

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра теплоенергетики
(повна назва кафедри)

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:

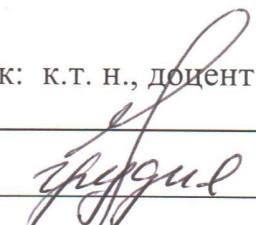
«Енергоефективність шахтних сушарок та критерії її оцінювання»

Виконав: студент 2 курсу групи ТЕ-23м
спеціальності 144 – Теплоенергетика
(шифр і назва спеціальності)



Слободян М.В.
(прізвище та ініціали)

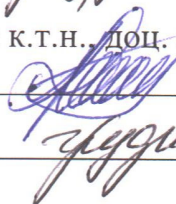
Керівник: к.т. н., доцент каф. ТЕ



Співак О. Ю.
(прізвище та ініціали)

«17» грудня 2024 р.

Опонент: к.т.н., доц. каф. БМГА



Христич О.В.
(прізвище та ініціали)

«18» грудня 2024 р.

Допущено до захисту
Зав. кафедри ТЕ



к.т.н., доц. Степанов Д. В.
(прізвище та ініціали)

«18» грудня 2024 р.

Вінниця ВНТУ – 2024 рік

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЕ

Степанов Д. В.

2024 року

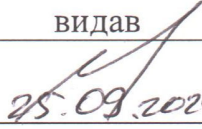
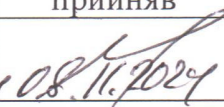
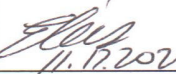
ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Слободяну Максиму Віталійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи «Енергоефективність шахтних сушарок та критерії її оцінювання»
керівник роботи Співак Олександр Юрійович, к. т. н., доцент
затверджені наказом вищого навчального закладу від 17.09.2024 р., № 310
- Строк подання студентом роботи 09.12.24 року.
- Вихідні дані до роботи: температура свіжого повітря $t_0 = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$; вологість свіжого повітря $\varphi_0 = 75\%$; температура сушіння в першій зоні $t'_1 = 110\text{ }^{\circ}\text{C}$; температура сушіння в другій зоні $t'_2 = 140\text{ }^{\circ}\text{C}$; вологість вихідного сушильного агента з першої зони $\varphi_1 = 75\%$; вологість вихідного сушильного агента з другої зони $\varphi_2 = 50\%$; видатність сушарки $G = 50\text{ т/год}$; початкова вологість зерна в першій зоні $\omega'_1 = 22\%$; кінцева вологість зерна в першій зоні $\omega''_1 = 18\%$; температура зерна після першої зони $\vartheta'_1 = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$; кінцева вологість зерна в другій зоні $\omega''_2 = 15\%$; температура зерна після другої зони $\vartheta'_2 = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$; кінцева вологість зерна після охолодження $\omega_3 = 14\%$;
- Зміст текстової частини: теоретична розробка методів оцінювання технологічної ефективності сушіння, розробка математичної моделі, результати числового експерименту та їх обговорення, технологічна частина, економічна частина, висновки, перелік посилань, додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): габаритне креслення ДСП-32, план монтажу теплообмінника, план монтажу теплообмінника розріз 1, схема монтажна аксонометрична, календарний графік монтажних робіт, функціональна схема автоматизації шахтної сушарки ДСП-32, графічні залежності 1, 2, 3.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технічна частина	Співак О. Ю., доцент кафедри ТЕ	 25.09.2024	 08.11.2024
Економічна частина	Лялюк О. Г., доцент кафедри БМГА		 11.12.2024

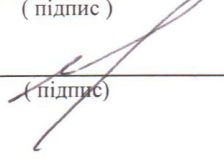
7. Дата видачі завдання 25.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Науково-аналітичний огляд літературних та патентних джерел	05.10.2024	
Розробка математичної моделі сушарки	15.10.2024	
Аналітичні і числові дослідження	25.10.2024	
Обробка отриманих результатів	05.11.2024	
Модернізація схеми автоматизації сушарки	15.11.2024	
Технологія монтажу обладнання для модернізації	25.11.2024	
Економічна частина	05.12.2024	
Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	09.12.2024	

Студент 
(підпис)

Слободян М.В.

Керівник роботи 
(підпис)

Співак О.Ю.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.33

Слободян М. В. Енергоефективність шахтних сушарок та критерії її оцінювання. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 144 – «Теплоенергетика», освітня програма - теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2024. 87 с.

Бібліогр.: 57 назв; рис.: 13; табл. 17.

У магістерській кваліфікаційній роботі складено математичну модель кінетики сушіння зерна посівної пшениці в шахтній прямотоковій сушарці. Критерієм оптимізації процесу вибрано критерій вологознімання, за цільову функцію взято питомі затрати палива на сушіння. Числові дослідження дали змогу визначити оптимальну температуру сушильного агента для сушіння зерна пшениці з початковою вологістю в діапазоні 18-27,5%.

В технологічній частині МКР виконано розробку технології монтажу рекуперативного теплообмінника для підігріву сушильного агента відхідними газами з топки сушарки. Виконано економічне обґрунтування монтажних робіт і складено календарний план робіт і графіки руху машин і механізмів.

Модернізовано схему автоматизації барабанної сушарки з використання сучасної елементної бази.

Ілюстративна частина складається з 10 креслень і плакатів із результатами моделювання та експериментальних досліджень.

Ключові слова: сушіння, шахтна сушарка, рекуперація, оптимізація процесу сушіння.

ABSTRACT

Slobodyan M. V. Energy efficiency of shaft dryers and criteria for its evaluation. Master's qualification work in specialty 144 - "Heat power engineering", educational program - heat power engineering. Vinnytsia: VNTU, 2024. 87 p.

Bibliography: 57 titles; Fig.: 13; Table. 17.

In the master's qualification work, a mathematical model of the kinetics of drying wheat seed grain in a shaft direct-flow dryer was developed.

The moisture removal criterion was chosen as the process optimization criterion, and the specific fuel consumption for drying was taken as the objective function. Numerical studies made it possible to determine the optimal temperature of the drying agent for drying wheat grain with an initial humidity in the range of 18-27.5%.

In the technological part of the MKW, the technology for installing a recuperative heat exchanger for heating the drying agent with waste gases from the dryer furnace has been developed. An economic justification for the installation work has been completed and a work schedule and machine and mechanism movement schedules have been drawn up.

The automation scheme of the drum dryer has been modernized using a modern element base.

The illustrative part consists of 10 drawings and posters with the results of modeling and experimental research.

Keywords: drying, shaft dryer, recuperation, optimization of the drying process.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 ТЕОРЕТИЧНА РОЗРОБКА МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СУШІННЯ.....	5
1.1 Метод оцінювання ефективності витрат теплоти на сушіння за значенням питомих енерговитрат	5
1.2 Критерії подібності, що характеризують ефективність сушіння.....	7
1.3 Критерій ефективності вологознімання при сушінні зерна	9
1.4 Критерій ефективності нагрівання зерна при його сушінні	11
1.5 Видатність сушарок як функція температури сушильного агента	13
1.6 Видатність зерносушарок як функція температури нагрівання зерна	14
2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ.....	16
2.1 Формування вхідних та вихідних параметрів	16
2.2 Параметрична схема математичної моделі	17
2.3 Вибір цільової функції.....	18
2.4 Математична модель.....	20
2.5 Спрощення, прийняті в математичній моделі.....	21
3 РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЛОВОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	23
3.1 Результати числового експерименту.....	23
3.2 Обговорення результатів числового експерименту	26
4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	29
4.1 Технологія монтажу теплообмінників	29
4.1.1 Опис необхідних видів робіт	29
4.1.2 Підбір обладнання.....	30
4.1.3 Встановлення складу і об'ємів робіт.....	32
4.1.4 Обладнання для монтажу	36
4.1.5 Енергетичні та паливні ресурси.....	39
4.1.6 Трудомісткість виконання монтажних робіт та визначення складу бригад	40
4.1.7 Заходи техніки безпеки для виконання робіт з монтажу	45
4.2 Автоматизація шахтної сушарки.....	47
4.2.1 Опис об'єкта автоматизації.....	47
4.2.2 Опис технологічного процесу.....	48
4.2.3 Характеристика технологічного обладнання	49
4.2.4 Характеристика теплоносіїв, які застосовуються в процесі.....	51

4.2.5 Обґрунтування вибору величин, які регулюються та каналів регулюючого впливу	52
4.2.6 Вибір та обґрунтування засобів автоматизації	59
4.2.7 Виконавчі пристрої та вимірювальні прилади	63
4.2.8 Технологічний захист і сигналізація	65
4.2.9 Підбір і розрахунок шиберів	67
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	70
5.1 Локальний кошторисний розрахунок	70
5.2 Оцінювання економічної ефективності інноваційного проєкту	76
5.3 Термін окупності інвестицій	77
ВИСНОВКИ	79
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	81
ДОДАТКИ	87
Додаток А (обов'язковий) <u>Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень</u>	88
Додаток Б (обов'язковий) <u>ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ</u>	89
Додаток В (обов'язковий) <u>ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА</u>	94
Додаток Г (довідниковий) <u>Лістинг програми</u>	109

ВСТУП

Актуальність роботи. Процес сушіння має велике значення у зернопереробних галузях промисловості. Переробка просушеного зерна дозволяє знижувати енергоємність вальцьових верстатів, підвищувати вихід борошна та круп, збільшувати тривалість зберігання борошна та круп, знижувати знос обладнання [1].

У той же час у галузі хлібопродуктів сушіння є найдорожчим та енергоємним процесом. Причина полягає в тому, що для сушіння зерна в основному використовуються конвективні зерносушарки, в яких для отримання топкових газів та підігріву чистого повітря, як правило, використовують паливо рідке (дизельне, солярове масло, тракторний гас) і газоподібне, а для транспортування зерна (сирого, висушеного та рециркульованого) та подачі в зерносушарку сушильного агента та повітря потрібні витрати електроенергії.

Зниження енерговитрат на сушіння зерна, і насамперед палива, разом із підвищенням інтенсивності вологовіддачі розглядається як найважливіше завдання при розробці нової технології сушіння та конструкції нових зерносушарок, та у випадку вдосконалення існуючих. Якщо досягнуто скорочення питомих енерговитрат то будь-яка модернізація сушарки може бути визнана досить ефективною, (за обов'язкового збереження якості зерна).

У контексті цього **актуальним** є проведення досліджень з метою подальшого вдосконалення техніки та технології сушіння зерна шляхом розробки нових способів сушіння та нових конструкцій зерносушарок; підвищення ефективності використання діючих типів зерносушарок на основі вдосконалення конструкції та режимів роботи їх окремих вузлів, а також розроблення нових технологій сушіння; здійснення заходів, що спрямовані на подальше зниження питомих витрат палива та електроенергії на сушіння зерна тощо.

Метою дослідження є оптимізація тепловологісних параметрів процесу сушіння і зниження затрат палива, складання математичної моделі кінетики процесу сушіння в шахтних сушарках та розроблення технології монтажу

енергозберігаючого обладнання і засобів автоматизації сушарки.

Задачі роботи:

- здійснити аналіз патентної інформації та літературних джерел;
- вибрати критерії оптимізації;
- скласти математичну модель і виконати числовий експеримент;
- розробити технологію монтажу теплоутилізаційного обладнання;
- розробити схему автоматизації модернізованої сушарки;
- визначити економічну доцільність проєкту,

Об'єктом дослідження є необоротні тепломасообмінні процеси в конвективних барабанних сушарках.

Предметом дослідження є шахтна сушарка ДСП-32 для сушіння зернових культур.

Методи дослідження. В якості методів дослідження використано комплексний метод. Дослідження виконувалися як емпіричними так і теоретичними способами: спостереження, аналіз, синтез, числовий експеримент, математичне моделювання.

Новизна одержаних результатів.

Отримали подальший розвиток числові методи оптимізації використання енергії для сушіння зернових.

Особистий внесок здобувача полягає в патентному та літературному пошукові інформації, числових експериментах, виборі допоміжного обладнання.

Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи: результати роботи доповідалися на Міжнародній науково-технічній конференції "Енергоефективність в галузях економіки України-2023", Вінниця, 2023.

Публікації: Слободян М.В., Капусевич І.В., Співак О.Ю. Вплив швидкості руху теплоносія на інтенсивність сушіння цукру в барабанних сушарках. В "Матеріали «Міжнародна науково-технічна конференція Енергоефективність в галузях економіки України-2023» Вінниця, 2023." <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2023/paper/viewFile/19466/16113>. (дата звернення 22.11.2024).

1 ТЕОРЕТИЧНА РОЗРОБКА МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СУШІННЯ

1.1 Метод оцінювання ефективності витрат теплоти на сушіння за значенням питомих енерговитрат

Збільшення виробництва зерна – одне з основних завдань сільського господарства. Виробництво зерна сезонне, споживають його цілий рік, тому дуже важливо створити необхідні умови для його тривалого зберігання.

Зернова маса як об'єкт зберігання має унікальні властивості довговічності. Але, щоб зберегти зерно, його слід висушити. Технологію сушіння зерна постійно вдосконалюють: розробляються нові способи зерносушіння, створюються зерносушарки нових конструкцій, підвищується ефективність використання вже існуючих шахтних як прямотокових так і зерносушарок з рециркуляцією (в результаті покращуються конструкції їх окремих вузлів, відбувається здійснення заходів, спрямованих до подальшого пониження питомих витрат палива та електроенергії тощо).

Переробка висушеного зерна дозволяє знижувати енергоємність вальцювальних верстатів, підвищувати вихід борошна та круп, збільшувати тривалість зберігання борошна та круп, знижувати зношування обладнання. Таким чином, сушіння - одна з основних і найважливіших операцій у комплексі заходів у період післязбиральної обробки зерна [1].

У той же час, у галузі хлібопродуктів сушіння є найдорожчим та енергоємним процесом. Причина полягає в тому, що для сушіння зерна в основному використовуються конвективні зерносушарки, в яких для отримання топкових газів та підігріву чистого повітря, як правило, використовували паливо рідке (дизельне, солярове масло, тракторний гас) і газоподібне, хоча в останній час все більшого поширення набувають теплогенератори, які працюють на альтернативних видах твердого палива: дровах, пелетах, торфових брикетах.

Для оцінювання витрати різних видів палива на певну кількість годин

роботи конкретної зерносушарки додатково використовують показник «норма витрати умовного палива на сушіння однієї планової тонни зерна».

Поняття «планова тонна» запроваджено для врахування об'єму роботи та продуктивності зерносушарок в умовних планових одиницях. Як зразок за одну планову одиницю прийнято 1 тонну зерна пшениці продовольчого призначення вологістю 20%, висушену до вологості 14%. При сушінні зерна інших культур та інших значень вологості вводять спеціальні коефіцієнти, що визначаються за відповідними таблицями інструкції з сушіння зерна [2].

Зниження енергетичних витрат на сушіння зерна, і насамперед вибір підходящих палив, поряд з збільшенням інтенсивності вологовіддачі зараз розглядають як найважливіше завдання при розробленні і нових технологій сушіння і нових конструкцій сушарок, і при вдосконаленні вже сушарок існуючих.

Через це дуже актуальним є виконання різноманітних видів дослідження з метою подальшого вдосконалення техніки та технології сушіння зерна шляхом розробки нових способів сушіння та нових конструкцій зерносушарок, діючих типів зерносушарок на основі вдосконалення конструкції та режимів роботи їх окремих вузлів, а також вдосконалення сушильних технологій, проведення заходів, спрямованих на подальше зниження питомих витрат палива та електроенергії на сушіння зерна;

У світовій практиці для оцінки витрат теплоти на сушіння зерна використовується показник питомої витрати теплоти на випаровування 1 кг вологи $\sum q$ який характеризує, наскільки фактичні витрати теплоти перевищують приховану теплоту пароутворення води r (при випаровуванні з відкритої поверхні) при даній температурі зерна ϑ .

Значення $\sum q$ істотно залежить від вологості зерна до та після сушіння. Чим ближче вологість зерна до рівноважного значення, тим більше теплоти потрібно на її випаровування через наявність різних форм зв'язку вологи із зерном, кожна з яких характеризується певною кількістю теплової енергії, яку необхідно витратити на подолання цього зв'язку і на випаровування вологи.

На великих підприємствах, в яких є досить велика кількість сушарок різних типів, що працюють на різних видах палива, часто використовують показник "норма витрати умовного палива на сушіння однієї планової тонни зерна". Аналіз літературних джерел [1-4], показав, чим вище вихідна вологість зерна, тим більше вологи випаровується з нього в процесі сушіння за однакових значень вхідної витрати G_0 і відповідно тим нижчою є сумарна питома витрата теплоти $\sum q$ на випаровування 1 кг вологи.

Результати розрахунку кількості випарованої вологи та сумарних питомих витрат теплоти на випаровування 1 кг вологи в умовах сушіння зерна пшениці в зерносушарці ДСП-32 від різних значень початкової вологості w_0 до кінцевого значення вологості $w_1 = 14\%$ за різних значень K_v (коефіцієнта перерахунку маси висушеного зерна в планові одиниці) і вхідної витрати G_0 наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Кількість вологи, що випаровується W і сумарна питома витрата теплоти $\sum q$ при сушінні зерна пшениці різної вихідної вологості в зерносушарці ДСП-32 до кінцевої вологості зерна $w_1 = 14\%$

$w_0, \%$	K_v	$G_0, \text{кг/год}$	$W, \text{кг/год}$	$\sum q \text{ кДж/кг}$
16,0	0,54	59259	1379	8303,4
18,0	0,80	40000	1860	6156,1
20,0	1,0	32000	2233	5127,8
22,0	1,2	26667	2484	4609,7
24,0	1,46	21918	2546	4497,4
26,0	1,63	19632	2735	4186,6
28,0	1,88	17021	2767	4138,2
30,0	2,14	14953	2791	4102,6
32,0	2,39	13389	2805	4082,0

1.2 Критерії подібності, що характеризують ефективність сушіння

У практичних наукових дослідженнях для обґрунтування оптимальних способів і режимів сушіння вологих матеріалів проводять серію дослідів, за результатами яких будують криві сушіння, температурні криві і криві швидкості

сушіння.

У зв'язку з наявністю різних форм зв'язку води з матеріалом характер протікання процесу сушіння залежить від вихідної вологості матеріалу. Це ускладнює аналіз результатів дослідів, проведених з матеріалом різної вихідної температури.

Через це, для узагальнення результатів експериментальних досліджень широко застосована теорія подібності з використанням критеріїв, що мають зміст узагальнених симплексів, які дозволяють поширити закономірності, знайдені дослідним шляхом за відомих умов, на більшу групу інших, але подібних явищ.

Якщо проаналізувати характер перебігу в часі такого нестационарного процесу, як сушіння вологого матеріалу, то неважко помітити, що зміна будь-якого параметра M на величину ΔM у часі $\Delta \tau$ за інших рівних умов визначається вихідним значенням заданого параметра M_0 . Тобто поточне значення цього параметра M є функцією його вихідного значення і відрізка часу $\Delta \tau$

$$M = M_0 - \Delta M = f(M_0, \Delta \tau). \quad (1.1)$$

При проведенні процесу в певних умовах протягом оптимального значення часу $\tau_{\text{опт}}$ параметр M досягне певного, так званого «оптимального кінцевого значення параметра» $M_{\text{опт}}$ величина якого є функцією вихідного значення параметра M_0 . Причому, характер досягнення величиною M значення $M_{\text{опт}}$ підпорядковується певній закономірності, яка залежить від умов ведення процесу. Для зазначеної закономірності характерна наявність залежності у вигляді відношення

$$K_m = \frac{M_0 - M}{M_0 - M_{\text{опт}}}, \quad (1.2)$$

де K_m – критерій подібності, що характеризує ефективність течії процесу по

мірі зміни поточних значень параметра М.

Таким чином, використання методу «оптимальних кінцевих параметрів» дозволяє розробити критерії, що враховують взаємозв'язок початкових, поточних (за ходом процесу) та кінцевих (так званих «оптимальних») параметрів і дозволяють легко порівнювати ефективність різних способів та режимів сушіння.

1.3 Критерій ефективності вологознімання при сушінні зерна

На основі використання методу «оптимальних кінцевих параметрів» розроблено критерій ефективності знімання вологи K_w , що вимірюється в частках від одиниці. Критерій враховує взаємозв'язок вихідної вологості ω_0^c та поточної w^c вологості у розрахунку на масу сухої речовини зерна, а також кількість вологи, що видаляється із зерна

$$K_w = \frac{\omega_0^c - \omega^c}{\omega_0^c - \omega_{\text{опт}}^c}, \quad (1.3)$$

де $\omega_{\text{опт}}^c$ – кінцеве "оптимальне" значення вологості висушеного зерна при $K_w = 1$; наприклад, для зерна пшениці продовольчого призначення за $\omega_0^c = 25\%$ (відповідне значення вологості на загальну масу зерна $\omega_0 = 20\%$) і $K_w = 1$ кінцева «оптимальна» вологість висушеного зерна $\omega_{\text{опт}}^c = 16,28\%$, а $\omega_{\text{опт}} = 14\%$.

Таким чином, за своїм фізичним змістом K_w є коефіцієнтом перерахунку K_b маси висушеного зерна в планові одиниці в залежності від вологості зерна до і після сушіння.

Значення $\omega_{\text{опт}}^c = f(\omega_0^c)$ можна визначити або за відповідними таблицями [1] задаючись значеннями $K_w = 1$ і ω_0^c (з перерахуванням ω^c на ω методом інтеполяції), або отриманої шляхом обробки цих таблиць залежності

$$\omega_{\text{опт}}^{\text{с}} = 0,011(\omega_0^{\text{с}}) + 9,4. \quad (1.4)$$

При підрахунку $\omega_{\text{опт}}^{\text{с}}$ за (1.4) значення початкової вологості $\omega_0^{\text{с}}$ і поточної вологості $\omega^{\text{с}}$ потрібно брати за $K_w = 1$.

При використанні критерію K_w для аналізу результатів експериментів криві сушіння зерна різної вихідної вологості, отримані при різних режимах і способах сушіння, представляють в системі координат: K_w – час сушіння τ .

У разі рівномірного розподілу вологи по перерізу зернівки криві сушіння зерна різної вихідної вологості, отримані за однакових режимів сушіння, узагальнюють і подають у вигляді однієї загальної кривої залежності K_w від часу та інших факторів, що характеризують процес сушіння.

Часто в сучасних рециркуляційних зерносушарках знаходять застосування такі прийоми, як попередній підігрів та відлежування сирого зерна перед сушінням. Зазначені прийоми інтенсифікують дифузію вологи зсередини зернівки до її поверхні та подальший процес випаровування вологи при підведенні до зерна сушильного агента. Використання аналізованого критерію ефективності вологознімання K_w на основі обробки експериментальних літературних даних [2] дозволило встановити, що з використанням зазначених прийомів характер протікання процесу сушіння зерна сирого та середньої сухості близький до характеру перебігу процесу випаровування вологи з вільної поверхні і в цьому випадку в меншій мірі проявляється вплив різних форм зв'язку вологи із матеріалом зерна. В результаті обробки цих даних (у всьому діапазоні наведених у них значень вологості та температури нагрівання зерна) отримана залежність

$$\omega_{\text{опт}}^{\text{с}} = 0,012(\omega_0^{\text{с}})^2 - 0,153 \cdot \vartheta + 17,7. \quad (1.5)$$

де ϑ – поточна температура зерна, °C.

Використання того чи іншого способу сушіння часто буває пов'язане з

певними температурами сушильного агента. Так наприклад, у рециркуляційних зерносушарках для сушіння зерна пшениці продовольчого призначення використовується сушильний агент температурою 300...370 °С, а у шахтних прямооточних – температурою 100...160 °С. У зв'язку з цим аналіз ефективності використання того чи іншого прийому зневоднення зерна значно утруднюється. Крім того, у виробничих умовах у сушарку подають зерно різної вихідної вологості та різної якості. У зв'язку з цим технологу доводиться змінювати температуру сушильного агента, що за загальноприйнятої методики обліку позначається на продуктивності зерносушарки.

Для виключення впливу температури сушильного агента на характер протікання процесу сушіння та побудови узагальненої кривої залежності $K_w = f(\tau)$ при різних значеннях ω_0^c та температури сушильного агента t_1 існує емпірична залежність [3]

$$\omega_{\text{опт}}^c = 0,011(\omega_0^c)^2 - 0,117 \cdot t_1 + 23,4. \quad (1.6)$$

Ця залежність справедлива в діапазоні температур, які використовуються для сушіння зерна різної вологості, при різних станах шару зерна, в різних типах зерносушарок [3].

1.4 Критерій ефективності нагрівання зерна при його сушінні

Ведення процесу сушіння, а також обґрунтування різних режимів і способів сушіння неможливе без наявності даних про характер протікання процесу нагрівання висушуваного матеріалу в часі. Особливо це важливо для такого об'єкта сушіння, як зерно, яке внаслідок термолабільних властивостей при дії на нього теплоти здатне змінювати свою якість.

Найчастіше оптимальну тривалість ведення процесу зневоднення вологих матеріалів обґрунтовують спільним аналізом кривих кінетики сушіння та

нагрівання. Зокрема, для зерна оптимальна тривалість процесу дорівнює часу досягнення зерном гранично допустимої температури, що визначається його термостійкістю, яка, у свою чергу, залежить від способу сушіння та конструкції зерносушарки.

У зв'язку з цим дуже важливо мати узагальнений критерій, що враховує ефективність нагрівання зерна внаслідок впливу на нього сушильного агента з різною температурою.

На основі використання методу оптимальних кінцевих параметрів, за аналогією з критерієм ефективності знімання вологи K_w розроблено критерій ефективності нагрівання, що враховує взаємозв'язок початкової та поточної температури зерна, а також ступінь його нагрівання

$$K\vartheta = \frac{\vartheta_2 - \vartheta_0}{\vartheta_{2\text{опт}} - \vartheta_0}, \quad (1.7)$$

де ϑ_0 та ϑ_2 – відповідно початкова та поточна температура зерна, $^{\circ}\text{C}$;

$\vartheta_{2\text{опт}}$ – кінцеве оптимальне значення температури зерна при $K\vartheta = 1$, визначається параметрами зерна та сушильного агента, наприклад, при температурі сушильного агента $t_1 = 120^{\circ}\text{C}$, $\vartheta_0 = 10^{\circ}\text{C}$ і $K\vartheta = 1$ кінцеву оптимальну температуру зерна вологістю $\omega_0^c = 25\%$ ($\omega_0 = 20\%$) приймають $\vartheta_{2\text{опт}} = 55^{\circ}\text{C}$.

При аналізі характеру перебігу процесу нагрівання зерна за допомогою критерію ефективності нагрівання $K\vartheta$ для виключення впливу вихідної температури зерна ϑ_0 та температури сушильного агента t_1 на процес сушіння можна використовувати отриману експериментальним шляхом емпіричну [3] залежність

$$\vartheta_{2\text{опт}} = \vartheta_0 + 0,028 \cdot \sqrt{t_1^3} + 8,2. \quad (1.8)$$

У разі рівномірного розподілу вологи за перерізом зернівки криві нагрівання зерна однакової вологості, отримані при різних значеннях ϑ_0 і t_1 зводяться в одну загальну криву залежності критерію ефективності нагрівання $K\vartheta$ від

тривалості процесу τ та інших факторів, що характеризують процес нагрівання.

На практиці для аналізу ефективності використання того чи іншого режиму для нагрівання зерна доводиться мати справу із зерном різної вихідної вологості, у результаті чого виникають певні труднощі коректного аналізу.

У цьому випадку для виключення впливу на характер проходження процесу нагрівання зерна температури сушильного агента, початкової температури зерна ϑ_0 та вологості зерна можна використовувати отриману експериментальним шляхом залежність [4]

$$\vartheta_{2\text{опт}} = \vartheta_0 + 0,028\sqrt{t_1^3} - 0,3\omega_0^c + 15,7. \quad (1.9)$$

Залежність (1.9) справедлива для нагрівання зерна за різного стану шару в діапазоні температур, що використовуються для сушіння зерна в різних типах зерносушарок.

1.5 Видатність сушарок як функція температури сушильного агента

Видатність зерносушарки у планових одиницях (пл.т/год)

$$G = G_0 K_B K_{k(n)}, \quad (1.10)$$

де $K_{k(n)}$ – є коефіцієнтом для переведення висушеного зерна в планові одиниці в залежності від виду зернових культур (визначається за таблицями [3]);

K_B – є коефіцієнтом переведення висушеного зерна в планові одиниці залежно від вологості зерна, початкової ω_0 і кінцевої ω_2 (визначається за таблицями [3]);

G_0 – видатність зерносушарки по сирому зерну (для зерна пшениці продовольчого призначення з початковою вологістю $\omega_0 = 20\%$ ($K_{k(n)} = 1$) і кінцевою вологістю $\omega_2 = 14\%$ ($K_B = 1$), $G_0 = G$).

Використавши вираз (1.3) для розрахунку критерію K_w (за умови $K_w = K_B$) і значення $\omega_{\text{опт}}^c$, розраховане згідно з виразом (1.6), враховуючи температуру сушильного агента, можна при $K_B = 1$ встановити фактичне значення кінцевої

вологості зерна за тієї чи іншої температури сушильного агента

$$\omega_2^c = \omega_\phi^c = \left[\omega_{\text{опт}}^c = f(t_{\text{ca}}) \right] \quad (1.11)$$

Використання виразу (1.3) та значення ω_2^c розрахованого з виразу (1.11), а також значення $\omega_{\text{опт}}^c$, розрахованого (без врахування температури сушильного агента) за виразом (1.4), дозволяє встановити фактичне значення коефіцієнта K_v , яке відповідає режимам з тією чи іншою температурою сушильного агента.

Прийнявши як нормативне значення $K_v = 1$, яке відповідає рекомендованій для конкретного типу зерносушарок температурі сушильного агента (при одноступеневому режимі сушіння зерна пшениці з нормальною клейковиною та вологістю $\omega_0 < 20 \%$), введемо поправку в значення K_v , які розраховані за інших значень температури, для чого розділимо їх на значення K_v , яке відповідає нормативній (або базовій) температурі.

1.6 Видатність зерносушарок як функція температури нагрівання зерна

Використання виразу (1.3) для розрахунку коефіцієнта K_v (за умови $K_w = K_v$) та значення $\omega_{\text{опт}}^c$, розрахованого за виразом (1.5) з врахуванням температури нагрівання зерна, дозволяє при $K_v = 1$ встановити фактичне значення кінцевої вологості зерна при тій або іншій температурі нагрівання зерна

$$\omega_2^c = \omega_\phi^c = \left[\omega_{\text{опт}}^c = f(\vartheta_2) \right], \quad (1.12)$$

Використання виразу (1.3) та значення ω_2^c , розрахованого з виразу (1.12), а також значення $\omega_{\text{опт}}^c$, розрахованого (без врахування температури нагрівання зерна) за виразом (1.4) дозволяє встановити фактичне значення коефіцієнта K_v , яке відповідає режимам з тією чи іншою температурою нагрівання зерна.

Прийнявши як нормативне значення $K_v = 1$, що відповідає рекомендованій

для конкретного типу зерносушарок температурі нагрівання зерна (за режиму сушіння зерна пшениці з нормальною клейковиною та вологістю $\omega_0 < 20 \%$), введемо поправку до значення K_v розраховані за інших значень температури, для чого ділимо їх на те значення K_v , яке відповідає нормативній (або базовій) температурі.

На практиці, для шахтних прямоточних та рециркуляційних зерносушарок режим сушіння разом з температурою сушильного агента часто характеризують гранично допустимою температурою нагрівання зерна $\vartheta_{гд}$.

Обробка літературних даних [3-8] даних, що характеризують зміну видаєтності зерносушарок типу ГРС-50 та пневмогазової ПГС-50 за різних значень температури нагрівання зерна ϑ і температури сушильного агента t_{ca} ($^{\circ}\text{C}$), дозволила одержати для зерносушарки ДСП-50 таке співвідношення

$$t_{ca} = 1,932 \cdot \vartheta_{гд} + 43,4. \quad (1.13)$$

2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

2.1 Формування вхідних та вихідних параметрів

Основні параметри процесу сушіння (рис. 2.1):

а) вхідні та вихідні характеристики сушильного агента:

- витрата сушильного агента L ;
- температура на вході і виході t'_{ca} і t''_{ca} ;
- ентальпія на вході і виході h'_{ca} і h''_{ca} ;
- вологовміст d'_{ca} і d''_{ca} ;

б) вхідні та вихідні характеристики зерна:

- видатність G_0 і G_2 ;
- вологість ω_0 та ω_2 ;
- температура ϑ_0 та ϑ_2 ;

в) показники, що характеризують якість та структурні властивості:

– $K_{k(n)}$ – коефіцієнт приведення висушеного зерна до планових одиниць в залежності від виду зернової культури;

– K_v – коефіцієнт приведення висушеного зерна до планових одиниць в залежності від початкової ω_0 і кінцевої ω_2 вологості зерна;

г) характеристики конструктивних особливостей сушильної камери:

- швидкість переміщення зерна v_z ;
- час сушіння τ ;
- швидкість сушильного агента v_{ca} ;
- товщина шару зерна H_z ;

д) кількісні характеристики фізичних, теплофізичних та термодинамічних властивостей зерна:

- коефіцієнти теплообміну α та масообміну β ;
- дифузії α_D та термодифузії α_T);
- теплопровідності λ ;

- температуропровідності a ;
- термоградієнтний коефіцієнт δ ;
- питома теплоємність c ;
- насипна щільність ρ ;
- порозність шару ε ;
- ж) критерії ефективності процесу K_w і K_θ .

2.2 Параметрична схема математичної моделі

Основні зв'язки між параметрами процесу сушіння можна встановити за допомогою диференціальних рівнянь, що описують тепло- і вологоперенесення у вологих тілах за будь-яких умов, проте через складність їх вирішення часто використовують спрощені методи опису кінетики сушіння

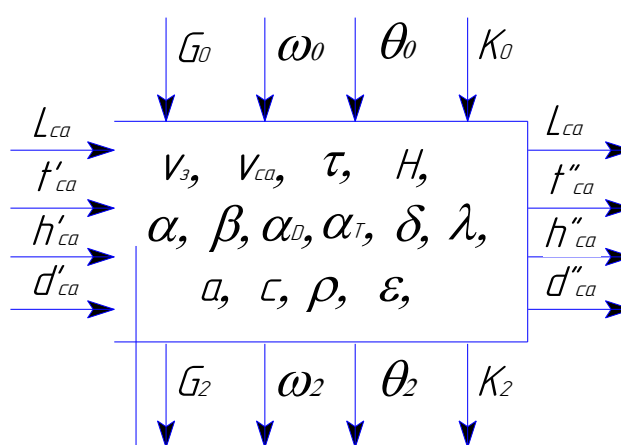


Рисунок 2.1 – Параметрична схема процесу сушіння зерна

Найбільш загальна форма опису кінетики сушіння запропонована А.В. Ликовим

$$\omega = \omega_p + (\omega_n - \omega_p) \cdot e^{-K\tau}, \quad (2.1)$$

де ω , ω_n , ω_p – відповідно поточна, рівноважна і початкова вологість матеріалу;

K – коефіцієнт сушіння, він є функцією температури та відносної вологості повітря.

Використовуючи описані в розділі 1 критерії, можна для аналізу процесу сушіння зерна використовувати вирази виду

$$\frac{dK_w}{d\tau} = f(X); \quad (2.2)$$

$$\frac{dK_\theta}{d\tau} = f(X), \quad (2.3)$$

де K_w – критерій ефективності знімання вологи;

K_θ – критерій ефективності нагрівання зерна;

$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – сукупність факторів, що впливають на процес.

Інтегруючи вираз (2.2) і підставивши в отриманий вираз залежності (1.3) і (1.4) отримаємо рівняння кінетики процесу сушіння зерна

$$\omega = \omega_0 - K_w(X, \tau) \cdot (\omega_0 - \omega_{\text{опт}}^c). \quad (2.4)$$

Після обробки даних з літературних джерел [3-8] по сушінню зерна різної початкової вологості ω_0 і температури θ_0 в діапазоні тих температур t , що використовуються в прямоточних і рециркуляційних зерносушарках і часу сушіння τ отримані емпіричні регресійні рівняння для опису кінетики сушіння зерна пшениці в рециркуляційних сушарках

$$\omega^c = \omega_0^c - 0,0012 \cdot \theta_0 \cdot (5 \cdot t^2 \cdot 10^{-5} + 1) \cdot (1,38 \cdot \sqrt{\tau} - 1) \cdot \left[\omega_0^c - 0,011(\omega_0^c)^2 - 9,4 \right], \quad (2.5)$$

$$\theta = \theta_0 + 0,001 \cdot t \cdot \tau^2 - 0,11 \cdot \tau \cdot \omega_0^c. \quad (2.6)$$

2.3 Вибір цільової функції

Незважаючи на різноманітність схем роботи рециркуляційних зерносушарок, практично всі вони мають однакову конструкцію зони рециркуляції;

відмінність може полягати лише у висоті зони. Отже, можна домовитися, що для цього класу сушарок конструктивні параметри одні й ті самі, тоді кількість факторів, що впливають на кінетику процесу, зменшується, тобто такі фактори, як товщина шару зерна H_z та швидкість сушильного агента v_{ca} (див. рис. 5.1), можна виключити з розрахунку, оскільки вони визначаються конструкцією сушарки, способом сушіння та властивостями зернової культури. Тоді вологознімання залежить тільки від початкових і кінцевих значень вологості ω_0 , ω_k і температури ϑ_0 , ϑ_k зерна, а також від тривалості процесу τ , причому керуючим параметром буде температура сушильного агента t .

Для коректності розрахунку критерій оптимальності процесу сушіння має характеризувати його ефективність з боку кінцевої технологічної мети, бути однозначним, досить простим і мати певну універсальність.

Такому опису найбільше відповідає узагальнюючий техніко-економічний показник «приведені затрати», який можна подати у вигляді

$$Z = \left[E_H \cdot \sum K_i + \left(\sum C_i \right) \cdot \Psi \right] \rightarrow \min, \quad (2.7)$$

де E_H – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

$\sum K_i$ – сумарні капітальні витрати на будівництво зерносушарки;

$\sum C_i$ – собівартість процесу сушіння, що визначається за сукупністю витрат;

Ψ – тривалість роботи зерносушарки на рік.

Оскільки використання оптимальних режимів сушіння не вимагає додаткових капітальних вкладень, має сенс розглянути питання про доцільність використання як критерій оптимізації показника «собівартість сушіння однієї планової тонни зерна», який включає витрати (з розрахунку на 1 планову тонну) на заробітну плату обслуговуючому персоналу, амортизаційні відрахування, витрати на поточний ремонт, витрати на паливо та електроенергію тощо.

Абсолютна величина таких витрат, як витрати на амортизаційні відрахування, поточний ремонт та інші, буде постійною величиною як для існуючих,

так і для оптимальних режимів. Що ж до витрат на електроенергію та заробітну плату, то при запланованій оптимізації вони можуть дещо змінюватися (у більший чи менший бік), але не настільки, щоб істотно впливати на собівартість сушіння 1 тонни зерна у плановому розрахунку.

Виходячи з цих міркувань, розглянуті статті витрат можна визначити один раз, а потім вважати їх величиною постійною або для спрощення розрахунків їх взагалі не розглядати.

Таким чином, необхідно визначити питомі витрати палива Z_j на кожному ступені процесу сушіння.

2.4 Математична модель

У загальному вигляді, по відношенню до процесу сушіння в цілому, питомі витрати

$$Z = \frac{Q}{G \cdot Q_{\text{нп}}^p}, \quad (2.8)$$

де Q – сумарні затрати теплоти на сушіння, кДж/год;

G – видатність зерносушарки, пл.т/год;

$Q_{\text{нп}}^p$ – нижча теплота спалювання умовного палива, кДж/кг.

Сумарні затрати теплоти

$$Q = L \cdot (h_{\text{ca}} - h_0) \cdot \tau, \quad (2.9)$$

Витрата сушильного агента

$$L = F \cdot v_{\text{ca}} \cdot \rho, \quad (2.10)$$

де F – корисна площа поперечного перерізу сушильної зони, м²;

Густина сушильного агента

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T} \cdot \frac{1 + d_0}{1 + 1,61 \cdot d_0}, \quad (2.11)$$

де P , R , T – відповідно тиск, газова стала і температура повітря на вході в калорифер;

d_0 – вологовміст повітря на вході в калорифер.

Ентальпія сушильного агента та повітря на вході в калорифер

$$h = 1,01 \cdot t + 0,001 \cdot d \cdot (2500 + 1,88 \cdot t), \quad (2.12)$$

де t і d – відповідно температура і вологовміст сушильного агента або повітря.

Видатність зерносушарки

$$G = G_0 \cdot K_w \cdot K_{k(n)} \quad (2.13)$$

З врахуванням (2.13) формула (2.8) перепишеться так

$$Z = \frac{Q}{G_0 \cdot K_w \cdot K_{k(n)} \cdot Q_{\text{ну}}}. \quad (2.14)$$

2.5 Спрощення, прийняті в математичній моделі

Для спрощення розрахунків приймемо значення F і v_{ca} виходячи з умов сушіння 1 кілограма зерна ($G_0 = 1$ кг) і вважатимемо їх постійними для всіх ступенів сушіння

$$F = 0,00636 \text{ м}^2; v_{ca} = 0,3 \text{ м/с}.$$

Приймемо умови навколишнього середовища, звідки сушарка забирає свіже повітря нормальними за вимогами NIST [11]

$$P = 101325 \text{ Па}; t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Також, на всіх ступенях сушіння можна прийняти постійними значення вологовмісту свіжого повітря і сушильного агента

$$d_0 = 5 \text{ г/кг}; d = 10 \text{ г/кг}.$$

Враховуючи те, що в математичні моделі прийнято $G_0 = 1 \text{ кг}$, формула (2.14) спрощується

$$Z = \frac{(0,0048 \cdot t + 0,011) \cdot \tau}{K_w}. \quad (2.15)$$

В отриманому виразі відношення $\frac{K_w}{\tau}$ за $G_0 = \text{const}$ є середньою швидкістю збільшення видатності сушарки по відношенню до всього процесу сушіння в цілому. Тобто, питомі затрати палива на сушіння залежать від температури сушильного агента і швидкості приросту видатності сушарки по мірі обезводження зерна.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЛОВОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1 Результати числового експерименту

Результати числового експерименту представлені на Рис. 3.1 – 3.6.

Досліджувався вплив температури сушильного агента на вологість зерна і температуру зерна після проходу через шахту прямотокової сушарки. Визначалась оптимальна температура сушильного агента. Досліджувалась кінетика зміни поточної вологості зерна в залежності від початкової вологості. Визначалась залежність критерію вологознімання від часу перебування зерна в сушильній шахті. Досліджувався вплив критерію вологознімання на питомі затрати при сушінні зерна пшениці «м'яких» сортів. Дослідження велися в діапазоні температур, рекомендованих для шахтних прямотокових сушарок, а саме $t = (\text{var})60 \div 160$ °C.

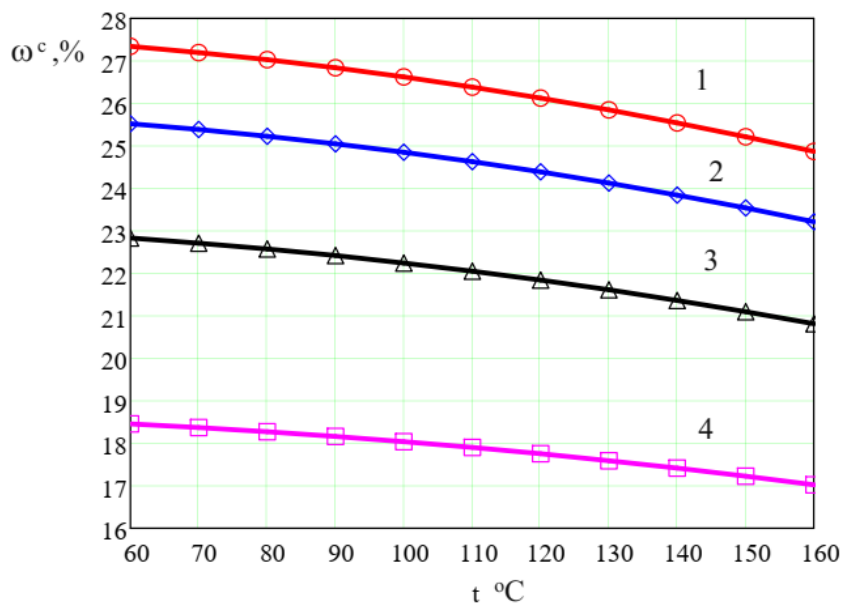


Рисунок 3.1 – Вплив температури сушильного агента на вологість зерна при сушінні в прямотоковій сушарці
 1 – $\omega^c = 27,5\%$; 2 – $\omega^c = 25,5\%$; 3 – $\omega^c = 23\%$; 4 – $\omega^c = 18,5\%$

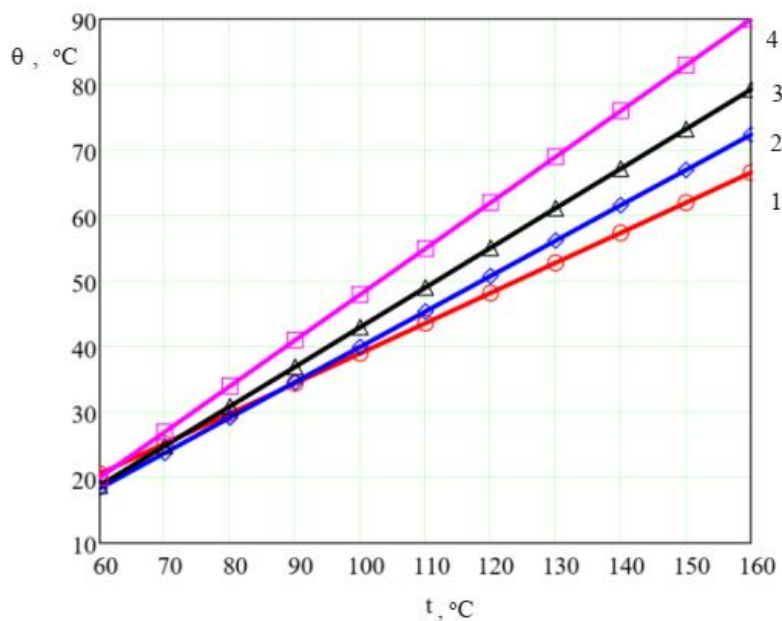


Рисунок 3.2 – Вплив температури сушильного агента на температуру зерна при сушінні в прямотоковій сушарці
 1 – $\omega^c = 27,5\%$; 2 – $\omega^c = 25,5\%$; 3 – $\omega^c = 23\%$; 4 – $\omega^c = 18,5\%$

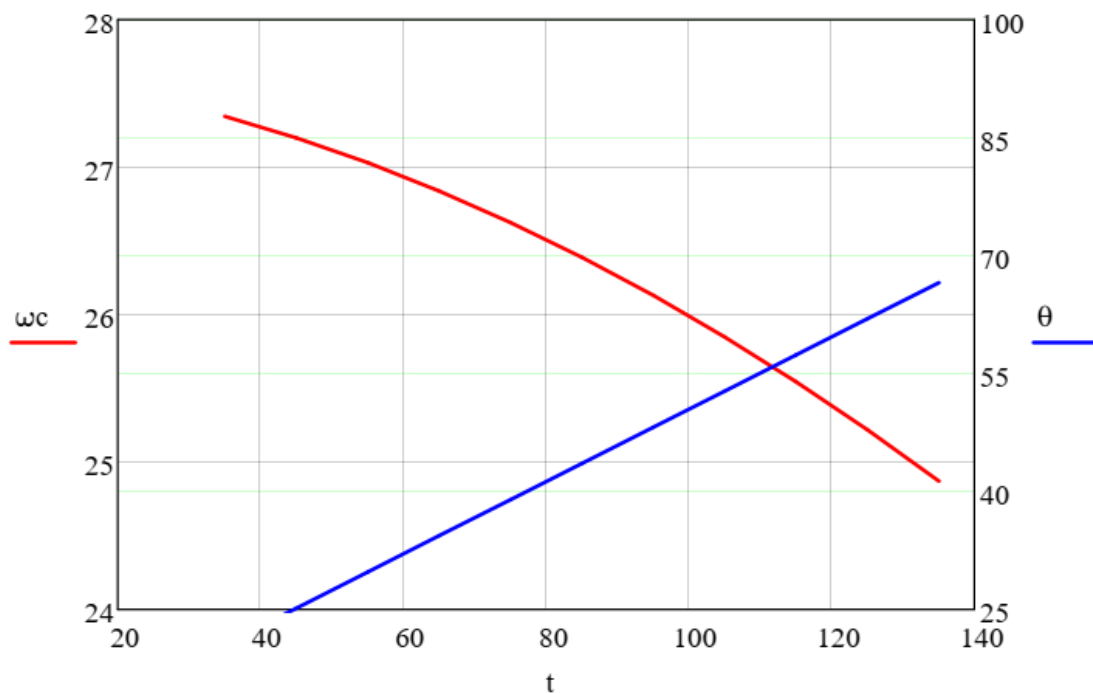


Рисунок 3.3 – Визначення оптимальної температури сушильного агента при сушінні зерна посівної пшениці з початковою вологістю 27,5%

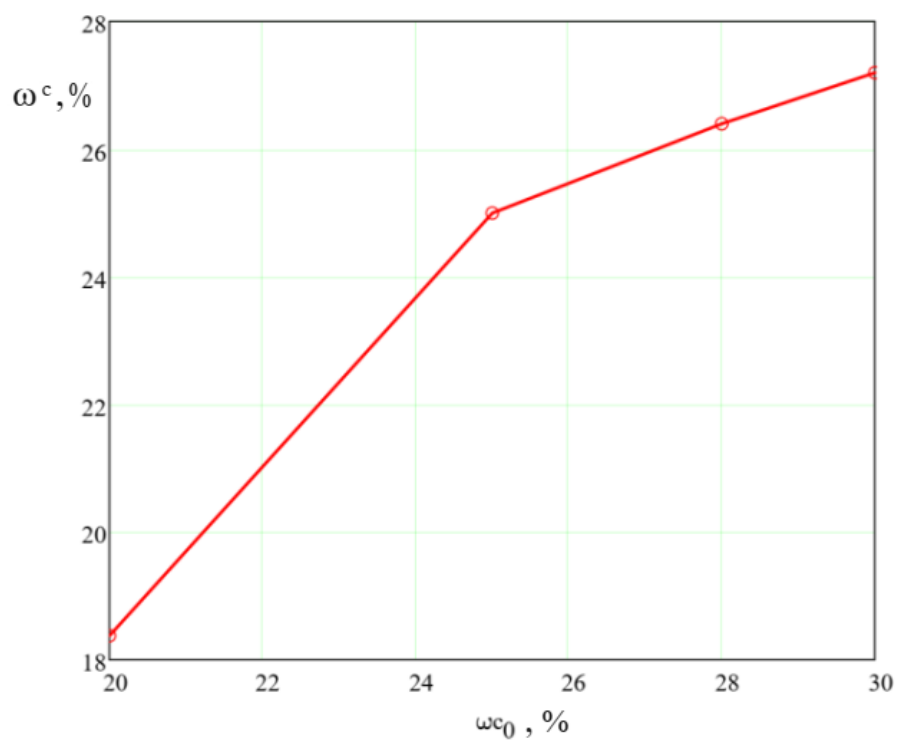


Рисунок 3.4 – Кінетика зміни поточної вологості зерна в залежності від початкової вологості

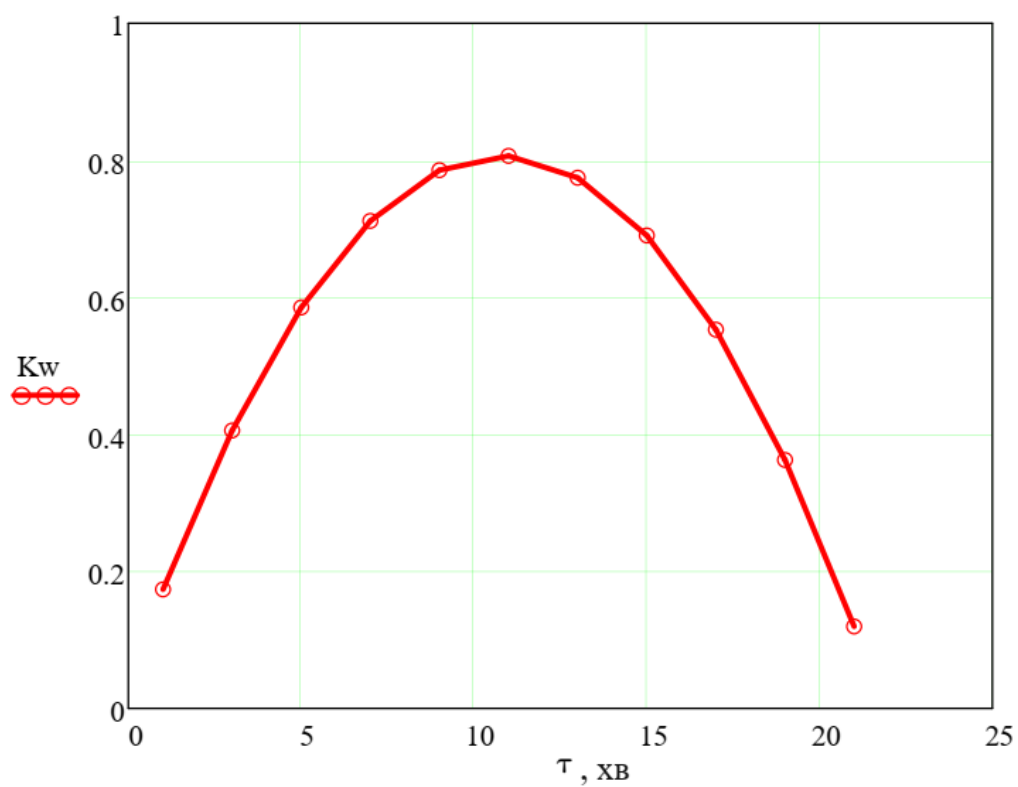


Рисунок 3.5 – Залежність критерію вологознімання від часу перебування зерна в сушарці

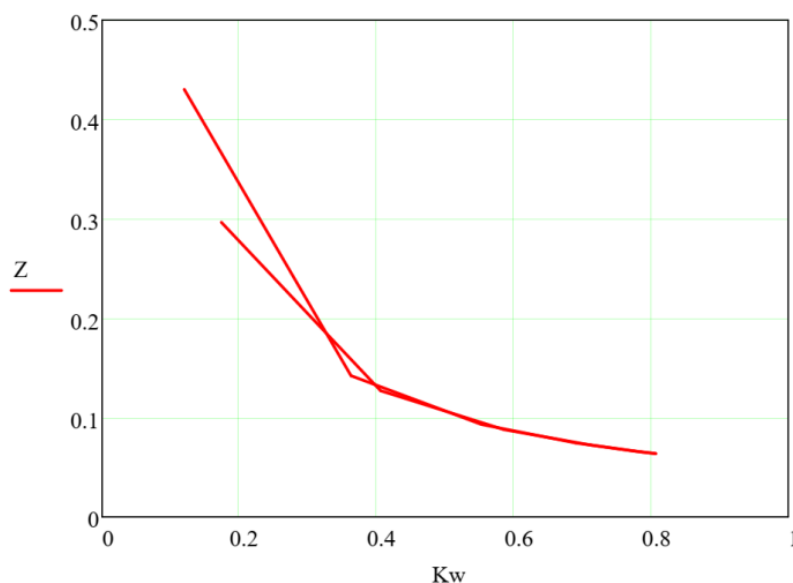


Рисунок 3.6 – Вплив критерію вологознімання на питомі затрати на сушіння

3.2 Обговорення результатів числового експерименту

На Рис.3.1. показано вплив температури сушильного агента на вологість зерна після проходження через шахту прямоотокової сушарки.

З графіка видно, що зі збільшенням вхідної температури сушильного агента вологість зерна після проходження через шахту зменшується, незалежно від вхідної вологості сировини, причому залежності для сировини з вхідною вологістю 27,5%, 25,5%, 23% і 18,5% паралельні, тобто вологознімання ($\Delta\omega$) відбувається на ту ж саму величину.

Але збільшувати температуру сушильного агента понад рекомендовану величину не бажано, особливо для посівного матеріалу, оскільки відомо [5], що вже при температурі зерна пшениці 55 °С вона втрачає схожість, а деякі інші зернові, наприклад просо, втрачають схожість при температурах більших від 50 °С. На початку процесу сушіння зернівка знаходиться при температурі мокрого термометра, яка значно нижча за температуру сушильного агента, але по мірі висихання поверхні температура в зерні зростає.

На Рис.3.2 представлено залежності температури зерна від температури сушильного агента для рекомендованого часу сушіння зерна пшениці в шахтній

сушарці. З графіків видно, що температура зернівки з меншою вологістю зростає швидше. При температурі 110 °С для зерна з вологістю 18,5% вона перевищує 55 °С, тому саме така температура сушильного агента є рекомендованою для сушіння в другій зоні прямотокових шахтних сушарок, хоча для зерна з початковою вологістю 23-27% температуру можна піднімати до 120 °С і навіть дещо більше.

Оптимальна температура сушильного агента при сушінні зерна посівної пшениці з початковою вологістю 27,5% показана на Рис. 3.3. При цьому вологість зерна на суху масу зменшується приблизно на 2% за один прохід через шахту. З врахуванням залежностей на Рис. 3.1 неважко розрахувати кількість проходів зерна через шахту для досягнення нормативної вологості зерна 16,2% на суху масу (14% на загальну масу).

При цьому необхідно враховувати і те, що зі зменшенням вологості зерна зменшується і масовіддача від нього, що ілюструє Рис.3.4, але цей ефект можна нівелювати, змінюючи час перебування зерна в шахті.

Залежність критерію вологознімання від часу перебування зерна в шахті показано на Рис. 3.5. З графіка видно, що оптимальним часом перебування зерна є 10-14 хвилин, при цьому критерій вологознімання досягає свого максимуму, рівного 0,8. Подальше зменшення критерію вологознімання з часом ми пояснити не можемо, оскільки не є спеціалістами з агрономії зернових, а воно, очевидно, пов'язане із будовою самої зернини. Критерій вологознімання, за своєю фізичною суттю (див. формулу 1.3) є коефіцієнтом що перераховує масу висушеного зерна до планових одиниць залежно від початкової і кінцевої вологості зерна.

Залежність питомих (на 1 кг сирого зерна) затрат на сушіння від критерію вологознімання показані на Рис.3.6. З врахуванням залежності на Рис. 3.5 можна стверджувати, що оптимальним (найдешевшим) процес сушіння буде тоді, коли час перебування зернівки пшениці в шахті знаходитиметься в межах 10-14 хвилин.

Висновки до розділу 3.

На підставі літературних даних в роботі складено математичну модель кінетики сушіння зерна посівної пшениці в шахтній прямотоковій сушарці.

Критерієм оптимізації процесу вибрано критерій вологознімання K_w , а за цільову функцію взято питомі затрати палива на сушіння.

Визначено, що питомі затрати палива на сушіння залежать від температури сушильного агента і швидкості приросту видатності сушарки по мірі обезводження зерна.

Результати числового експерименту на складеній математичній моделі показали, що оптимальною температурою сушильного агента є $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ при початковій відносній вологості зерна $18\text{--}27,5\%$, а оптимальний час перебування зерна в прямотоковій шахті сушарки складає $10\text{--}14$ хвилин. При цьому критерій вологознімання досягає значення $0,8$ відн. од., а затрати палива на сушіння є мінімальними.

4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Технологія монтажу теплообмінників

4.1.1 Опис необхідних видів робіт

Джерелом гарячого теплоносія є топка, яка працює на рідкому паливі. В якості палива застосовується гас, або гас змішаний з мазутом. Продукти згорання такого палива не можна направляти для сушіння харчових продуктів, якими є всі види зерна, що сушать в шахтних сушарках через їх низьку екологічну чистоту. Тому пропонується виконувати рекуперацію теплоти відхідних газів з топки в газоповітряному теплообміннику і підігрівати цією теплотою свіже чисте повітря. Димові гази надходять в теплообмінник та проходять між пластинами де й відбувається процес передачі теплоти до холодного теплоносія.

Оскільки шахтна зерносушарка має дві робочі зони з різними параметрами гарячого теплоносія в них, є доцільним використати два теплообмінники, для кожної робочої зони окремо.

До монтажних робіт при модернізації сушарки входить монтаж розбірного пластинчастого теплообмінника та повітропроводів з арматурою [18].

Газоповітряний пластинчастий компактний теплообмінник (ПКТА) мають активну площу теплообміну 375 м^2 , масу 925 кг і потужність 1670 кВт кожен.

Монтаж теплообмінника починають з установки на фундамент опорних металоконструкцій, що складаються з двох вертикальних стійок з опорами, з'єднаних між собою зв'язками з швелерів і куточків. Перед монтажем пластинчастого теплообмінника окремі його секції перевіряють на щільність вальцювання кромek листів, для чого кожну секцію по черзі укладають на оглядовий стіл і перевіряють якість вальцювання. У випадку виявлення пошкоджень секцію додатково ущільнюють герметизуючою мастикою або замінюють на нову. Після огляду секції з однієї сторони її перевертають, оглядаючи другу сторону.

Секції по чергово вставляють в раму, виготовлену з кутників, змінюючи напрям гребенів на 90° . Кути секцій ущільнюють герметизуючою мастикою.

Термін служби для пластинчастих секцій – не менше 10 років. Економічність і простота обслуговування даного теплообмінника полягає в тому що при засміченні його можна розібрати, промити і зібрати знову протягом 4-6 годин. Низька засміченість поверхні теплообміну досягається внаслідок високої турбулентності потоку теплоносія, утвореною гофрами, а також за допомогою якісної механічної обробки поверхні теплообмінних пластин. Термін роботи компактних газоповітряних теплообмінних апаратів 20 – 25 років. Вартість планового замінення гумових ущільнень коливається в межах 10 – 15 % від вартості пластинчастого теплообмінника. Вартість монтажних робіт по встановленню пластинчастих теплообмінників складає 2 – 4 % від вартості обладнання.

Для встановлення ТА необхідно змонтувати монтажну раму для ТА і нагнітальних відцентрових вентиляторів ВЦ-4-76-6,3Ж-02.

4.1.2 Підбір обладнання

4.1.2.1 Підбір обладнання і матеріалів для монтажу ТА

Для встановлення пластинчастих ТА, де відбувається теплообмін із свіжим повітрям, потрібні матеріали, які представлені в таблиці 4.1 [19].

Таблиця 4.1 – Матеріали для встановлення та обв'язування ПКТА

№ п.п.	Найменування матеріалу	Одиниці вимірювання	Кількість	Маса одиниці, кг	Маса, кг
1	2	3	4	5	6
Основні матеріали					
1	Нержавіючі повітропроводи прямокутні із сталі AISI 304, зварні, з фланцями без шинорейки, 450×450×0,7 мм, класу Н [21]	м ²	24,8	5,8	143,84
2	Нержавіючі повітропроводи прямокутні із сталі AISI 304, зварні, з фланцями без шинорейки, 500×500×0,7 мм, класу Н [21]	м ²	21,2	6,4	135,68
3	Теплообмінник компактний пластинчастий розбірний тип КТА-09	шт	2	925	1850
4	Затвори шиберні ножеві прямокутні Ду 450РУ СМАРТ-ТЕХ [22]	шт	4	37	148

Продовження таблиці 4.1					
1	2	3	4	5	6
5	Затвори шиберні ножеві прямокутні Ду 500РУ СМАРТ-ТЕХ [22]	шт	4	41	164
6	Коліно вентиляційне прямокутне з сталі AISI 304, з шинорейкою 90° 450×450×1 вентиляційне DIN 11850 [23]	шт	4	4,08	16,3
7	Коліно вентиляційне прямокутне з сталі AISI 304, з шинорейкою 90° 500×500×1 вентиляційне DIN 11850 [23]	шт	4	4,71	18,8
Допоміжні матеріали					
8	Азбестові шнури загального призначення [ШАОН-1] з діаметром 8 мм.	т	0,00084		1,82
9	Ущільнювач шинорейки ALENOR 5×10 мм	кг	7,58		16,5
10	Болти будівельні з гайками і шайбами	т	0,011		23,9
12	Зварювальні електроди, марка ЭА400	т	0,00039		8,5
13	Мастика герметизуюча нетвердіюча «Гермабутил IZOFAST» [24]	т	0,00513		11,1

Загальна маса матеріалів 2528 кг.

Для кріплення вентиляторів та теплообмінника застосовують несучу конструкцію (металеву монтажну раму), масу якої потрібно також врахувати при транспортуванні. Монтажна рама виготовлена з мірного прокату (швелери і кутники), сортамент і маса представлена в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Сортамент, довжина і маса прокату для монтажної рами

№ п.п.	Найменування прокату	Одиниці вимірювання	Довжина, м	Кількість	Маса одиниці, кг	Маса, кг
1	Швелер 14У	м	6,2	6	12,3	457
2	Швелер 10У	м	5	14	8,59	515,4
3	Кутник 75×75×6	м	5	6	6,89	206,7
Допоміжні матеріали						
4	Електроди, марка Э55, 4 мм	т		0,00072		8,4

Маса матеріалів для монтажної рами $1187,5 \times 2 = 2375$ кг

4.1.2.2 Підбір обладнання і матеріалів для монтажу вентиляторів

Матеріали для встановлення вентиляторів наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Матеріали для встановлення вентиляторів

№ п.п.	Найменування матеріалу	Одиниці вимірювання	Кількість	Маса одиниці, кг	Маса, кг
Потреба в основних матеріалах					
1	Вентилятори відцентрові ВЦ 4-75-6,3Ж-02, з електродвигунами типу АИР80В4У2, 1,5 кВт. [26]	шт	4	130,3	521,2
2	Віброізолятори ДО-39 [27]	шт	16	0,41	6,56
3	Вставка гнучка Н.00.00.-5 450×450×20 [28]	шт	4	1,2	4,8
4	Вставка гнучка Н.00.00-6 500×500×20 [28]	шт	4	1,4	5,6
Потреба у допоміжних матеріалах					
2	Болти анкерні	т	0,0014		5,6
3	Болти будівельні з гайками і шайбами	т	0,0016		6,2

Загальна маса матеріалів на встановлення 4 вентиляторів – 550 кг.

Загальна маса усіх матеріалів, що потрібні на встановлення системи, складає 5453 кг.

4.1.3 Встановлення складу і об'ємів робіт

4.1.3.1 Склад необхідних робіт:

- доставка деталей до місць монтажу та їх складування;
- розмічування місць майбутньої прокладки повітропроводів;
- монтаж теплообмінника;
- прокладання повітропроводів 450×450 мм;
- прокладання повітропроводів діаметром 500×500 мм;
- встановлення запірної арматури з Ду 450 та 500 мм;
- монтаж вентиляторів;
- перше робоче випробування системи циркуляції сушильного агента;

- кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію;
- повернення допоміжного обладнання на склад.

4.1.3.2 Об'єми необхідних робіт:

- доставляння деталей та матеріалів до місця їх монтування та їх складування. Одиниці вимірювання в тоннах. Повна маса всіх необхідних деталей 5453 кг (див. табл 4.1 – 4.3). Беремо об'єм робіт $V = 5,453$;
- встановлення монтажної рами. Одиниці вимірювання в тоннах. Приймаємо об'єм робіт $V = 2,375$;
- монтаж теплообмінника. Одиниці вимірювання в штуках. Встановлюється два теплообмінники масою 925 кг. Приймаємо $V = 2$;
- прокладання повітропроводів діаметром 450 мм. Одиниці вимірювання 100 метрів. Довжина труб з діаметром 450 мм складає 24,8 м. Приймаємо об'єм робіт $V = 0,248$;
- прокладання повітропроводів діаметром 500 мм. Одиниці вимірювання 100 метрів. Довжина труб що мають діаметр 500 мм складає 21,2 м. Приймаємо об'єми робіт $V = 0,212$;
- монтаж запірної арматури для повітропроводів діаметром 450 мм. Одиниці вимірювання штуки. Встановлюється 4 шибери масою 148 кг. Приймаємо об'єм робіт $V = 4$;
- монтаж запірної арматури для повітропроводів діаметром 500 мм. Одиниці вимірювання штуки. Встановлюється 4 шибери масою 164 кг. Приймаємо об'єм робіт $V = 4$;
- монтаж нагнітальних вентиляторів для подачі повітря та димових газів. Одиниці вимірювання штуки. Встановлюється 4 вентилятори масою 521,2 кг. Приймаємо об'єм робіт $V = 4$;
- перше робоче випробування системи циркуляції сушильного агента. Одиниці вимірювання в метрах. Загальна довжина труб становить 46 м. Приймаємо $V = 46$;
- робоча перевірка системи в цілому. Одиниці вимірювання штуки. Отже, $V = 1$;

Доставлені на будівельний майданчик прилади групуємо згідно заявочних специфікацій.

4.1.3.3 Особливості монтажу

Правильна організація доставки приладів, конструкцій та матеріалів до робочих місць безпосередньо впливає на якість монтування теплотехнічних систем.

Варто відзначити, що тільки надійний і якісний монтаж пластинчастого теплообмінника є гарантією безаварійного та тривалого терміну експлуатації. Виконуючи монтаж пластинчастого теплообмінника в обов'язковому порядку необхідно враховувати необхідність вільного простору з боків виробу, для його можливого майбутнього розбирання (у разі ремонту або сервісного обслуговування).

Всі повітропроводи входу і виходу теплоносіїв необхідно обладнати манометрами і термометрами. Це дозволить вести постійний контроль над правильною роботою теплообмінника і в обов'язковому порядку за засувками.

В обов'язковому порядку необхідно передбачити міцність покриття, на якій буде розташовано сушильна установка із пластинчастим теплообмінником. Теплообмінник має бути встановлений таким чином, щоб можна було запобігти гідравлічному удару, який може виникнути в теплообміннику. Всі повітропроводи, які підходять до теплообмінника, потрібно в будь-якому випадку утеплити в комплексі з прилеглими до плити фланцями. Перед монтажем теплообмінника перевіряють, ступінь затиснутості його пакета пластин.

Якщо виконуються зварювальні роботи в безпосередній близькості від теплообмінника пластини і прокладки необхідно захистити від бризок розплавленого металу від електродів і мінімально знизити вплив на обладнання ультрафіолетового випромінювання.

Фланці до повітропроводів приварювати забороняється безпосередньо на теплообміннику.

Необхідно вимірювати і встановлювати фланці по місцю, виконати ручним зварюванням прихвачування фланців до повітропроводів, проварювання роблять в місці, яке віддалене від теплообмінника, попадання зварювальних бризок на його пластини не допускати не можна. Перегрівання корпусних плит і разом з ним пластин також необхідно уникати (особливо це стосується гумового ущільнення).

Теплообмінник оснащений двома опорними косинцями на нерухомій плиті і одним косинцем на задній опорі. Теплообмінник може кріпитися фундаментними болтами і дюбелями. При установці апарату на рамах, платформах або міжповерхових перекриттях користувач повинен забезпечити міцне кріплення теплообмінника. При установці теплообмінника необхідно передбачити захисний козирок. В іншому випадку апарат повинен бути забезпечений захисним кожухом. При виборі місця для установки теплообмінника необхідно враховувати наявність достатнього для монтажних робіт простору. Для монтажу та подальшого техобслуговування теплообмінника рекомендується залишити близько 1 метра вільного місця з кожного боку. Оскільки для розбирання теплообмінника рухлива рамна плита повинна бути зміщена до задньої опори, забороняється монтаж в цьому просторі будь-яких пристроїв і механізмів.

Теплообмінник підключається до повітропроводів через переходи для подачі і відведення середовищ. Невикористані патрубки повинні бути заглушені. Для зручності проведення обслуговуючих робіт рекомендується розміщувати запірні пристрої (вентилі) в легкодоступних місцях. При підключенні теплообмінника до повітропроводу стежити за тим, щоб на переходи теплообмінника з боку повітропроводу діяли мінімальні сили або моменти. При необхідності необхідно підперти повітропроводи гарячого і холодного теплоносія спеціальними пристосуваннями. При підключенні повітропроводів до переходів на рухомі рамній плиті, повітропроводи повинні допускати їх зміщення вздовж осі теплообмінника, що дозволило б підтягувати пакет пластин під час його роботи.

Розмір затяжки не повинен бути менше мінімального значення, зазначеного в технічній документації та на заводській табличці [29].

В даній системі підігріву холодного теплоносія використовується пластинчастий теплообмінний апарат розбірного типу. Теплообмінник встановлюється шляхом установалення несучої рами, яка кріпиться до основи та коробів сушарки.

4.1.3.4 Послідовність монтажних робіт

Монтаж газоповітряного компактного теплообмінного апарата виконується в такій послідовності:

- розмітка місць установки кріплень на перекритті;
- виготовлення несучої рами;
- встановлення теплообмінного апарату;
- прикріплення до теплообмінного апарату повітропроводів.

Повітропроводи, через які подається грійний теплоносій, прокладається на висоті 2,5 м від бетонної поверхні. Повітропровід, за допомогою якого нагріваний теплоносій відводиться з теплообмінного апарату, прокладається на висоті 5 м від перекриття. Повітропровід через який подається холодний теплоносій прокладається на висоті 2,5 м.

Повітропровід, за допомогою якого відводяться відпрацьовані димові гази, прокладається на висоті 5 м від перекриття. Сам теплообмінник розташований від топки на відстані 2,7 м та від бетонної основи 5,1 м.

4.1.4 Обладнання для монтажу

Апарати, деталі, матеріали та обладнання для встановлення системи завозяться централізовано автомашиною "ГАЗ – 3309". Технічні характеристики автомашини наведені в таблиці 4.4 [30] .

Для монтажу вузлів теплообмінника та несучої конструкції потрібно застосувати автокран КС-2561К на колісній базі автомобіля ЗіЛ – 130, характеристики якого наведено в таблиці 4.5 [31].

Для зварювання стиків повітропроводів використовується зварювальний

апарат інверторного типу JASIC TIG 180P (W211). Його характеристики вказані в таблиці 4.6 [32].

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики автомашини "ГАЗ – 3309"

Назва	Одиниці вимірювання	Значення
Вантажопідйомність	кг	до 4500
Найбільша швидкість	км/год	95
Вантажна висота	мм	1365
Кількість осей:		
всього	шт	2
ведучих	шт	1
Радіус повороту	м	8
Коля коліс:		
передні	мм	1630
Задні	мм	1690
Габарити:		
Довжина	мм	6436
Ширина	мм	2700
Висота	мм	2905
Витрата палива	л/100 км	19,3
Маса	кг	3530

Таблиця 4.5 – Технічні характеристики автокрану КС-2561К

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

Таблиця 4.6 – Технічні характеристики зварювального апарата інверторного типу JASIC TIG 180P (W211)

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

Трубні заготовки комплектуються за гілками. Труби подаючих та зворотних магістралей зв'язують в пакети, які мають відповідне маркування, що не допускає помилок між ділянками.

Для їхнього монтажу використовують інструменти, список яких наведено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Набір монтажних інструментів [33]

Назва	К-ть, шт.	Загальна маса, кг
1	2	3
Ключ двосторонній гайковий М19х22 мм за ДСТУ ГОСТ 2839-80	6	1,21
Плоскогубці комбіновані за ДСТУ ГОСТ 5547-75	6	1,6
Викрутки за ДСТУ ГОСТ 5423-79	6	0,3
Зубило слюсарне 200 мм за ДСТУ ГОСТ 7211-72	6	2,2
Молоток слюсарний за ДСТУ ГОСТ 2310-77	6	1,8
Молоток гумовий	6	1,9
Стрічка вимірювальна, 20 м, за ДСТУ ГОСТ 7502-61	6	0,11
Рівень металевий за ДСТУ ГОСТ 7948-80	2	0,22
Висок за ДСТУ ГОСТ 7948-80	2	0,22
Ящик переносний для інструменту	12	3,0
Всього:		38,65

Щоб після монтажу випробувати повітропроводи на міцність та щільність

використовуємо вентилятор відцентровий типу НВВ-2-450/71-400Т, характеристика його представлена в таблиці 4.8 [34].

Таблиця 4.8 – Технічні характеристики вентилятора відцентрового НВВ-2-450/71-400Т

Найменування	Одиниці вимірювання	Значення
Витрата максимальна	м ³ /год	4200
Тиск статичний	Па	3550
Швидкість обертання	об/хв	2900
Маса	кг	75

4.1.5 Енергетичні та паливні ресурси

Електроенергія на роботу електрообладнання

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

де P – потужність обладнання чи механізмів, кВт;

τ – термін роботи даного обладнання, годин;

k – коефіцієнт, враховуючий періодичність роботи електричного обладнання.

Електроенергія, затрачена на роботу напівавтомату зварювального інверторного типу JASIC TIG 180P (W211).

$$k = 0,1; \tau = 1 \text{ (год)}; P = 6,5 \text{ (кВт)}; E_{\text{за}} = 6,5 \cdot 1 \cdot 0,1 = 0,65 \text{ (кВт}\cdot\text{год)}.$$

Витрати електроенергії на роботу нагнітальних вентиляторів ВЦ 4 -75:

$$k = 0,1; \tau = 24 \text{ (год)}; P = 1,5 \text{ (кВт)}; E_{\text{за}} = 1,5 \cdot 24 \cdot 0,1 = 3,6 \text{ (кВт}\cdot\text{год)}.$$

Витрата пального для доставки матеріалів та виробів:

– відстань $\ell = 25$ км;

- загальна маса 5427,26 кг;
- кількість повних рейсів $n = 2$;
- витрати пального $Q = 19,3$ л/100 км.

Кількість пального необхідна для доставляння всього обладнання

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

$$Q_{\text{п}} = 2 \cdot 2 \cdot 25 \cdot 19,3 / 100 = 38,6 \text{ (л)}.$$

4.1.6 Трудомісткість виконання монтажних робіт та визначення складу бригад

4.1.6.1 Склад бригад і вибір монтажних інструментів.

Склад бригад з врахуванням середнього розряду робочих для виконання робіт з монтажу визначають у відповідності до нормативних документів.

1. Доставка деталей до місць монтажу та їх складування. Водій і робітник.
2. Встановлення несучої конструкції. Чотири монтажники, 3 - 3, 1 - 6 розрядів.
3. Монтаж теплообмінників. Два монтажники 3,4 розрядів.
4. Прокладання повітропроводів діаметром 450мм. Два слюсарі-вентиляційники 3, 2 розрядів.
5. Прокладання повітропроводів діаметром 500мм. Два слюсарі-вентиляційники 3, 2 розрядів.
6. Встановлення запірної арматури Ду 450. Слюсар-сантехнік 4 розряду.
7. Встановлення запірної арматури Ду 500. Слюсар-сантехнік 4 розряду.
8. Монтаж вентиляторів. Два монтажники 3 розряду.
9. Монтаж віброізоляторів. Монтажник 4 розряду.
10. Монтаж вставок гнучких. Слюсар-вентиляційник 3 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.

4.1.6.2 Трудомісткість монтажних робіт

$$Q = V \cdot H_q / B, \quad (4.3)$$

де V – об'єм робіт;

H_q – 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.

Розраховані результати зведені в таблицю 4.9.

Таблиця 4.9 – Трудомісткість виконання монтажних робіт

Найменування робіт	Од. виміру	Об'єм робіт	Норма часу, люд/год	Трудомісткість люд/дні	Виконавці		Тривалість, днів
					кількість	Склад бригади	
1	2	3	4	5	6	7	8
Доставка деталей до місць монтажу та їх складування	т	5,427	4,4	2,98	2	Робітник, водій	1,49
Встановлення несучої конструкції [17]	т	2,375	32	19	4	Монтажник 1/6, 3/3 розрядів	4,75

Продовження таблиці 4.9							
1	2	3	4	5	6	7	8
Монтаж теплообмінників [18].	шт	2	12,75	3,12	2	Монтажник 4, 3 розрядів	1,6
Прокладання повітропроводів 450×450мм [19].	100 м ²	0,248	231,2	7,16	2	Слюсар-вентиляційник, 3, 2 р.	3,58
Прокладання повітропроводів 500×500мм [19].	100 м ²	0,212	231,2	6,12	2	Слюсар-вентиляційник, 3, 2 р.	3,06
Встановлення запірної арматури Ду 450 [19].	1 шт	4	3,4	1,7	2	Слюсар-вентиляційник, 3, 4 р.	0,85
Встановлення запірної арматури Ду 500 [19].	1 шт	4	3,4	1,7	2	Слюсар-вентиляційник, 3, 4 р.	0,85
Монтаж вентиляторів [20].	шт	4	10,2	5,1	2	Монтажник 3 розряду	2,55
Монтаж віброізоляторів [21]	10 шт	1,4	6,29	1,1	1	Монтажник 4 розряду	1,1
Монтаж вставок гнучких [21]	1 м ²	1	9,78	1,2	1	Слюсар вентиляційник 3 розряду	1,2
Перше робоче випробування системи циркуляції [22]	100 м	0,46	5,4	0,31	2	Слюсар вентиляційник 5, 3 розрядів	0,155
Робоча перевірка системи в цілому [22]	шт	1	2,9	2,9	2	Слюсар вентиляційник 5, 3 розрядів	1,45
Повернення допоміжного обладнання на склад	т	0,0973	3,1	0,0377	2	Робітник Водій	0,019
				54,6			23,74

4.1.6.3 Підготовчі роботи до монтажу

Перед початком монтажно-збірних робіт встановлюють чи готове бетонне покриття основи до монтажу.

Прийомка об'єктів для монтажу систем подачі повітря відбувається через акт за встановленою формою ,його має підписати представник генпідрядника, що виконуватиме будівельні роботи (або майстер або виконроб).

Перед початком монтажних робіт на об'єкті, виконується такий вид робіт, і їх виконання фіксується актом:

- підготувати канали для прокладання повітропроводів;
- в місцях прокладання повітропроводів і встановлення нагрівальних приладів ізолюються ділянки;
- монтажні пройми готуються для переміщень великогабаритних видів обладнання, та конструкцій, які підлягатимуть монтажу;
- на частинах сушарки наносяться відмітки фарбою для встановлення обладнання;
- для підключення механізмів і інструментів підводяться електросилові лінії;
- забезпечується нормальна освітленість місць роботи, легкий доступ робітників до них і визначається, чи можливо доставити матеріали, вироби та монтажне обладнання;
- виділяються місця для складування монтажних конструкцій, обладнання і необхідних матеріалів.

Якщо об'єкти будівництва, ще не прийняті під монтажні роботи, їх (монтажні роботи) виконувати не дозволяється.

4.1.6.4 Здавання змонтованої системи в експлуатацію

Технологічні операції при виконанні монтажу теплообмінників виконати в такій послідовності.

- розмічають місця встановлення теплотехнічного обладнання;
- розмічають місця установавання кріплень трубопроводів;

- встановлюють необхідне обладнання та опори.

Повітропроводи монтувати в такій послідовності:

- розмічають осі та встановлюють підвіски і кронштейни;
- прокладають необхідні види повітропроводів;
- розкласти заготовки і вузли за наміченими осями;
- приєднують обладнання до них;
- вивіряють та встановлюють задані уклони;
- закріплюють повітропроводи на підвісках і опорах.

Систему випробовують на справність арматури та інших пристроїв обладнання і на герметичність тільки після виконання всіх монтажних робіт. Випробування на герметичність повітропроводів слід виконати до накладення теплової ізоляції (якщо вона передбачена) і фарбування. Повітропроводи випробовують на відповідність вимогам ДСТУ ГОСТ 3845-82 тисками, що перевищують робочий на 0,5 МПа, але не більшими ніж 1 МПа протягом 12 хвилин. При цьому допускається пониження тиску не більше ніж на 0,1 МПа [41].

Випробування в системі оформляються актами. Щоб прийняти систему в експлуатацію готують таку документацію:

- акти, кресленики і документацію про погодження на додаткові роботи і зміни, які допускалися при виконанні робіт;
- акти випробувань на окремі елементи (монтажні вузли, пристрої, обладнання) причому потрібно додати усі їх паспорти;
- акти на приховані роботи;
- акти випробування мережі на герметичність та на ефективність роботи обладнання (насоси, баки, пожежні крани тощо).

Приймаючи монтажні роботи перевіряють:

- чи відповідає монтаж затвердженому проєктом;
- міцність кріплень;
- чи є ухили для спорожнення повітропроводів від конденсату;
- чи відсутні витоки повітря в обладнанні, запірній арматурі, з'єднаннях;

- ефективність вмикання і вимикання системи;
- чи нормальна робота засобів автоматизації.

Усі зазначені дефекти і неполадки вказують в актах приймання, відхилення від затвердженого проєкта, результати випробувань окремих видів обладнання і самої системи в цілому, чи якісно виконані роботи, чи наявні недоробки, визначають терміни для їх усунення.

Якщо монтажні роботи виконуються спеціалізованими експлуатаційними організаціями, спеціалізованими ремонтними цехами, що мають забезпечення необхідним обладнанням, матеріалами, запасними деталями для потреб поточних ремонтів внутрішніх технічних систем, це значно підвищує рівні технічної експлуатації змонтованих систем [42].

4.1.7 Заходи техніки безпеки для виконання робіт з монтажу

Для виключення можливості виникнення нещасних випадків на монтажних та заготівельних роботах необхідно точно дотримувати правила техніки безпеки та протипожежної безпеки.

Працівники мають пройти відповідне навчання з техніки безпеки за 8 - 10 годинною програмою.

Заборонено одягати допоміжні силові елементи (обрізані шматки труб) на ручки і заборонене використання металевих підкладок під губки користуючись трубними і гайковими ключами.

Переміщувати і піднімати важкі деталі і пристрої потрібно за випробуваними і перевіреними таями, лебідками, кранами тощо при цьому потрібно застосовувати сталеві троси.

Для запобігання пожежам на місці де виконуються монтажні роботи або на заготівельній ділянці потрібно поводитись з вогнем обережно та виконувати всі протипожежні заходи. Курити дозволено лише в місцях які спеціально відведені. Вогнебезпечні матеріали має зберігатися в спеціально відведених

приміщеннях. Електромережі повинна бути в справною.

При виникненні пожежі, поки не прибула пожежна команда потрібно використати наявні засоби гасіння пожежі.

Працівника, враженого електрострумом необхідно звільнити від дії струму якнайшвидше, для чого виключають відповідні рубильники, які повинні знаходитись в легкому доступі. Якщо це зробити неможливо, то тоді постраждалого відривають від електродроту чи предмета, що знаходиться під напругою. Той, хто надає допомогу, не має торкатися враженого працівника руками без захисту: необхідно одягти прогумовані рукавички і діелектричні калоші. Можна наступити на суху дошку та обмотувати свої руки сухим одягом. Якщо постраждалий без свідомості, дати йому нашатир і потрібно робити штучне дихання, краще методом рот в рот.

Висновки до підрозділу 4.1.

В даному підрозділі розроблено технологію монтажу розбірного пластинчастого теплообмінного апарата для підігріву холодного теплоносія відхідними газами з топки шахтної зерносушарки.

Виконано підбір обладнання і матеріалів для монтажу газоповітряного теплообмінника та нагнітальних вентиляторів ВЦ 4-76-6,3Ж-02, визначено загальну масу обладнання, яка склала 5247,26 кг.

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

Розраховано необхідну кількість робітників, необхідних для монтажних робіт, із зазначенням їхніх спеціальностей.

Розроблено необхідні заходи з технології та організації монтажу системи.

Проведені необхідні розрахунки дали змогу розробити календарні графіки монтажу системи, руху робітників та руху машин та механізмів.

4.2 Автоматизація шахтної сушарки

4.2.1 Опис об'єкта автоматизації

Реалії економіки загострюють боротьбу за якість і збереження врожаю, і класичні "дідівські" методи сушіння зерна, в яких головну роль грають інтуїція і досвід оператора, поступово доходять до того моменту, коли отримати з сушарки максимум продуктивності без перевитрати палива і втрати якості вже не є можливим. Особливо актуальною ця задача постає в світлі подорожчання енергоносіїв.

В кваліфікаційній роботі представлено вирішення даної проблеми шляхом автоматизації процесу сушіння. Автоматичне регулювання: процес, забезпечуючий підтримання регульованих параметрів в об'єкті регулювання на заданих рівнях, або його зміну яка задана якимось законом або залежно від зміни інших параметрів.

Головними вимогами до сушильних установок є забезпеченість рівномірності сушіння та отримання однорідної продукції по всіх точках сушильної камери за високих техніко–економічних показників: мінімальні питомі витрати тепла та електроенергії, просте обслуговування та ремонт обладнання. Одним з основних факторів, які можуть характеризувати сушильні установки є рівномірність сушіння, особливо ці вимоги висувають установкам, що призначені для сушіння сировини, які можуть змінювати початкову вологість в широких межах (зерно). Тут однією з важливих вимог є можливість повного сушіння партії сировини, яка має різну вологість за один прохід.

Проектування та розрахунки зерносушильної установки повинні враховувати відомі основні принципи технології сушіння: залежно від властивості об'єкта сушіння слід вибирати найбільш раціональні методи і оптимальні режими сушки і на цій підставі виконують вибір або розроблення сушильних установок [43].

Метою розділу є розробка функціональної схеми автоматизації сушарки ДСП-32.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- вибір величин які потрібно регулювати
- вибір засобів автоматизації
- підбір регулюючих органів

4.2.2 Опис технологічного процесу

Сушіння є процесом видалення рідини з матеріалу, що забезпечує її випарювання та відвод пари яка утворилась. Апарати в яких виконують сушіння називають сушарками. За способами передавання теплоти розрізняють конвективні, терморадіаційні, контактні, сублімаційні та сушарки СВЧ. Дрібнодисперсні матеріали, які є порошкоподібними, зернистими, гранульованими, дробленими твердими, а також дисперговані пастоподібні та рідкі матеріали як правило висушують конвективним методом. В сушарках з конвекцією теплоту для процесу підводять разом із газоподібним сушильним агентом (нагрітим повітрям, топковими газами, або сумішшю їх з повітрям), він стикається з поверхнею матеріалу безпосередньо. Пара рідини виноситься тим же сушильним агентом. У багатьох типів сушарок, що мають зважений шар висушуваного матеріалу, сушильний агент є і тепло-вологоносієм і транспортним середовищем для дрібнодисперсного матеріалу. Якщо контакт висушуваної сировини з киснем повітря небажаний або якщо волога пара, що видалається є вибухо- або вогнебезпечною, сушильним агентом можуть служити інертні до висушуваного матеріалу гази, так і як: діоксид вуглецю, азот, гелій або інші інертні гази чи перегріта водяна пара. В самому простому виді сушильний процес виконують так, щоб сушильний агент, який нагріли до допустимої температури для висушуваного матеріалу, використовувався одноразово в сушильному апараті. Такий процес називають основним. Для сушіння сировини, яка потребує підвищеної вологості теплоносія та невисокі температури, застосовують пристрої, які забезпечують

рециркуляцію або повертають частину відпрацьованого теплоносія на вхід робочої камери сушарки, а також сушарку що обладнана калориферами проміжного підігріву повітря між окремими зонами і може одночасно його рециркулювати. Якщо сушать матеріали, що важко висушується, або для поліпшення їх сипучості часто застосовується рециркуляція частини продукту, вже висушеного, повернення його до входу в робочу камеру сушарки, та змішування його з сирим матеріалом. Процеси сушіння вологого матеріалу є не тільки теплофізичними, але і технологічними процесами, в характері його протікання основну роль грають форми зв'язку вологи з матеріалами. Механізми процесів конвективного сушіння можна уявити таким чином. При попаданні вологих тіл в нагріті гази відбуваються процеси перенесення теплоти до поверхні матеріалу, зумовлені різницею температур, нагрівання тіл і випаровування вологи. Парціальний тиск пари поблизу поверхні тіла при цьому зростає, що активує механізм дифундування водяної пари до навколишнього середовища. В результаті випаровується волога з поверхні, пара, що утворилася, відводиться в теплоносій, виникає градієнт концентрації вологи в матеріалі, який є рушійною силою внутрішнього переміщення її з глибинних шарів до поверхні випаровування. Коли волога переміщується всередині сировини відбуваються порушення зв'язку вологи з матеріалом, це сприяє додатковим витратам енергії понад ту, яка потрібна для утворення пари. Конвективні способи сушки відрізняються простотою і дають можливість регулювати температуру матеріалу.

4.2.3 Характеристика технологічного обладнання

Зерносушарка шахтного типу ДСП-32 (рис.4.1) призначена для сушіння зерна чотирьох основних зернових, а також насіння бобових і олійних культур, кукурудзи, рису та інших рослин. Процес сушіння відбувається безперервно за принципом конвекції, в якості теплоносія служить чисте, підігріте повітря (без топкових газів). Підібрані відповідним чином параметри підігрітого повітря надають можливість сушити продовольчий і посівний матеріал. Зерносушарка за

своєю конструкцією пристосована до роботи на відкритому повітрі. Кожна зерносушарка оснащена колонкою сушіння з фільтрами повітря, топкою, що працює на рідкому або газовому паливі разом, димовідвідними трубами і розподільною шафою з установкою управління [44].

Модернізація автоматизації сушарки ДСП-32 призначена для надійності роботи усієї сушильної установки, високої якості процесу сушіння та самого технологічного процесу. Сушарка ДСП-32 призначена для сушіння кукурудзи та іншої сільськогосподарської продукції. Стабільно висока якість висушеної сировини, яка досягається через автоматичне підтримання оптимальних температурно-вологісних параметрів сушильного агента є головною задачею автоматизації процесу сушіння.

В шахтних конвективних сушарках основним елементом є камера, яка відіграє важливу роль у процесі сушіння. 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 агента сушіння.[45]

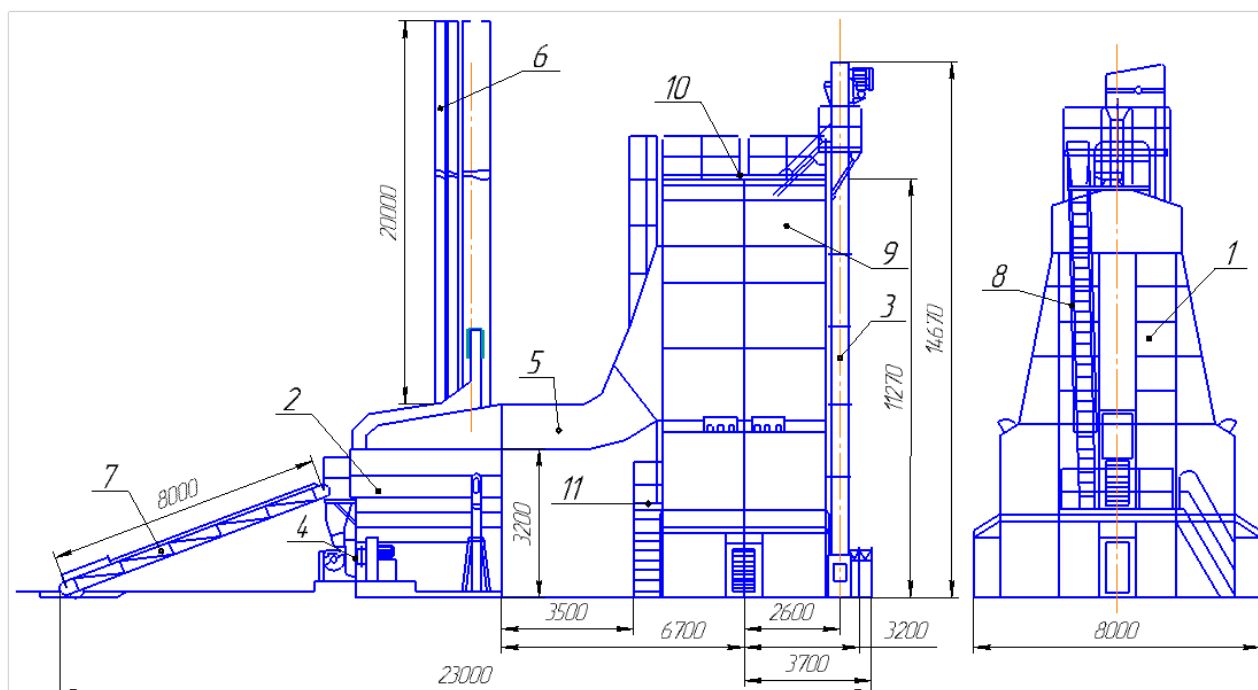


Рисунок 4.1 – Сушарка ДСП-32 (габаритне креслення)

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.

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 сушіння через вихідні розподільчі короба відпрацьований теплоносій 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.

4.2.4 Характеристика теплоносіїв, які застосовуються в процесі

Вхідні продукти – димові (відхідні) гази з топки, повітря, волога сировина. Робочим теплоносієм сушарки чисте підігріте повітря. Готовим продуктом – висушена до необхідних параметрів сировина.

Повітря – природна суміш газів, з яких складається атмосфера Землі. Якщо повітря очистити від водяної пари, сторонніх домішок й вуглекислого газу воно стане зовсім безбарвним й прозорим. Повітря не має ні запаху, ні смаку, має здатність заповнювати всі порожнини, легше від води, погано

розчиняється у воді, але питоме розчинення повітря у воді збільшується при охолодженні і зменшується при нагріванні, поганий (в нерухомому стані) провідник теплоти, підтримує процеси горіння, бо до складу входить кисень, постійно рухається, при нагріванні розширюється при охолодженні стискається.

Повітря широко застосовується у багатьох сферах промисловості. Перевагою використання чистого повітря як теплоносія в процесі сушіння є отримання високоякісного продукту, який можна використовувати в харчовій промисловості та як посівний матеріал.

Мазут є рідким продуктом темно-коричневого кольору, сумішшю вуглеводнів, нафтових смол, карбенів, асфальтенів, органічних металомістких сполук (V, Ni, Fe, Mg, Na, Ca) і карбоїдів. Фізико-хімічні характеристики мазутів залежать від хімічного складу нафти і ступеню відгону фракцій. Має нижчу теплоту згорання 39,4 - 40,7 МДж/кг. Мазути застосовуються в якості палива для парових котлів, на них працюють котельні установки (котельне паливо) і промислові печі (наприклад мартени). Має малий вміст золи. Дає можливість отримання полум'я, що забезпечує високий радіаційний теплообмін в топковому просторі і можливість організації при певних умовах, його спалювання в малих за габаритами топках.

4.2.5 Обґрунтування вибору величин, які регулюються та каналів регулюючого впливу

4.2.5.1 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 ДСП-32 є: температура та витрата зерна в бункері, кількість готової продукції,

температури та вологість зерна в робочій камері та 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 можуть змінюватися в результаті регулюючих впливів і якщо на них діють зовнішні і внутрішні збурення, що носять детермінований або випадковий характер.

Отже, сушарка як об'єкт керування це складна динамічна система з декількома вхідними, і вихідними величинами що взаємопов'язані між собою.

4.2.5.2 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-вологообмінника 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 охолоджуваного зерна установка датчиків рівня зерна не обов'язкова [44].

Автоматичне регулювання коли сушарку завантажують зерном виконується позиційним регулятором рівнів.

В існуючих системах керування застосовано електронні (ємнісні) датчики рівня. Використання такого регулювання на практиці дозволяє значно

покращити роботу оператора з управління сушарки. До негативних особливостей відноситься необхідність періодичного настроювання датчиків та можливість помилкових спрацювань.

Схема регулювання рівня в бункері представлена на рисунку 4.2.

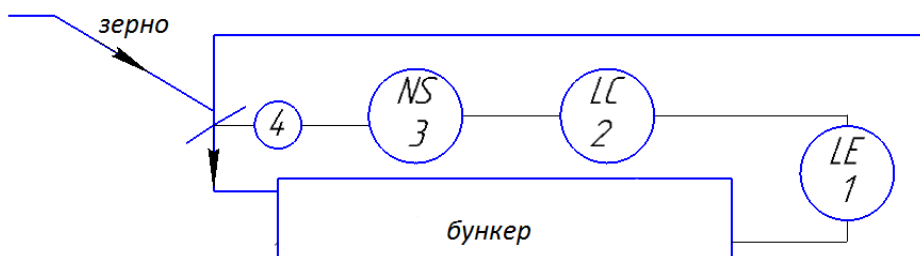


Рисунок 4.2. – Регулювання рівня в бункері-розподільнику

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 шиберу.

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

4.2.5.3 САР температури повітря на вході в робочу камеру сушарки

Основний параметр, який може характеризувати теплові режими зерносушарки є температурою теплоносія, який подається в сушарку. Відомо, що продуктивність сушарок залежить від цього параметра в першу чергу. Через це процес сушіння буде найбільш інтенсивним тоді, коли температура сушильного агента на вході в сушарку $\vartheta_{\text{пов}}$ буде граничною, при цій температурі температура зерна $\vartheta_{\text{зер}}$ в процесі сушіння не підніметься над допустимою межею. Щоб ефективно вести процес сушіння і зберегти якість зерна необхідно, щоб власна температура в зерні не перевищувала певного граничного значення.

Для вимірювання температури агента сушіння і атмосферного повітря користуватися логометри з термометрами опору або потенціометрами з термопарами. Термометр опору встановлювати в підвідному дифузорі або повітропроводі безпосередньо перед сушильними зонами, камерою нагріву, в пневмотрубі (перед місцем введення зерна в пневмотрубу). Відомо [32], що температурні поля в шахтних зерносушарках нерівномірні. Для правильного ведення процесу необхідно знати інформацію по температурі зерна в точках його максимального нагрівання, бо тільки такі точки визначатимуть місце теплового пошкодження зернових.

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

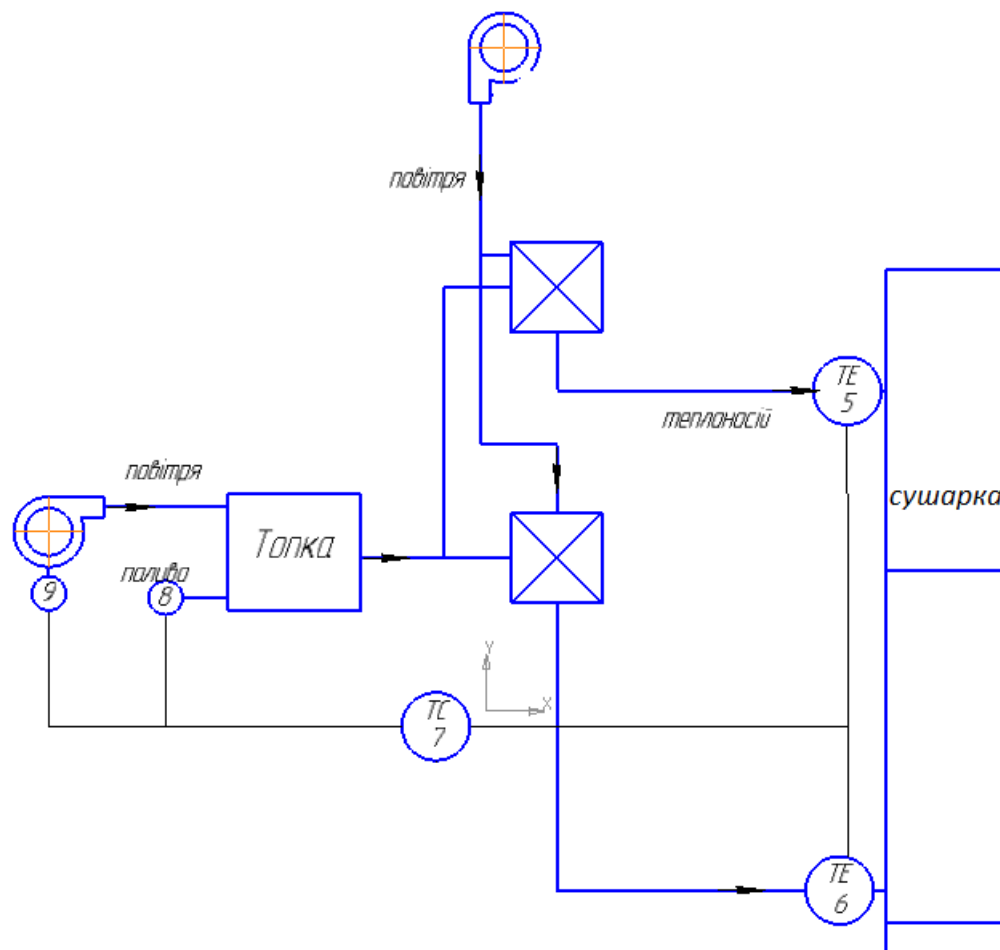


Рисунок 4.3 – Регулювання температури повітря на вході в робочу камеру сушарки

Зміна температури повітря на вході в робочу камеру сушарки відіграє роль головної збурюючої дії. Внаслідок такого збурення процес сушіння є ненадійним.

Отже, для надійності процесу необхідно підтримувати задану температуру повітря. Вимірювання температури повітря здійснюється за допомогою датчика температури – термоперетворювача опору ТСП-1588.

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

4.2.5.4 САР витрати повітря на сушіння

Повітря, в шахтній зерносушарці ДСП-32, 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.

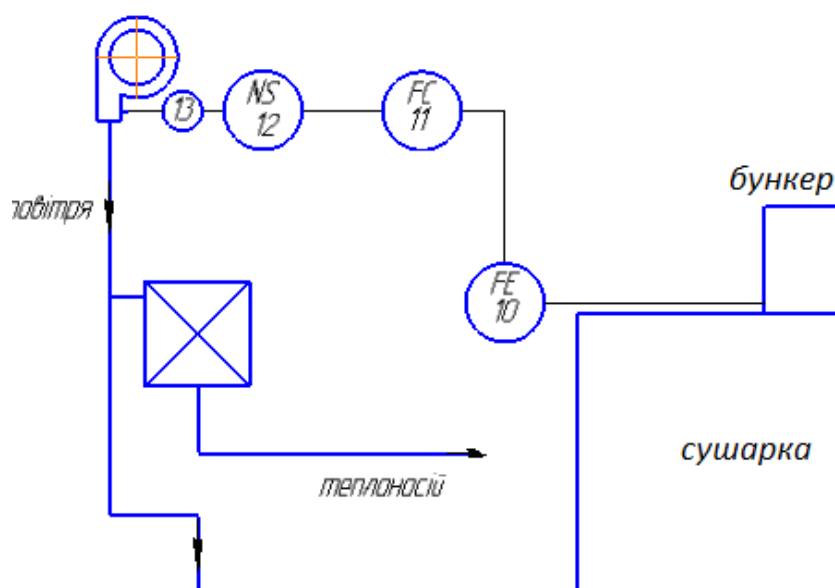


Рисунок 4.4 – САР витрати повітря на сушіння

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 OVEN TPM138 (11), який виробляє сигнал для перетворювача частоти Lenze ESV453NO4TX (12), що відповідає за роботу вентилятора свіжого повітря на сушіння (13).

4.2.5.5 CAP готовності продукту

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

Вологістю матеріалу часто називають це вміст у зерні гігроскопічної води, виражений у відсотках від питомої маси. Як показник якості зерна вологість має подвійне значення: економічне і технологічне. При продажі партії зерна вона приймалася б без обмежень, якби вологість зерна не перевищувала обмежувальної кондиції (для ячменю і пшениці це 14,5%), бо цінуються в зерні сухі речовини, а не вода. Може прийматися зерно з підвищеною вологістю, за взаємною домовленістю сторін, але тоді зменшують оплачувану масу партії зерна, тобто проводять натуральне зниження з фізичної маси в розмірі одного відсотка за кожен надлишковий відсоток вологи. Крім того, може стягуватися додаткове оплачення сушки зерна і насіння.

Технологічне значення вологості велике. Якщо зернові культури знаходяться в сухому стані, їх тривалий час можна зберігати з мінімальними втратами, (коли вони не мають вільної води). Щоб зерно успішно переробити необхідно його певна вологість, якщо вологість велика, зерно в борошно не можна успішно молоти або переробляти його в крупу, важко виділяється олія з насіння олійних культур.

Залежно від вологості злакове зерно ділять на чотири стани: сухе (до 14%), середньої сухості (14,1-15,5%), вологе (15,6-17%) і сире (понад 17%). Добре зберігається тільки сухе зерно. Якщо воно в стані середньої сухості то характерне тим, що може з'явитися невелика кількість вільної вологи за критичної

вологості (14,5-15,5%). Таке зерно не придатне для тривалого зберігання, але має хороші технологічні якості для розмелювання. Вологе і сире зерно підлягає негайному просушуванню.[46]

Отже, ми розуміємо що 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 сушіння наведена на рисунку 4.5.

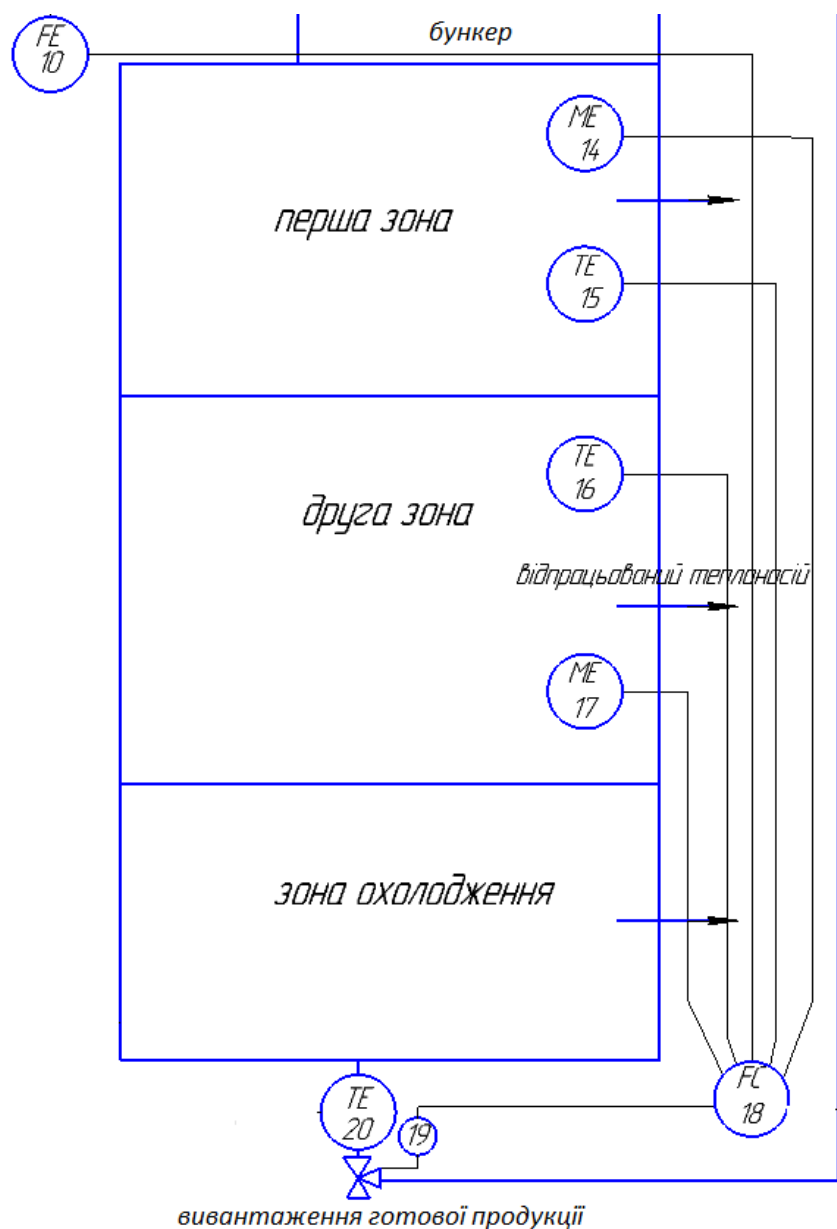


Рисунок 4.5 – Регулювання готовності продукту

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 агента сушіння (повітря) на протязі 30 хв, подається сигнал на заслінку 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 .

4.2.6 Вибір та обґрунтування засобів автоматизації

4.2.6.1 Етапи проєктування вибору засобів автоматизації

Можна виділити наступні етапи проєктування вибору засобів автоматизації:

1. Обстеження технологічних процесів або об'єктів управління з метою визначення допустимих меж в яких змінюються вихідні і вхідні параметри, кількості контрольованих параметрів, канали керування тощо.

2. Відповідно до значень параметрів, отриманих в п. 1 вибирають датчики, первинні перетворювачі і виконавчі пристрої.

3. Оцінка необхідної швидкодії систем на підставі теоретичних досліджень, досвідних даних по роботі пристроїв з аналоговими регуляторами, досвіду розроблення схожих систем.

4. Процесорний модуль контролера обирають на підставі п. 3.

5. По вихідних параметрах перетворювачів і вхідних сигналах виконавчих пристроїв вибирають необхідний модуль аналогового вводу-виводу.

6. Коли крім регулювання в системі, вирішують і питання для блокування дискретного управління, вибирають потрібну кількість і тип дискретного модуля вводу та виводу.

7. Розробляють схему з'єднань і виконують монтаж.

Коли вибирають датчики технологічних параметрів і інші засоби виділення інформації враховують такі основні фактори: припустиму для АСКТП похибку, що визначала б клас точності датчика; інерційні характеристики датчика, які характеризуються його постійною часу; з гарантованою точністю межі виміру; як впливають фізичні параметри контрольованого й навколишнього середовища (температура, тиск, густина, вологість) на нормальну роботу датчика; впливання на датчика дії контрольованого й навколишнього середовища через їх абразивні властивості, хімічні параметри тощо; наявність у місцях установки датчиків вібрацій, що неприпустимі для його нормального функціонування, магнітних і електричних полів, радіоактивного випромінювання тощо; можливість застосовувати датчик з дотриманням вимог пожежо- і вибухобезпечності; врахування відстані, можливої для передавання інформації, виділеної датчиком; граничних значень вимірюваних величин та інших параметрів середовищ. Як правило, датчики вибирають у два етапи. На першому етапі задають різновиди датчиків (наприклад, для вимірювання температур – манометричні термометри, термометри опору, термопари). На другому етапі визначаються з типорозмірами обраних датчиків (наприклад, термометри опору мідні, градуювання 23, тип ТСМ-5071, з водозахисною голівкою). Вибір датчиків концентрації, щільності і кута повороту, рівня, складу і вологості газу, сили, переміщення, в основному зведене до обліку і підбору факторів і характеристик згаданих вище. Якщо використовують датчики, реагуючі на радіоактивність, потрібен постійний контроль впливу проникаючої радіації і дотримання техніки безпеки і спеціальних санітарно-технічних правил. Вибираючи деякі типи датчиків, такі як ємнісні, кондуктометричні й інші, необхідне врахування температурного впливу і передбачення компенсуючих пристроїв. Багато датчиків складу газу і концентрації є спеціалізованими і їх можна застосовувати тільки в дуже вузьких галузях.

Розглянемо методики вибирання найбільш поширених датчиків для контролю технологічних параметрів.

Як основні характеристики мікропроцесорних систем відносяться

наступні показники: тип контролера або використовуваного мікропроцесора, набір модулів периферії, вибір мови програмування, засобів комунікації, рівня захисту. Мікропроцесор вибирають, користуючись інформацією про: фірму-виробника, розрядність арифметико-логічного пристрою, об'єм пам'яті і розрядність програм і пам'яті даних, розмірами внутрішніх конвеєрів команд, наявністю вбудованих операцій ділення і множення, чи наявний співпроцесор операцій з плаваючою комою, кількістю елементарних операцій, що за секунду, кількістю і видом рівня переривань, споживаною електричною потужністю тощо. Модулі різняться виконуваними функціями, мають різну кількість каналів, рівні вхідного і вихідного сигналу. Найпоширенішими є такі типи модулів:

- дискретного введення, для нього характерний постійний або змінний рівень струму або напруги, послідовна або паралельна шина, через яку підключаються до процесорного модуля, кількість каналів, напруга гальванічного розв'язування;
- дискретного виведення, тут характерні типи вихідних каскадів: сухий контакт, відкриті колектори PNP або NPN типу, допустима комутувальна напруга, або струм; наявність додаткових сигналів від майстер-реле, наявність індикації виходів, наявність захисту вихідних каскадів, кількість каналів, напруга гальванічного розв'язування;
- аналогового вводу, для них характерні характеристики це розрядність АЦП, кількість АЦП, кількість каналів АЦП, час перетворення, час перемикання між вимірюючими каналами, наявністю гальванічного розв'язування, який діапазон вхідної напруги або струму, чи наявний буфер перетворених сигналів;
- аналогового виведення, для них характерні характеристики це розрядність ЦАП, кількість каналів, діапазон вихідного струму або напруги, мінімальний період видавання вихідного сигналу, швидкість зростання сигналів на виході, наявність гальванічного розв'язування;
- лічильний модуль, його характеристики кількість каналів, рівень вхідного сигналу, максимальна частота надходження сигналів, розрядність лічильника, напруга гальванічного розв'язування;

- модуль таймерів, його характеристики кількість каналів фіксування часового інтервалу, розподільна здатність, рівень вхідних сигналів.[5]

Для реалізації проєкту АСУ шахтною зерносушаркою ДСП-32 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 електроенергію в механічну чи інші фізичні величини для впливання на об'єкт управління у відповідності до обраного алгоритму управління.

4.2.6.2 Сенсорний панельний контролер ОВЕН СПК1xx

Сенсорний панельний контролер СПК1xx з Ethernet є подальший розвиток лінійки СПК1xx. Характеризується покращеними технічними характеристиками, розширеним набором інтерфейсів і оновленим програмним забезпеченням. Це дозволяє їх використовувати для вирішення широких спектрів задач автоматизації для різних галузей промисловості.

Характеристики:

Поєднання в одному корпусі функції програмованих контролерів і панелі оператора (ПЛК + HMI).

Резистивний сенсорний дисплей 7 дюймів або 10.2 дюйми (800 × 480).

Широкий набір комунікаційних інтерфейсів: Ethernet, 3 × RS-485, 2 × RS-232, USB Host, USB Device, слот для SD-карт.

Дозволяє підтримку протоколу обмінів Modbus (TCP, ASCII, RTU), ОВЕН, OPC UA (Server) з можливістю реалізування нестандартного протоколу.

Дозволяє поновлювати проєкти і вбудоване ПО (прошивку) з USB- і SD-накопичувачів.

Підтримує web-візуалізацію.

Має вбудовану операційну систему Linux.

Підтримує протоколи NTP, FTP.

Має інтеграцію з хмарним сервісом OwenCloud.

Сторожовий таймер настраюється гнучко (WatchDog).

Можна програмувати в середовищі CODESYS V3.5 SP11 Patch 5.

Розширення кількості точок введення/виведення можна здійснювати шляхами підключення зовнішнього модуля введення/виведення одним із вбудованих інтерфейсів.

До комплекту поставки входять перехідники «DB9 - клеми» (з резисторами 120 Ом які підключають через DIP-перемикачі).

Має повну сумісність до попередніх модифікацій (однакові габаритні розміри, можливий імпорт проєктів).

Ступінь захисту IP65.

Підтримує пряме підключення пристроїв через порт USB-A – клавіатура, миша.

4.2.7 Виконавчі пристрої та вимірювальні прилади

4.2.7.1 Призначення вимірювача-регулятора ОВЕН ТРМ138 – вимірювання, реєстрація і регулювання тиску, температури, або іншого фізичного параметра, з одночасним керуванням до 8-ми виконавчих механізмів, та для реєстрації на ЕОМ виміряних параметрів.

ОВЕН ТРМ138 можна застосовувати у багатозонних печах, сушарках разом з іншими системами захисної автоматики.

ОВЕН ТРМ138 поставляється у щитовому корпусі, який має два типи: Щ4 та Щ7. Пристрій в корпусі Щ7 має знімні клемники та характеризується меншою глибиною щитових кріплень.

ОВЕН ТРМ138 має такі функціональні можливості:

- для підключення від 1 до 8 датчиків різних типів у будь-яких комбінаціях є вісім універсальних входів, що дозволяють декілька різних фізичних величин одночасно вимірювати та контролювати;

- може обчислювати додаткові величини:
 - середні значення від 2 до 8 вимірених величин;
 - різницю однойменної вимірної величини;
 - швидкість зміни вимірених величин;
- 8 каналів регулювання або реєстрації вимірної або обчисленої величини:
- виконувати регулювання за двопозиційним законом (тільки для пристроїв із ВП типу Р, К, С або Т);
- реєстрацію на аналоговому виході (тільки для пристроїв із ВП типу И, У);
- контролювати від 1 до 8 вбудованих вихідних пристроїв з різними типами у комбінаціях, які вибрані користувачем;
- режими ручного управління вихідними пристроями;
- дозволяє конфігурувати функціональну схему та встановлювати параметри:
 - на ПК з програмою-конфігуратором;
 - кнопками на лицевій панелі пристрою;
- має вбудований інтерфейс RS-485 (протокол ОВЕН, Modbus SCII/RTU).

4.2.7.2 Регулятор ОВЕН МПР51-Щ4.03.RS. Програмний задавач ОВЕН МПР51-Щ4 призначений щоб управляти багатоступеневими температурно-вологісними режимами в технологічних процесах в хлібопекарській промисловості, при виробництві м'ясних і ковбасних виробів, в інкубаторах, термо- і кліматокameraх, сушарках, при сушінні деревини, парогенераторах для виготовлення залізобетонних конструкцій тощо. Клас точності: 0,5 / 0,25.

4.2.7.3 Реле-регулятор ОВЕН ТРМ 501 призначений для регулювання температури або інших фізичних величин в технологічних процесах, в яких потрібно точне дотримання часових режимів. Простий в управлінні регулятор, встановлюється на різне устаткування: печі для випічки, термоапарати, термоножі тощо.

4.2.7.4 Датчики

а) ультразвуковий індикатор рівня серії ЕА. Цей пристрій використовує ультразвукові імпульси, які передавач посилає в напрямку продукту, і вимірює час проходження сигналів від передавача до матеріалу і назад. Відстань до продукту визначається співвідношенням $D = Vt / 2$, де V - швидкість поширення звуку.

б) перетворювач частоти Lenze ESV453NO4TXB. Перетворювачі частоти Lenze ESV453NO4TXB із векторним та скалярним керуванням виготовляються переважно в США. Ці перетворювачі частоти вирізняються компактними розмірами, широким діапазоном функціональних можливостей та високим рівнем надійності. Крім того, частотні перетворювачі Lenze досить прості в налаштуванні та недорогі.

в) термоелектричні перетворювачі типу ТХА-0188, ТХК-0188. Термоперетворювачі ТХА-0188, ТХК-0188 призначені для вимірювання температур в газоподібних хімічно неагресивних середовищах та атмосфері чистого повітря, з вологістю не більше 80%.

Технічні характеристики термопар ТХА-0188, ТХК-0188:

Робочий діапазон температур, °С

- термопара ТХА-0188 (хромель-алюмель) від мінус 40 до +1000;
- термопара ТХК-0188 (хромель-константан) від мінус 40 до +600.

г) перетворювачі вологості психометричного типу ДВТ-04. Датчики вологості і температури призначені для перетворення значення відносної вологості газового середовища і її температури (крім агресивних газів), в стандартні електричні сигнали. Датчики вологості і температури призначені для перетворення значення відносної вологості газового середовища і її температури (крім агресивних газів), в стандартні електричні сигнали.

4.2.8 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 нагнітальних машин;
- раптове підвищення більше ніж на 20 °С температури повітря;
- зупинка руху зерна у сушарці;
- при перегріванні зерна;
- поломка завантажувального бункера.

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.

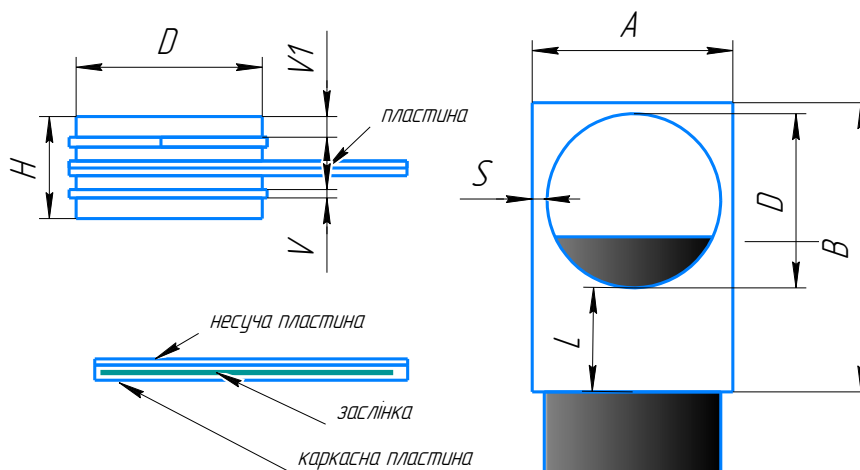
Перевищення температури сушильного агента за певну межу веде за собою зупинку комплексу, переривання подачі палива у топку, при цьому залишається ввімкненими вентилятор подачі повітря та механізми циркуляції зерна.

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

4.2.9 Підбір і розрахунок шиберів

Шибер є запірним пристроєм типу засувки, яким відкривають і закривають канали для руху рідини або газу.

У шиберах, як показано на рисунку 4.6, затвор, виготовлений у вигляді полотна 1, рухається перпендикулярно до руху потоку Q.



<i>D</i>	<i>H</i>	<i>L</i>	<i>S</i>	<i>V1</i>	<i>V</i>	<i>AxB</i>	<i>D, мм</i>	<i>t, мм</i>
100	200	75	25	30	10	200x150	100	0,7 – несуча пластина
125	200	100	25	30	10	250x180	125	
160	200	100	25	30	10	285x210	160	
200	200	100	25	40	10	325x250	200	
250	200	125	30	40	10	405x310	250	
315	200	155	30	40	10	500x375	315	0,5 – каркасна пластина
400	200	190	40	40	10	630x480	355	
500	200	250	40	40	10	790x580	400	
630	200	315	40	40	10	985x710	450	
800	250	400	50	50	10	1250x900	500	
1000	250	500	50	50	10	1550x1100	560	0,9 0,7
1250	250	625	50	60	10	1925x1350	630	
							710	
							800	
							900	
							1000	
							1250	

Рисунок 4.6 – Шибери

Шибери застосовують щоб регулювати витрату газів і повітря за невеликих статичних тисків (як правило, до 10 кПа). Їх встановлюють на коробах, трубопроводах, каналах з будь-якою формою перерізу, але найчастіше їх

застосовують для перекривання трубопроводів і каналів прямокутних 2 і круглих 3 перетинів. Шибери, що встановлюються в прямокутних каналах, мають зазвичай лінійну конструктивну характеристику, а на трубопроводах круглого перетину – нелінійну

Виготовляють шиберні заслінки з різних матеріалів залежно від робочих умов. Для роботи з повітрям та інертними газами з температурою до 300 °С шиберні заслінки виготовляють з листової сталі, з температурою більшою від 300 °С - з чавуну. Якщо потрібно регулювати витрату агресивних газів то застосовують шибери виготовлені з легированої сталі зі спеціальним покриттям [50].

При розрахунку шиберів визначають зусилля F , необхідне для переміщення дросельних органів. Найбільші зусилля для руху шибера потрібні в положенні закритий [48].

$$F=K \cdot \Delta P \cdot S+G, \quad (4.5)$$

$$F=0,1 \cdot 250 \cdot 7,85 \cdot 10^{-5} + 5 = 5,002(\text{Н}).$$

де ΔP - перепад тиску на заслінці, для сушарки беремо 250 Па;

S - площа частини заслінки, яка рухається і на яку діє різниця тисків, за паспортними даними, в шиберної заслінки Ду 500РУ СМАРТ-ТЕХ $S = 7,85 \times 10^{-5} \text{ м}^2$;

K - коефіцієнт тертя, беремо $K=0.1$;

G - вага рухомої частини заслінки, беремо $G = 5 \text{ Н}$.

Потужність приводу беруть з досить-таки великим запасом, враховуючи зростання коефіцієнта тертя через забруднення в процесі експлуатації опорної поверхні.

Висновки до підрозділу 4.2.

В підрозділі розроблена функціональна схема автоматизації зерносушарки ДСП-32, яка дозволила визначити склад необхідного обладнання для проведення автоматизації сушильного процесу. В результаті виконання роботи показані особливості технологічного процесу сушіння зерна в зерносушарках

шахтного типу. 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 Локальний кошторисний розрахунок

Для розрахунку кошторисної вартості влаштування обладнання дотримувалися вимог КНУ Настанова з визначення вартості будівництва і використовували кошторисну програму “Будівельні технології”.

Для визначення кошторисної вартості влаштування обладнання розробляємо локальні кошториси на монтаж обладнання, на придбання обладнання, об’єктний кошторис за допомогою програмного комплексу (табл.5.1-5.3) на основі: ресурсних елементних кошторисних норм на будівельні роботи (РЕКН), на монтаж обладнання; поточних кошторисних цін на матеріали, вироби та конструкції, загально виробничі витрати розраховані відповідно до Настанови.

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.

Таблица 5.1 - Локальний кошторис на будівельні роботи № 1

на	монтаж
(найменування робіт та витрат, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)	
ОСНОВА:	Кошторисна вартість
креслення(специфікації)№	Кошторисна трудомісткість
	Кошторисна заробітна плата
	Середній розряд робіт
	213.625 тис. грн.
	0.85861 тис. люд.-год
	88.356 тис. грн.
	3.3 розряд

Складений в поточних цінах станом на 2024 р.

№ Ч.ч.	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця ви-міру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год. не зайнятих об-слугову-ванням машин	
					Всього	експлуа-тації машин	Всього	заробітної плати	експлуа-тації машин	тих, що обслуговують ма-шини	
					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	КМ7-169-4	Монтаж Вентилятори відцентрові ВЦ 4-75-6,3Ж-02, з електродвигунами типу АИР80В4У2, 1,5 кВт	шт	2.0	2239.21	502.75	4478	2829	1006	18.2000	36.40
					1414.50	118.91			238	1.2861	2.57
2	КБ20-29-1	Установлення вставок гнучких до радіа-льних вентиляторів	м2	1.81	918.01	6.93	1662	1310	13	9.7800	17.70
					723.82	2.17			4	0.0266	0.05
3	КБ20-26-1	Установлення Віброізолятори ДО-39	шт	16.0	1868.63	10.40	29898	2218	166	1.8500	29.60
					138.60	3.25			52	0.0399	0.64
4	КП7-17-5	Установка утилізаційних теплообмінни-ків, продуктивність до 0.5 Гкал/год	Установ.	2.0	32237.60	-	64475	64475	-	295.0000	590.00
					32237.60	-			-	-	-
5	КБ20-1-11	Прокладання повітроводів із листової сталі класу Н [нормальні] товщиною 0,7 мм, периметром до 2400 мм	100 м2 пове-рхні повітро-водів	0.46	76277.21	344.73	35088	5313	159	156.0600	71.79
					11550.00	101.93			47	1.2521	0.58

Будівельні Технології: Кошторис 8.3 Онлайн

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	КБ9-53-2	Монтаж затворів	1т конструкцій	0.312	6946.04	428.80	2167	1678	134	74.5600	23.26
7	C130-1157	Затвори шиберні ножеві прямокутні Ду 450РУ SMART-TEX		шт	4.0	5377.27	96.94		14376	30	1.1909
8	C130-1157	Затвори шиберні ножеві прямокутні Ду 500РУ SMART-TEX	шт	4.0	3797.95		15192				
9	КБ18-17-10	Установлення Коліно вентиляційне прямокутне з сталі AISI 304, з шинорейкою 90 500 500 1 вентиляційне DIN 11850	шт	4.0	1488.49	36.27	5954	535	145	1.6600	6.64
				133.65	10.72				43	0.1231	0.49
10	КБ18-17-10	Установлення Коліно вентиляційне прямокутне з сталі AISI 304, з шинорейкою 90 450 450 1 вентиляційне DIN 11850	шт	4.0	1288.49	36.27	5154	535	145	1.6600	6.64
					133.65	10.72				43	0.1231
Разом прямих витрат по кошторису							178444	78893	1768		782.03
									457		5.19
Разом прямі витрати						грн.	178444				
в тому числі:											
вартість матеріалів, виробів і комплектів						грн.	97783				
вартість ЕММ						грн.	1768				
в т.ч. заробітна плата в ЕММ						грн.		457			
заробітна плата робітників						грн.		78893			
всього заробітна плата						грн.		79350			
Загальновиробничі витрати						грн.	35181				
трудомісткість в загальновиробничих витратах						люд-г					
заробітна плата в загальновиробничих витратах						грн.		9006			
											71.39

Будівельні Технології: Кошторис 8.3 Онлайн

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Всього по кошторису				грн.	213625				
		Кошторисна трудомісткість				люд-г					
		Кошторисна заробітна плата				грн.		88356			

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Таблиця 5.2 - Локальний кошторисний розрахунок на придбання устаткування, меблів та інвентарю № 02-001-002

придбання обладнання.

(вид устаткування, меблів, інвентарю і робіт, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

ОСНОВА: креслення(специфікації) № _____, відомості тощо
Кошторисна вартість 738,803 тис. грн.

Складений в поточних цінах станом на 2024 р.

№ п.п.	Документ, що обґрунтовує ціну	Найменування і характеристика устаткування, меблів та інвентарю, маса оди- ниці устаткування	Одиниця виміру	Кількість	Вартість оди- ниці, грн.	Загальна вар- тість, грн.
1	2	3	4	5	6	7
1	2308-5036	Теплообмінник компактний пластинчастий розбірний тип КТА-09	шт	2.0	83177.33	166355
2	2308-1007	Вентилятори відцентрові ВЦ 4-75-6,3Ж-02, з електродвигунами типу АИР80В4У2, 1,5 кВт	шт	4.0	136132.79	544531
Разом						710886
Транспортні та заготівельно-складські витрати						27917
Всього по кошторису						738803

Склав _____
[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірів _____
[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Таблиця 5.3 -Об'єктний кошторис № 02-001

на будівництво

(найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

Кошторисна вартість 952.428 тис. грн.
Кошторисна трудомісткість 0.85861 тис. люд.-год
Кошторисна заробітна плата 88.356 тис. грн.
Вимірник одиничної вартості

Складений в поточних цінах станом на 2024 р.

№ Ч.ч.	Номери кошторисів і кошторисних розрахунків	Найменування робіт і витрат	Кошторисна вартість, тис.грн.			Кошторисна трудо- місткість, тис. люд.год	Кошторисна за- робітна плата, тис.грн.	Показники оди- ничної вартості
			будівельних ро- біт	устаткування, меблів та інвен- тарю	всього			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	02-001-001	монтаж	213.625		213.625	0.85861	88.356	
2	02-001-002	придбання обладнання		738.803	738.803	-		
		Всього по кошторису	213.625	738.803	952.428	0.85861	88.356	

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Загальні витрати проєкту представлені в таблиці 5.4, розраховуються у відсотках від кошторисної вартості влаштування обладнання (значення приймається із об'єктного кошторису таблиці 5.3).

Таблиця 5.4 – Перелік інноваційних витрат

Орієнтовна робота	Питома вага вартості роботи, %	Термін виконання роботи, міс.	Загальна вартість виконання роботи, тис. грн.
Формування інноваційної ідеї проєкту	1	1	9,52
Вивчення інформаційних джерел, патентний пошук	0,2	1	1,90
Техніко-економічне обґрунтування	1,5	3	14,29
Проектування	2,5	4	23,81
Експертиза інноваційного рішення	1	1	9,52
Витрати на придбання патентів, ліцензій, ноу-хау, технологій	2	2	19,05
Виготовлення нового виробу	100	6	952,428
Витрати на пусконаладжувальні роботи, комплексне освоєння проектних потужностей і досягнення техніко-економічних показників	3	1	28,57
Витрати на підготовку кадрів	5	2	47,62
Всього		21	1106,72

Показники комерційної ефективності проєкту представлені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Показники комерційної ефективності проєкту, тис. грн.

№	Показники	Рік						
		-1	0	1	2	3	4	5
1	Потік реальних грошей	-78,10	-1159,62	985,01	767,71	407,82	326,83	321,40
2	Сальдо реальних грошей	-78,10	-690,602	985,01	725,48	365,59	288,72	287,41
3	Сальдо накопичених реальних грошей за п.2	-78,10	-768,701	216,30	941,79	1307,38	1596,10	1883,51
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)	-90,59	-1159,62	849,14	570,53	261,28	180,51	153,02
6	Інтегральний економічний ефект(накопичена чиста вартість) за п 5 ((t)+(t-1))	-90,59	-1250,22	-401,07	169,46	430,74	611,24	764,26

З таблиці 5.5 видно додатне сальдо накопичених реальних грошей на 1 році реалізації проєкту.

5.2 Оцінювання економічної ефективності інноваційного проєкту

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.

$$NV = 1571,05.$$

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.

$NPV = 764,26$ тис. грн.

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

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

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

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 за формулою:

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

де COF_t – залишок інвестиційних витрат, не забезпечених доходами на початок t -го періоду, грн., CIF_t – чисті грошові надходження $(t + 1)$ -го періоду, грн.

Розрахунок представлений в таблиці 5.6.

Як видно з таблиці 5.6 за показником залишку інвестиційних витрат, строк окупності даного проекту знаходиться між 1 та 2 роком (перехід від від'ємного до додатного залишку).

Таблиця 5.6 – Розрахунок простого терміну окупності кумулятивним методом, тис. грн.

Показник	Номер кроку розрахункового періоду						
	-1	0	1	2	3	4	5
Потік реальних грошей	-90,59	-1159,62	849,14	570,53	261,28	180,51	153,02
Кумулятивна	-90,59	-1250,22	-401,07	169,46	430,74	611,24	764,26

Відповідно, за формулою (5.4) термін окупності буде дорівнювати:

$$T=1+401,07/570,53=1,6 \text{ років.}$$

Висновки до Розділу 5.

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.

Склали кошторисні документи: локальні кошториси на монтаж обладнання, на придбання обладнання, об'єктний кошторис. В кошторисах пораховано:

- кошторисна вартість $K_v = 952,428$ тис. грн;
- кошторисна заробітна плата ЗП = 88,356 тис. грн;
- кошторисна трудомісткість $T = 0,858$ тис. люд·год;
- вартість матеріалів – 836,58 тис. грн.;
- розрахували основні показники ефективності інвестицій в проєкт:
- чисті грошові надходження – 1571,05 тис. грн.;
- чиста поточна вартість –764,26 тис. грн.;
- термін окупності, розрахований кумулятивним методом – 1,6 роки.

ВИСНОВКИ

На підставі літературних даних в роботі складено математичну модель кінетики сушіння зерна посівної пшениці в шахтній прямотоковій сушарці.

Критерієм оптимізації процесу вибрано критерій вологознімання K_w , а за цільову функцію взято питомі затрати палива на сушіння.

Визначено, що питомі затрати палива на сушіння залежать від температури сушильного агента і швидкості приросту видатності сушарки по мірі обезводження зерна.

Результати числового експерименту на складеній математичній моделі показали, що оптимальною температурою сушильного агента є $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ при початковій відносній вологості зерна $18-27,5\%$, а оптимальний час перебування зерна в прямотоковій шахті сушарки складає $10-14$ хвилин. При цьому критерій вологознімання досягає значення $0,8$ відн. од., а затрати палива на сушіння є мінімальними.

Розроблено технологію монтажу розбірного пластинчастого теплообмінного апарата для підігріву холодного теплоносія відхідними газами з топки шахтної зерносушарки.

Виконано підбір обладнання і матеріалів для монтажу газоповітряного теплообмінника та нагнітальних вентиляторів ВЦ 4-76-6,3Ж-02, визначено загальну масу обладнання, яка склала $5247,26\text{ кг}$.

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

Розраховано необхідну кількість робітників, необхідних для монтажних робіт, із зазначенням їхніх спеціальностей.

Розроблено необхідні заходи з технології та організації монтажу системи.

Проведені необхідні розрахунки дали змогу розробити календарні графіки монтажу системи, руху робітників та руху машин та механізмів.

Розроблена функціональна схема автоматизації зерносушарки ДСП-32, яка дозволила визначити склад необхідного обладнання для проведення

автоматизації сушильного процесу. В результаті виконання роботи показані особливості технологічного процесу сушіння зерна в зерносушарках шахтного типу. 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.

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.

Складено кошторисні документи: локальні кошториси на монтаж обладнання, на придбання обладнання, об'єктний кошторис. В кошторисах пораховано:

- кошторисна вартість $K_v = 952,428$ тис. грн;
- кошторисна заробітна плата ЗП = 88,356 тис. грн;
- кошторисна трудомісткість $T = 0,858$ тис. люд·год;
- вартість матеріалів – 836,58 тис. грн.;
- розраховали основні показники ефективності інвестицій в проєкт:
- чисті грошові надходження – 1571,05 тис. грн.;
- чиста поточна вартість – 764,26 тис. грн.;
- термін окупності, розрахований кумулятивним методом – 1,6 роки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Станкевич Г. М., Страхова Т. В., Атаназевич В. І. Сушіння зерна: Підручник. Київ: Либідь, 1997. 352 с.
2. Методичні рекомендації до виконання випускної курсової роботи для студентів кафедри технології зберігання, переробки та стандартизації продукції рослинництва, спеціальності 201 «Агрономія»/ Укл Н. О. Ящук, Київ : «ЦП «КОМПРИНТ», 2011р. 36 с.
3. Воскресенська О. В. Комбіновані способи сушіння зернових продуктів: автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Одеса: 2017. 24 с.
4. Матківська І. Я. Механізм і кінетичні закономірності фільтраційного сушіння зерна пшениці : автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Національний університет “Львівська політехніка”. Львів, 2015. 22 с.
5. Allen I. R. Application of grain drying theory to the drying of maize and rice. I. Agr. Engng. Res. 2012. V. 5. N 4. P. 117.
6. Осокіна Н. М., Гайдай Г. С. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва : підручник. Умань : Уманське видавничо-поліграфічне підприємство, 2005. 614 с.
7. Тепломасообмінні процеси та обладнання переробного та харчового виробництва. Том 2 : навч. посібн. / І. П. Паламарчук та ін. Львів : Видавництво „Бескид Біт”, 2006. 368 с.
8. Бурдо О. Г., Безбах І. В., Зиков О. В. Дослідження процесу сушіння в рекуперативній зерносушарці. *Зернові продукти і комбікорми*. 2014. № 3 (55). С. 47–50.
9. Снежкін Ю. Ф., Пазюк В. М., Петрова Ж. О. Математична обробка результатів експериментальних досліджень низькотемпературних режимів сушіння капілярно-пористих матеріалів сферичної форми. *КЕРАМІКА: наука і життя*. 2019. № 1. С.20-25.

10. Пазюк В. М., Рубаненко О. О., Вишнівський В. М. Підвищення енергоефективності сушіння насіння зернових культур шляхом застосування теплових насосів. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2018. № 4. С.251-253.
11. 11 Нормальні умови NPT. URL : <https://www.wikiwand.com/uk/> (дата звернення 04.12.2023).
12. Зернова промисловість: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід : наук.-допом. бібліогр. покажч. / [упоряд. Т. П. Фесун] ; Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка. Київ, 2020. 209 с.
13. Гапонюк, І. І. Удосконалення технології сушіння зерна. Національний університет харчових технологій. Одеса : Поліграф, 2009. 182 с.
14. Вплив вологовмісту теплоносія на процес сушіння зерна / Ю. Ф. Снежкін, В. М. Пазюк, Ж. О. Петрова, Т. О. Михайлик. *Хранение и переработка зерна*. 2010. №11(137). С. 62–64.
15. Януш, А. М. Економна сушка зерна від компанії Stela. *Хранение и переработка зерна*. 2011. № 11 (149). С. 52–56.
16. Механічні процеси та обладнання переробного та харчового виробництва. Том 1: навч. посіб. / І. П. Паламарчук, та ін. Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2004. 336 с.
17. Снежкін Ю. Ф., Пазюк В. М., Петрова Ж. О., Самойленко К. М. Ефективні технології сушіння насіння овочів. Монографія. Вінниця: видавництво «РВВ ВНАУ», 2019. 129 с.
18. Теплобмінники в зерносушарках. URL : <https://agropolus.com/ua/novini/teploobminniki-dlya-zernosusharok/> (дата звернення 25.11.2023).
19. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 20. Вентиляція та кондиціонування повітря. Чинний від 2023-02-07. Київ: Мінрегіон України, 2021. 150 с.
20. Прямокутні повітропроводи з нержавіючої сталі. URL : <https://7-vz.com/ua/category/pryamougolnye-vozdukhovody-s-nerzhaveyushchey-stali/> (дата звернення 20.11.2023).

21. Коліно вентиляційне з нержавіючої сталі 90° прямокутного перерізу (з шинорейкою) URL : <https://prom.ua/ua/p1830241973-koleno-ventilyatsionnoe-nerzhaveyuschej/> (дата звернення 20.11.2023).
22. Засувка шиберна з приводом ЗШ URL : <https://olis.com.ua/oborudovanie/aspiratsia-samoteki/samoteky/advizhka-shiberna-s-privodom-zsh/> (дата звернення 20.11.2023).
23. Коліно вентиляційне прямокутного перерізу. URL : <https://p1830242194-koleno-ventilyatsionnoe-nerzhaveyuschej.html/> (дата звернення 20.11.2023).
24. Мастика герметизуюча бутилкаучукова Гермабутил IZOFAST URL : <https://obj.com.ua/izolyacionnye-materialy/mastika-gidroizolyacionnaya/mastika-germetiziruyushaya-butilkauchukovaya-gerambutil-seryj-izofast-10kg/> (дата звернення 21.11.2023).
25. Вентилятори низького тиску ВР 88-75 (ВЦ 4-75). URL : <https://www.vent.com.ua/promyshlennye-ventilyatory/ventilyatory-nizkogo-davleniya/> (дата звернення 22.11.2023).
26. Віброізолятор ДО-39. URL : <https://provent.ua/product/vibroizolyator-do39/> (дата звернення 22.11.2023).
27. Гнучка (м'яка) вставка прямокутного перетину Н.00.00-6 №6 <https://www.vent.com.ua/dopolnitelnoe-oborudovanie/gibkie-myagkie-vstavki/> (дата звернення 22.11.2023).
28. Кінаш Р. І., Жуковський С. С. Технологія заготівельних та спеціальних монтажних робіт. Львів : Видавництво науково-технічної літератури, 1999. 448 с.
29. Каталог вантажних автомобілів ГАЗ. URL: <http://avtomarket.ru/catalog/>. (дата звернення 25.11.2023).
30. Каталог будівельних машин ЗіЛ. URL: <http://powertools.co.nz>. (дата звернення 28.11.2023).
31. Каталог зварювальних апаратів JASIC TIG. URL: <http://domsvarki.lg.ua>. (дата звернення 24.11.2023).
32. Набір інструментів для монтажників. URL : <https://goldmiddle.prom.ua/ua/>

[g20579169-nabor-instrumentov-emi/](https://polvent.com.ua/ua/tovar-tsentrobezhnyi-radialnyi-ventilyator-3/) (дата звернення 24.11.2023).

33. Відцентровий (радіальний) вентилятор високого тиску HBB. URL : <https://polvent.com.ua/ua/tovar-tsentrobezhnyi-radialnyi-ventilyator-3/> (дата звернення 23.11. 2023).
34. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 9. Металеві конструкції. Чинний від 2023-02-07. Київ: Мінрегіон України, 2021. 141 с.
35. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на монтаж устаткування. Збірник 6. Теплосилове устаткування. Чинний від 2023-02-07. Київ: Мінрегіон України, 2021. 190 с.
36. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на монтаж устаткування. Збірник 12. Технологічні трубопроводи. Чинний від 2023-02-07. Київ: Мінрегіон України, 2021. 406 с.
37. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на монтаж устаткування. Збірник 7. Компресорні установки, насоси і вентилятори. Чинний від 2023-02-07. Київ: Мінрегіон України, 2021. 57 с.
38. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 20. Вентиляція та кондиціонування повітря. Чинний від 2023-02-07. Київ: Мінрегіон України, 2021. 150 с.
39. СОУ МПП 03.080.10-333.6:2011 Ресурсні елементні кошторисні норми. Технічне обслуговування і ремонт устаткування та обладнання загального призначення. Частина 6. Випробування і ремонт трубопроводів. Наказ Мінпромполітики України №114 від 04.05.2011.
40. ДСТУ ГОСТ 3845:2019 Труби металеві. Метод випробування гідростатичним тиском (ГОСТ 3845-2017, IDT) Москва : Стандартиформ, 2017. 56 с.
41. Купов Д. В. Система технічного обслуговування і ремонту енергетичного устаткування. Держком України по водному господарству. Київ : 2000р. 416 с.
42. Ткаченко С. Й., Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки: навч посіб. Вінниця: ВНТУ, 2007. 76с.
43. Зерносушарка ДСП-32: веб-сайт. URL: <https://ukravtonomgaz.ua>

- [/blog/zernosusharka-dsp-32](#) (дата звертання: 18.04.2024).
44. Сухенко Ю.Г., Серьогін О.О., Сухенко В.Ю., Рябоконь Н.В. Ресурсозберігаючі технології в харчових і переробних виробництвах: [Підручник] / За ред. проф. О.О.Серьогіна. Київ: ЦП «КОМПРИНТ», 2016. 338 с.
 45. Сучасні технології сушіння зерна URL : [https://agronomy.com.ua/statti/ 515-suchasni-tekhnologii-sushinnia-zerna.html](https://agronomy.com.ua/statti/515-suchasni-tekhnologii-sushinnia-zerna.html) (дата звертання: 18.04.2024).
 46. Оцінка якості зерна: веб-сайт. URL: <https://superagronom.com/slovník-agronoma/ocinka-yakosti-zerna>. (дата звертання: 22.04.2024).
 47. Шибєрні ножові засувки. URL : <https://www.techprilad.com/> (дата звертання: 20.04.2024).
 48. Пушкар М.С., Проценко С. М. Проектування систем автоматизації : навч. посіб. М-во освіти і науки України, Державний ВНЗ "Національний гірничий ун-т". Дніпропетровськ: НГУ, 2013. 267 с.
 49. Конспект лекцій з дисциплін «Автоматизація технологічних процесів та установок» і «Автоматизація технологічних процесів» (для студентів 4 – 5 курсів усіх форм навчання за напрямом підготовки 0922 (050702) – «Електромеханіка») /Авт.: Єсаулов С. М., Бабічева О. Ф. Харків: ХНАМГ, 2009. 78с.
 50. Автоматизація зерносушарок. URL : <https://buklib.net/books/35500/> (дата звертання: 20.04.2024).
 51. Кошторисні норми України «Настанова з визначення вартості будівництва» Затверджені наказом Міністерства розвитку громад та територій України від 01.11.2021 № 281 “Про затвердження кошторисних норм України у будівництві”. URL : [https://radnuk.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/knu-nastanova-z-vyznache nnya- vartosti-budivnyctva.pdf](https://radnuk.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/knu-nastanova-z-vyznache-nnya-vartosti-budivnyctva.pdf) (дата звернення 06.12.2023).

шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. [Чинний від 2007-12-01]. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.

54. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2009-01-27]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2009. 116 с.
55. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.
56. НПАОП 40.1-1.32-01. (ДНАОП 0.00-1.32-01). Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [Чинний від 2002-01-01]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.
57. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Постанова МОЗ № 42 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

ДОДАТКИ

Додаток А
(обов'язковий)

**Протокол перевірки кваліфікаційної роботи
на наявність текстових запозичень**

Назва роботи: Енергоефективність шахтних сушарок та критерії її оцінювання

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота

(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (вказати))

Підрозділ кафедра ТЕ, ФБЦІ, група ТЕ-23м

(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Керівник Співак О.Ю. к.т.н., доцент

(прізвище, ініціали, посада)

Turnitin

Показники звіту подібності	
Оригінальність	95%
Загальна схожість	5%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи (додається)

Автор 
(підпис)

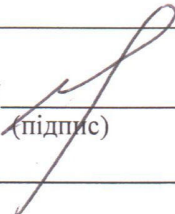
Слободян М.В.

(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Допустити до захисту

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Співак О.Ю.

(прізвище, ініціали)

Експерт

(за необхідності)

Додаток Б
(обов'язковий)

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



ЗАТВЕРДЖЕНО
Завідувач кафедри ТЕ
доц. Д. В. Степанов
"29" 09 2024 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

до магістерської кваліфікаційної роботи

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ШАХТНИХ СУШАРОК
ТА КРИТЕРІЇ ЇЇ ОЦІНЮВАННЯ**
за спеціальністю 144 – теплоенергетика

08-15.МКР.009.00.00.000 ТЗ

Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи

к.т.н. Співак О. Ю.
"17" грудня 2024 р.

Розробив студент гр.ТЕ-23м

Слободян М.В.
"16" грудня 2024 р.

Вінниця 2024

1 Найменування та область застосування розробки

Розробка стосується процесу сушіння сільськогосподарської сировини, з подальшим використанням в різних галузях і полягає в оптимізації тепловологісних характеристик процесу шіння зернових в шахтних сушарках.

2 Основа для проведення розробки

Наказ ректора ВНТУ №310 від 17.09.2024 р.

Основою для розробки стала технічна документація на шахтну конвективну зерносушарку ДСП-32. Розрахунки по підвищенню енергоефективності шахтних сушарок. Літературні джерела, патентна документація та розробки кафедри ТЕ ВНТУ. Тематичний план науково-дослідних робіт кафедри теплоенергетики, протокол №12 від 25.01.2024 р.

3 Джерела розробки

Основним джерелом розробки є дані технологічних процесів сушіння зернових в шахтних і колонкових сушарках, параметри теплоносія в сушильній шахті сушарки, а також нормативні дані по необхідних параметрах, наведених в інших теплоенергетичних джерелах:

3.1 Ткаченко С. Й. Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки. Навч. посібн.: Вінниця : ВНТУ. 2008. 98 с.

3.2 Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки. Приклади та задачі. Навч. посібн.: Вінниця : ВНТУ, 2013. 112 с.

3.3 Патент України. Сушильна шафа. U200704163. 16.04.2007. F26.B9/06. №29962, опубл. 11.02.2008. бюл.№3.

3.4. Патент України. Пристрій для сушіння. U200387725. 14.08.2003. F26B9/06. №71120A, опубл. 15.11.2004. бюл. №11.

3.5 Патент України. Пристрій для сушіння. U200608145. 20.07.2006. F26B9/06. №20276, опубл. 15.01.2007. бюл. №1.

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

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

4 Технічні вимоги

Вибір оптимальних параметрів теплоносія на вході в шахту. Визначення температури та вологості повітря на всіх етапах проведення числових досліджень, витрати повітря для основного технологічного процесу. Побудова математичної моделі, визначення основних теплофізичних характеристик твердого біопалива, вплив його використання на коефіцієнт корисної дії сушарки. Схематичне зображення сушарки на плакатах, графіки залежностей впливу різних характеристик технологічного процесу на основні характеристики сушарки і вартість сушіння. Дотримання стандартів щодо виготовлення готової продукції та її якості.

5 Економічні показники

На сьогоднішній день більша частина готової сушеної продукції має низьку якість, або високу ціну, що пов'язано з високою енергоємністю сушильних процесів.

В даній роботі проводиться: дослідження можливості і економічної доцільності зміни технологічного процесу сушіння зернових в шахтній сушарці, застосування рекуперації теплоти відхідних газів з топки сушарки, для підвищення екологічної чистоти отриманого висушеного продукту при спалюванні в ній різних видів палива і впливу режимів сушіння на коефіцієнт корисної дії сушильного обладнання.

6 Заходи з енергозбереження

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

Автоматичне регулювання основних параметрів роботи сушарки ДСП-32.

Використання сучасного обладнання, що дозволяє значно зменшити теплові втрати.

7 Вимоги до стандартизації та уніфікації

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

8 Вимоги з надійності

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

9 Стадії і етапи розробки

9.1 Науково-аналітичний огляд літературних та патентних джерел

9.2 Розробка математичної моделі сушарки. Аналітичні і числові дослідження

9.3 Обробка отриманих результатів

9.4 Модернізація схеми автоматизації сушарки

9.5 Технологія монтажу обладнання для модернізації

9.6 Економічна оцінка інноваційного проекту

9.7 Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу

10 Порядок контролю та прийняття магістерської кваліфікаційної роботи

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

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

Корегування технічного завдання допускається з дозволу керівника роботи.

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

Додаток В
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

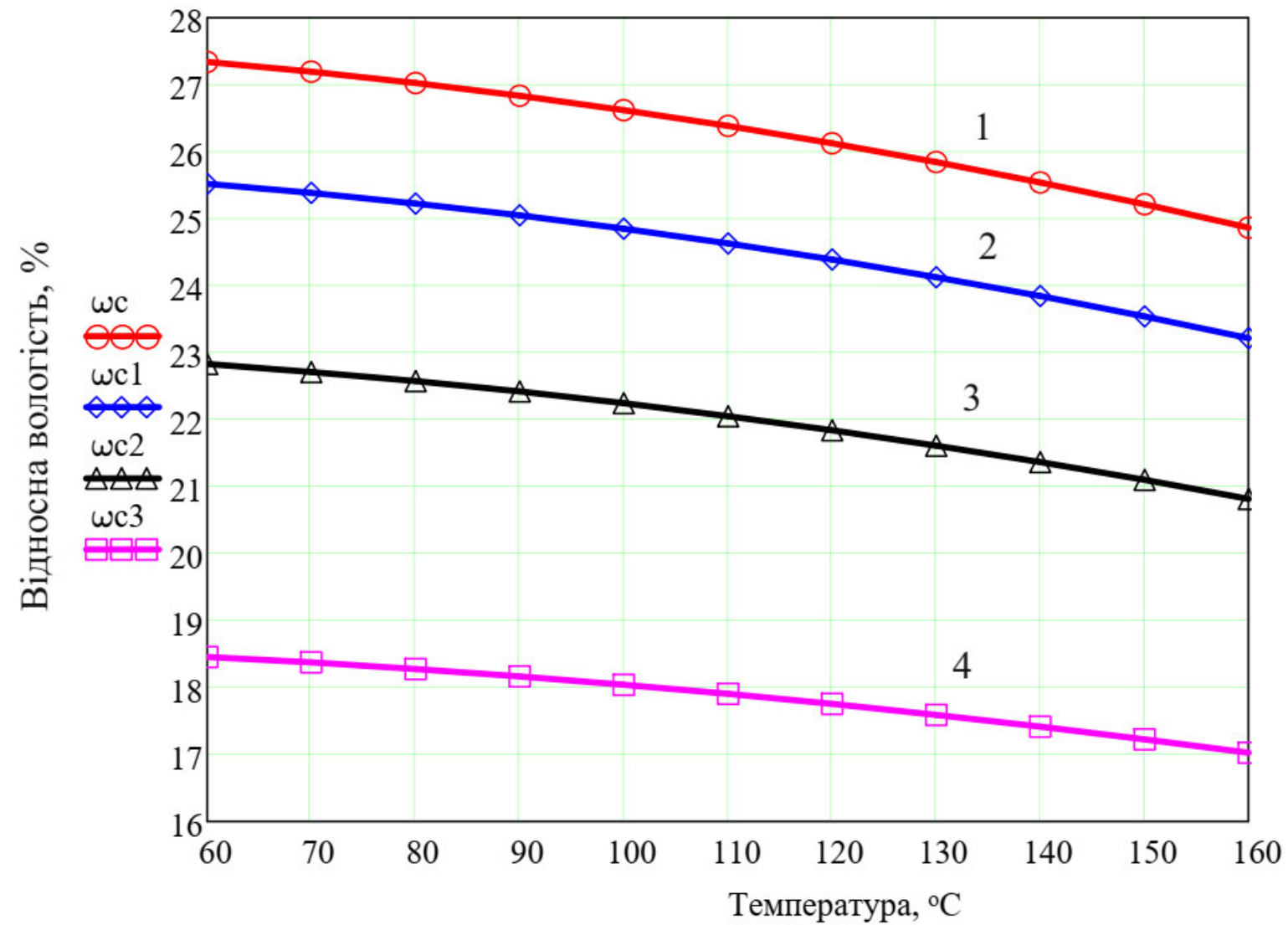
**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ШАХТНИХ СУШАРОК
ТА КРИТЕРІЇ ЇЇ ОЦІНЮВАННЯ**

(Назва магістерської кваліфікаційної роботи)

[illegible]

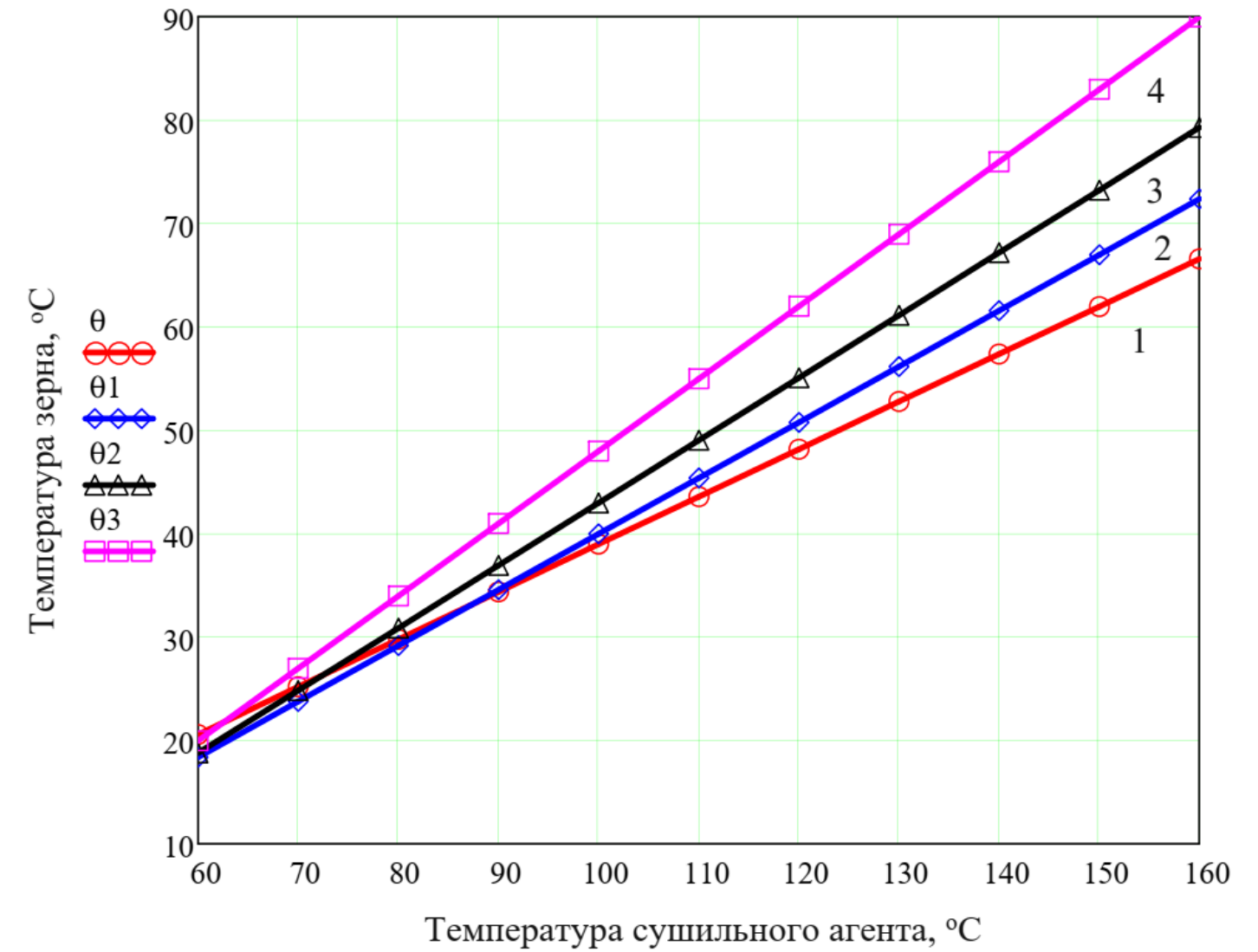
ГРАФІЧНІ ЗАЛЕЖНОСТІ

Вплив температури сушильного агента на кінцеву вологість зерна



1 - початкова вологість 27,3%; 2 - початкова вологість 25,5%
3 - початкова вологість 22,8%; 4 - початкова вологість 18,5%

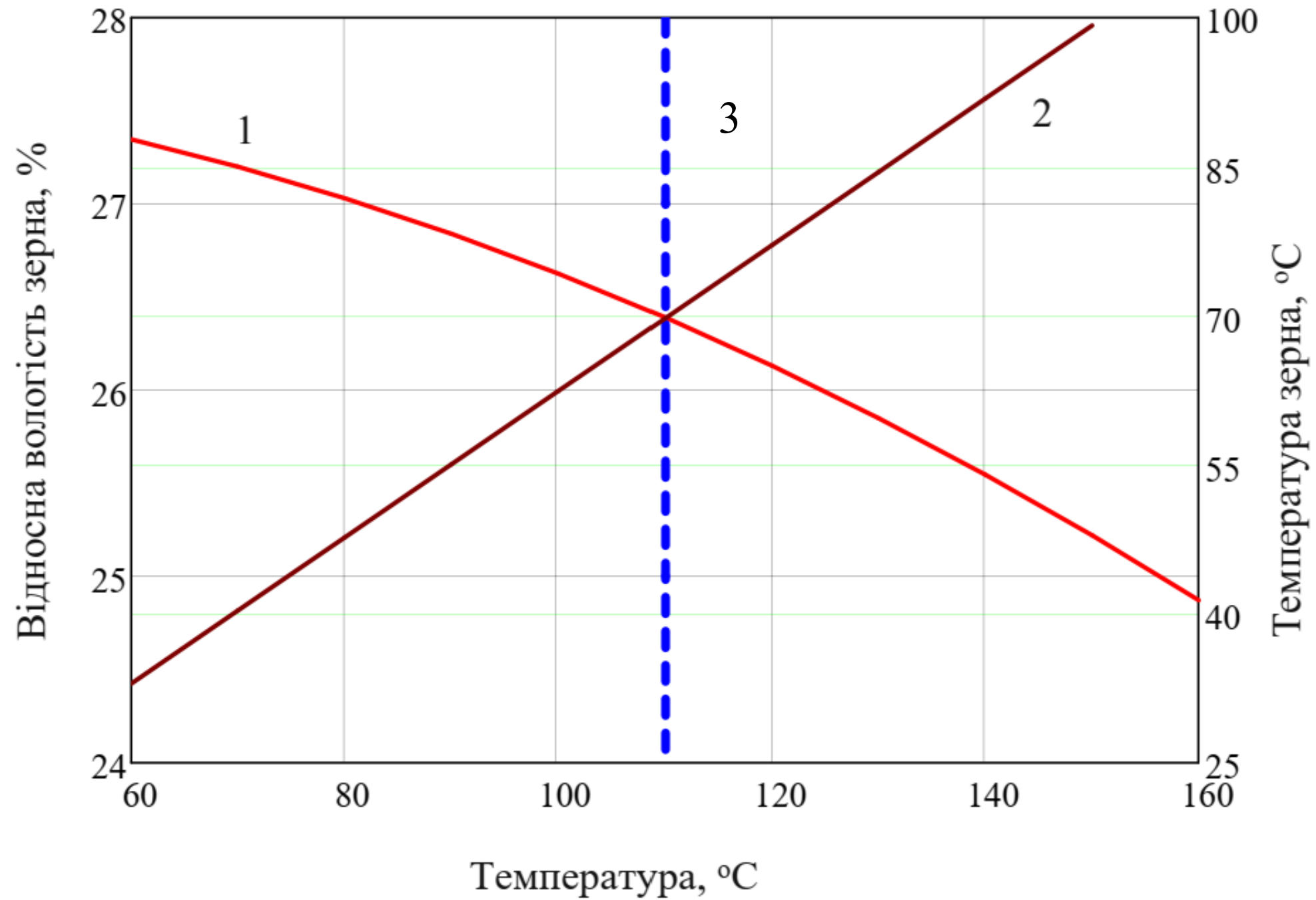
Вплив температури сушильного агента на температуру зерна



1 - початкова вологість 27,3%; 2 - початкова вологість 25,5%
3 - початкова вологість 22,8%; 4 - початкова вологість 18,5%

ГРАФІЧНІ ЗАЛЕЖНОСТІ

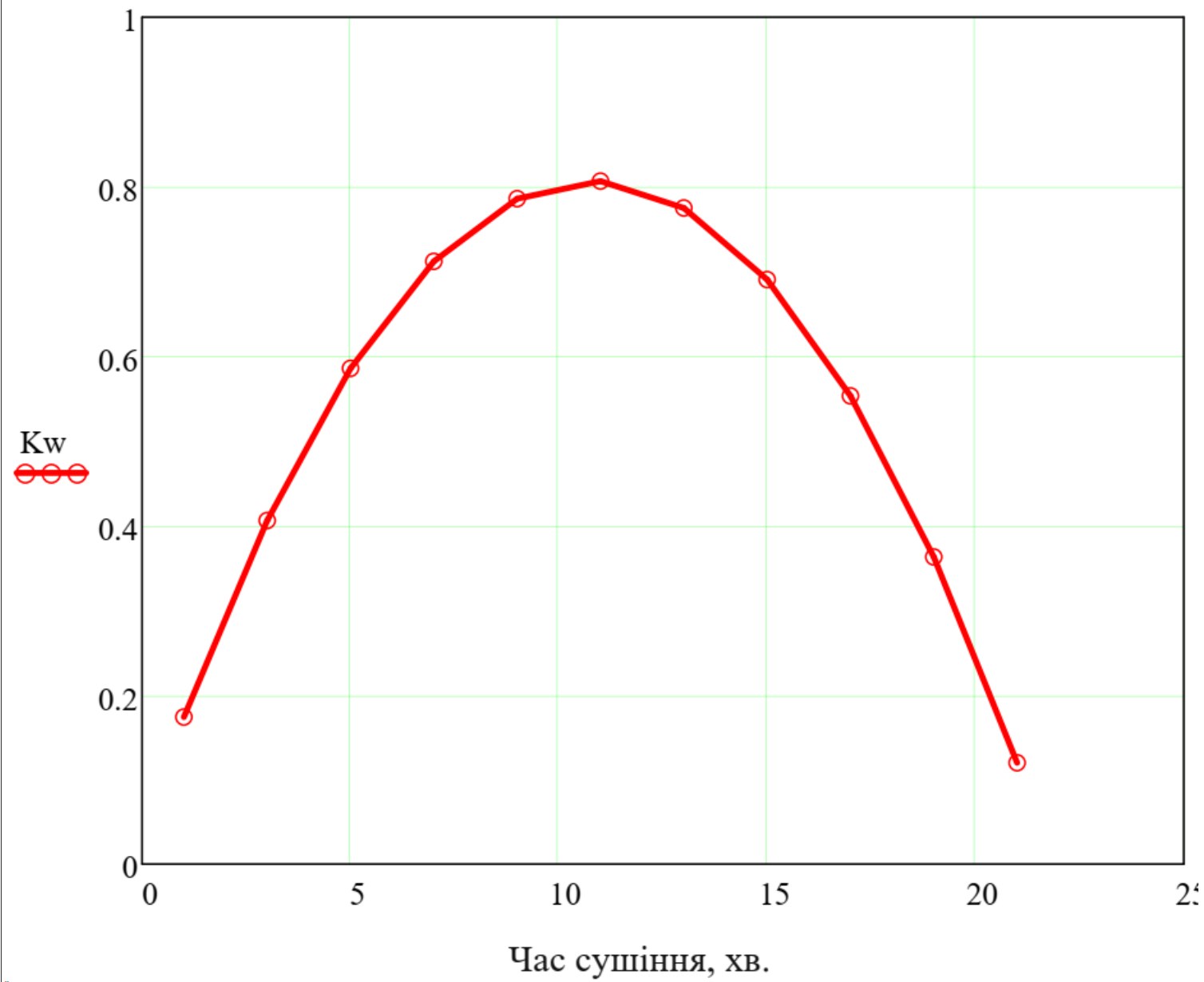
Визначення оптимальної температури сушильного агента для шахтої сушарки



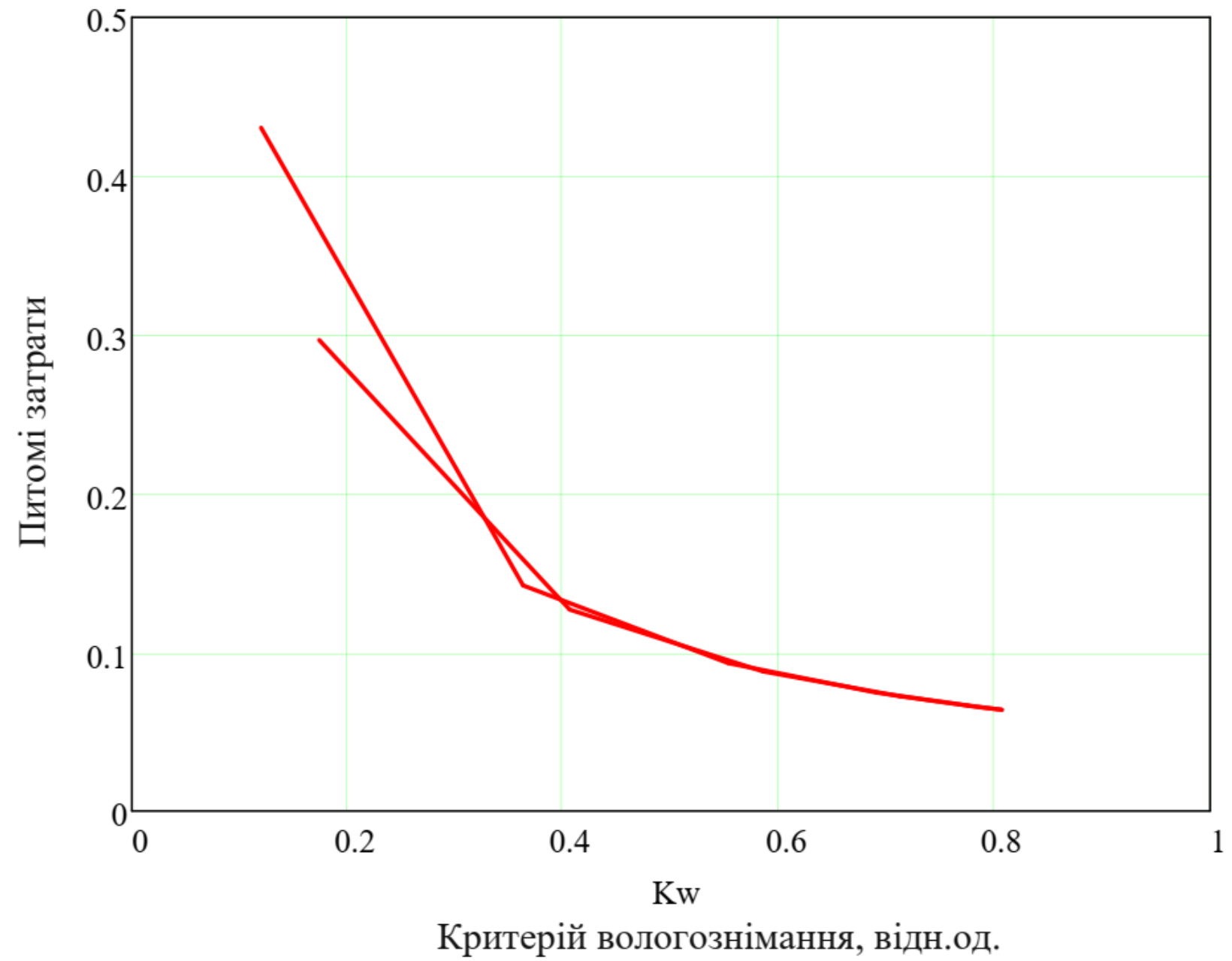
- 1 - Відносна вологість зерна, %;
- 2 - Температура зерна, °C;
- 3 - Температура теплоносія, °C

ГРАФІЧНІ ЗАЛЕЖНОСТІ

Залежність критерію вологознімання від часу перебування зерна в шахті



Вплив критерію вологознімання на питомі затрати

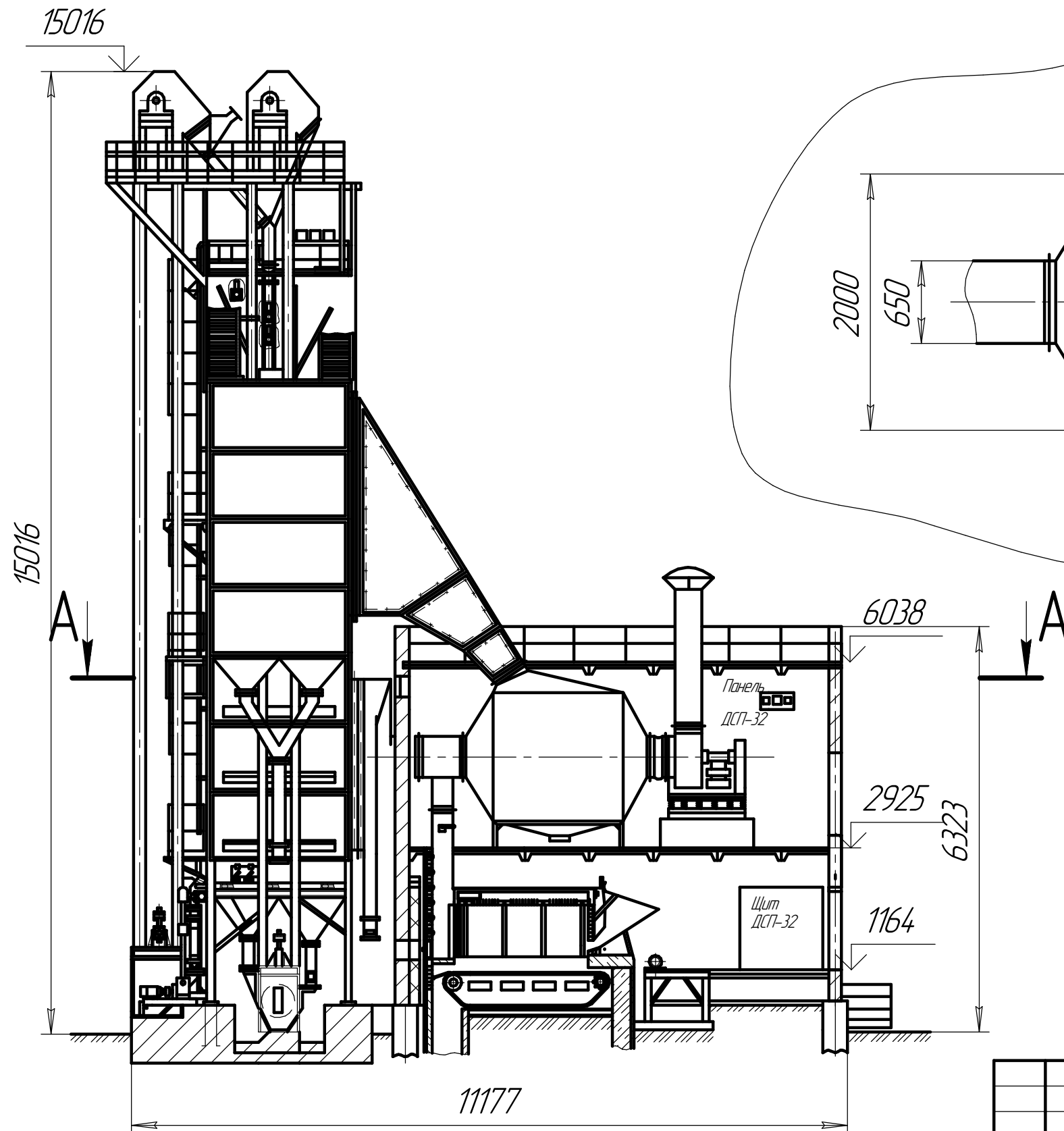


Погоджено:

Зам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № ар.



A-A(1:20)

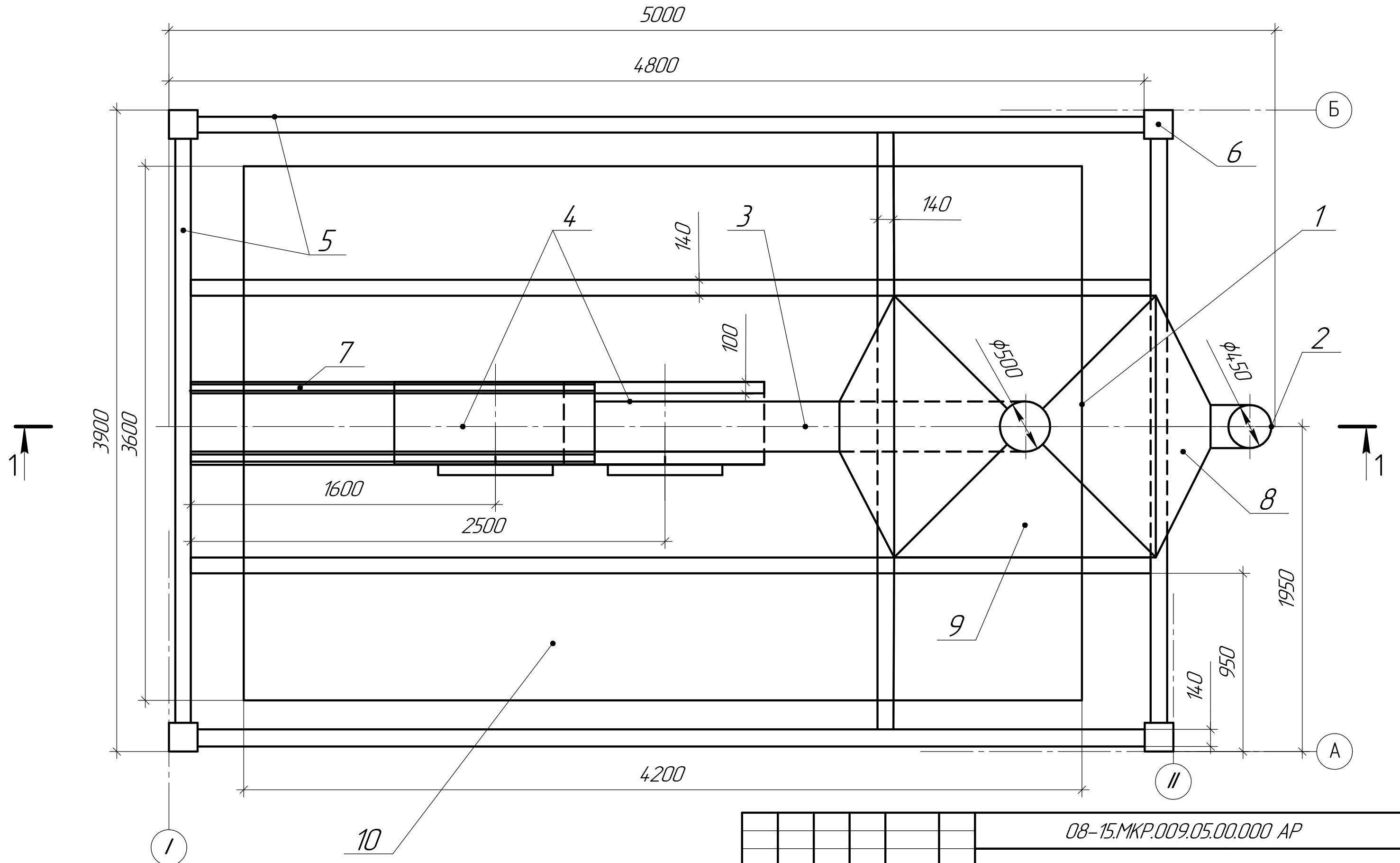
Робочі параметри сушарки

1. Видатність $D=50$ т/год.
2. Температура холодного повітря $t_{хп}=10^{\circ}\text{C}$.
3. Вологість матеріалу до і після сушки $w_1=22\%$, $w_2=14\%$.
5. Температура матеріалу на вході і виході з сушарки $\vartheta_1=10^{\circ}\text{C}$, $\vartheta_2=50^{\circ}\text{C}$.
6. Швидкість повітря в сушарці $\omega = 0,3$ м/с.
7. Загальна потужність сушарки $Q=3334$ кВт.

						08-15.МКР.009.04.00.000 АР			
						м. Вінниця			
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	Енергоефективність шахтних сушарок та критерії її оцінювання	Стадія	Аркцш	Аркцшів
Розробив	Слободян М.В.						МКР		1
Керівник	Слівак О.Ю.								
Т.Контр.									
ОпONENT	Христич О.В.								
Н.Контр.	Слівак О.Ю.					Габаритне креслення ДСП-32	ВНТУ ст. гр. ТЕ-23м		
Затвердив	Степанов Д.В.								

Погоджено:

Зам. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № ор.	



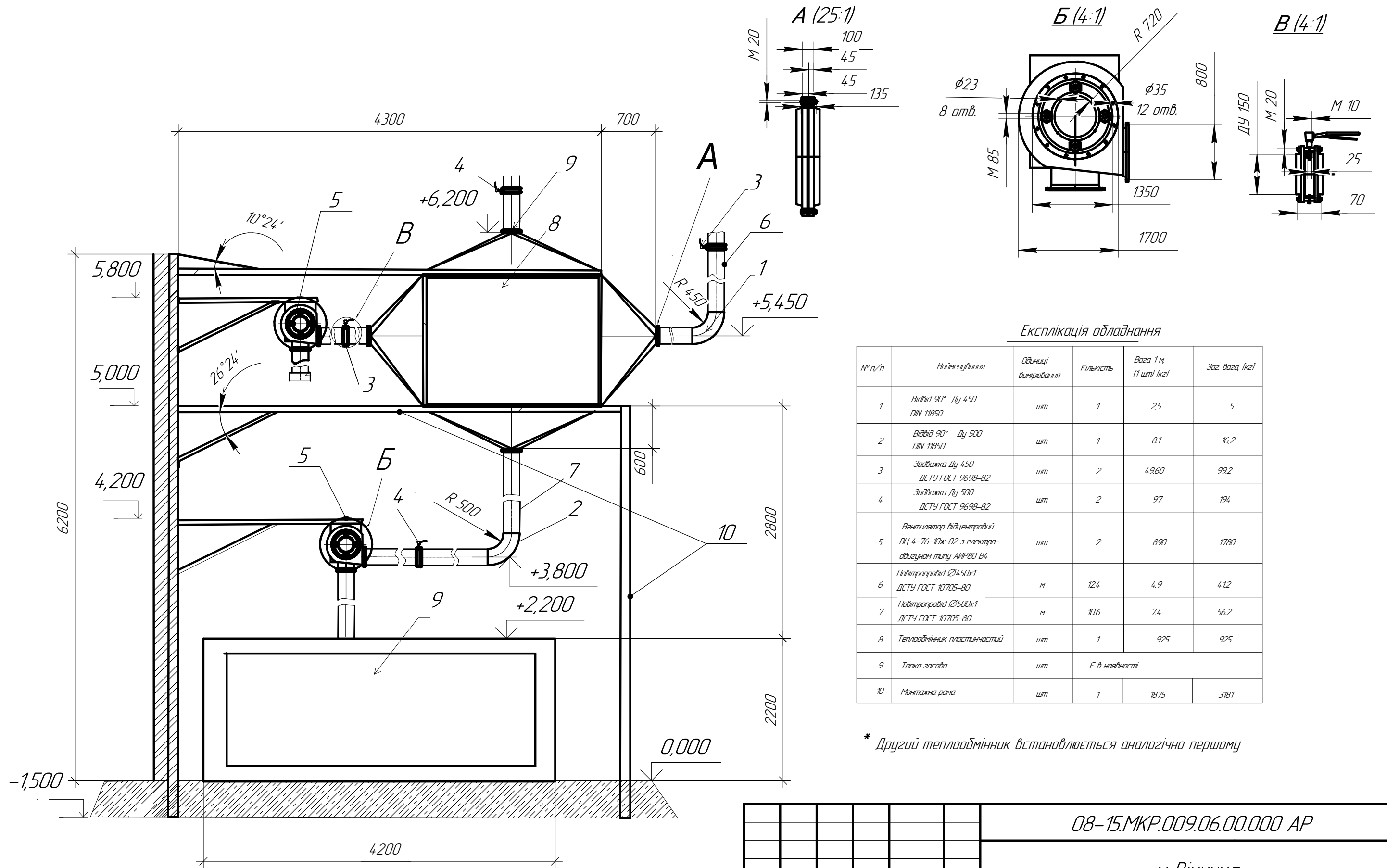
						08-15.МКР.009.05.00.000 АР			
						м. Вінниця			
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	Енергоефективність шахтних сушарок та критерії її оцінювання	Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробив	Слободян М.В.						МКР		1
Керівник	Співак О.Ю.								
Т.Контр.									
Опонент	Христич О.В.								
Н.Контр.	Співак О.Ю.					План монтажу теплообмінника	ВНТУ ТЕ-23м		
Затвердив	Степанов Д.В.								

Погоджено:

Зам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № ор.



Експлікація обладнання

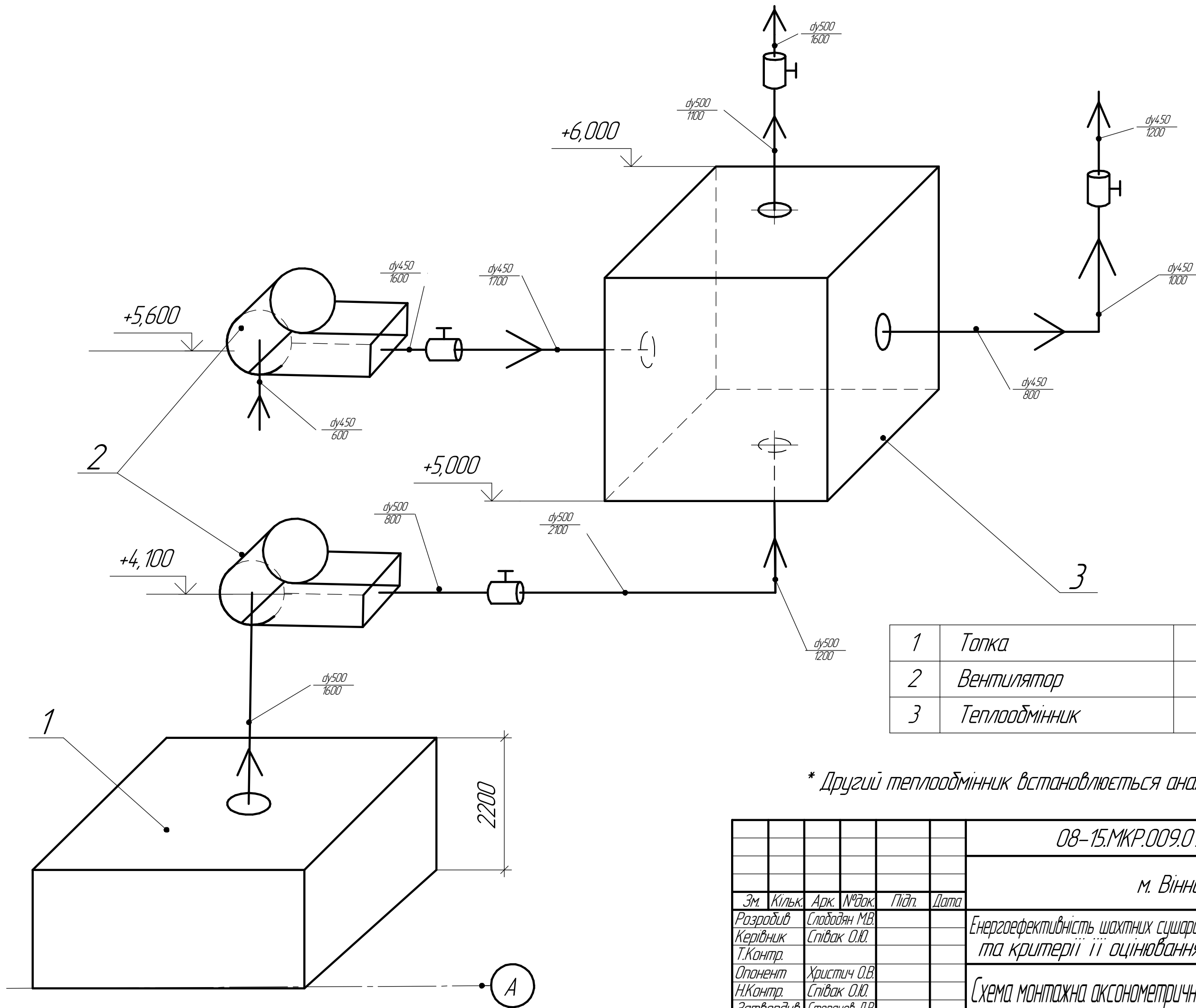
№ п/п	Найменування	Одиниці вимірювання	Кількість	Вага 1 м (1 шт) (кг)	Заг. вага (кг)
1	Відвід 90° Ду 450 DIN 11850	шт	1	25	5
2	Відвід 90° Ду 500 DIN 11850	шт	1	81	16,2
3	Задвижка Ду 450 ДСТУ ГОСТ 9698-82	шт	2	4960	992
4	Задвижка Ду 500 ДСТУ ГОСТ 9698-82	шт	2	97	194
5	Вентилятор відцентровий ВЦ 4-76-10ж-02 з електро-двигуном типу АИР80 В4	шт	2	890	1780
6	Повітропровід Ø450x1 ДСТУ ГОСТ 10705-80	м	124	4,9	412
7	Повітропровід Ø500x1 ДСТУ ГОСТ 10705-80	м	106	7,4	562
8	Теплообмінник пластинчастий	шт	1	925	925
9	Топка газова	шт	Е в наявності		
10	Монтажна рама	шт	1	1875	3181

* Другий теплообмінник встановлюється аналогічно першому

						08-15.МКР.009.06.00.000 АР			
						м Вінниця			
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	Енергоефективність шахтних сушарок та критерії її оцінювання	Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробив	Слободян М.В.						МКР		1
Керівник	Співак О.Ю.								
Т.Контр.									
Опонент	Христич О.В.								
Н.Контр.	Співак О.Ю.					План монтажу теплообмінника Розріз 1-1	ВНТУ ТЕ-23м		
Затвердив	Степанов Д.В.								

Погоджено:

Зам. інв. №
Підп. і дата
Інв. № оп.



1	Топка	1
2	Вентилятор	2
3	Теплообмінник	1

* Другий теплообмінник встановлюється аналогічно першому

						08-15.МКР.009.07.00.000 АР			
						м. Вінниця			
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	Енергоефективність шахтних сушарок та критерії її оцінювання	Стадія	Аркцш	Аркцшів
Розробив			Слободян М.В.				МКР		1
Керівник			Співак О.Ю.			Схема монтажна аксонометрична	ВНТУ ТЕ-23м		
Т.Контр.									
Опонент			Христич О.В.						
Н.Контр.			Співак О.Ю.						
Затвердив			Степанов Д.В.						

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН МОНТАЖУ СУШАРКИ ДСП-32
З ВСТАНОВЛЕННЯМ ТЕПЛОБІМНІНИКА-РЕКУПЕРАТОРА

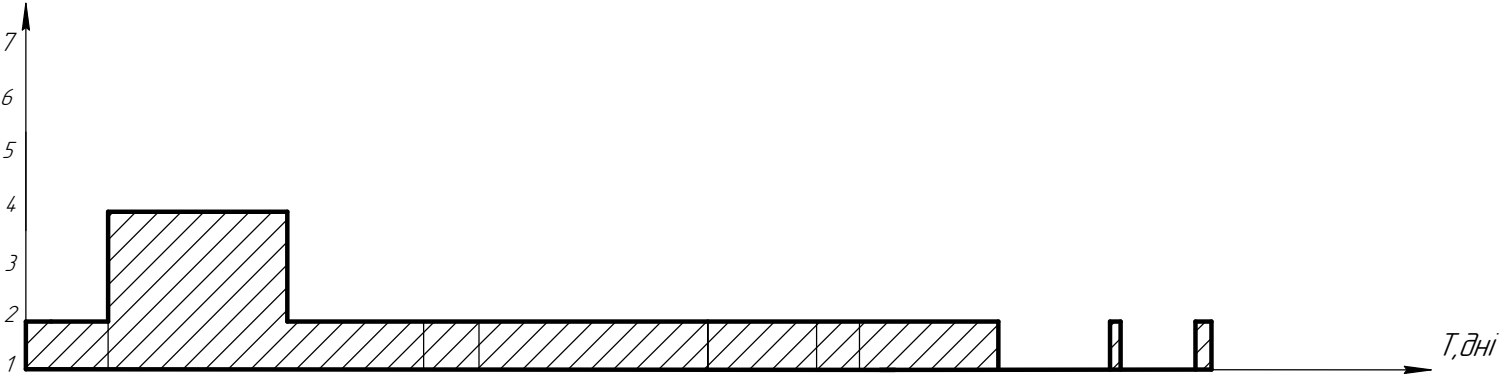
№ п/п	Найменування робіт	Один. вим.	Об'єми	Норма часу люд/год	Трудо- міст- ність	Склад бригади	К-сть чоловік	Трудо- лість	Жовтень																											
									Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Пн	Вт	Ср	Чт				
									2	3	4	5	6	9	10	11	12	13	16	17	18	19	20	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
1	Доставлення деталей до місць монтажу та їх складування	т	5,427	4,4	2,98	Робітник, ваді	2	149	2x149																											
2	Встановлення несучої конструкції	т	2,375	32	19	Монтажник 6 розряд - 1, 3 розряд - 3	4	4,75			4x4,75																									
3	Монтаж теплообмінників	шт	2	12,75	3,12	Слесар 4 розряд - 1, 1 розряд - 1	2	16					2x16																							
4	Прокладання підігрівачів 450x450 мм	100 м ²	0,248	231,2	7,16	Слесар-вентиляційник 3 розряд - 1, 2 розряд - 1	2	3,58					2x3,58																							
5	Прокладання підігрівачів 500x500мм	100м ²	0,212	231,2	6,12	Слесар-вентиляційник 3 розряд - 1, 2 розряд - 1	2	3,06							2x3,06																					
6	Монтаж закріпної арматури підігрівачів на Ду=450мм	шт	4	3,4	1,7	Слесар-вентиляційник 4 розряд - 1, 3 розряд - 1	2	0,85									2x0,85																			
7	Монтаж закріпної арматури підігрівачів на Ду=500мм	шт	4	3,4	1,7	Слесар-вентиляційник 4 розряд - 1, 3 розряд - 1	2	0,85										2x0,85																		
8	Монтаж нагнітальних вентиляторів	шт	4	10,2	5,1	Монтажник 3 розряду - 2	2	2,55											2x2,55																	
9	Монтаж відраізоляторів	10шт	16	6,29	11	Монтажник 4 розряду - 1	1	11																	1x11											
10	Монтаж вставок гнучких	1 м ²	1	9,78	12	Слесар-вентиляційник 3 розряду - 1	1	12																		1x12										
11	Перше робоче випробування системи циркуляції	100м	0,46	5,4	0,31	Слесар-вентиляційник 5 розряд - 1, 3 розряд - 1	2	0,16																			2x0,16									
12	Робоча перевірка системи в цілому	шт	1	2,9	2,9	Слесар-вентиляційник 5 розряд - 1, 3 розряд - 1	2	145																			1x145									
13	Повернення допоміжного обладнання на склад	т	0,0973	3,1	0,0377	Ваді, робітник	2	0,019																				2x0,19								

ГРАФІК РУХУ РОБІТНИКІВ

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ
ГРАФІКУ РУХУ РОБІТНИКІВ

№	Позначення	Формула	Результат	Одвиміру
1	$Q_{зог}$	Q_i	54,6	люд./дні
2	$T_{зог}$	-	23,74	дні
3	R_{max}	-	4	люд
4	$R_{сер}$	$Q_{зог}/T_{зог}$	2,23	люд
5	$T_{вст}$	-	6,1	дні
6	$\pm_1$	$R_{сер}/R_{max}$	0,56	-
7	$\pm_2$	$T_{вст}/T_{зог}$	0,38	-

R, год



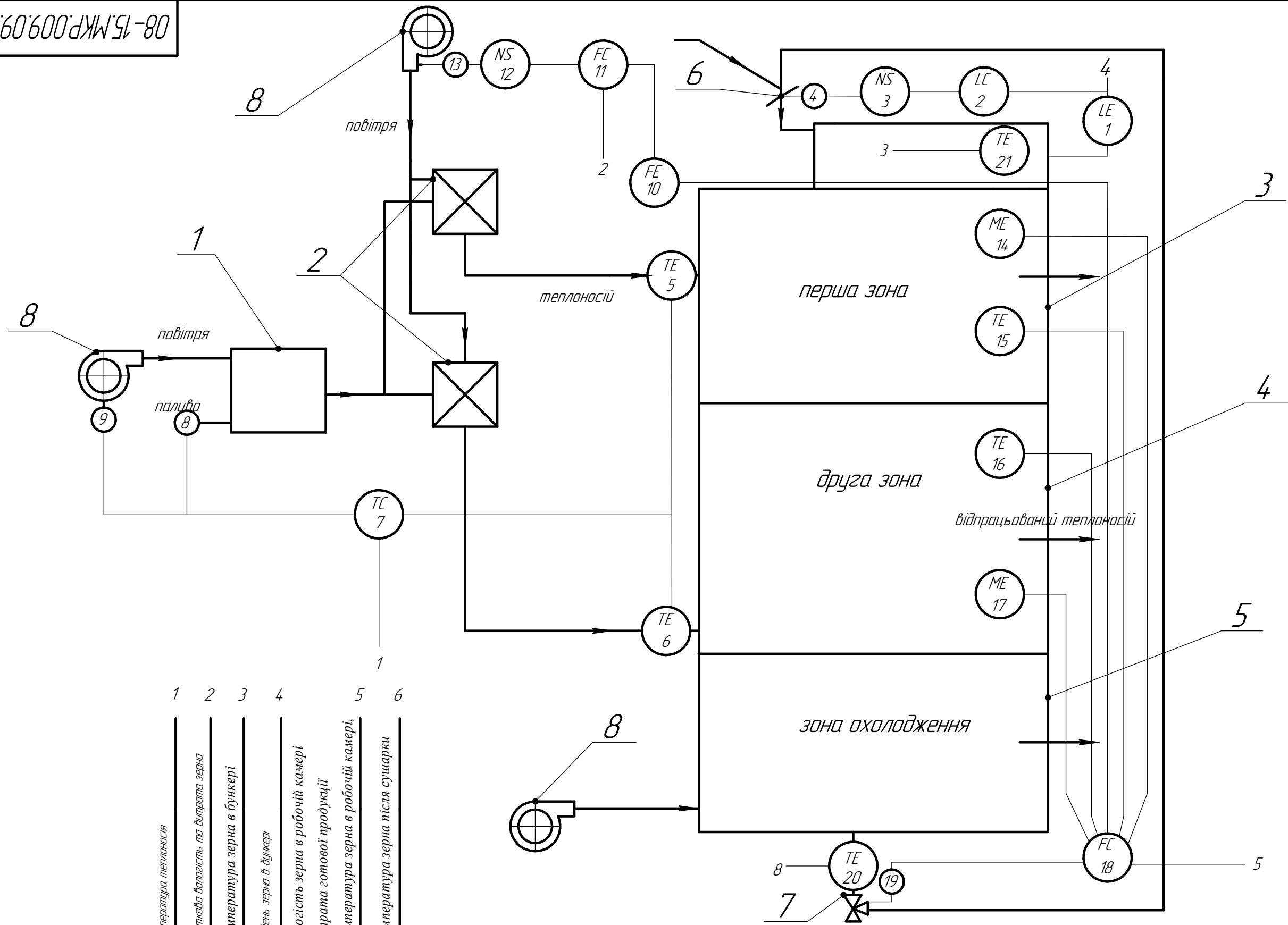
ГРАФІК РОБОТИ МАШИН ТА МЕХАНІЗМІВ

ГАЗ-3309	0,44																												0,019
автомобіль КСК 2561 К		4,417																											
KAISER MIG-295			6,288																										
MAKITA HR 5001C		0,045																											

Погоджені:			
Зам. інф. №			
Підп. і дата			
Інф. № 02			

						08-15.МКР.009.08.00.000 АР			
						м. Вінниця			
Зм.	Кільк	Арк.	№зак	Підп.	Дата	Енергоефективність шахтних сушарок та критерії її оцінювання	Стадія	Аркцш	Аркцшів
Розробив	Слободян М.В.						МКР		1
Керівник	Співак О.Ю.								
Т.Контр.									
Опонент	Христич О.В.					Календарний графік монтажних робіт	ВНТУ, см. зр. ТЕ-23м		
Н.Контр.	Співак О.Ю.								
Затвердив	Степанов Д.В.								

08-15.МКР.009.09.00.000АР



- | | | | | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| температура теплоносія | початкова вологість та витрата зерна | температура зерна в бункері | рівень зерна в бункері | вологість зерна в робочій камері | витрата готової продукції |
| температура зерна в робочій камері | температура зерна в робочій камері | температура зерна після сушки | | | |

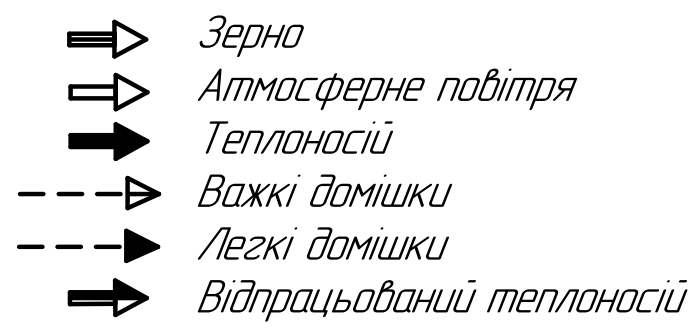
На щиті

СПК1xx

22

					08-15.МКР.009.09.00.000АР		
					Функціональна схема автоматизації шахтної сушарки ДСП-32		
					Літ.	Маса	Масштаб
					М	К	Р
					Арк.	Аркцнів	1
					ТЕ-23М		
					Формат А3		

Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата
Розраб.	Слободян М.В.			
Перев.	Співак О.Ю.			
Т.контр.				
Знач.від.	Христич О.В.			
Н.контр.	Співак О.Ю.			
Затв.	Степанов Д.В.			



Копіював	Формат	A3
----------	--------	----

Додаток Г (довідниковий)

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ

Вхідні дані

РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНА

Теплоносіє - повітря

Тиск на вході $P := 101325$ ПаТемпература на вході в калорифер $t_0 := 20$ °CШвидкість сушильного агента $V_{ca} := 0.3$ $\frac{м}{с}$

Вологовміст сушильного агента

на вході $d_0 := 0.005$ $\frac{кг}{кг}$ на виході $d_2 := 0.01$ $\frac{кг}{кг}$ Газова стала повітря $R := 287$ $\frac{Дж}{кг \cdot K}$ Температура сушіння $t := 55$ Теплота згорання умовного палива $Q_{pny} := 29330$ $\frac{кДж}{кг}$ Початкова вологість зерна на суху масу $\omega_{c0} := 30$ %Початкова температура зерна $\theta_0 := t_0$ Тривалість перебування зерна в шахті $\tau := 50$ Початкова вологість зерна на загальну масу $W_{c0} := 23$ Кінцева вологість зерна $W_c := 14$ Коефіцієнт перерахунку в планові тонни $K_{kn} := 1.08$ Площа для проходу 1 кг зерна $F := 0.00636$ Питома витрата зерна $G_0 := 1$ Годинна витрата зерна $G := 32000$ кг
 $t := \begin{pmatrix} 60 \\ 70 \\ 80 \\ 90 \\ 100 \\ 110 \\ 120 \\ 130 \\ 140 \\ 150 \\ 160 \end{pmatrix}$

РОЗРАХУНОК

Теплофізичні характеристики теплоносія

$tt :=$	$\lambda :=$	$\nu :=$	$Pr :=$
$\begin{pmatrix} 0 \\ 20 \\ 40 \\ 60 \\ 80 \\ 100 \\ 120 \\ 140 \\ 160 \\ 180 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 2.44 \\ 2.59 \\ 2.76 \\ 2.9 \\ 3.05 \\ 3.21 \\ 3.34 \\ 3.49 \\ 3.64 \\ 3.78 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 13.28 \\ 15.06 \\ 16.96 \\ 18.97 \\ 21.09 \\ 23.13 \\ 25.45 \\ 27.80 \\ 30.09 \\ 32.49 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0.707 \\ 0.703 \\ 0.699 \\ 0.696 \\ 0.692 \\ 0.688 \\ 0.686 \\ 0.684 \\ 0.682 \\ 0.681 \end{pmatrix}$
	$\lambda := \lambda \cdot 10^{-2}$	$\nu := \nu \cdot 10^{-6}$	

Для визначення теплофізичних характеристик за заданої температури застосуємо кубічну сплайн-інтерполяцію

$$\lambda(n) := \text{interp}(\text{cspline}(tt, \lambda), tt, \lambda, n)$$

$$\nu(n) := \text{interp}(\text{cspline}(tt, \nu), tt, \nu, n)$$

$$Pr(n) := \text{interp}(\text{cspline}(tt, Pr), tt, Pr, n)$$

$$n := 2$$

Отримані значення теплофізичних характеристик за визначальної температури

$$\lambda(n) = 2.452 \times 10^{-2} \quad \lambda := \lambda(n)$$

$$\nu(n) = 1.345 \times 10^{-5} \quad \nu := \nu(n)$$

$$Pr(n) = 0.707 \quad Pr := Pr(n)$$

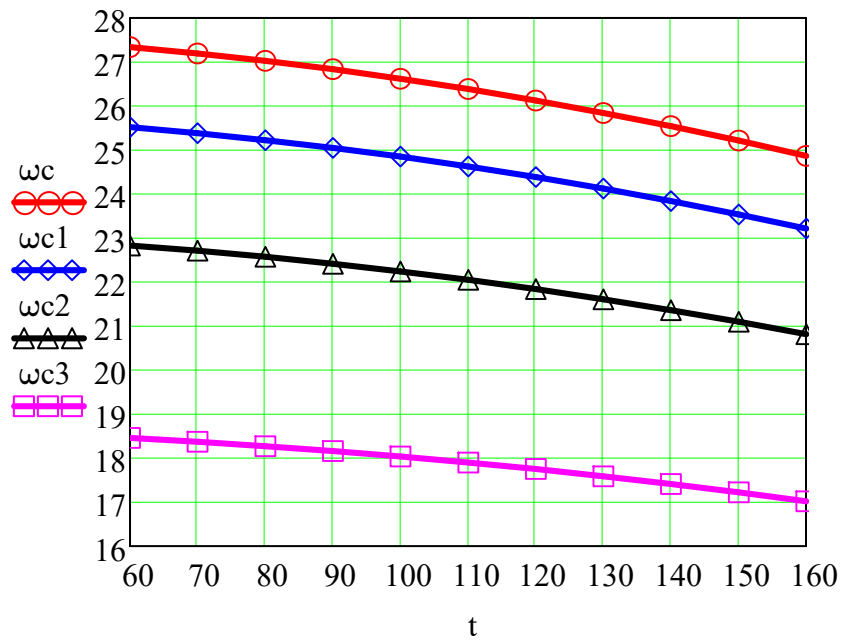
Вологість і температура зерна після 1 проходу

$$\omega_c := \omega_{c0} - 0.0012 \cdot \theta_0 \cdot (5 \cdot t^2 \cdot 10^{-5} + 1) \cdot (1.38 \cdot \sqrt{\tau} - 1) \cdot (\omega_{c0} - 0.011 \omega_{c0}^2 - 9.4)$$

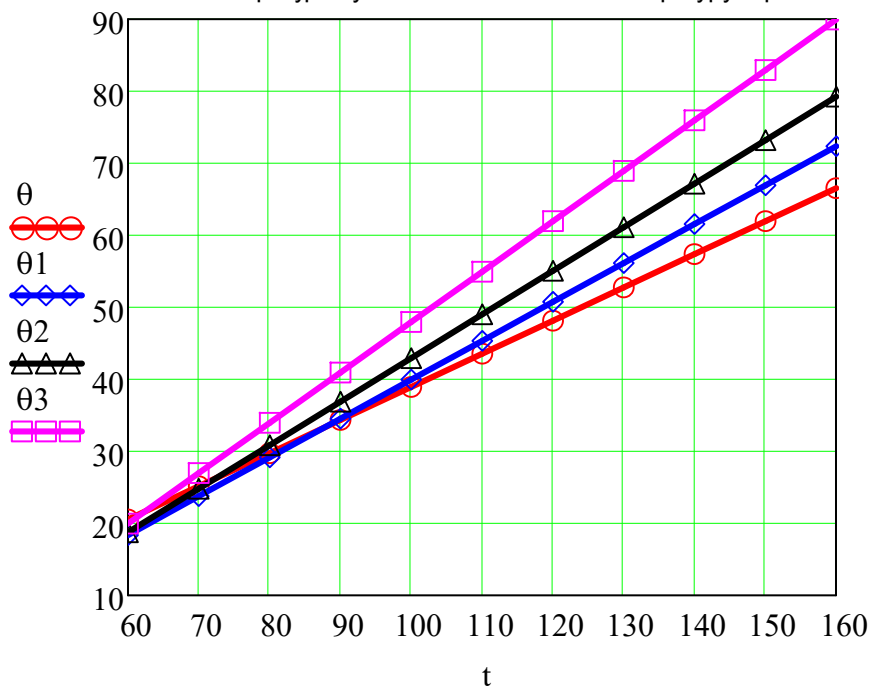
$$\theta := \theta_0 + 0.001 \cdot t \cdot \tau^2 - 0.11 \cdot \tau \cdot \omega_{c0} - 0.068 \cdot t \cdot \omega_{c0} + 138$$



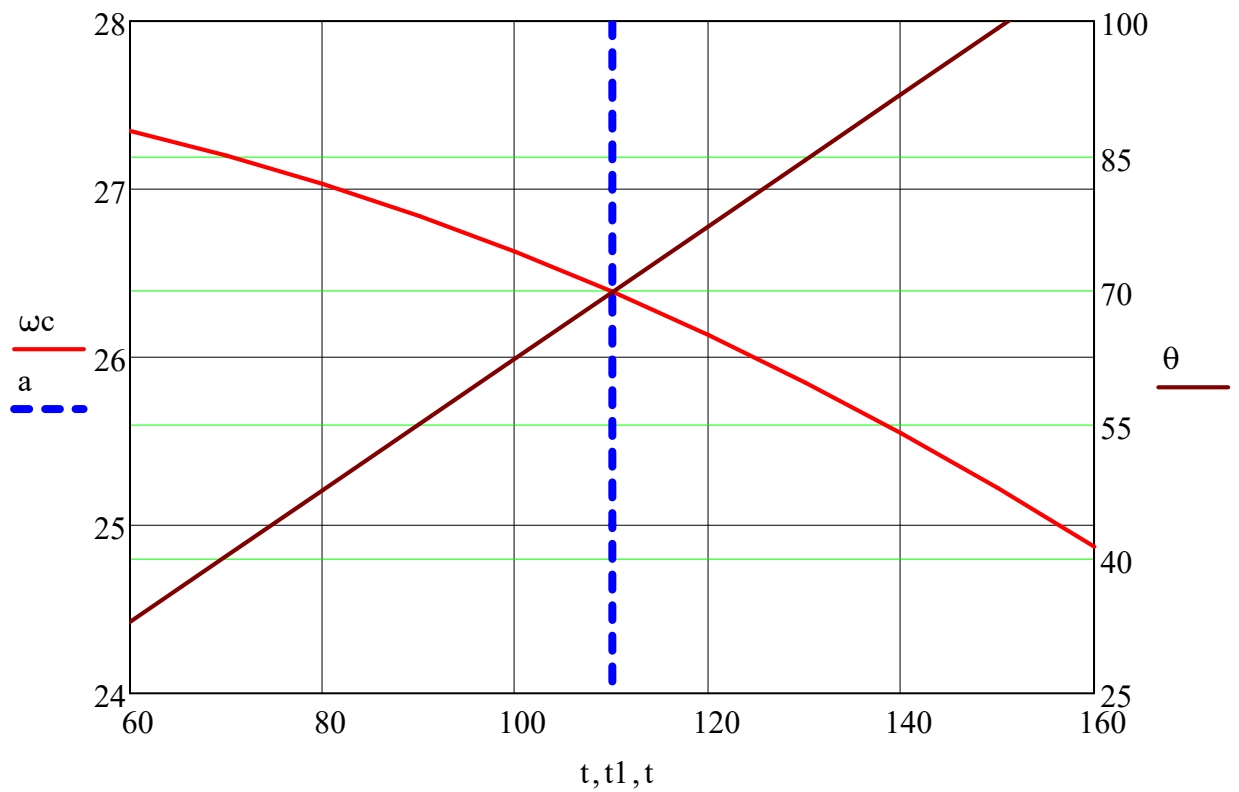
Вплив температури сушильного агента на кінцеву вологість зерна



Вплив температури сушильного агента на температуру зерна

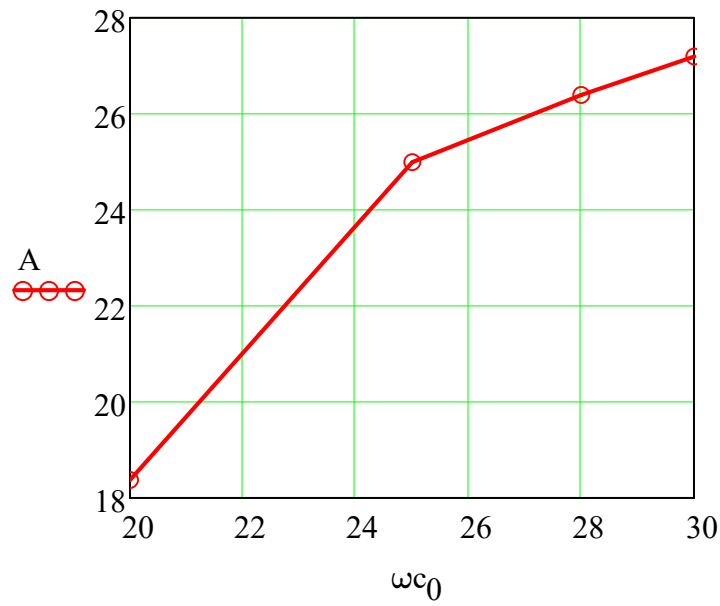


Визначення оптимальної температури сушильного агента для шахтної сушарки



$$T_0 := t_0 + 273$$

$$\rho := \frac{p}{R \cdot T_0} \cdot \frac{1 + d_0}{1 + 1.61 \cdot d_0} = 1.201$$



$$\underline{L} := 60F \cdot V_{ca} \cdot \rho = 0.138$$

$$h_0 := 1.01 \cdot t_0 + d_0 \cdot (2500 + 1.88 \cdot t_0) = 32.888$$

$$h := 1.01 \cdot t + d_2 \cdot (2500 + 1.88 \cdot t)$$

$$W_{cop} := 0.011 \cdot \omega c_0^2 + 9.4 = \begin{pmatrix} 19.3 \\ 18.024 \\ 16.275 \\ 13.8 \end{pmatrix}$$

$$Q := L \cdot (h - h_0) \cdot \tau = 1.635 \times 10^3$$

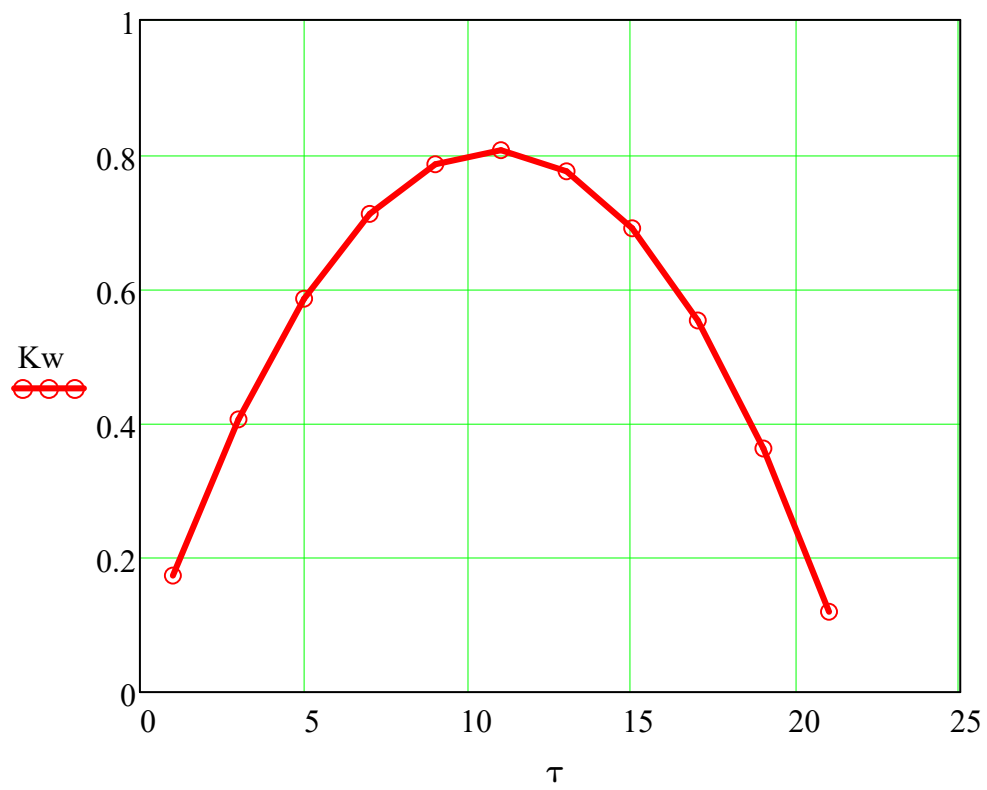
$$K_w := -0.0066 \cdot \tau^2 + 0.1425 \cdot \tau + 0.038$$

$$\underline{W} := G_0 \cdot \frac{W_{c0} - W_c}{100 + W_{c0}} = 0.073$$

$$Z := \frac{Q}{G_0 \cdot K_w \cdot K_{kn} \cdot Q_{pny}} \quad \frac{\text{кг_палива}}{\text{кг_зерна}}$$

$$\underline{\tau} := \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \\ 5 \\ 7 \\ 9 \\ 11 \\ 13 \\ 15 \\ 17 \\ 19 \\ 21 \end{pmatrix}$$

Залежність критерію вологознімання від часу перебування зерна в шахті



Вплив критерію вологознімання на питомі затрати

