \\ \hline 3 & 8.21 \\ \hline 4 & 8.32 \\ \hline 5 & 8.3 \\ \hline \end{array}$$

Ентальпія сушильного агента на вході в робочу камеру сушарки

$$r_1 := -2.362 \cdot t + 2501 = 2.241 \times 10^3$$

$$h_1 := C_{ca} \cdot t + 7 + (r_1 + C_{ca} \cdot t) \cdot \frac{d_1}{1000} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 1 \\ \hline 1 & 138.4 \\ \hline 2 & 137.8 \\ \hline 3 & 137 \\ \hline 4 & 137.2 \\ \hline 5 & 137.2 \\ \hline \end{array} \quad h_1 := h_1^T$$

$$h_1 := h_1^{(1)}$$

– тиск насичення

$$P_n := e^{[(1500.3 + 23.5 \cdot t) - (234 + t)]}$$

$$P_n = 1.438 \times 10^5$$

– парціальний тиск

$$P_p := 0.0338 \cdot P_n$$

$$P_p = 4.859 \times 10^3$$

– вологовміст відпрацьованого теплоносія, $\frac{\text{кг}}{\text{кг}}$

$$d_2 := 622 \cdot \frac{P_p}{101325 - P_p} = 31$$

Питома витрата повітря, кг/кг

$$\Omega := \frac{1000}{d_2 - d_1} =$$

	1
1	44.409
2	43.954
3	43.256
4	43.468
5	43.427

Кількість випарованої вологи, кг/с

$$M := 0.434$$

Витрата повітря, кг/с

$$L1 := \Omega \cdot M =$$

	1
1	19.274
2	19.076
3	18.773
4	18.865
5	18.847

Теплова потужність, витрачена на сушіння

$$Q1 := L1 \cdot (h_1 - h_0) =$$

	1
1	2200.1
2	2177.5
3	2142.9
4	2153.5
5	2151.4

Корисна теплота

$$Q_k := M \cdot r = 1075.2$$

ККД сушарки

$$\eta_s := \frac{Q_k}{Q_1} \cdot 100 =$$

	1
1	48.9
2	49.4
3	50.2
4	49.9
5	50

Витрата палива,
кг/год

$$B := \frac{Q_1 \cdot 3600}{Q_n \cdot 1000} =$$

	1
1	183.285
2	202.393
3	265.487
4	405.816
5	506.035

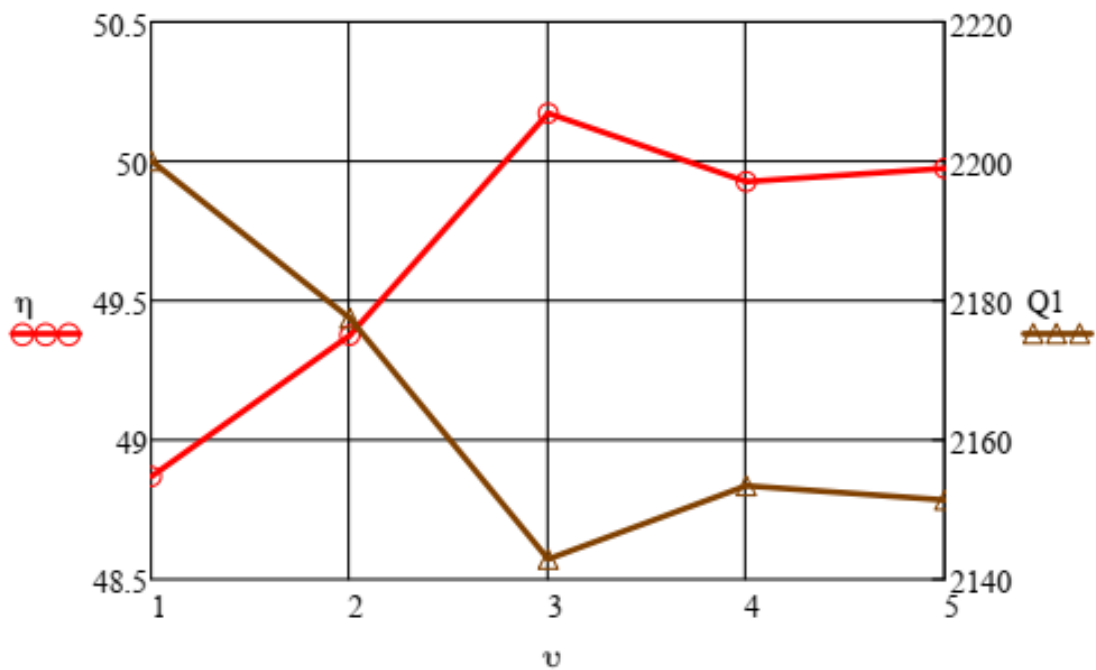
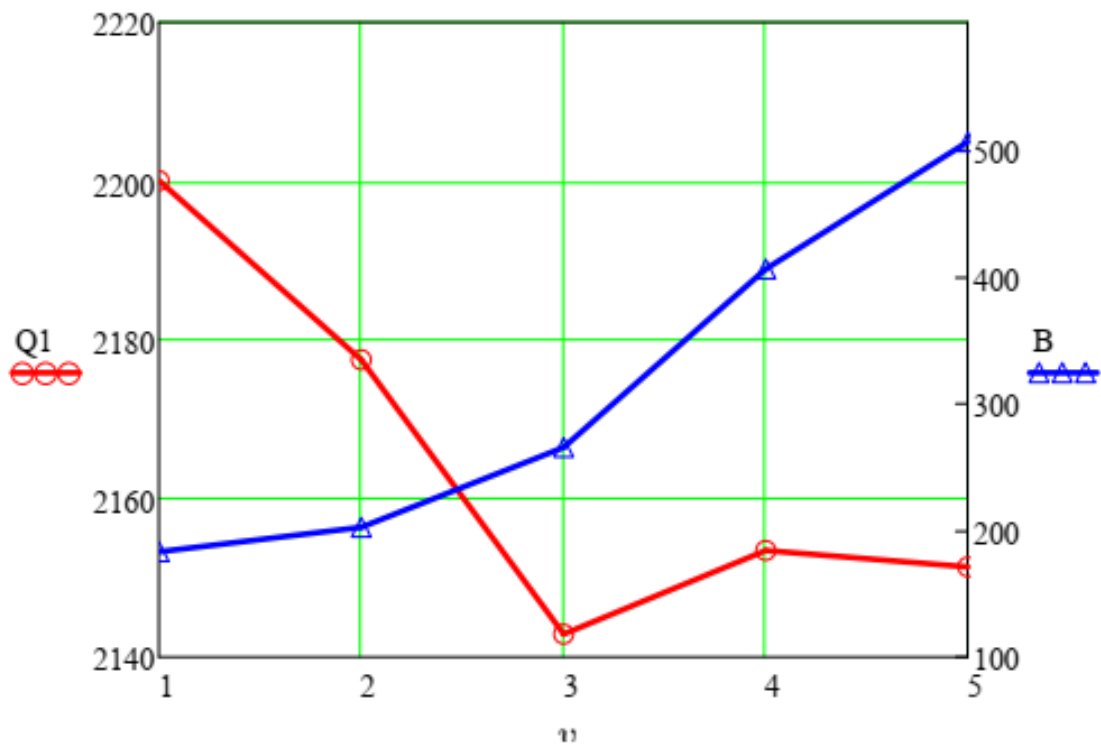
Ціна на паливо,
грн/т

$$\Psi := \begin{pmatrix} 20 \\ 6 \\ 2.5 \\ 2.1 \\ 1.7 \end{pmatrix}$$

Затрати на паливо,
грн/год

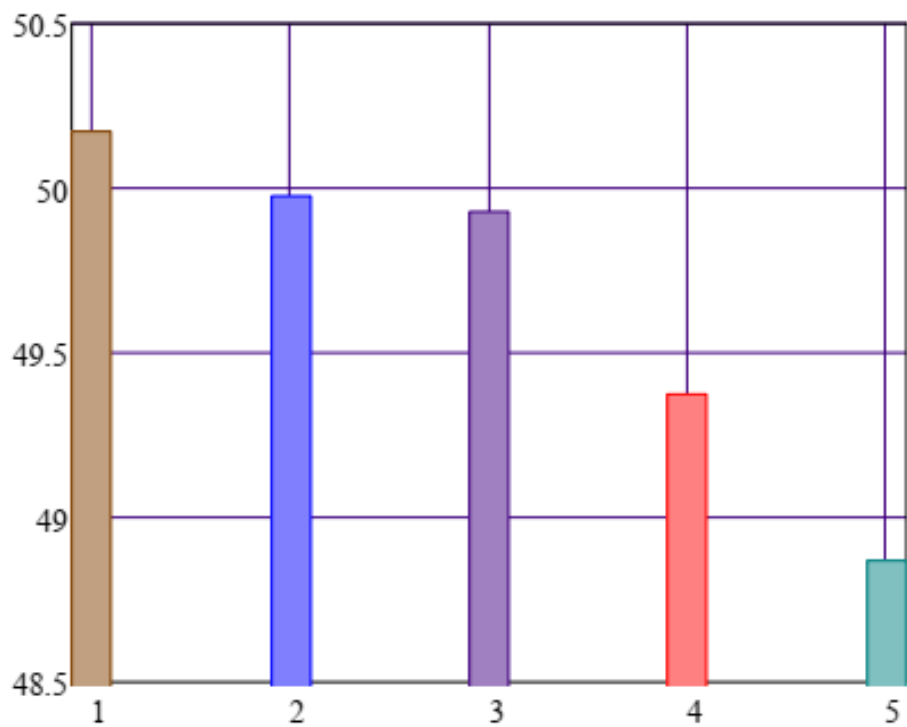
$$\Sigma := (\mathbf{B} \cdot \Psi) =$$

	1
1	$3.666 \cdot 10^3$
2	$1.214 \cdot 10^3$
3	663.717
4	852.214
5	860.259

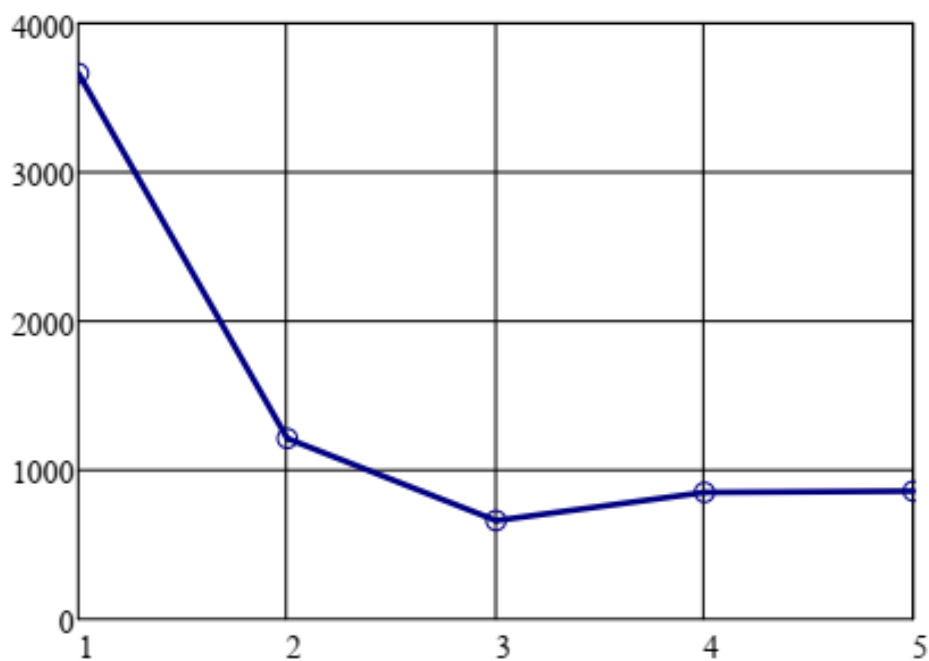


$$\eta := \eta^T \quad v := v^T$$

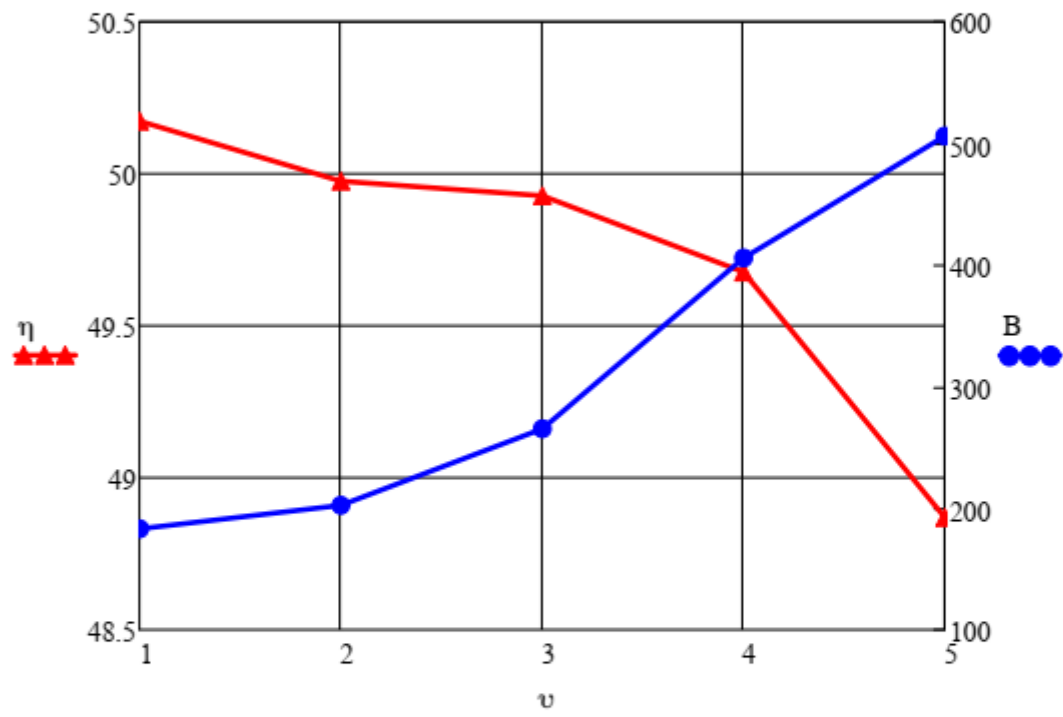
$$\begin{array}{ccccc} \eta_2 := \eta^{(2)} & \eta_1 := \eta^{(1)} & \eta_3 := \eta^{(3)} & \eta_4 := \eta^{(4)} & \eta_5 := \eta^{(5)} \\ v_1 := v^{(1)} & v_2 := v^{(2)} & v_3 := v^{(3)} & v_4 := v^{(4)} & v_5 := v^{(5)} \end{array}$$



$$v := v^T$$



$$\eta := \begin{pmatrix} 50.174 \\ 49.976 \\ 49.928 \\ 49.677 \\ 48.87 \end{pmatrix}$$



Додаток В
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ
ОДНОШАХТНОЇ ЗЕРНОСУШАРКИ М819

(Назва магістерської кваліфікаційної роботи)

Перв. примен.	Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
	Справ. №	1		
2		Топка		
3		Норії		
4		Вентилятори		
5		Повітропроводи		
6		Димова труба		
7		Шнек		
8		Драбина		
9		Шахти		
10		Верхня площадка		
11		Нижня площадка		
Подп. и дата				

Взам. инв. №	Инв. № дѣл.	Подп. и дата

08-11.МКР.005.01.00.000.АР.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разрад.		Задорожний В.В.		
Пров.		Слівак О.Ю.		
Опонент		Сердюк В.Р.		
Н.контр.		Слівак О.Ю.		
Утв.		Степанов Д.В.		

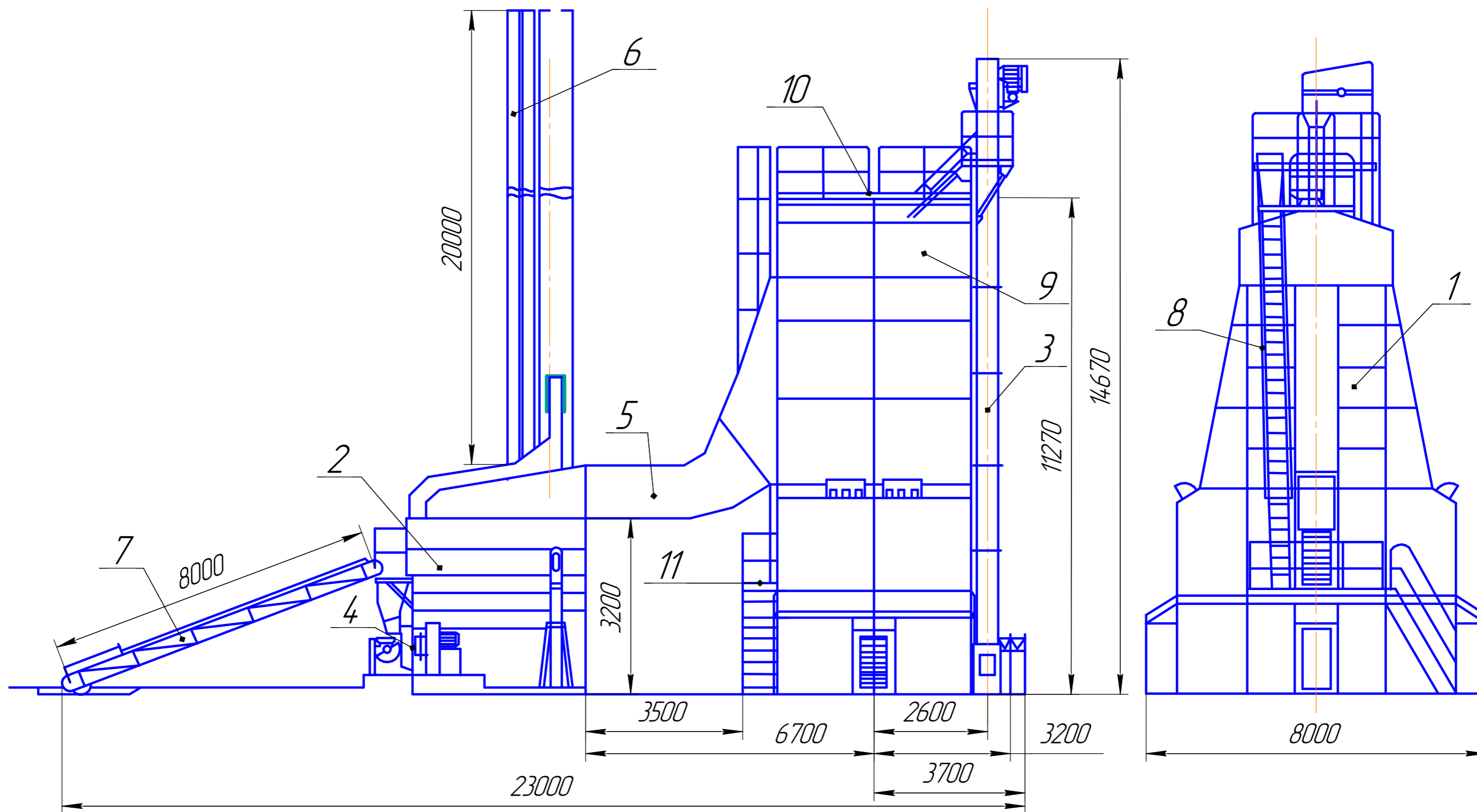
Шахтна зерносушарка М819

Лит.	Лист	Листов
		1
TE-20M		

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Документация</i>						
			08-11.МКР.005.02.00.000СК	Складальне креслення		
<i>Детали</i>						
Перв. примен.						
Справ. №		1	08-11.МКР.005.02.00.001	Гофролист	50	
		2	08-11.МКР.005.02.00.002	Лист алюмінієвий	52	
		3	08-11.МКР.005.02.00.003	Кутник 40x40x2270	4	
		4	08-11.МКР.005.02.00.004	Кутник 60x60x1100	8	
<i>Стандартные изделия</i>						
Подп. и дата		1		Болт М40x150 ГОСТ 15589-70	15	
		6		Гайка М40 ГОСТ 15500-70	12	
		7		Шайба φ45 ГОСТ 15580-70	12	
Инв. № дубл.						
Взам. инв. №						
Подп. и дата						
Инв. № подл.						
		08-11.МКР.005.02.00.000				
		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
		Разраб.	Задорожний В.В.			
		Пров.	Слівак О.Ю.			
		Опонент	Сердюк В.Р.			
		Н.контр.	Слівак О.Ю.			
		Утв.	Степанов Д.В.			
Газоповітряний пластинчасто-оредрений теплообмінник				Лит.	Лист	Листов
						1
ТЕ-20М						

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание															
<i>Документация</i>																					
			08-11.МКР.005.03.00.000СК	Складальне креслення																	
				Складальні одиниці																	
Справ. №		1	08-11.МКР.005.03.01.000	Патрубок підвідний	1																
		2	08-11.МКР.005.03.02.000	Камера газорозподільна	1																
		3	08-11.МКР.005.03.03.000	Клапан захисний	1																
		4	08-11.МКР.005.03.04.000	Камера очищеного газу	1																
		5	08-11.МКР.005.03.05.000	Циклонний елемент	36																
		6	08-11.МКР.005.03.06.000	Решітка нижня	1																
		7	08-11.МКР.005.03.07.000	Люк	1																
		8	08-11.МКР.005.03.08.000	Бункер	1																
		9	08-11.МКР.005.03.09.000	Корпус	1																
		10	08-11.МКР.005.03.10.000	Вихлопна труба	1																
		11	08-11.МКР.005.03.11.000	Кришка	1																
		12	08-11.МКР.005.03.12.000	Решітка верхня	1																
		13	08-11.МКР.005.03.13.000	Шибер	1																
08-11.МКР.005.03.00.000																					
Изм. Лист		№ докум.		Подп.	Дата																
Разрад.		Задорожний В.В.																			
Пров.		Співак О.Ю.																			
Опонент		Сердюк В.Р.																			
Н.контр.		Співак О.Ю.																			
Утв.		Степанов Д.В.																			
Циклон батареїний БЦ-1-6х(4+2)				Лит.			Лист	Листов													
								1													
Инв. № подл.				Инв. № дубл.			Инв. №			Взам. инв. №			Подп. и дата			Подп. и дата			Перв. примен.		
Копировал																					
Формат А4																					

		Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание									
Перв. примен.		1	Сушильна колона	1										
		2	Циклон батареїний	1										
		3	Вентилятор ВЦП №12,5	1										
		4	Збирач повітря витяжний	1										
		5	Шибєр	1										
		6	Відвід 90°	2										
Справ. №														
Взам. инв. №														
Инв. № дубл.														
Подп. и дата														
Инв. № подл.		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	08-11.МКР.005.04.00.000	<table border="1"> <tr> <td>Лит.</td> <td>Лист</td> <td>Листов</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>1</td> </tr> </table>	Лит.	Лист	Листов			1
		Лит.	Лист	Листов										
				1										
		Разрад.	Задорожний В.В.							Схема аксонометрична				
		Пров.	Слівак О.Ю.											
Опонент	Сердюк В.Р.													
Н.контр.	Слівак О.Ю.													
Утв.	Степанов Д.В.													
Копировал														
Формат А4														



Технічні характеристики

Теплова потужність сушарки = 2736 (Квт)
 Продуктивність по зерну D=20 (т/год) = 5,55 (кг/с)
 Температура зовнішнього повітря: $t=10$ С;
 Газоповітряна суміш, яка поступає в 1-у ступінь: $t=120$ С;
 Газоповітряна суміш, яка поступає в 2-у ступінь: $t=150$ С;
 Витрата повітря $G=15$ кг/с

Ізм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Підп.	Дата
Разраб.			Задорожний В.В.		
Проб.			Слівак О.Ю.		
Т.контр.			Слівак О.Ю.		
ОпONENT			Сердюк В.Р.		
Н.контр.			Слівак О.Ю.		
Утв.			Степанов Д.В.		

08-11.МКР.005.01.00.000АР

м. Вінниця

Шахтна зерносушарка М819

Габаритне креслення

Стадія	Лист	Листов
		1

ТЕ-20М

Согласовано

Взам. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

08-11.МКР.005.02.00.000СК

Перв. примен.

Справ. №

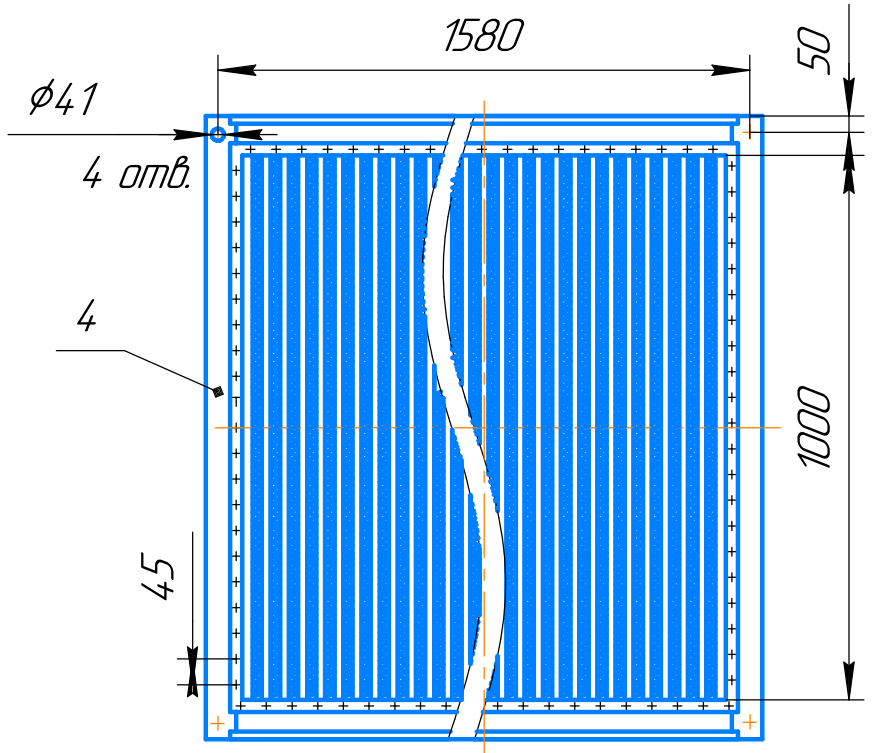
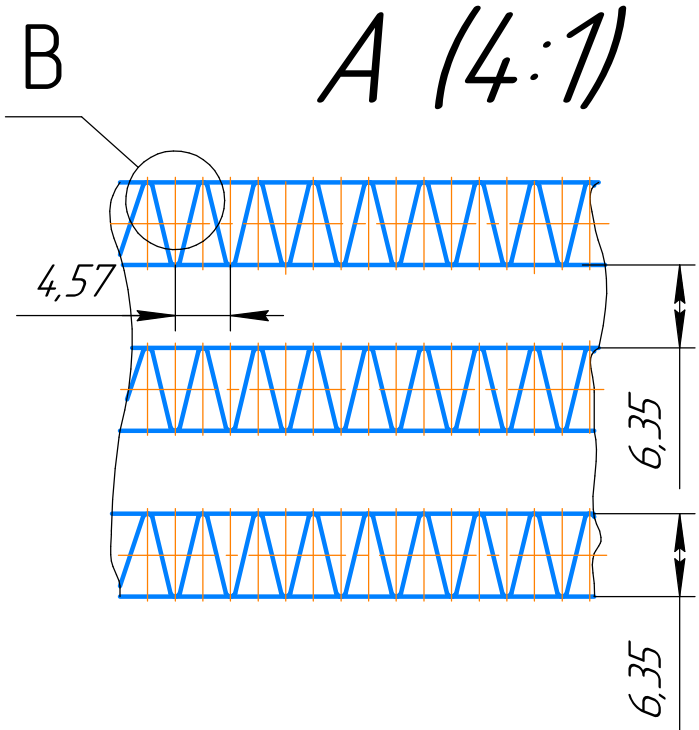
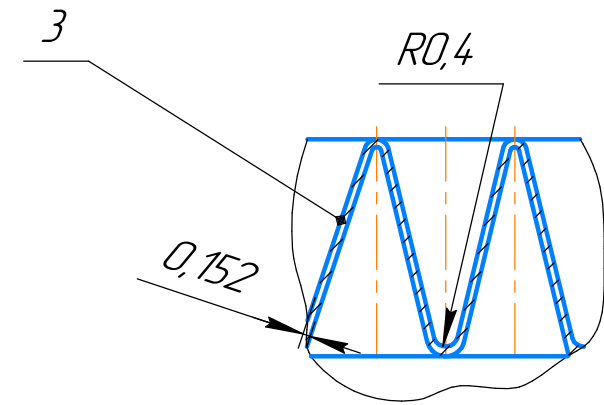
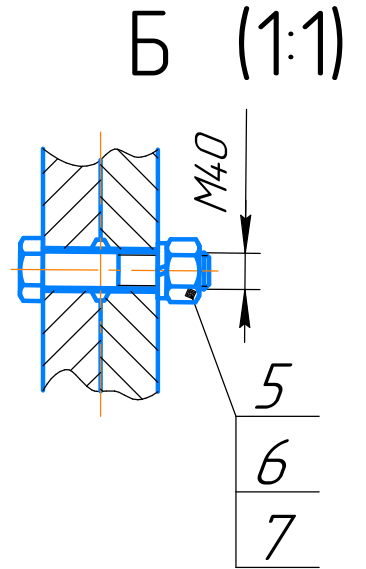
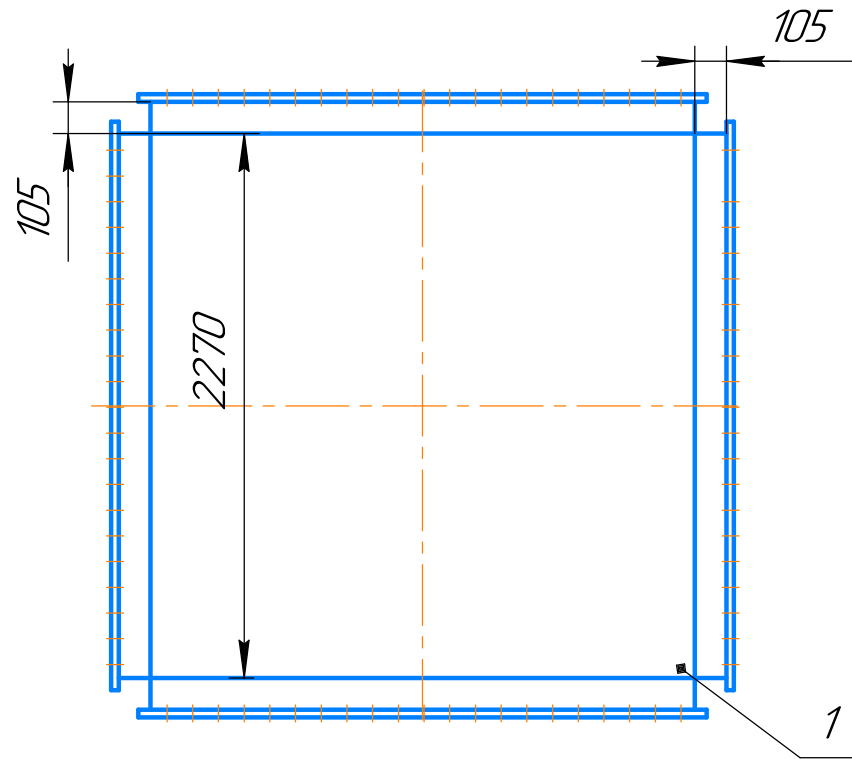
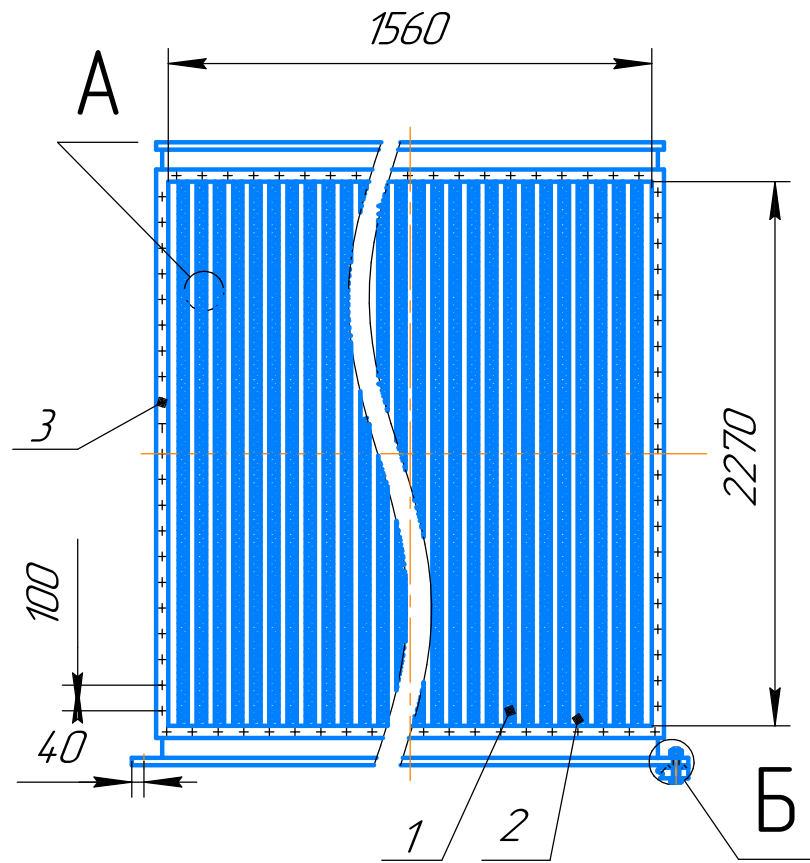
Подп. и дата

Инд. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

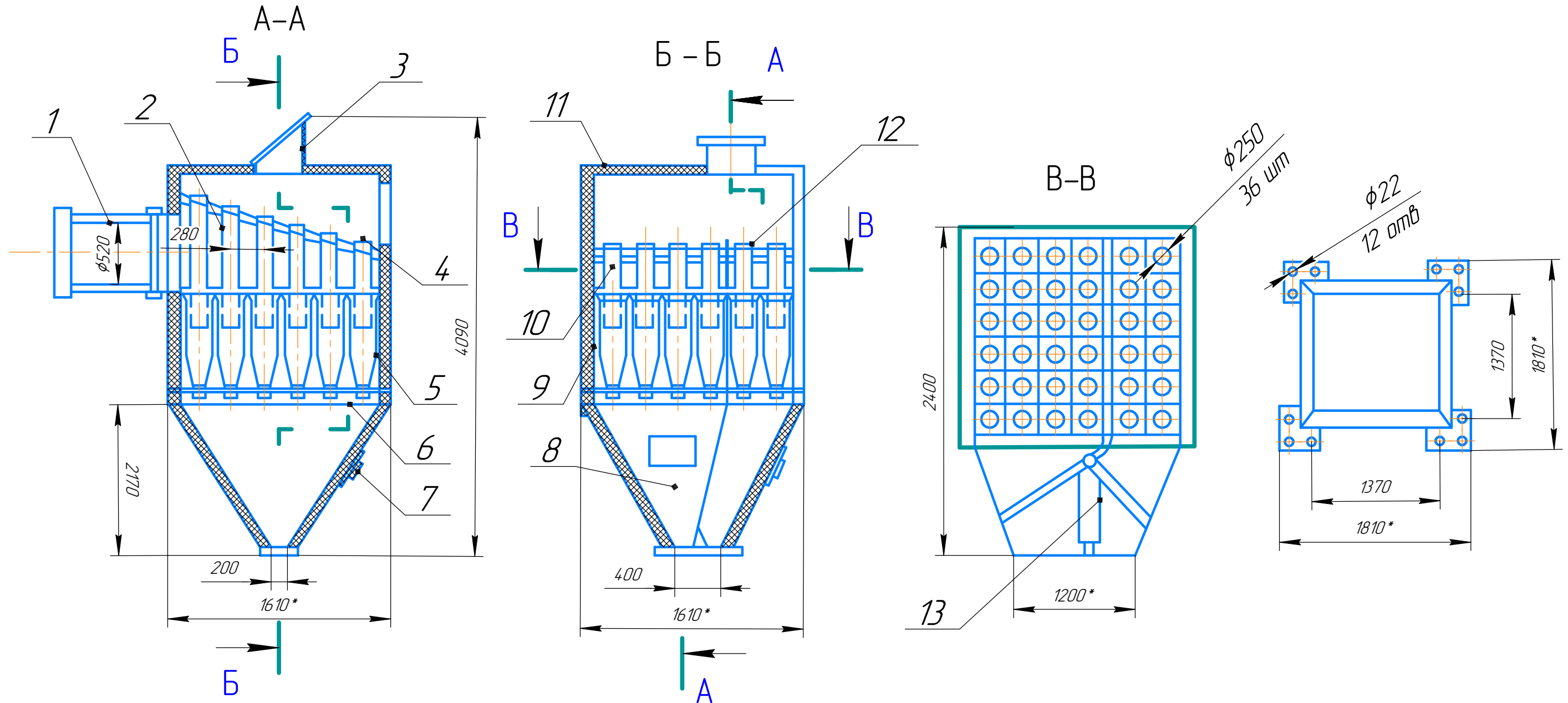
Инд. № подл.



- Технічні характеристики газоповітряного ТА:
1. Теплова потужність $Q=3,5$ МВт
 2. Температура газів на вході в ТА $t_{гз.вх.}=200$ °С
 3. Температура газів на виході з ТА $t_{гз.вих.}=110$ °С
 4. Температура свіжого повітря на вході в ТА $t_{сп.вх.}=10$ °С
 6. Температура свіжого повітря на виході з ТА $t_{сп.вих.}=110$ °С

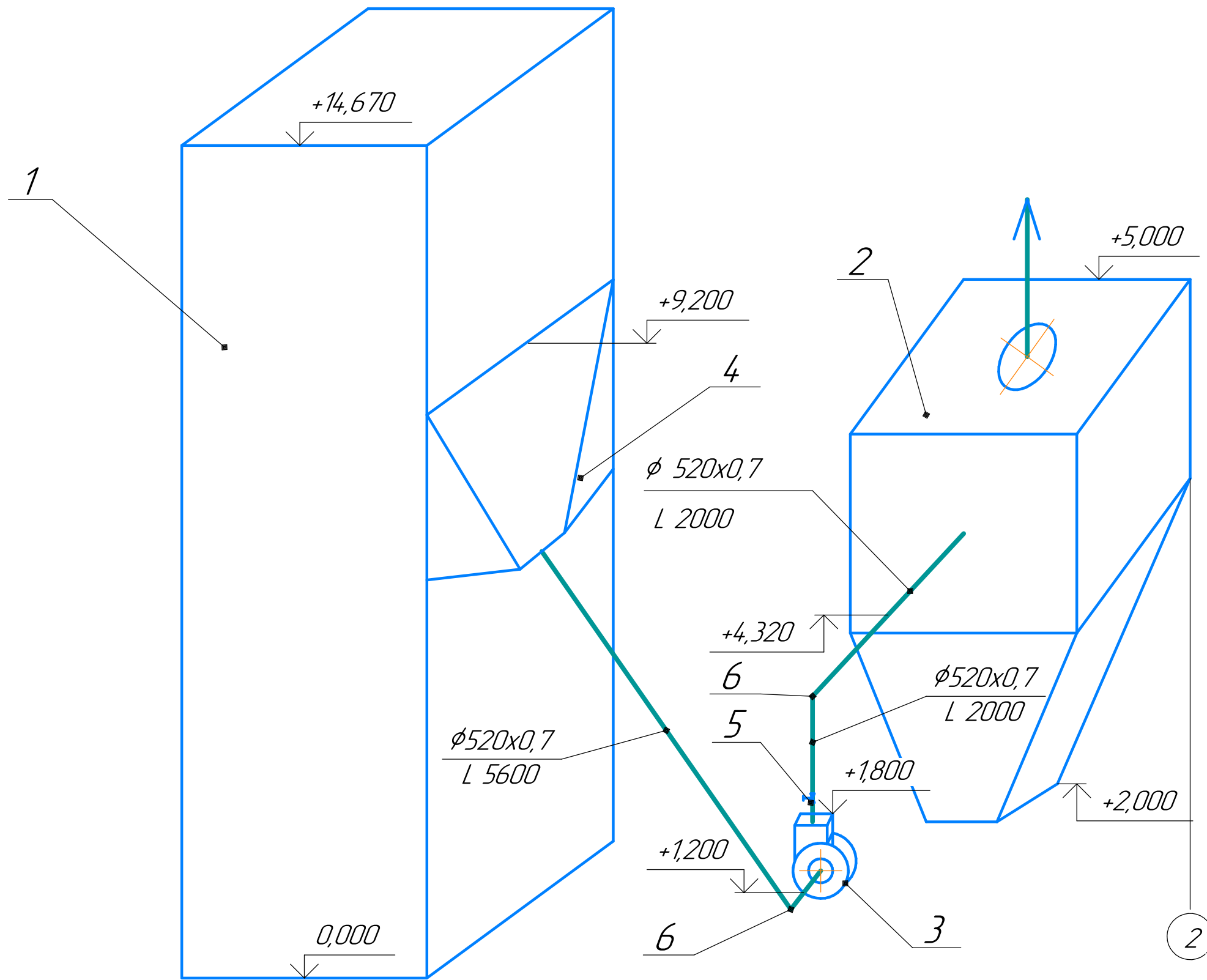
				08-11.МКР.005.02.00.000СК				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Газоповітряний пластинчасто-оребрений теплообмінник Складальне креслення	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	Задорожний В.В.							1:10
Пров.	Співак О.Ю.					Лист	Листов	1
Т.контр.	Співак О.Ю.					ВНТУ, гр. ТЕ-20м		
ОпONENT	Сердюк В.Р.							
Н.контр.	Співак О.Ю.							
Утв.	Степанов Д.В.							

Батарейний циклон типу БЦ-2-5х(3+2)



1. *Разміри для довідок
2. Зварювання виконувати дротом марки Св-08Г2С. Бункер поз.1 і опору поз.8 зварити між собою впритул по всьому контуру примикання. Зазори не допускаються
3. Шорсткість поверхонь різку деталей без креслень забезпечити Ra50.
4. Верхні кромки корпусів циклонних елементів зібраних в батарею повинні розташовуватися на одному горизонтальному рівні.
5. Максимальна різниця по висоті верхніх крамок повинна бути не більше 6 мм.

				08-11.МКР.005.03.00.000 СК			
				Циклон батарейний БЦ-2-5х(3+2) Складальне креслення			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.		Задорожний В.В.					1:1
Пров.		Співак О.Ю.					
Т.контр.		Співак О.Ю.					
ОпONENT		Сердюк В.Р.			Лист	Листов	1
Н.контр.		Співак О.Ю.					
Утв.		Степанов Д.В.					



Согласовано

Инд. № подл.
Подп. и дата
Взам. инв. №

08-11.МКР.005.04.00.000 АР						
М. Вінниця						
Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	
Разробив	Задорожний В.В.					
Перевірів	Слівак О.Ю.					
Т. Контр.	Слівак О.Ю.					
ОпONENT	Сердюк В.Р.					
Н. Контр.	Слівак О.Ю.					
Затвердив	Степанов Д.В.					
Підвищення енергоефективності одношахтної зерносушарки М819				Стадія	Лист	Листов
Схема аксонометрична						1
				ТЕ-20м		

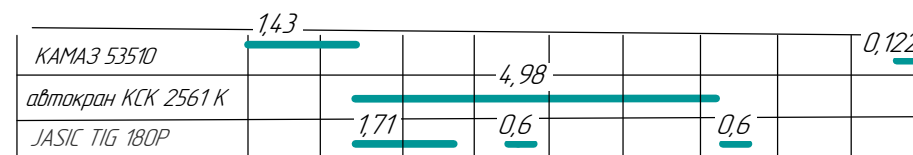
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН МОНТАЖУ БАТАРЕЙНОГО ЦИКЛОНА
БЦ-2-6x(4+2) для МОДЕРНІЗАЦІЇ ШАХТНОЇ СУШАРКИ М819

№ п/п	Найменування робіт	Одиниця виміру	Об'єми	Норма часу люд/год	Трудо-місткість	Склад бригад	Кількість чоловік	Тривалість	2020								
									Червень								
									Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Пн	Вт	Ср	Чт
07	08	09	10	11	14	15	16	17									
1	Доставлення деталей до місць монтажу та їх складування	т	7,7955	4,4	4,287	2 Робітники, водії	3	1,43	2x143								
2	Встановлення рами несучої	шт	1	27,36	3,42	Монтажник 3, 6 розрядів	2	1,71	2x171								
3	Размітка місць прокладання повітропроводів	100м	0,096	0,396	0,0047	Монтажник 3, 4 розрядів	2	0,0024	2x0,024								
4	Монтаж циклона	шт	1	12,75	1,6	Монтажник 4, 3 розрядів	2	0,8	2x0,8								
5	Монтаж вентилятора	шт	1	15,91	1,99	Монтажник 4, 3 розрядів	2	0,995	2x0,995								
6	Монтаж збирача повітря	шт	1	23,6	2,95	Монтажник 4, 3 розрядів	2	1,475	2x1,475								
7	Прокладання повітропроводів діаметром 520 мм	100м ²	0,16	231,2	4,624	Слюсар-вентиляційник 3, 5 розрядів	2	2,312	2x2,312								
8	Встановлення запірної арматури Ду 520	100шт	0,01	2,5	0,003	Слюсар-сантехнік 4 розряду	1	0,003	1x0,003								
9	Перше робоче випробування системи циркуляції	100 м	0,096	5,4	0,065	Слюсар-вентиляційник 3, 5 розрядів	2	0,0324	2x0,0324								
10	Робоча перевірка системи в цілому	100 м	0,096	5,4	0,065	Слюсар-вентиляційник 3, 5 розрядів	2	0,0324	2x0,0324								
11	Повернення допоміжного обладнання на склад	т	0,633	3,1	0,245	Робітник, водії	2	0,122	2x0,122								

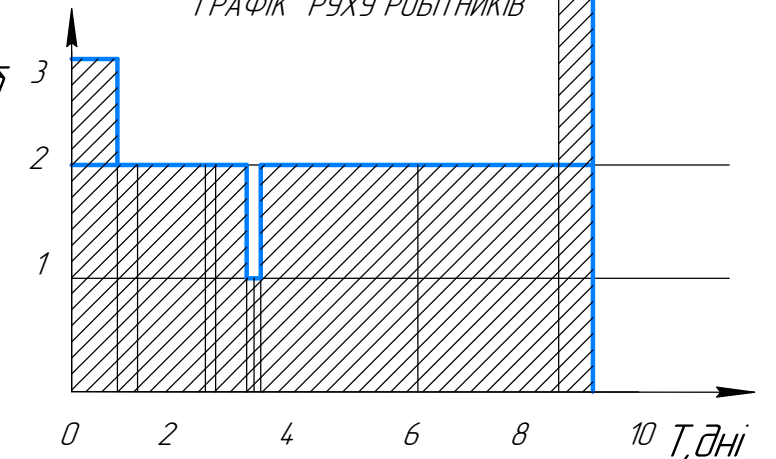
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ
ГРАФІКУ РУХУ РОБІТНИКІВ

№	Позначення	Формула	Результат	Од.виміру
1	$Q_{заг.}$	Q_i	12,386	люд/дні
2	$T_{заг.}$	-	7,213	дні
3	R_{max}	-	2	люд
4	$R_{сер}$	$Q_{заг.}/T_{заг.}$	1,63	люд
5	$T_{вст.}$	-	1,3	дні
6	\pm_1	$R_{сер}/R_{max}$	0,815	-
7	\pm_2	$T_{вст.}/T_{заг.}$	0,239	-

ГРАФІК РОБОТИ МАШИН ТА МЕХАНІЗМІВ



ГРАФІК РУХУ РОБІТНИКІВ



08-11.МКР.005.05.00.000 АР

м. Вінниця

Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разробив	Задорожний В.В.				
Перевірив	Співак О.Ю.				
Т.контр.	Співак О.Ю.				
Опонент	Сердюк В.Р.				
Н.контр.	Співак О.Ю.				
Утв.	Степанов Д.В.				

Підвищення енергоефективності одношахтної зерносушарки М819	Стадія	Лист	Листов
			1

Календарний план монтажних робіт

ТЕ-20М

Соголасовано

Взам. инв. №
Попл. и дата
Инв. № подл.

08-11.MKP.005.06.00.000T8

Перв. примен.

Справ. №

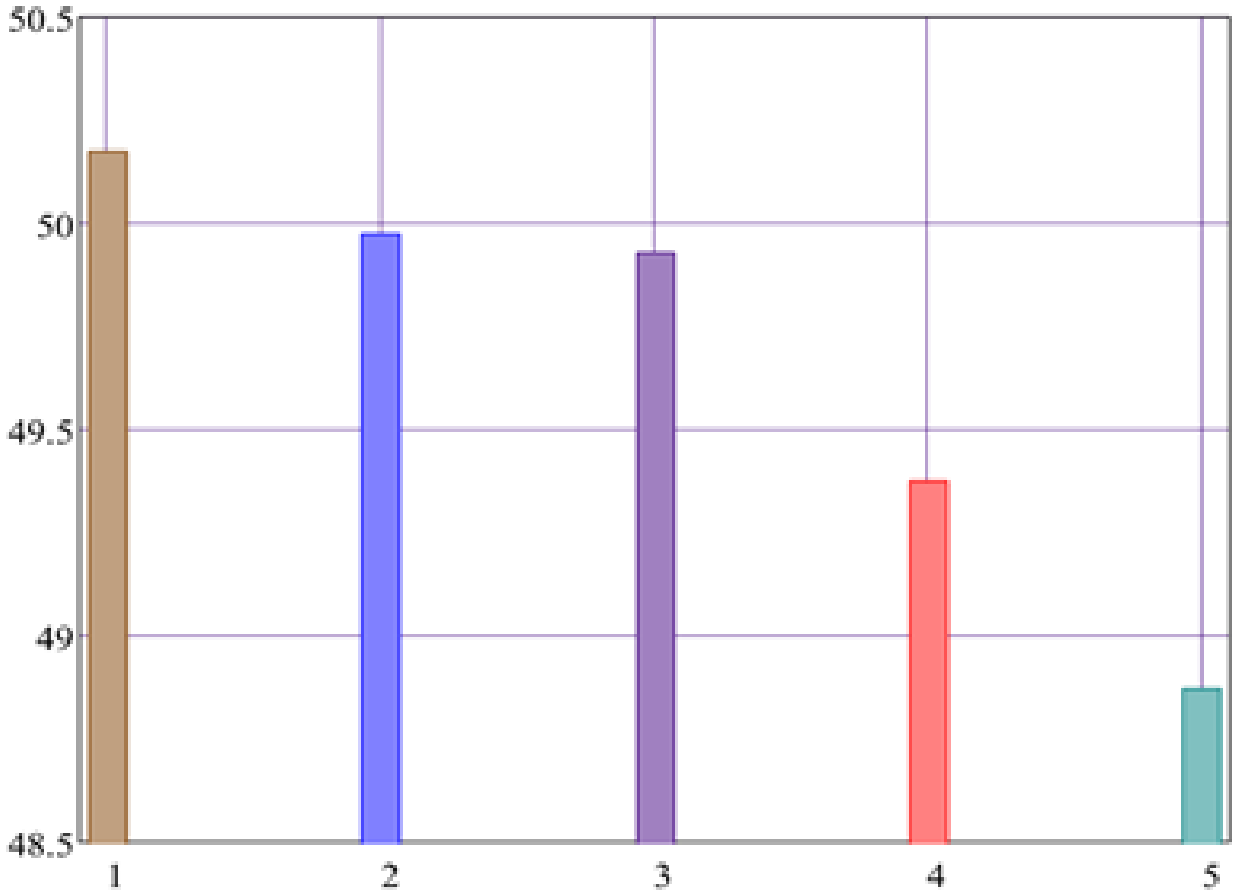
Подп. и дата

Инв. № дѣл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



- 1 - газ
- 2 - вугілля
- 3 - мазут
- 4 - пелети
- 5 - лушпиння

08-11.MKP.005.06.00.000T8

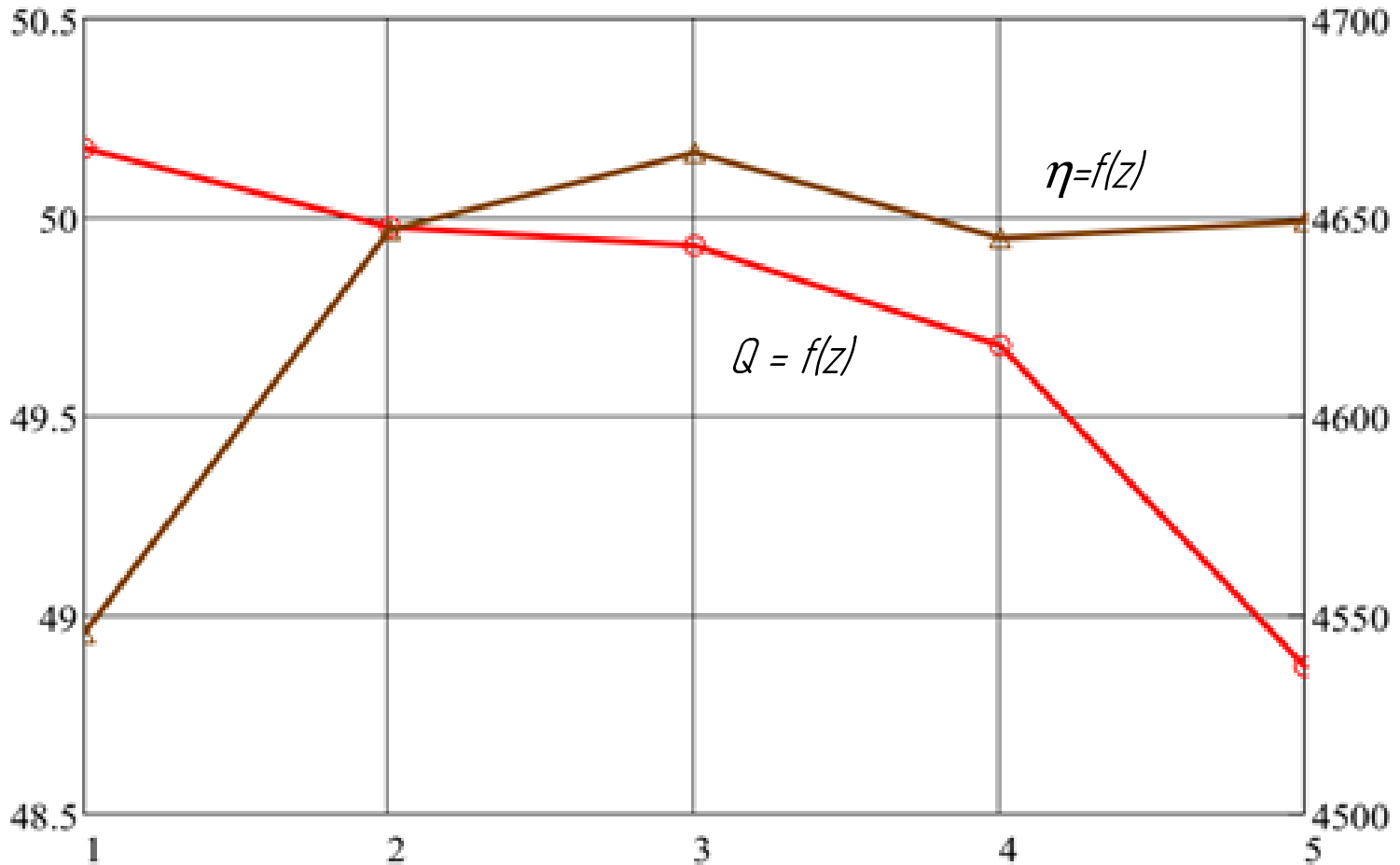
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Задорожний В.В.		
Пров.		Співак О.Ю.		
Т.контр.		Співак О.Ю.		
Опонент		Сердюк В.Р.		
Н.контр.		Співак О.Ю.		
Утв.		Степанов Д.В.		

К.к.д. топки на різних видах палива

Лит.	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	1

TE-20M

08-11МКР.005.07.00.000Т8



- Z:
- 1 – мазут;
 - 2 – газ;
 - 3 – вугілля;
 - 4 – пелети;
 - 5 – лушпиння

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Задорожний В.В.		
Пров.		Слівак О.Ю.		
Т.контр.		Слівак О.Ю.		
Опонент		Сердюк В.Р.		
Н.контр.		Слівак О.Ю.		
Утв.		Степанов Д.В.		

08-11МКР.005.07.00.000Т8

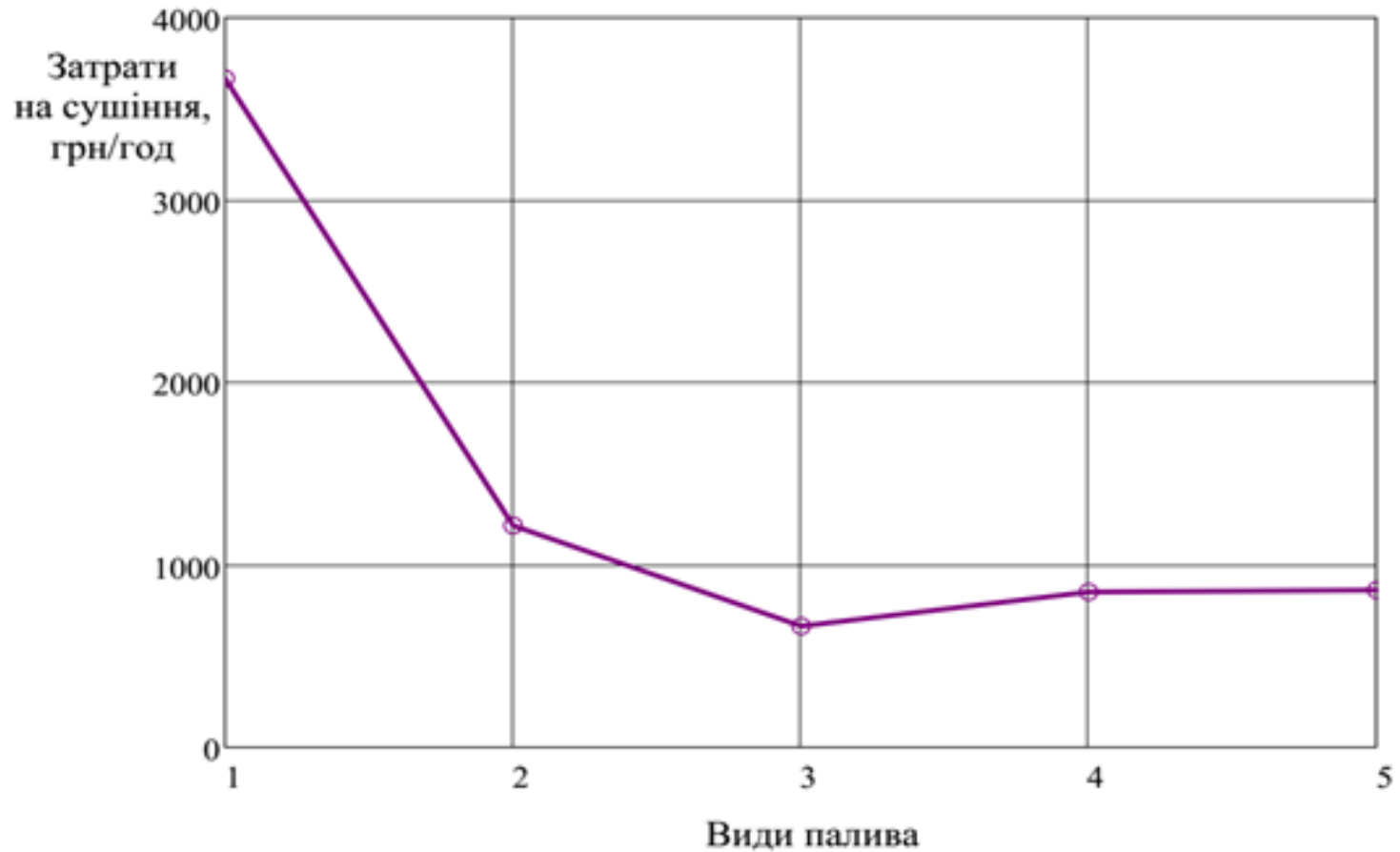
Зміна к.к.д. і теплоти в топці сушарки М819 на різних видах палива

Лист	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	1

ТЕ-20М

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

08-11.МКР.005.08.00.000Т8



Инд. № докл.	Взам. инв. №	Инд. № докл.	Подп. и дата
Инд. № подл.	Подп. и дата		

- 1 – мазут
- 2 – газ
- 3 – вугілля
- 4 – пелети
- 5 – лушпиння

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Задорожний В.В.		
Пров.		Співак О.Ю.		
Т.контр.		Співак О.Ю.		
Опонент		Сердюк В.Р.		
Н.контр.		Співак О.Ю.		
Утв.		Степанов Д.В.		

08-11.МКР.005.08.00.000Т8

Затрати на різні види палива

Лист	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	1

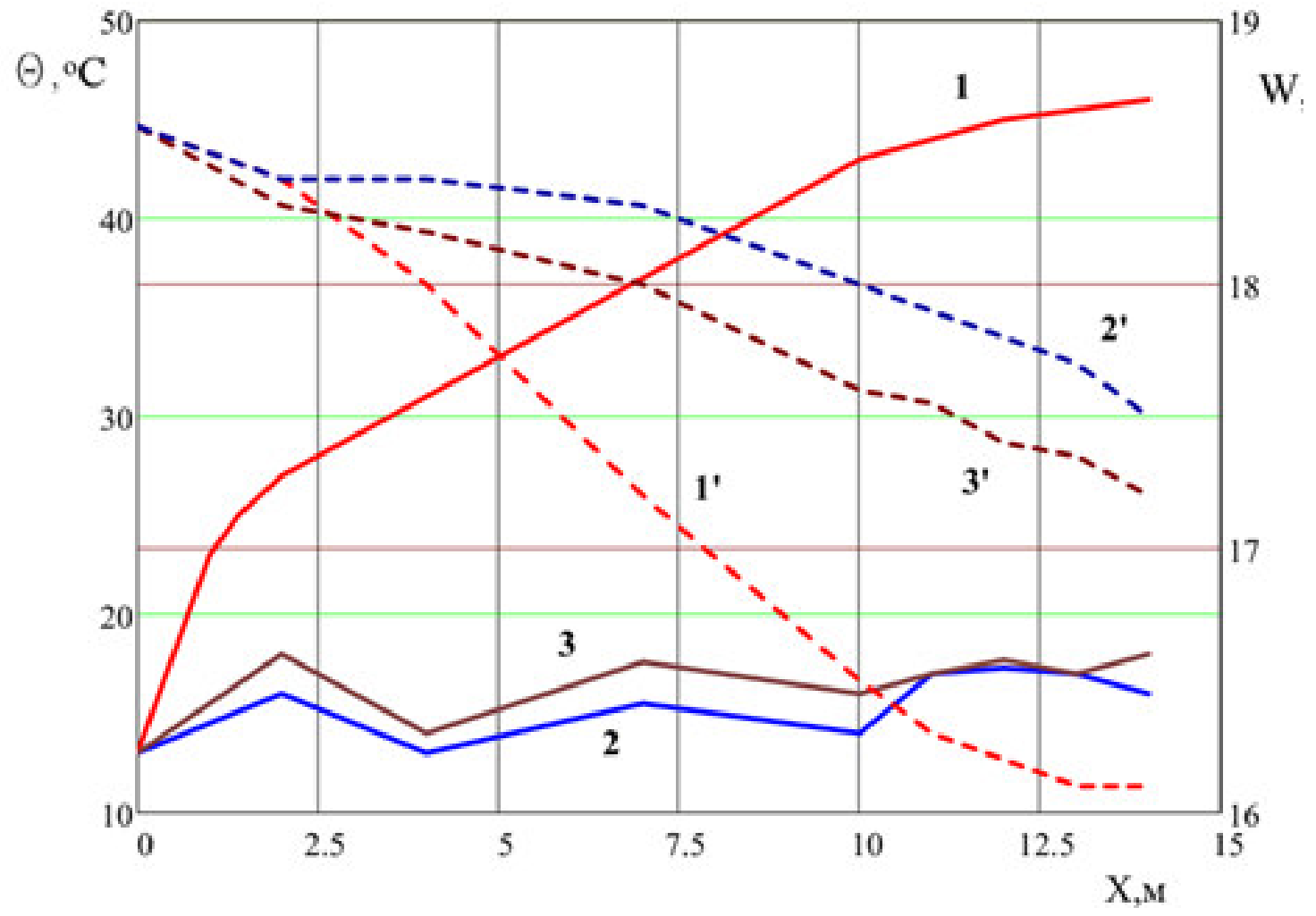
ТЕ-20М

08-11.МКР.005.09.00.000Т8

Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

1 – Температура насіння
2,3 – Коливальний хід

1' – Вологість насіння
2',3' Коливальний хід



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Задорожний В.В.		
Пров.		Співак О.Ю.		
Т.контр.		Співак О.Ю.		
Опонент		Сердюк В.Р.		
Н.контр.		Співак О.Ю.		
Утв.		Степанов Д.В.		

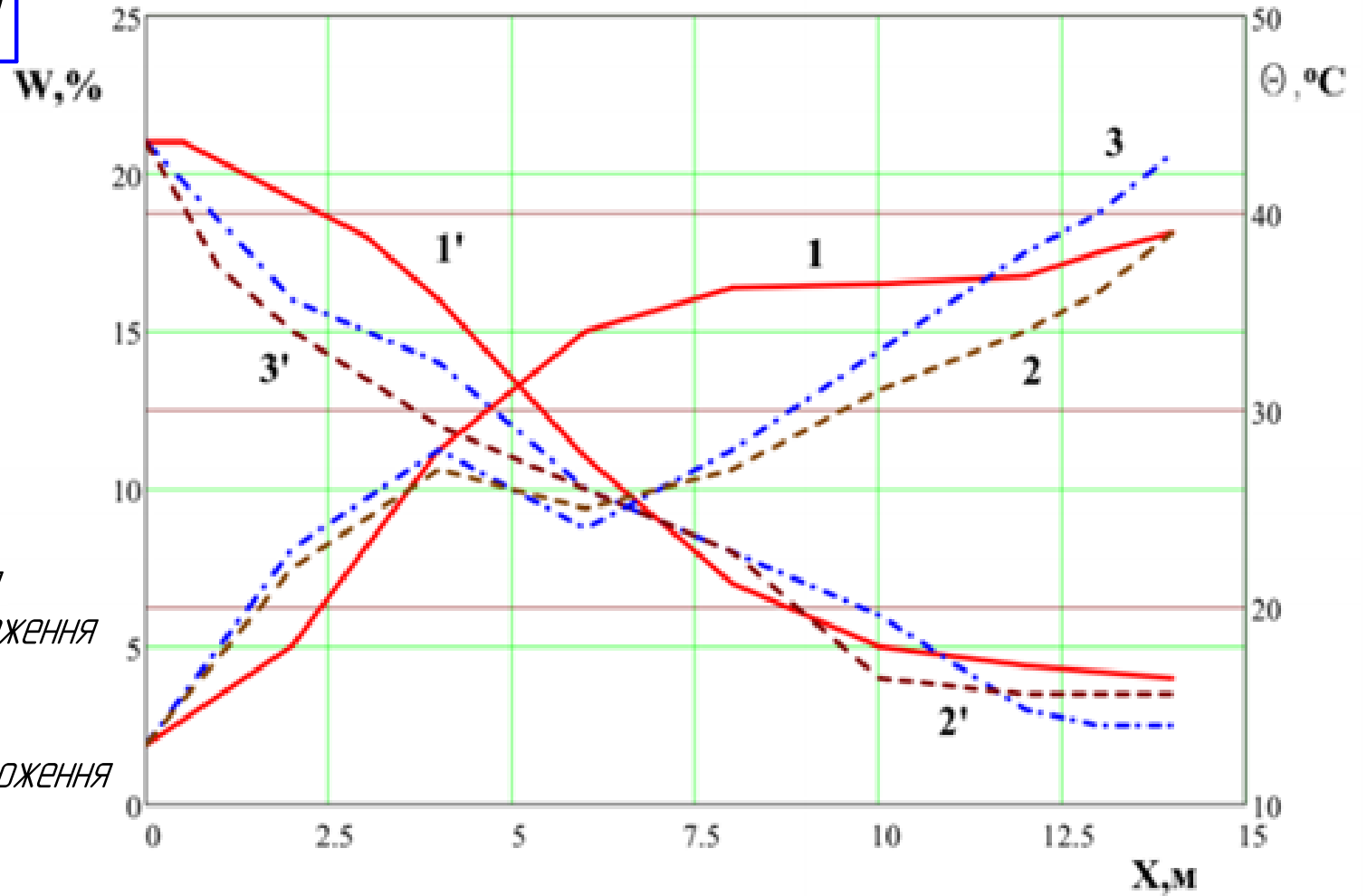
08-11.МКР.005.09.00.000Т8

Температура і вологість насіння
в залежності від висоти шахти
з коливальним ходом температури

Лист	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	1

TE-20M

08-11.МКР.005.10.00.000Т8



1 – Температура насіння
2,3 – Зупинка на відволоження

1' – Вологість насіння
2',3' – Зупинка на відволоження

Підп. и дата
Инв. № докл.
Взам. инв. №
Підп. и дата
Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Задорожний В.В.			
Пров.	Співак О.Ю.			
Т.контр.	Співак О.Ю.			
Опонент	Сердюк В.Р.			
Н.контр.	Співак О.Ю.			
Утв.	Степанов Д.В.			

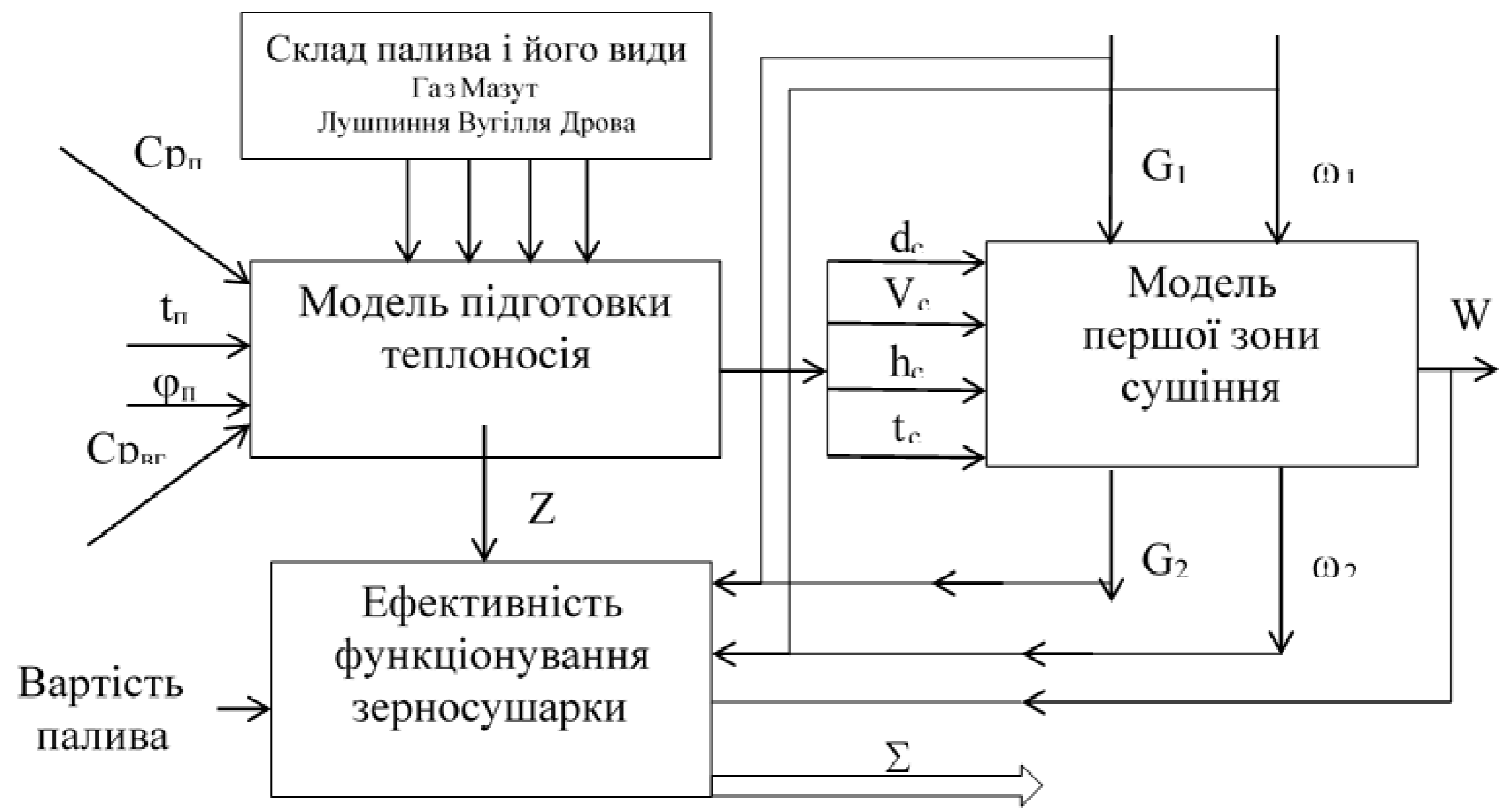
08-11.МКР.005.10.00.000Т8

Температура і вологість насіння
від висоти шахти
з провалом температурної кривої

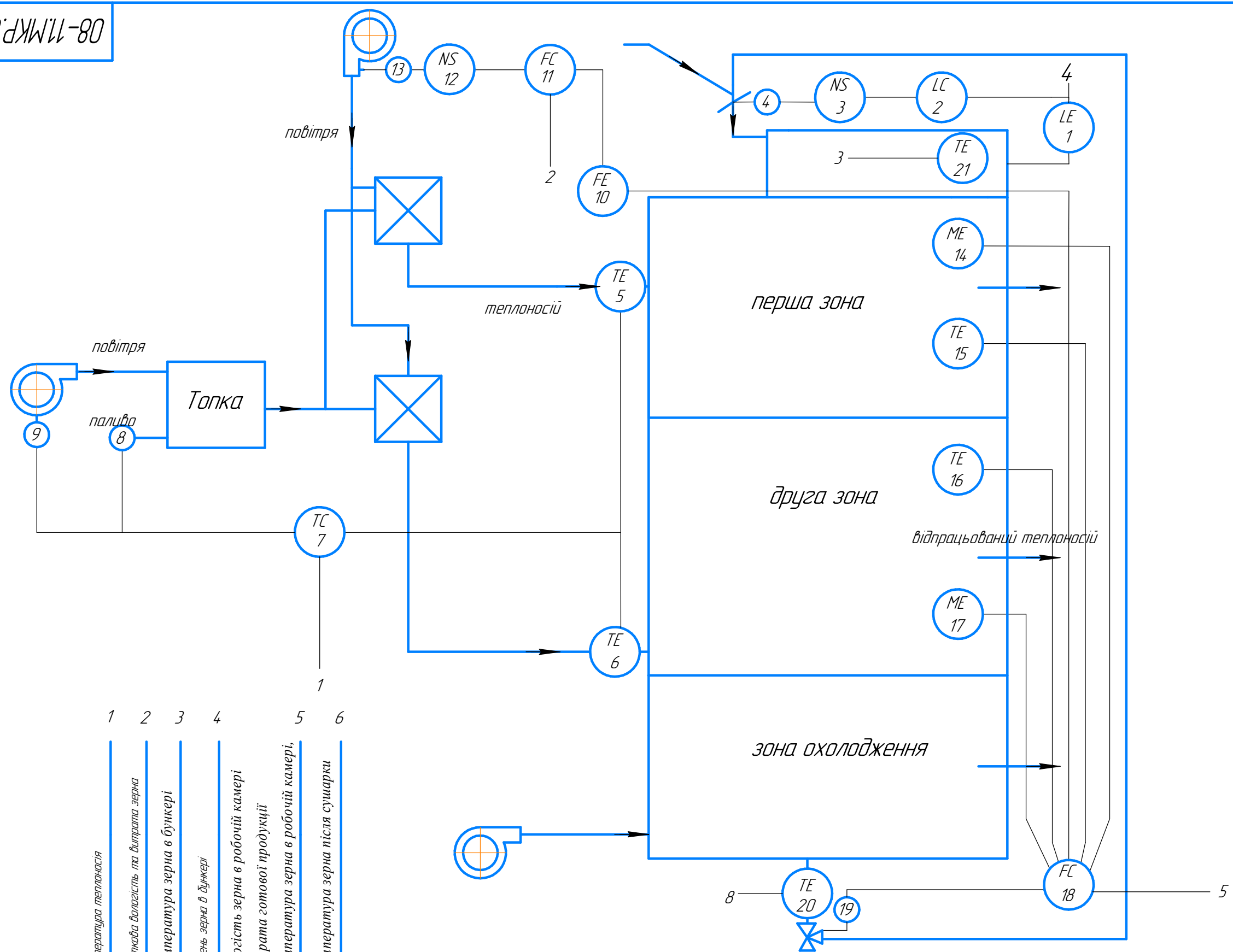
Лит.	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	1

ТЕ-20М

Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.



					<i>08-11МКР.005.11.00.000Т8</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	<i>Структурна схема математичної моделі</i>	<i>Лист</i>	<i>Масса</i>	<i>Масштаб</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Задорожний В.В.</i>						1:1
<i>Проб.</i>		<i>Співак О.Ю.</i>				<i>Лист</i>	<i>Листов</i>	1
<i>Т.контр.</i>		<i>Співак О.Ю.</i>				<i>ТЕ-20М</i>		
<i>Опонент</i>		<i>Сердюк В.Р.</i>						
<i>Н.контр.</i>		<i>Співак О.Ю.</i>						
<i>Утв.</i>		<i>Степанов Д.В.</i>						



- 1 температура теплоносія
- 2 початкова вологість та втрата зерна
- 3 температура зерна в бункері
- 4 рівень зерна в бункері
- 5 вологість зерна в робочій камері
- 6 втрата готової продукції
- 7 температура зерна в робочій камері
- 8 температура зерна після сушарки

На щиті СПК1хх
22

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Задорожний В.В.			
Пров.	Співак О.Ю.			
Т.контр.	Співак О.Ю.			
ОпONENT	Сердюк В.Р.			
Н.контр.	Співак О.Ю.			
Утв.	Степанов Д.В.			

08-11.МКР.005.12.00.000 АЗ

Автоматизація шахтної сушарки М819
схема функціональна

Лист	Масса	Масштаб
Лист	Листов	1

ТЕ-20М