

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

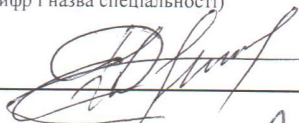
Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра теплоенергетики
(повна назва кафедри)

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:

**«Використання альтернативних видів
твердого палива в розпилювальних сушарках»**

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



Присяжний Д.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТЕ

Співак О. Ю.
(прізвище та ініціали)
« 9 » грудня 2024 р.

Опонент: к.т.н., доц. каф. БМГА

Христич О.З.
(прізвище та ініціали)
« 11 » грудня 2024 р.

Допущено до захисту
Зав. кафедри ТЕ

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

« 10 » 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.

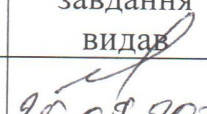
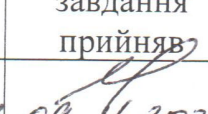
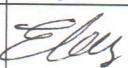
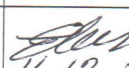
28.09. 2024 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Присяжному Денису Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Використання альтернативних видів твердого палива в розпилювальних сушарках»
керівник роботи Співак Олександр Юрійович, к. т. н., доцент
затверджені наказом вищого навчального закладу від 17.09.2024 р., № 310
2. Строк подання студентом роботи 10.12.24 року.
3. Вихідні дані до роботи: Видатність сушарки $G = 500$ кг/год. Параметри теплоносія: температура на вході $196\text{ }^{\circ}\text{C}$; вологовміст $0,015$ кг/кг; ентальпія 210 кДж/кг. Характеристики сировини: початкова вологість 50% ; кінцева вологість 15% ; критична вологість 8% . Характеристики сушильної камери: діаметр циліндричної частини $0,8$ м; висота циліндричної частини $0,9$ м; загальна висота башти $3,48$ м; діаметр вихідного отвору $0,32$ м. кількість заходів розпилювального диска 3 ; товщина стінки камери $0,003$ м, (сталь 3кп); товщина теплової ізоляції $0,025$ м, (азбест листовий). Втрати напору: в циклоні 600 Па; в мультициклоні 500 Па; у фільтрі 100 Па.
4. Зміст текстової частини: 1 Аналіз літературних джерел; 2 Математична модель розпилювальної сушарки; 3 Обговорення результатів числових досліджень; 4 Технологічно-конструкторська частина; 5 Економічна частина; Висновки; Додатки.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): сушильна башня, схема теплова функціональна, схема аксонометрична, план сушильного комплексу, календарний план, автоматизація розпилювальної сушарки, графічні залежності.

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	 09.11.2024
Економічна частина	Лялюк О. Г., доцент кафедри БМГА	 11.12.2024	 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)

Присяжний Д.В.

Керівник роботи

(підпис)

Співак О.Ю.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.33

Присяжний Д.В. Використання альтернативних видів твердого палива в розпилювальних сушарках. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 144 – «Теплоенергетика», освітня програма - теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2024. 85 с.

Бібліогр.: 63 назв; рис.: 17; табл. 12.

У магістерській кваліфікаційній роботі виконані дослідження процесів в розпилювальній сушарці для сушіння молока, дослідження доцільності використання альтернативних видів твердого палива в розпилювальних сушарках, розрахунки допоміжного обладнання та розробка заходів для здешевлення процесу сушіння.

Складено математичну модель для сушіння молока в розпилювальній сушарці видатністю 500 кг/год від вологості 50 до вологості 15%.

Розрахована необхідна потужність калорифера, $Q = 787,5$ кВт, необхідна витрата повітря $L = 4167$ кг/год, кількість випаруваної води складає 175 кг/год.

Визначені складові теплового балансу процесу сушіння.

Числовий експеримент дозволив визначити залежності впливу швидкості сушильного агента на коефіцієнт міжфазної тепловіддачі на границі «крапля – оточуюче середовище», на теплові втрати через теплову ізоляцію сушарки, на потужність приводу нагнітальної машини.

Розроблено технологію монтажу очисного обладнання в технологічну схему розпилювальної сушарки.

Виконано автоматизацію розпилювальної сушильної установки на базі традиційних засобів автоматики, розглянуто засоби контролю та автоматизації технологічних процесів. Забезпечено повну автоматизацію управління технологічним процесом. Підготовлено схему контролю та регулювання температури теплоносія та його вологості. Діапазон регульованих температур від 40 до 150 °С.

Визначено економічну привабливість даного інноваційного проєкту.

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

Ключові слова: сушіння, розпилювальна сушарка, альтернативне паливо.

ABSTRACT

Prysyazhnyi D.V. Use of alternative types of solid fuels in spray dryers. Master's qualification work in specialty 144 - "Heat power engineering", educational program - heat power engineering. Vinnytsia: VNTU, 2024. 85 p.

Bibliography: 63 titles; fig.: 17; tab. 12.

In the master's qualification work, research was carried out on processes in a spray dryer for drying milk, research on the feasibility of using alternative types of solid fuel in spray dryers, calculations of auxiliary equipment and development of measures to reduce the cost of the drying process.

A mathematical model was developed for drying milk in a spray dryer with a capacity of 500 kg/h from humidity 50 to humidity 15%.

The required heater power was calculated, $Q = 787.5$ kW, the required air flow rate $L = 4167$ kg/h, the amount of evaporated moisture is 175 kg/h.

The components of the heat balance of the drying process were determined.

The numerical experiment allowed us to determine the dependence of the drying agent velocity on the interfacial heat transfer coefficient at the droplet-environment interface, on heat losses through the thermal insulation of the dryer, and on the power of the injection machine drive.

The technology for installing cleaning equipment in the spray dryer technological scheme has been developed.

The spray drying installation has been automated based on traditional automation tools, and the means of control and automation of technological processes have been considered. Full automation of the technological process control has been ensured. A scheme for controlling and regulating the temperature of the coolant and its humidity has been prepared. The range of regulated temperatures is from 40 to 150 °C.

The economic attractiveness of this innovative project has been determined.

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

Keywords: drying, spray dryer, alternative fuel.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	6
1.1 Переваги і недоліки розпилювальних сушарок	6
1.2 Принцип роботи і конструкція розпилювальних сушарок	9
1.3 Робота розпилювальної сушарки.....	13
2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗПИЛЮВАЛЬНОЇ СУШАРКИ	15
2.1 Робочі параметри розпилювальної сушарки	15
2.2 Розрахункові формули.....	16
3 ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЧИСЛОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	26
3.1 Числові дослідження роботи розпилювальної сушарки для оптимізації її роботи	26
3.2 Числові дослідження використання альтернативних видів твердого палива в розпилювальних сушарках	29
4 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	33
4.1 Технологія монтажу ТА в теплову схему розпилювальної сушарки	33
4.1.1 Аналіз об'єкту, який підлягає монтажу	33
4.1.2 Розрахунок та комплектування основних та допоміжних матеріалів для монтажу обладнання	35
4.1.3 Склад робіт.....	37
4.1.4 Об'єми робіт	38
4.1.5 Вибір машин, механізмів, пристосувань для монтажних робіт	40
4.1.6 Розрахунок енергоресурсів на монтажні роботи	42
4.1.7 Визначення трудомісткості виконання монтажних робіт.....	44
4.1.8 Визначення складу ланок	45
4.1.9 Монтажне регулювання і здача системи в експлуатацію	47
4.1.10 Монтажне регулювання.....	48
4.1.11 Здача системи в експлуатацію	49
4.2 Автоматизація модернізованої системи	51
4.2.1 Технологічний процес	51
4.2.2 Технологічне обладнання.....	52
4.2.3 Теплоносії, які застосовують в процесі розпилювального сушіння....	52

4.2.4 Обґрунтування вибору характеристик, які регулюються та каналів регулюючого впливання.....	53
4.2.5 Контроль величин та засоби сигналізації.....	58
4.2.6 Контроль фізичних величин в техпроцесі.....	59
4.2.7 Використання технологічної сигналізації.....	60
4.2.8 Розрахунки регулюючого органа.....	61
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	65
ВИСНОВКИ.....	77
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	79
ДОДАТКИ.....	86
Додаток А (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	87
Додаток Б (обов'язковий) ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	88
Додаток В (обов'язковий) ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА.....	92
Додаток Г (довідниковий) ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ.....	108
Додаток Д (довідниковий) ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ.....	111

ВСТУП

Актуальність роботи.

Великі відсотки енергетичних втрат при використанні енергії в окремих теплотехнологічних процесах, призводять до підвищення як їхньої енергоемності, так і виробництва в цілому. Це призводить до кризового стану енергетики країни, не тільки через війну.

Таким чином, завдання зменшення втрат енергії, підвищення енергоефективності і заходи з енергозбереження, використання поновлювальних видів палива в харчовому виробництві є **актуальними**.

Мета і завдання дослідження.

Метою роботи є дослідження процесів в розпилювальній сушарці для сушіння молока, дослідження доцільності використання альтернативних видів твердого палива в розпилювальних сушарках, розрахунки допоміжного обладнання та розробка заходів для здешевлення процесу сушіння.

Задачі роботи:

- здійснити аналіз джерел літератури для визначення основних шляхів та напрямків здешевлення процесу сушіння;
- розробити математичну модель конвективної розпилювальної сушарки;
- числовими методами дослідити ефективність роботи розпилювальної сушарки з врахуванням особливостей процесу сушіння суспензій та емульсій методом розпилення;
- дослідити можливість використання альтернативних видів твердого палива в розпилювальних сушарках;
- модернізувати автоматизацію розпилювальної сушарки;
- розробити технологію монтажу додаткового обладнання, необхідного для ефективної роботи модернізованої сушарки;
- провести економічні розрахунки модернізації;

Об'єктом дослідження є необоротні тепломасообмінні процеси в розпилювальних сушарках.

Предметом дослідження є розпилювальна сушарка SBF-9200 для сушіння молока.

Методи дослідження. В роботі застосовано в комплексі як емпіричні так і теоретичні методи дослідження: аналіз, числовий експеримент, спостереження, синтез.

Новизна одержаних результатів.

Вперше проаналізований вплив швидкості теплоносія на міжфазний коефіцієнт тепловіддачі « витаюча крапля емульсії – повітря».

Особистий внесок здобувача полягає в дослідженні даних з джерел літератури та патентних джерел, розрахунках допоміжного обладнання для підвищення ефективності використання розпилювальних сушарок.

Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи: результати роботи доповідалися на Міжнародній науково-технічній конференції "Інноваційні технології в будівництві 2024", Вінниця, 2024.

Публікації: Співак О.Ю., Дудник В.В., Присяжний Д.В. Вплив параметрів теплоносія і сировини на видатність барабанної сушарки. в «Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції "Інноваційні технології в будівництві 2024"», Вінниця, 2024. URL : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2024/paper/viewFile/22501/18604/> . (дата звернення 22.11.2024).

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Переваги і недоліки розпилювальних сушарок

Найбільш поширеним методом, що застосовується для отримання дрібно-дисперсної харчової продукції, є конвективне сушіння. Процес сушіння харчової сировини з отриманням високоякісних порошків здійснюється розпилювальними сушарками з прямотоковим, протитоковим та змішаним рухом сушильного агента. В робочій камері установки розсіюється рідина і контактує з топковим газом або іншим сушильним агентом, за рахунок цього волога випаровується з речовини. Процес зневоднення відбувається дуже швидко, тому речовина не встигає нагрітися більше допустимих температур. Висушені частинки осідають на дно камери у вигляді порошку, звідки проводиться його розвантаження [1]. повітря.

Сучасна тенденція розвитку сушильної технології – забезпечення максимальної інтенсифікації процесів розпилювального сушіння при одночасному покращенні якості висушуваного матеріалу.

Недоліками існуючих розпилювальних сушарок є великі габаритні розміри та значні енерговитрати, обмежена можливість оперативного впливу на перебіг процесу сушіння, низька харчова цінність отримуваних продуктів. Усунення цих недоліків вимагає розроблення та впровадження обладнання на базі нових принципів із керуванням технологічними процесами методами автоматизації

Пріоритетним напрямом досліджень у галузі отримання високоякісних молочних порошків та збереження їх харчової цінності є застосування енергоощадних технологічних процесів, використання в апаратах кількох потоків сушильного агента.

Механізм сушіння вологих матеріалів визначається переважно формою зв'язку вологи з матеріалом та режимом сушіння. В основу класифікації форми зв'язку вологи з матеріалом в даний час прийнята схема, запропонована П.А. Ребіндером [1-4]. Відповідно до цієї схеми розрізняють:

- а) хімічний зв'язок (зв'язок у точних кількісних співвідношеннях);
- б) фізико-хімічний зв'язок (зв'язок у різних, не суворо визначених) співвідношеннях);
- в) механічний зв'язок (утримання води в невизначених співвідношеннях).

Фізико-хімічними зв'язками зв'язана адсорбційна, осмотична та структурна волога. Механічний зв'язок передбачає наявність великої кількості макрокапілярів та мікрокапілярів, в яких і знаходиться волога.

При сушінні видаляється волога, пов'язана з матеріалом механічно та фізико-хімічно. Хімічно пов'язана волога не видаляється, оскільки це призводить до руйнування матеріалу. [5-6].

Для видалення вологи з рідких продуктів використовуються переважно випарювання та сушіння. При отриманні порошків заданої якості із рідких продуктів оптимальним способом є розпилювальне сушіння.

Розпилювальне сушіння набуло поширення при виробництві дрібнодисперсних порошків сухого молока та молочних продуктів, сухих молочних сумішей дитячого харчування, швидкорозчинної кави, є перспективною при виробництві овочевих та фруктових-ягідних, яєчних порошків [12-14]. Цей метод дозволяє значно інтенсифікувати процес з допомогою максимального зменшення розміру часток. У сушарках такого типу відбувається розпилення рідкої сировини та висушування його при русі різноспрямованим потоком сушильного агента. Нагріте у калорифері до 160-200 °С повітря надходить у сушильну камеру. Найчастіше вона має форму циліндра з плоскою або конічною основою. На металевому каркасі закріплені подвійні стінки: внутрішня поверхня з листової нержавіючої сталі або метлахської плитки, зовнішня з листової сталі.

Між внутрішньою та зовнішньою стінками прокладено теплову ізоляцію.

У сушильній камері можуть бути розташовані розпилювальні установки трьох видів:

- форсунки механічні;
- форсунки пневматичні ;
- відцентрові диски.

Рух розпилених частинок розчину та повітря в камері може бути прямо-токовим, протитоковим та змішаним. У цих установках створюється величезна поверхня випаровування дрібнодиспергованих крапель розчину. Для висушування використовують підвищені температури сушильного агента.

Незважаючи на порівняно високу енергоємність розпилювальних сушарок і низьке питоме вологознімання, застосування їх суттєво скорочує технологічний процес завдяки відсутності стадій механічного зневоднення, переробки відходів, крім цього використання цього способу дозволяє надати певні задані характеристики продукту[15].

Спосіб сушіння розпиленням має ряд переваг у порівнянні з іншими методами сушіння [16-17]:

- 1) процес сушіння йде дуже швидко (зазвичай 15-30 с), при цьому продукт, що розпорошується має насичену вологою поверхню. За таких умов відбувається адіабатне випаровування чистої рідини. Так як час сушіння малий, висушений продукт виходить хорошої якості: наприклад, не відбувається денатурації білків, окислення, втрат вітамінів тощо.. Цей метод часто застосовується для сушіння харчових продуктів, біологічних та фармацевтичних препаратів та інших термолабільних матеріалів. Якість готового продукту, отриманого в розпилювальних сушарках можна порівняти з продуктом, висушеним за глибокого вакууму (сублімаційним методом);
- 2) при сушінні розпиленням легко впливати на показники якості готового продукту в залежності від параметрів сушіння;
- 3) готовий продукт має високу розчинність і не потребує подальшої обробки;
- 4) розпилювальне сушіння дозволяє повністю автоматизувати процес одержання готового продукту;
- 5) висушуваний матеріал у процесі сушіння не стикається з поверхнями сушарки доти, доки він не висохне. Це спрощує вирішення проблеми корозії та вибору матеріалу для сушильної камери;
- 6) у розпилювальних сушарках можна використовувати різну температуру (60-1200 °C).

- 7) розпилювальні сушарки часто використовують для липких аморфних продуктів.
- 8) розпилювальне сушіння дозволяє отримати порошок з точним процентним вмістом частин, які попередньо розчинили в вихідному матеріалі;
- 9) розпилювальні сушарки мають низький ступінь викиду пилу.

Існує три методи розпилення рідини – за допомогою відцентрових дисків, пневматичних форсунок або механічних форсунок. Вибір типу розпилювача та його конструкція визначаються необхідною продуктивністю, необхідністю отримання факела розпилу з певною дисперсністю, властивостями рідини, що розпилюється. Так, для високов'язких розчинів, грубих суспензій та паст підходять відцентрово-дисківі розпилювачі, для в'язких розчинів – пневматична форсунка, для колоїдних розчинів – механічна форсунка. Чим менший розмір частинок розпорошеної рідини, тим швидше відбувається процес сушіння.

Мета розрахунку сушильних установок – визначення кількості випаруваної вологи, розрахунки матеріальних потоків. При розрахунку цього показника враховуються матеріальний баланс по потоку, по випаровуваній волозі, по абсолютному сухому матеріалу.

Тепловий баланс. При розрахунку витрати теплоти на проведення процесу сушіння матеріалу враховуються: витрата сушильного агента на сушку, тепловміст сушильного агента на вході в сушарку і на виході, витрата теплоти на випаровування вологи, витрата теплоти на нагрівання висушеного матеріалу, витрата теплоти на нагрівання зовнішнього повітря, що підсмоктується через нещільності, втрати теплоти в довкілля, витрата теплоти на дегідrataцію, теплота хімічних перетворень.

1.2 Принцип роботи і конструкція розпилювальних сушарок

Розпилювальні сушарки використовуються для сушіння рідких і пастоподібних продуктів (молоко, соки, екстракти тощо) і застосовуються переважно в

тих випадках, коли необхідно випарувати розчинник і отримати з висушуваної сировини порошкоподібний або гранульований сухий продукт.

Особливо очевидна доцільність розпилювального сушіння з точки зору економічної доцільності за коли виникає необхідність висушувати матеріали, що близькі до стану насичення, а також, коли необхідно організувати в камері сушарки комбінований процес гігротермічного оброблення.

Як вказувалось вище, за способом розпилення розпилювальні сушарки поділяються на дискові та форсуночні. Внаслідок розпилення продукту на дрібні частки у цих установках утворюється велика площа зіткнення продукту з гарячим повітрям, причому процес сушіння протікає протягом декількох секунд, а продукт при висушуванні перебуває у зваженому стані [2].

В таких сушарках висока інтенсивність випаровування вологи досягається за рахунок ультратонкого розпилення сировини, яку потрібно висушити, в сушильній камері, через яку рухається нагрітий сухий теплоносіє. При сушінні в розпорошеному стані питоми поверхні випаровування крапель або часток досягає настільки великої величини, що процес висушування до рівноважного стану вологи завершується надзвичайно швидко (приблизно 15-30 сек).

В таких умовах сушіння (майже миттєвого) температура поверхні частинок матеріалу, наряду з високою температурою сушильного агента, перевищує температуру адіабатного випаровування чистої рідини лише трохи. Таким чином, досягається швидке сушіння за м'яких температурних умов, і це дозволяє отримати якісний порошкоподібний продукт, що має добру здатність до розчинення і не вимагає подальшого подрібнення.

Для диспергування суспензій і в'язких рідин придатне і розпилення відцентровими дисками, але воно вимагає значно більшої витрати енергії, в порівнянні з механічним розпиленням. Тому частіше застосовують розпилювання механічними форсунками, воно є більш економічним, в такі форсунки рідина подається насосом під тисками до 30-200 атм, , але таке розпилення можна застосовувати тільки для рідин, які б не містили твердих суспензій, оскільки форсунки такого типу чутливі до засмічення.

Застосовують також і розпилення пневматичними форсунками, такі пристрої працюють з використанням стисненого повітря, що має тиск до 6 атм. Воно хоча і є придатним для забруднених рідин, але є і найдорожчим через велику витрату енергії; крім того, його недоліком є неоднорідність розпорошення.

Для осадження дрібних частинок і пониження винесення швидкість сушильного теплоносія у камері, враховуючи її повний переріз, часто може перевищувати 0,3-0,5 м/сек. Та навіть за таких швидкостей винесення значне і потрібно хороше знепилення відпрацьованого теплоносія. Щоб більш рівномірно розподілити сушильний агент по перерізу камери і забезпечити добре змішування з краплями висушуваної рідини використовують задування теплоносія через штуцер, який розташований похило стосовно корпусу камери, або через ряд щілин, по її колу.

Внаслідок відносно низького напруження розпилювальної камери по волозі, розпилювальні сушарки є досить громіздкими апаратами. Потрібно також враховувати, що обладнання для сушарок (розпилюючі та пиловловлюючі пристрої) є досить складними і дорогими в експлуатації.

Розпилювальні сушильні установки для молока як правило, випускають з дисковим розпилювачем прямооточного типу. У сушильній башті цих установок велике конічне днище, по якому сухе молоко зсипається до відповідного пристрою. Для монтажу сушильної башти необхідно приміщення висотою 13-14м [2].

У комплект установки входять приймальна ванна з теплообмінною сорочкою, з якої загущене молоко, подається насосом на розпилювальний диск, що обертається зі швидкістю до 12 000 об/хв; сушильна башта з конічним днищем, усередині якої розташований повітропровід для відпрацьованого повітря; зовні вежі розташований трубопровід для подачі гарячого повітря, фільтр для механічного очищення повітря, що подається вентилятором калорифер для нагрівання; пневматичний транспортер із фільтром; батарея циклонів; розвантажувальний циклон для сухого молочного порошку; приймач із затвором для випуску порошку на розфасовку; вентилятор; зворотний повітропровід; вентилятор для відсмоктування повітря із башти; пульт керування. Сушильну башту, циклони та

трубопроводи виготовляють з нержавіючої сталі з полірованою робочою поверхнею [2].

Розрахунки розпилювальних сушильних камер бувають різного типу.

Тепловий розрахунок – складання теплового балансу для визначення його окремих складових і неврахованих втрат.

Матеріальний розрахунок – складання матеріального балансу для визначення кількості випаруваної вологи, розрахунки матеріальних потоків теплоносія і сировини.

Гідродинамічний розрахунок – визначення оптимального робочого об'єму сушильної камери та основні розміри сушарки для заданої продуктивності.

У розпилювальних сушарках дуже важко визначити тривалість перебування частинок у зваженому стані. Тому не можна достовірно розрахувати поверхню теплообміну. Розрахунок сушарок проводиться з використанням об'ємного коефіцієнта тепловіддачі інтенсивності теплообміну в сушильній камері. Об'ємний коефіцієнт тепловіддачі залежить від методу розпилення матеріалу. При розрахунку враховуються: теплопровідність сушильного агента, окружна швидкість матеріалу, що розпилюється, середній діаметр крапель та інші параметри. Середній об'ємно-поверхневий діаметр краплі розчину розраховується за формулою Фрасера–Ейзенклама–Домбровського [1,4]

$$d = 6,9 \cdot 10^5 \cdot \frac{G^{0,2} \cdot v_p^{0,2} \cdot \sigma^{0,1}}{D_d^{0,2} \cdot \Pi^{0,1} \cdot n^{0,6} \cdot \gamma_p^{0,3}}, \quad (1.1)$$

де G – вагова продуктивність, кг/год;

v_p – кінематична в'язкість рідини, яку потрібно розпилити, м²/с;

σ –поверхнєве натяжіння, Н/м;

D – діаметр диска, м;

Π – змочений периметр диска, він рівний добутку числа лопаток на їх висоту, м;

γ – густина розчину, кг/м³.

n – швидкість обертання диска, об/хв;

Діаметр сушильної камери розраховується за рівнянням витрати і залежить від середньої об'ємної витрати сушильного агента та швидкості теплоносія в сушильній камері. Висота камери визначається відношення висоти (H) до діаметру (D) камери. Для форсуночної камери ця величина становить $H/D = 1,5 \dots 2,5$. Найменше значення береться при сушінні розчинів з низькою початковою вологістю. Якщо необхідно одержання великих гранул, ця величина може становити до 5 і більше. Для камер з дисковим розпорошенням $H/D = 0,8 \dots 1,0$. Відстань від верхнього перекриття рівня диска зазвичай становить 1,0...1,5 м.

1.3 Робота розпилювальної сушарки

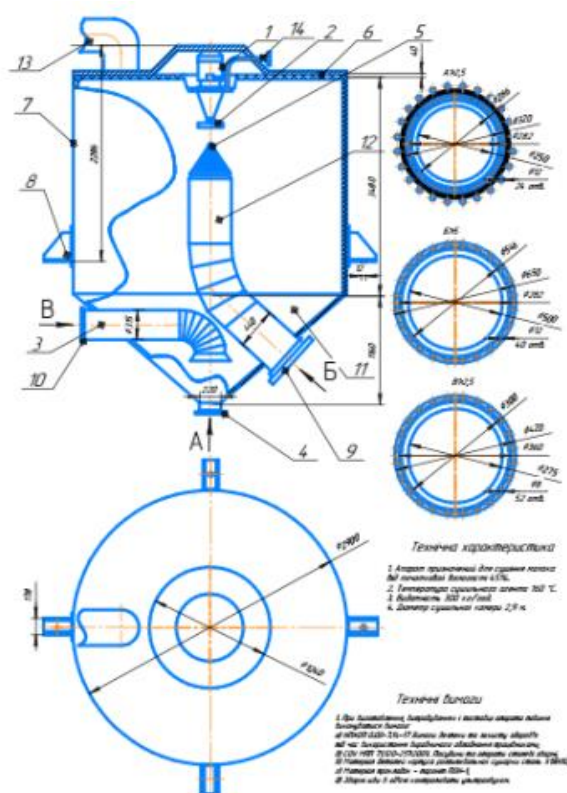


Рисунок 1.1 - Розпилювальна сушарка

Сушарка розпилювальна представлена на Рис. 1.1. Робота сушарки починається з очищення повітря від зважених у ньому частинок та мікроорганізмів через фільтр повітря (1). Потім очищене повітря нагнітається вентилятором у калорифер. Температура повітря на вхід до калориферу 19°C (2), де воно нагрівається до 160°C. Це повітря (сушильний агент) надходить у розпилювальну установку. Одночасно із бака подається молоко. У розпилювальній сушарці відбувається процес розпилювання молока завдяки робочому органу: форсунці або дискові. Диск обертається електродвигуном. Знизу подається гаряче повітря. Після сушіння частинки сухого молока осідають в конічній частині сушарки і видаляється за допомогою вібратора.

Також відбувається видалення відпрацьованого повітря за допомогою витяжного вентилятора через батарею циклонів, частинки, які були уловлені в циклонах, видаляються через шлюзи. Частинки сухого молока нагнітаються за допомогою вентилятора у розвантажувальний циклон і виводиться через шлюз. Готовий продукт фасують та відправляють на склад готової продукції.

Способи сушіння розпиленням мають низку переваг якщо порівнювати їх з іншими методами сушіння.

1. Процес сушіння проходить досить швидко (зазвичай 13-15 сек) і розпилені часточки сировини в зоні підвищених температур мають насичену вологою поверхню, її температура близька до температури адіабатного випаровування якщо рідина чиста. Завдяки миттєвому сушінню та невисоким температурам часточок не відбувається денатурація білків, окислення, втрат вітамінів.

2. Якісні показники готового продукту враховуючи зміну умов сушіння легко регулювати та у потрібному напрямку змінювати.

3. Готовий продукт не потребує додаткового подрібнення.

4. Можна досягти високої продуктивності по висушуваному матеріалу.

5. Висушуваний продукт не стикається з поверхнями сушарки до тих пір, поки не висушиться, що нівелює проблему корозії матеріалу сушильної камери.

6. Сушіння відбувається в широких температурних межах (60-120 °C).

7. При сушінні шкідливих для людського організму та оточуючого середовища речовин не відбувається винесення пилу продукту, що висушується в приміщення сушильного цеху, що особливо важливо.

Відмітимо недоліки методу розпилювального сушіння:

1. Великі питомі габарити сушарки при сушінні з високими початковими температурами повітря 100-160 °C;

2. Обладнання для розпилення та обладнання для виділення висушених продуктів з відпрацьованих газів є порівняно дорогим та складним;

3. Підвищена витрата електроенергії, зумовлена збільшеною витратою повітря.

2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗПИЛЮВАЛЬНОЇ СУШАРКИ

2.1 Робочі параметри розпилювальної сушарки

- температура холодного повітря $t_{хп}$
- температура теплоносія на вході $t_{п1}$
- температура теплоносія на виході $t_{п2}$
- температура сировини на вході $t_{м1}$
- температура сировини на виході $t_{м2}$
- вологість холодного повітря φ_0
- вологість вхідного теплоносія φ_1
- вологість вихідного теплоносія φ_2
- видатність по сировині G_m
- видатність по готовій продукції $G_{п}=258\text{кг/год}$;
- початкова вологість сировини ω_1
- кінцева вологість сировини ω_2
- діаметр вихрової камери D
- діаметр отвору D_0
- сумарна висота тангенціальних каналів $\sum h$
- кількістю підводів n .
- товщина стінки корпусу δ
- товщина азбестової ізоляції $\delta_{із}$
- температура зовнішньої стінки труби $t_{зн}$
- температуру в приміщенні $t_{пр} = t_{хп}$
- коефіцієнт місцевих втрат ξ_m
- втрати напору в циклоні $\Delta P_{ц}$
- втрати напору у мультициклоні $\Delta P_{мц}$
- втрати напору фільтрі $\Delta P_{ф}$.

2.2 Розрахункові формули

Температура відпрацьованого в сушарці повітря, °С

$$t_r = t_m + 20. \quad (2.1)$$

Кількість випаруваної вологи кг/с

$$W = G_m \cdot (\omega_1 - \omega_2). \quad (2.2)$$

Питомі втрати теплоти, кДж/кг:

– на нагрівання матеріалу

$$q_m = \frac{G_m \cdot (C_m + C_b \omega_2)(t_{m2} - t_{m1})}{W}, \quad (2.3)$$

де C_m – теплоємність сухого матеріалу, кДж/(кг·К);

C_b – теплоємність води, кДж/(кг·К);

– на видалення зв'язаної вологи

$$q_{zv} = \frac{a_3 (\omega_{kr} - \omega_2)}{2(\omega_1 - \omega_2)}, \quad (2.4)$$

де a_3 – коефіцієнт функції $q_{zv} = f(w)$, його приймають рівним 4187 кДж/кг [4];

ω_{kr} – вологість матеріалу в критичній точці.

Відхилення процесу сушіння від теоретичного, кДж/кг

$$\Delta = c_B \cdot t_{M1} - (q_M + q_{3B} + q_5), \quad (2.5)$$

де q_5 – теплові втрати в навколишнє середовище.

Питома витрата теплоти в сушарці, кДж/кг

$$q = \frac{(h_1 - h_0)}{d_2 - d_0}. \quad (2.6)$$

Загальна витрата теплоти, кВт

$$Q = q \cdot W. \quad (2.7)$$

Питома витрата повітря, кг/кг

$$\ell = \frac{1}{d_2 - d_0}. \quad (2.8)$$

Загальна витрата вологою повітря, кг/с

$$L_{CM} = \ell \cdot W. \quad (2.9)$$

Середня температура матеріалу, °C

$$t_M = \frac{t_{M1} + t_{M2}}{2}. \quad (2.10)$$

Середній вологовміст теплоносія, кг/кг

$$d_{cp} = \frac{d_0 + d_2}{2}. \quad (2.11)$$

Густина суміші повітря і води, кг/м³

$$\rho_{\text{см}} = \frac{273}{T \cdot \rho_{\text{сг}} \cdot (1 + d)(1 + d \cdot M_{\text{г}} / M_{\text{п}})}, \quad (2.12)$$

де $\rho_{\text{сг}}$ – густина сухого теплоносія при нормальній температурі, кг/м³;

d – вологовміст суміші, кг/кг;

$M_{\text{г}}$ і $M_{\text{п}}$ – молярні маси сухого повітря і водяної пари, кг/кмоль.

Коефіцієнт динамічної в'язкості

$$2.956 \mu_{\text{см}} = \frac{1}{\frac{x}{\mu_{\text{п}}} + \frac{1-x}{\mu_{\text{сг}}}}, \quad (2.13)$$

$$\text{де } x = \frac{d}{1+d};$$

$\mu_{\text{п}}, \mu_{\text{сг}}$ – відповідно динамічна в'язкість водяної пари і сухого повітря, Па·с.

$$\begin{aligned} &\text{Теплоємність суміші} \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right) \\ &C_{\text{см}} = C_{\text{п}} \cdot x + C_{\text{сг}} \cdot (1-x), \end{aligned} \quad (2.14)$$

де $C_{\text{п}}, C_{\text{сг}}$ – теплоємність водяної пари і сухого повітря.

$$\text{Теплопровідність суміші,} \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \right)$$

$$\lambda_{\text{см}} = \frac{a \cdot C_{\text{см}} \cdot \mu_{\text{см}} \cdot 10^3}{k}, \quad (2.15)$$

де a – коефіцієнт, залежний від атомності газів (для одноатомних $a = 2,5$, для двохатомних $a = 1,9$, для триатомних газів $a = 1,72$);

k – показник адіабати;

Коефіцієнт температуропровідності суміші, м²/с

$$a_{\text{cm}} = \frac{\lambda_{\text{cm}}}{\rho_{\text{cm}} \cdot C_{\text{cm}}}, \quad (2.16)$$

Критерій Прандтля для суміші

$$Pr_{\text{cm}} = \frac{v_{\text{cm}}}{a_{\text{cm}}} = \frac{\mu_{\text{cm}}}{\rho_{\text{cm}} \cdot a_{\text{cm}}}. \quad (2.17)$$

Об'ємна густина матеріалу, кг/м³

$$\rho_v = \rho_m \cdot (1 + \omega_2). \quad (2.18)$$

Густина матеріалу на вході в сушарку

$$\rho_{m1} = \rho_v \cdot (1 + \omega_1), \quad (2.19)$$

Значення критерію Архімеда

$$Ar = \frac{\rho^* \cdot g \cdot d_e^3}{v_{\text{cm}}^2}, \quad (2.20)$$

$$\text{де } \rho^* = \frac{\rho_m - \rho_{\text{cm}}}{\rho_{\text{cm}}}.$$

Критичний критерій Рейнольдса

$$Re_{\text{кр}} = 0,29 \cdot \left(\frac{\sum h}{D} \right)^{0,64} \cdot \left(\frac{D}{d_e} \right)^{1,3} \cdot Ar^{0,6}. \quad (2.21)$$

Критична швидкість витікання газу, (м/с)

$$v_{\text{кр}} = \frac{Re_{\text{кр}} \cdot v_{\text{cm}}}{H}. \quad (2.22)$$

Приймаємо швидкість газу на вході, м/с [3]

$$V_1 = 1,9 \cdot v_{кр}. \quad (2.23)$$

Ширина камери, м [3]

$$b = \frac{G_{см} \cdot (1 + d_0)}{\rho_{см} \cdot V_1 \cdot \sum h}. \quad (2.24)$$

Відношення b/D для оптимальних значень береться в межах $(0,3 \dots 0,4)$ [3].

Визначимо масову концентрацію дисперсної фази, кг/кг

$$\theta = \frac{G_1 + G_2}{2 \cdot L_{см}}, \quad (2.25)$$

де $G_1 = G_{см} \cdot (1 + \omega_1)$;

$G_2 = G_{см} \cdot (1 + \omega_2)$.

Внутрішній діаметр сушарки, м

$$D_1 = D_2 - 2 \cdot \delta_{ст}. \quad (2.26)$$

Критерій Рейнольдса в сушарці

$$Re_1 = \frac{V_1 \cdot D_1}{v_{см}}. \quad (2.27)$$

Критерій Нуссельта залежить від режиму руху середовища в корпусі:

– для ламінарного режиму

$$Nu_1 = 0,037 Re^{0,33} \cdot Pr^{0,33} Ra^{0,1} \cdot \varepsilon_\ell, \quad (2.28)$$

де ε_ℓ – поправка на ділянку гідродинамічної стабілізації потоку

$$\varepsilon_\ell = 0,6 \frac{1 + 2,5 \cdot \ell \cdot (Re \cdot D_1)^{-1}}{\left(\frac{\ell}{Re \cdot D_1} \right)^{0,14}}; \quad (2.29)$$

– для перехідного режиму

$$Nu_1 = 0,008 Re^{0,9} \cdot Pr^{0,43}; \quad (2.30)$$

– для турбулентного режиму

$$Nu_1 = 0,021 Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \varepsilon_\ell. \quad (2.31)$$

Множником Міхеєва нехтуємо, оскільки критерій Прандтля для газових середовищ практично є константою.

Коефіцієнт тепловіддачі до внутрішньої стінки корпусу

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_{cm}}{D_1}, \frac{Вт}{м^2 \cdot К}. \quad (2.32)$$

Зовнішній діаметр корпусу сушарки, з врахуванням теплової ізоляції, м

$$D_{zn} = D_2 + 2\delta_{iz}. \quad (2.33)$$

Критерій Релея

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot \ell^{*3}}{\nu_\pi^2} \cdot Pr_\pi, \quad (2.34)$$

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

$\beta = 1/T_\pi$ – коефіцієнт термічного розширення навколишнього повітря, $1/К$;

ν_π – кінематична в'язкість навколишнього повітря, $м^2/с$;

t_π – температура повітря навколишнього середовища, $°С$;

ℓ^* – визначальний розмір, м. Для корпусу розпилювальної сушарки $\ell^* = \Sigma h$;

$\Delta t = t_{zn} - t_\pi$,

Pr_π – критерій Прандтля для повітря навколишнього середовища.

Критерій Нуссельта

$$Nu_2 = 0,15 Ra^{0,333}. \quad (2.35)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від зовнішнього боку корпусу, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$

$$\alpha_2 = \frac{\text{Nu}_2 \cdot \lambda_{\text{п}}}{D_{\text{зн}}}, \quad (2.36)$$

де $\lambda_{\text{п}}$ – теплопровідність повітря, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

Коефіцієнт теплопередачі, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{с}}}{\lambda_{\text{с}}} + \frac{\delta_{\text{із}}}{\lambda_{\text{із}}} + \frac{1}{\alpha_2}}. \quad (2.37)$$

Поверхня теплообміну

$$F = \pi \cdot d \left(b + \frac{D}{2} \right), \quad (2.38)$$

Розрахункові втрати теплоти в навколишнє середовище, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$

$$q_5^{\text{р}} = \frac{k \cdot F \cdot 10^{-3} [0,5(t_1 + t_2) - t_{\text{нр}}]}{W}, \quad (2.39)$$

Розрахунки можна не уточнювати, якщо $q_5^{\text{р}} < q_5$, а різниця між ними не перевищує 3%.

Кінетична енергія газів за критичної швидкості їх витікання, Вт

$$E_{\text{кр}} = \frac{G_{\text{см}} (1 + d_0) v_{\text{кр}}^2}{2}, \quad (2.40)$$

Утримуюча здатність камери за критичної швидкості витікання газів, кг

$$G_{\text{кр}} = A \cdot 10^{-3} E_{\text{кр}} \cdot D^{-0,55} n^{0,15}, \quad (2.41)$$

де $A = 2,65$ [3]

Утримуюча здатність камери за робочої швидкості

$$G_p = G_{kp} \cdot \left[1 + 0,9 \left(v_{kp} / W_1 \right)^{2,5} \cdot m_{\text{ч}}^{0,55(v_{kp}/W_1)} \right], \quad (2.41)$$

де $m_{\text{ч}}$ – маса висушуваної часточки, для молока $m_{\text{ч}} = 0,113 \cdot 10^{-3}$ кг.

Тривалість перебування матеріалу в сушарці

$$\tau = \frac{2G_p}{G_1 + G_2}, \quad (2.42)$$

Критерій Рейнольдса в тангенціальному каналі розпилювача

$$Re_{\text{кр}}^k = 0,29 \left(\frac{D_1}{\sum h} \right)^{0,36} \cdot \left(\frac{D}{d_e} \right)^{0,33} \cdot Ar^{0,6}, \quad (2.43)$$

Критерій Рейнольдса за швидкістю в сушарці

$$Re_c = \frac{V_1 \cdot d_e}{v_{\text{см}}}. \quad (2.44)$$

Якщо $Re_c > Re_{\text{кр}}^k$, то критерій Нуссельта у випадку міжфазного теплообміну визначається так

$$Nu = 0,047 Re \cdot Ar^{-0,1} \left(\frac{d_e}{D_1} \right)^{0,33} \cdot \left(\frac{\sum h}{D_1} \right)^{0,15} \cdot \left(\frac{G_p}{G_{\text{кр}}} \right)^{-0,6}, \quad (2.45)$$

Звідки коефіцієнт міжфазного теплообміну, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_{\text{см}}}{d_e}, \quad (2.46)$$

Питома поверхня дисперсної фази, 1/м

$$S = \frac{6f}{d_e}, \quad (2.47)$$

Питома витрата повітря, кг/кг

$$g_{\text{см}} = \frac{G_{\text{см}} \cdot 3600}{G_{\text{м}}}, \quad (2.48)$$

Тривалість сушіння матеріалу, с

$$\tau_{\text{с}} = \frac{g_{\text{см}} \cdot C_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot 10^3 (t_1 - t_2)}{\alpha \cdot S (t_2 - t_{\text{м2}})}, \quad (2.49)$$

Якщо тривалість сушіння є меншою за тривалість перебування матеріалу в сушарці ($\tau_{\text{с}} < \tau$), то вважаємо, що задана кінцева вологість матеріалу забезпечується і розрахунки можна не продовжувати [4].

Коефіцієнт аеродинамічного опору у вихровій камері

$$\xi_{\text{с}} = (1 + 0,6m_{\text{ч}}) \left(\frac{b}{D_1} \right)^{0,35} \left(\frac{D_0}{D} \right)^{-0,2} \left[90 \left(\frac{\sum h}{D_1} \right) + 4,4e^{-4,6 \cdot D} \right], \quad (2.50)$$

Гідравлічний опір вихрової камери, Па

$$\Delta P_{\text{к}} = \frac{(\xi_{\text{с}} + \xi_{\text{м}}) \cdot \rho_{\text{см}} \cdot w_1^2}{2}, \quad (2.51)$$

Загальні втрати напору в сушильній установці, Па

$$\Delta P_{\text{у}} = \Delta P_{\text{ц}} + \Delta P_{\text{мц}} + \Delta P_{\text{ф}}. \quad (2.52)$$

Розрахунковий напір вентилятора

$$H_{\text{в}} = 1,1 \Delta P_{\text{у}}, \quad (2.53)$$

Необхідна потужність привода вентилятора, Вт

$$N_{\text{в}} = \frac{G_{\text{см}} H_{\text{в}}}{3600 \cdot \rho_{\text{см}} \cdot \eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{пр}}}, \quad (2.54)$$

Питома витрата електроенергії, кВт/кг

$$q_e = \frac{N_b \cdot 10^{-3}}{W}, \quad (2.55)$$

Питомі витрати тепла на випаровування, кДж/(кг·К)

$$q = \ell \cdot (h_1 - h_0), \quad (2.56)$$

Загальна питома потужність

$$q_3 = \frac{q}{3600} + q_e, \quad (2.57)$$

Висновки до Розділу 2.

Складена математична модель містить 57 лінійних та нелінійних рівнянь. Модель динамічна, одновимірна, за характером області допустимих значень є дискретною.

Критерієм оптимізації є тривалість сушіння розпиленого молока, збурююча величина – швидкість суміші розпиленого молока і сушильного агента.

Дана матмодель дозволяє досліджувати роботу розпилювальної сушарки, варіюючи основні кінетичні параметри теплоносія і сировини.

3 ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЧИСЛОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Числові дослідження роботи розпилювальної сушарки для оптимізації її роботи

Математична модель реалізована в прикладному пакеті MathCad. Лістинг програми представлено в Додатку Б, тому тут ми подаємо тільки результати числових досліджень.

На Рис.3.1 представлено залежність швидкості сушильного агента на міжфазний коефіцієнт тепловіддачі.

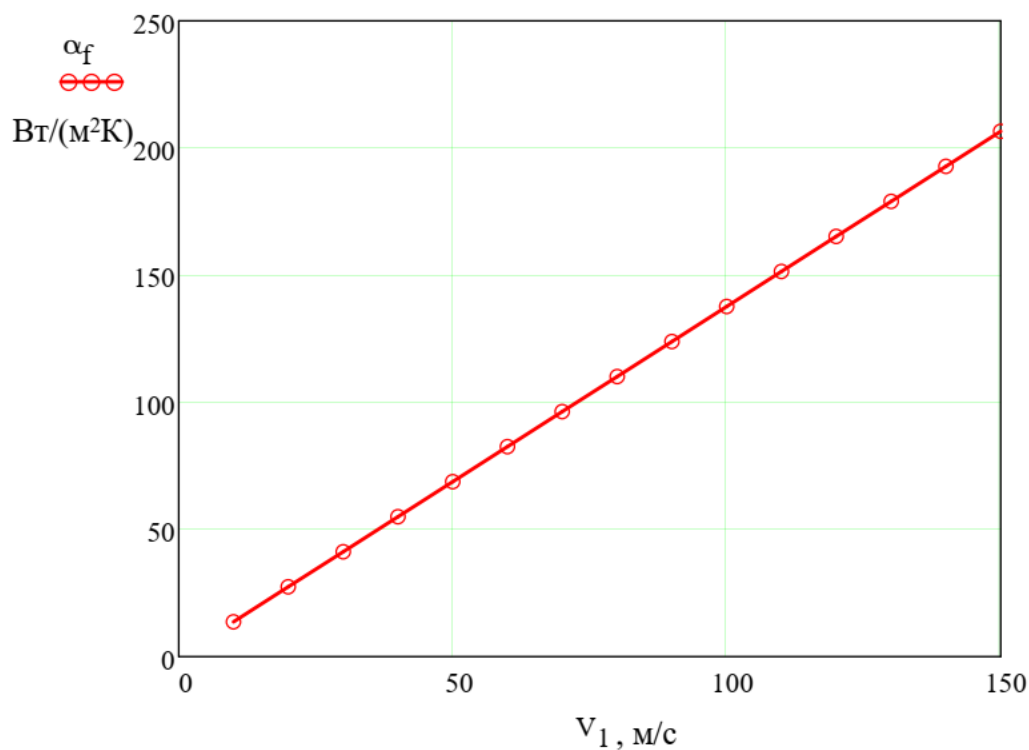


Рисунок 3.1 – Вплив швидкості сушильного агента на міжфазний коефіцієнт тепловіддачі

З графіка видно, що міжфазний коефіцієнт тепловіддачі, а отже і швидкість сушіння від швидкості суміші в камері залежать прямопропорційно. Графічну залежність легко апроксимувати аналітичним виразом

$$\alpha_f(V_1) = 4,347 + 1,378 \cdot V_1. \quad (3.1)$$

Рис.3.2 показує залежність коефіцієнта теплопередачі теплоти, а отже і теплових втрат через теплоізольовану стінку сушильної камери від швидкості сушильного агента. Коефіцієнт теплопередачі змінюється в невеликих межах, хоча розрахунки показують, що тепловіддача від сушильного агента до стінки робочої камери є досить інтенсивною і за високих швидкостей може сягати 200-220 $\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right)$.

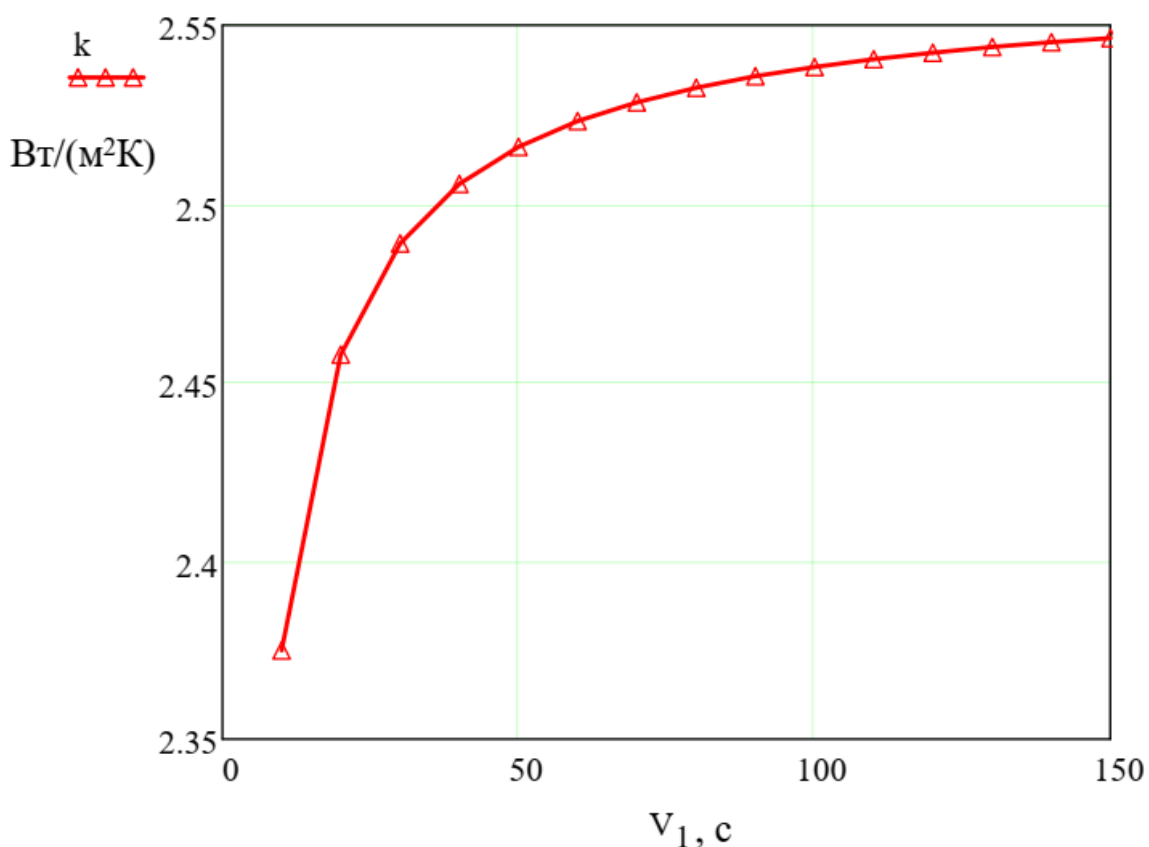


Рисунок 3.2 – Вплив швидкості теплоносія на коефіцієнт теплопередачі через теплову ізоляцію

Зрозуміло, що в цьому випадку теплопередача обмежується термічним опором теплової ізоляції і тепловіддачею за природної конвекції від стінок камери.

Визначено також зміну необхідної потужності привода нагнітальної машини для забезпечення відповідної швидкості сушильного агента. Вона показана на Рис.3.3.

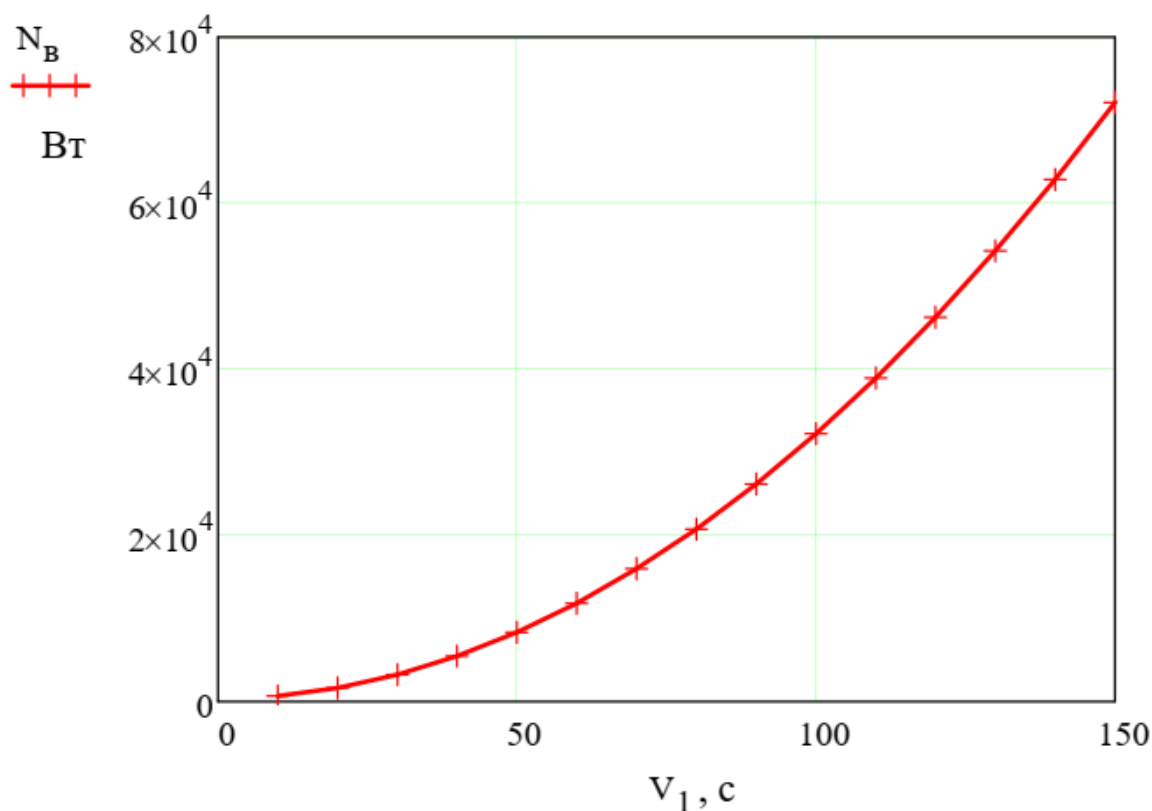


Рисунок 3.3 – Необхідна потужність привода нагнітальної машини для забезпечення заданих швидкостей сушильного агента.

Оптимізаційну залежність часу перебування крапель молока в сушильній камері представлено на Рис. 3.4.

З графіка видно, що зі зростанням швидкості сушильного агента тривалість сушіння зменшується.

Процес сушіння завершиться за один прохід, коли тривалість сушіння буде меншою тривалості перебування (27,6 с) краплі в камері. Оскільки за невеликих швидкостей крапля не встигає висохнути, нижньою межею швидкості сушіння є точка перетину всіх трьох ліній. Для швидкості сушильного агента це 57,94 м/с. Будь-яка швидкість, яка більша від критичної, гарантовано забезпечить висушування крапель молока до нормативної вологості (для сухого молока це 15%).

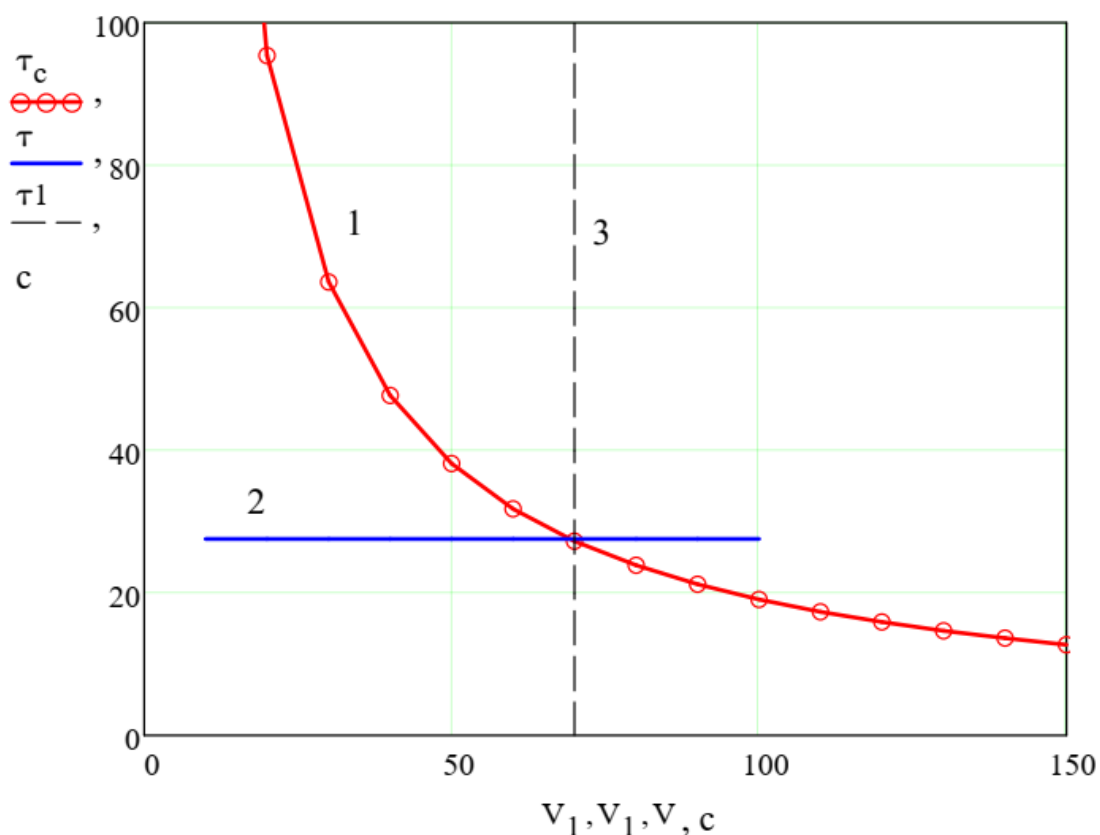


Рисунок 3.4 – Залежність часу перебування крапель молока в сушильній камері від швидкості сушильного агента

1 – тривалість сушіння, 2 – тривалість перебування часточок в камері,
3 – нижня межа критично-оптимальної швидкості

3.2 Числові дослідження використання альтернативних видів твердого палива в розпилювальних сушарках

Програма для числових досліджень використання альтернативних видів твердого палива в розпилювальних сушарках складена в розрахунковому пакеті MathCad 15 і представлена в Додатку Г. Тому тут ми представляємо тільки результати розрахунків.

Зміна коефіцієнта корисної дії для основних видів твердого альтернативного палива представлена на рис. 3.5.

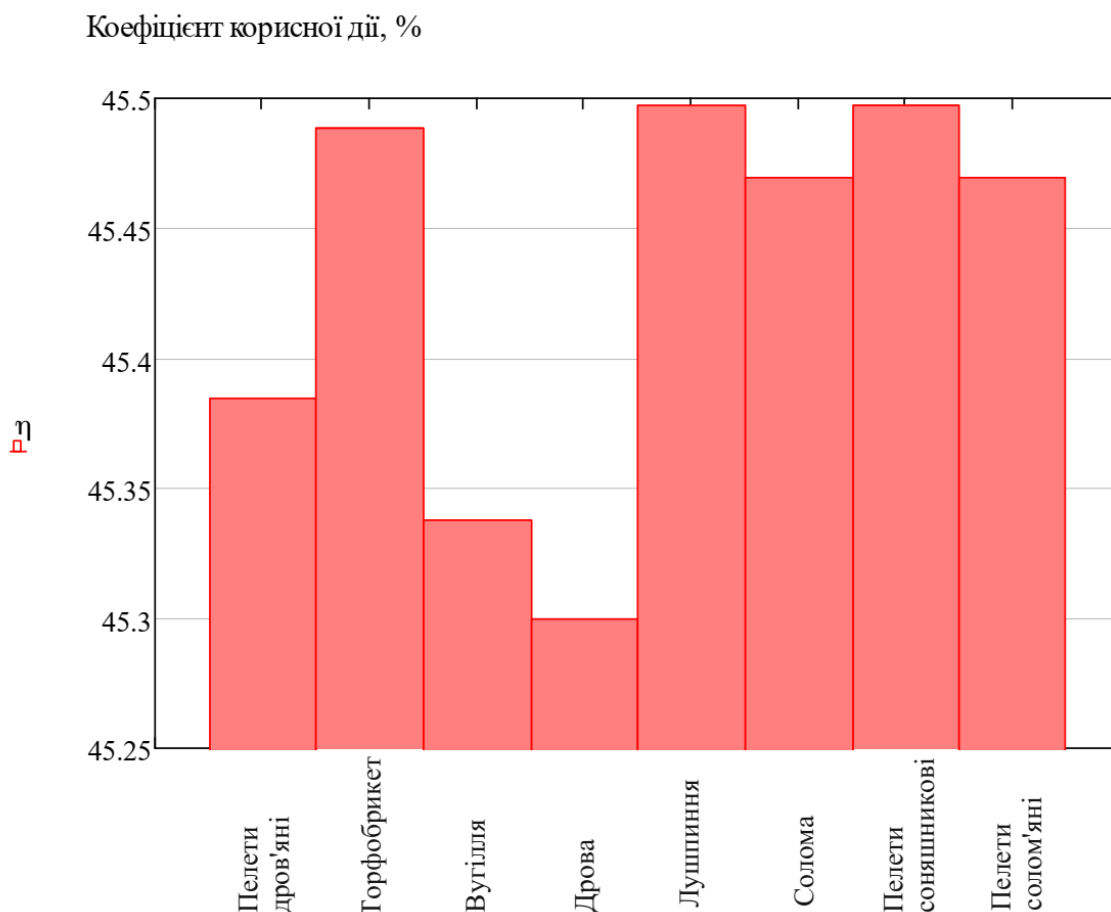


Рисунок 3.5 – Коефіцієнт корисної дії розпилювальної сушарки за різних видів твердого палива

Найбільший к.к.д. при спалюванні твердого палива спостерігається для соняшникового лущиння і пелет із лущиння соняшника. Це можна пояснити тим, що ці види альтернативного палива містять залишки олії, яка підвищує їх теплоту згорання.

Найменший к.к.д. мають дрова (дров'яні відходи).

Однак, необхідно врахувати, що коефіцієнт корисної дії для всіх вибраних нами видів альтернативного палива змінюється всього на 0,2%, тобто його зміна знаходиться в межах розрахункової похибки, тому рекомендації, який з видів палива буде кращий для спалювання в топці сушарки на підставі тільки коефіцієнта корисної дії буде некоректним.

Для аналізу придатності того чи іншого виду палива краще користуватися значеннями сумарних затрат. Сумарні годинні затрати на паливо представлені на рис. 3.6

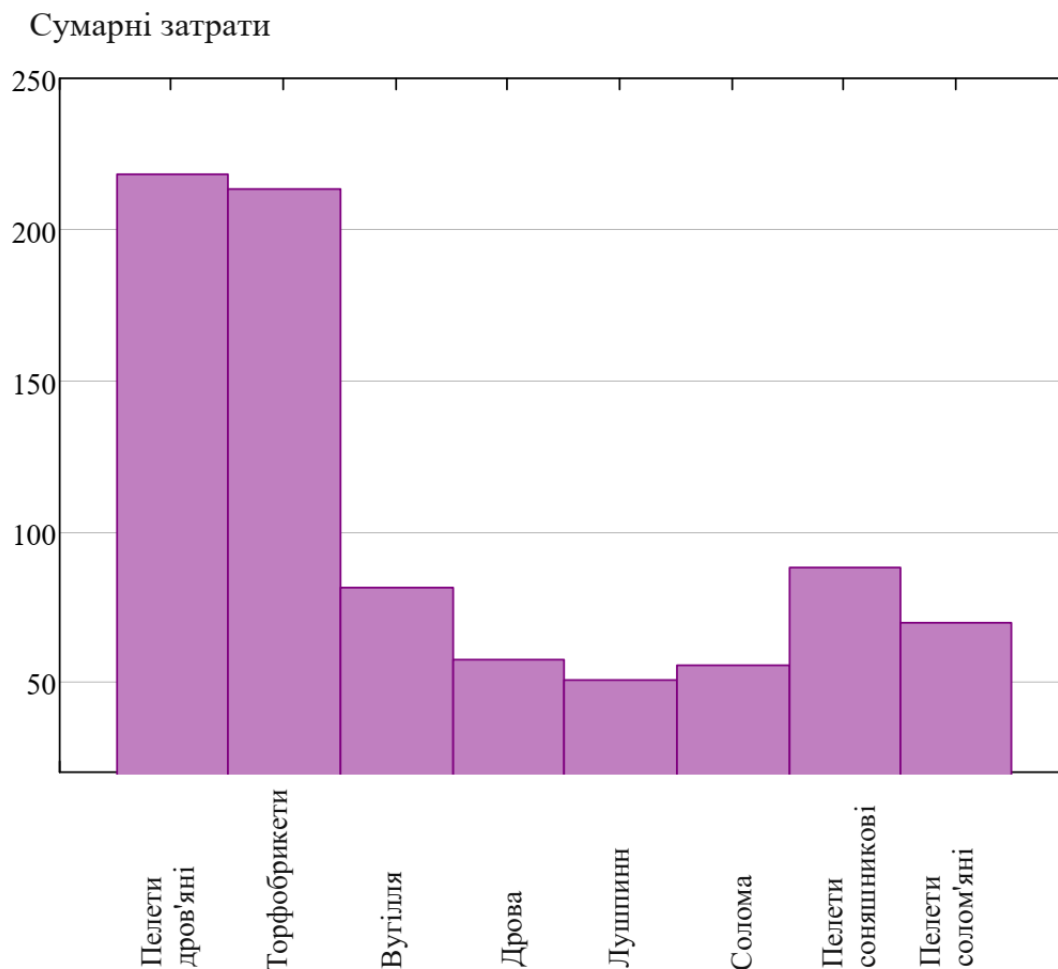


Рисунок 3.6 – Сумарні годинні затрати на паливо для його різних видів

З рисунка 3.6 видно, що за характеристиками доступність – технологічність – сумарні затрати найкраще підходять такі види, як дрова, солома і солом'яні пелети. Хоча спалювання соняшникового лушпиння дає найбільший к.к.д. і вони мають найменші сумарні затрати, використовувати їх має сенс тільки тоді, коли недалеко знаходиться велике олійно-жирове підприємство, для забезпечення безперебійного постачання такого палива. В усіх інших випадках перевагу бажано надати дровам, соломі, або найкраще – солом'яним пелетам. Вони технологічні, відносно дешеві, їх завантаження можна автоматизувати, дають стабільне полум'я і підходять для більшості видів топкових пристроїв.

Висновки до Розділу 3.

В розділі складено математичну модель для сушіння молока в розпилювальній сушарці видатністю 500 кг/год від вологості 50 до вологості 15%.

Розрахована необхідна потужність калорифера, $Q = 787,5$ кВт, необхідна витрата повітря $L = 4167$ кг/год, кількість випаруваної води складає 175 кг/год.

Визначені складові теплового балансу процесу сушіння.

Числовий експеримент дозволив визначити залежності впливу швидкості сушильного агента на коефіцієнт міжфазної тепловіддачі на границі «крапля – оточуюче середовище», на теплові втрати через теплову ізоляцію сушарки, на потужність приводу нагнітальної машини.

Визначено необхідний час перебування краплі в сушарці при сушінні за паспортним режимом і тривалість сушіння, яка є функцією швидкості сушильного агента. Критична оптимальна швидкість сушильного агента складає 57,94 м/с. Підвищення швидкості вище критичної гарантовано дозволяє краплі молока повністю висохнути до нормативної вологості.

Разом з тим, розрахунки показують, що оптимальним альтернативним паливом для роботи розпилювальної сушарки є солом'яні пелети.

4 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Технологія монтажу ТА в теплову схему розпилювальної сушарки

4.1.1 Аналіз об'єкту, який підлягає монтажу

В даному підрозділі розробляється технологія монтажу теплообмінного та газоочисного обладнання в повітряний тракт розпилювальної сушарки, а саме: спірального теплообмінника потужністю 250 кВт і загальною масою в зборі 3378 кг і додаткового циклона тонкого очищення ЦСН-40-650 з додатковим фільтром тонкого очищення, масою 85 кг, 2 вентилятори ВЦ 4-76 № 12,5, маса з двигуном 1020 кг.

Спіральні теплообмінники знайшли своє застосування в нафтопереробній, хімічній, харчовій промисловості – там, де важливо не допустити змішування потоків, і повна герметизація теплоносіїв від навколишнього середовища. Одним з явних переваг таких апаратів є можливість пропускати носій без ризику гідравлічного замикання апарату. Застосувати такий пристрій – грамотне рішення, якщо стоїть завдання теплообміну між середовищами з включеннями твердих і волокнистих часток. Як правило, їх часто використовують в сфері виробництва нафтовмісних продуктів, так як вони дуже в'язкі. Спіральний теплообмінник має унікальну внутрішню будову, розглянемо його докладніше.

Конструктивні особливості.

Пристрій (ТА) є апаратом з двома спіральними каналами, кожен з яких розташований в окремій камері. Дані камери утворені двома листами металу, які згорнуті по колу. Є кілька варіантів кріплення теплопередаючих поверхонь:

- листи кріпляться до задньої кришки за допомогою зварювання. Зазвичай такий варіант застосовується, якщо це спіральні теплообмінники для опалення.
- основою кріплення служить круглий корпус апарату.

В обох випадках листи між собою поєднуються між собою завдяки штифтів. Таким чином, між каналами по всьому контуру дотримується фіксована

відстань, зазвичай не менше 10 мм.

Теплообмінник спіральний дозволяє нагріти або охолодити сильно забруднені середовища, такі як стічні води, рідини з шламом, густі речовини, сильно-запилені гази тощо. Теплоносії рухаються за протитоковою схемою, оскільки вона є найбільш ефективною, і дозволяє досягати мінімальної різниці температур. Також, є можливість виготовити пристрій з нестандартним рельєфом спіральної поверхні, для підвищення тепловіддачі, що особливо актуально для газових середовищ.

Завдяки герметичності камер, існує можливість в одному контурі влаштувати природну циркуляцію, а в іншому – примусову. У той же час, апарат можна використовувати як конденсатор або випарник. Робота в цьому режимі можлива завдяки повної герметичності і розвиненою поверхні теплообміну, яка може становити від 1 до 400 м² і більше. Важливим аспектом є також те, що спіральний теплообмінник має низький, в порівнянні з іншими апаратами, гідравлічний опір. У той же час такі пристрої забезпечують високі показники коефіцієнтів теплопередачі, особливо при високих швидкостях середовищ.

За допомогою циклонів ЦСН 40-650 здійснюється якісне очищення повітря від різних забруднень (наприклад, пилу, сажі, цукрової пудри, будматеріалів та ін.). Пиловловлювальний пристрій у деяких випадках обладнується фільтрами для тонкого очищення [2].

Циклон для очищення повітря, виготовлений із вуглецевої сталі або металу завтовшки 3 мм, не має аналогів. Завдяки простій конструкції циклон серії ЦСН 40 характеризується спрощеним техобслуговуванням. Універсальний циклон ЦСН 40 з високим коефіцієнтом очищення (90-98%) можна застосовувати на будь-яких підприємствах.

Циклон ЦСН 40 універсального призначення, має принцип дії, описаний нижче.

Проникнення забруднених речовин (піска, пилу тощо) у циклон здійснюється через бічний отвір. Після цього газоповітряні суміші очищаються. Після

закручування твердих частинок і переміщення по агрегату вони досягають бункера, що потребує періодичного чищення.

4.1.2 Розрахунок та комплектування основних та допоміжних матеріалів для монтажу обладнання

Розрахунки та комплектація основних виробів та допоміжних матеріалів показані у таблиці 4.1.

Трубопроводи підібрано згідно ДБН Д. 2.4-15-2000.

Повітропроводи підібрано згідно ДБН Д.2.2-20-99.

Ізоляційні роботи згідно ДБН 2.4.19-2000.

Таблиця 4.1 – Відомість витрат матеріалів

№ п. п	Найменування матеріалу	Одиниці вимір.	Кіль- кість	Маса оди- ниці, кг	Маса, кг
1	2	3	4	5	6
Необхідність основних матеріалів					
1	Спиральний теплообмінник	шт	1	3368	3368
2	Вентилятор ВЦ 4-70 №12,5	шт	2	1020	2040
3	Вентилятор ВЦП №6	шт	1	317	317
4	Вентилятор ВЦП №3	шт	1	93	93
5	Циклон ЦСН-15-650	шт	1	85	85
6	Повітропроводи сталеві з шинорейками та зварними стиками на умовний тиск не більше 2,5 МПа, що монтуються з готових вузлів, діаметр 320×0,7 мм.	м ²	15,24	4,8	73,16
7	Повітропроводи сталеві з шинорейками та зварними стиками на умовний тиск не більше 2,5 МПа, що монтуються з готових вузлів, діаметр 400×0,7 мм.	м ²	12,18	4,8	58,48
8	Повітропроводи сталеві з шинорейками та зварними стиками на умовний тиск не більше 2,5 МПа, що монтуються з готових вузлів, діаметр 500×0,7 мм.	м ²	1,54	4,8	7,38

Продовження таблиці 4.1					
1	2	3	4	5	6
9	Відвід 90° 320×1 прямокутний вентиляційний ДСТУ EN 12599:2006	шт	7	3,86	27,02
10	Відвід 90° 400×1 прямокутний вентиляційний ДСТУ EN 12599:2006	шт	2	4,08	8,16
11	Трійник КР.d400/d400 мм, нерж AISI430 0,5	шт	2	3,52	4,04
12	Фільтр повітряний	1м ²	0,74	5,6	11,2
13	Перехід квадрат-круг 600×600*d320 нержавіючий	шт	2	12,3	24,6
14	Перехід квадрат-круг 360×360*d320 нержавіючий	шт	1	6,5	6,5
15	Перехід квадрат-круг 400×400*d320 нержавіючий	шт	1	7,5	7,5
16	Перехід круг-круг d420×d320	шт	1	6,8	6,8
17	Перехід круг-круг d265×d320	шт	1	5,3	5,3
18	Вставка гнучка ВЦП-122-43-3	шт	1	0,42	0,42
19	Вставка гнучка ВЦП-122-43-6	шт	1	0,78	0,78
20	Вставка гнучка ВГк-12,5	шт	2	5,8	11,6
21	Теплоізоляція із мінеральної вати	100м	46,13	45	251,32
22	Азбестовий шнур загального призначення [ШАОН-1], діаметр 8,0-10,0 мм	т	-	0,00017	0,00017
23	Вироби гумові технічні морозостійкі	кг	-	0,33	0,33
24	Мастика герметизуюча нетвердіюча "Гелан"	т	-	0,00269	0,00269
25	Електроди, діаметр 2 мм, марка Е42	т	-	0,00027	0,00027
26	Будівельні болти з шайбами та гайками	т	-	0,002	0,002
27	Сталева пакувальна стрічка, нормальної м'якості 0,7х (20-50) мм	т	-	0,00406	0,00406
28	Сталь листова оцинкована, товщина 0,8 мм	кг	-	2,6	2,6
29	Циліндри з мінеральної вати на синтетичному з'єднувачі	м ³	-	5,45	5,45

Продовження таблиці 2.1					
1	2	3	4	5	6
30	Ацетилен розчинений технічний, марка А	т	-	0,0117	0,0117
31	Кисень технічний газоподібний	м ³	-	8	8
32	Мило тверде господарське 72%	шт	1	0,5	0,5
33	Азбестовий картон загального призначення [КАОН-1], товщина 2 мм	т	-	0,004	0,004
34	Білила густотерті цинкові МА-011-1	т	-	0,00008	0,00008
35	Оліфа натуральна	кг	-	0,02	0,02
36	Прокладки гумові [пластина технічна пресована]	кг	-	0,36	0,36
ВСЬОГО, кг			6619,365 ≈ 6620		

4.1.3 Склад робіт

1. Доставка деталей до місць монтажу та їх складання по місцях.
2. Розмічання місць прокладання трубопроводу.
3. Монтаж спірального теплообмінника.
4. Монтаж вентилятора ВЦ 4-70 №12,5.
5. Монтаж вентилятора ВЦП №6.
6. Монтаж вентилятора ВЦП №3.
7. Монтаж циклона СЦН-40-650.
8. Монтаж фільтра повітряного.
9. Прокладання повітропроводів діаметром 320×0,7 мм.
10. Прокладання повітропроводів діаметром 400×0,7 мм.
11. Прокладання повітропроводів діаметром 500×0,7 мм.
12. Встановлення відводів 90° 320×1 прямокутних вентиляційних.
13. Встановлення відводів 90° 400×1 прямокутних вентиляційних.
14. Встановлення трійника кр.d400/d400 мм,.
15. Встановлення вставки гнучкої ВЦП-122-43-3.

16. Встановлення вставки гнучкої ВЦП-122-43-6.
17. Встановлення вставки гнучкої ВГк-12,5.
18. Гідравлічне випробування системи.
19. Ізоляція повітропроводів діаметром 320 мм товщиною 60мм.
20. Ізоляція повітропроводів діаметром 400 мм товщиною 60мм.
21. Ізоляція повітропроводів діаметром 500 мм товщиною 60мм.
22. Робоча перевірка системи в цілому і здача в експлуатацію.
23. Повернення допоміжного обладнання на склад.

4.1.4 Об'єми робіт

1. Доставляння необхідних матеріалів до місць монтажу та їх складування. Одиниці вимірювання в тонах. Загальна маса усіх деталей 6620 кг. Приймаємо об'єм $V=6,62$.
2. Розмічання місць для монтажу повітропроводів. Одиниці вимірювання 100 м. Довжина всієї мережі трубопроводів складає $L = 43$ м. Беремо $V=0,43$.
3. Установка спірального теплообмінника. Одиниці вимірювання в штуках. Приймаємо $V=1$.
4. Установка вентилятора ВЦ 4-70 №12,5. Одиниці вимірювання в штуках. Приймаємо $V=1$.
5. Установка вентилятора ВЦП №6. Одиниці вимірювання в штуках. Приймаємо $V=1$.
6. Установка вентилятора ВЦП №3. Одиниці вимірювання в штуках. Приймаємо $V=1$.
7. Установка циклона СЦН-40-650. Одиниці вимірювання 10 штук. Приймаємо $V=0,1$.
8. Монтаж фільтра повітряного. Одиниці вимірювання в м.кв. Приймаємо $V=0,74$.
9. Прокладання повітропроводів діаметром $320 \times 0,7$ мм. Одиниці вимірювання в

100 м². Довжина повітропроводів 320×0,7 мм є 26 м, площа 26,12 м², приймаємо V=0,26.

10. Прокладання повітропроводів діаметром 400×0,7 мм. Одиниці вимірювання в 100 м². Довжина повітропроводів 400×0,7 мм складає 16,2 м, площа 20,34 м², отже, приймаємо V=0,2.

11. Прокладання повітропроводів діаметром 500×0,7 мм. Одиниці вимірювання в 100 м. Довжина повітропроводів 500×0,7 мм складає 0,98 м, площа 1,54 м², приймаємо V=0,0154.

12. Встановлення відводів 90° 320×1 прямокутних вентиляційних. Одиниці вимірювання в 10 штуках. Приймаємо V=0,7.

13. Встановлення відводів 90° 400×1 прямокутних вентиляційних. Одиниці вимірювання в 10 штуках. Отже приймаємо V=0,2.

14. Встановлення трійника КР.d400/d400 мм. Одиниці вимірювання в 10 штуках. Отже приймаємо V=0,2.

15. Встановлення вставки гнучкої ВЦП-122-43-3. Одиниці вимірювання в 1 м². Приймаємо V=0,25.

16. Встановлення вставки гнучкої ВЦП-122-43-6. Одиниці вимірювання в 1 м². Приймаємо V=0,34.

17. Встановлення вставки гнучкої ВГк-12,5. Одиниці вимірювання в 1 м². Приймаємо V=0,77.

18. Гідравлічне випробування системи. Одиниці вимірювання в 100 метрах. Загальна довжина повітропроводів становить: 43 м. Отже, V= 0,43.

19. Ізоляція повітропроводів діаметром 320 мм товщиною 60мм. Одиниці вимірювання в 10 метрах. Загальна довжина трубопроводів становить 26 м. Отже, приймаємо V= 2,6.

20. Ізоляція повітропроводів діаметром 400 мм товщиною 60мм. Одиниці вимірювання в 10 метрах. Загальна довжина трубопроводів становить 16,2 м. Отже, приймаємо V= 1,62.

21. Ізоляція повітропроводів діаметром 500 мм товщиною 60мм. Одиниці вимірювання в 10 метрах. Загальна довжина трубопроводів становить 0,98 м. Отже, приймаємо $V = 0,098$.

22. Робоча перевірка системи в цілому і здача в експлуатацію. Одиниці вимірювання в 100 метрах. Загальна довжина трубопроводів становить: 43 м. Тому $V = 0,43$.

23. Повернення допоміжного обладнання на склад. Одиниці вимірювання в тонах. Загальна маса усього обладнання 20,15 кг. Приймаємо об'єм $V = 0,02$.

4.1.5 Вибір машин, механізмів, пристосувань для монтажних робіт

Апарати, деталі, матеріали та обладнання для встановлення системи завозяться централізовано автомашиною "MAN 19.314". Технічні характеристики автомашини наведені в таблиці 4.2 [3].

Для монтажу теплообмінника планується застосувати телескопічний навантажувач JCB 531-170 на колісній базі, характеристики якого наведено в таблиці 4.3 [4].

Для зварювання стиків повітропроводів використовується зварювальний апарат Tesla Weld TIG 302. Його характеристики вказані в таблиці 4.4 [5].

Ручний інструмент, необхідний для монтажу, вказаний в таблиці 4.5.

Таблиця 4.2 – Технічні характеристики "MAN 19.314"

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Вантажопідйомність	кг	до 9200
Потужність двигуна	лс	310
Вантажна висота	мм	2850
Максимальна довжина загрузки	мм	8000
Діаметр розвороту	м	12,3
Витрата палива	л/100 км	23
Маса	т	19000

Таблиця 4.3 – Технічні характеристики навантажувача JCB 531-170

Найменування	Одиниця виміру	Значення
1	2	3
Вантажопідйомність	т	3,100
Висота підйому стріли	м	7
Витрата палива для руху	літри	19
Витрата палива для роботи помпи	літри	22
Розміри в транспортному положенні довжина висота ширина	м	6,3 2,5 2,2
Маса	т	7,72

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики зварювального апарата Tesla Weld TIG 302

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

Таблиця 4.5 – Комплект монтажних інструментів та пристосувань [6]

Найменування	ДСТУ, марка	Кільк., шт.	Заг. маса, кг
Ніж монтажний	ДСТУ 691:2004	1	0,2
Набір ключів гайкових двосторонніх	ДСТУ ГОСТ 10112-2003	1	3,9
Плоскогубці комбіновані	ДСТУ ГОСТ 7236-93	1	1,6

Продовження таблиці 4.5

1	2	3	4
Викрутки	ДСТУ ISO 1173:2015	4	0,31
Молоток сталевий будівельний	ДСТУ Б В.2.8-23:2009	1	1,8
Зубило слюсарне довжиною 200 мм	ДСТУ EN 14450:2007	1	2,1
Молоток гумовий	ДСТУ ІЕС 60745-1:2010	1	1,9
Рулетка вимірювальна 20 м	ДСТУ 4179-2003	1	0,12
Рівень будівельний	ДСТУ Б В.2.8-19:2009	1	0,22
Ящик переносний для інструменту		1	3,2
Всього:			15,35

Загальна маса допоміжного обладнання складає 20,15 кг.

4.1.6 Розрахунок енергоресурсів на монтажні роботи

4.1.6.1 Витрата пального та електроенергії

а) для доставки матеріалів та виробів:

- відстань $\ell = 25$ км;
- загальна маса 6640,15 кг;
- кількість рейсів $n = 2$;
- витрата палива $Q = 16,2$ л/100 км.

Необхідна кількість палива для доставляння обладнання

$$Q_{\pi} = 2 \cdot Q \cdot n \cdot \ell, \quad (4.1)$$

$$Q_{\pi} = 2 \cdot 2 \cdot 25 \cdot 19,3/100 = 16,2 \text{ літрів.}$$

б) для доставки телескопічного навантажувача JCB 531 - 170

- відстань $\ell = 25$ км;
- кількість рейсів $n = 1$;
- витрата палива $Q = 19$ л/100 км.

Необхідна кількість палива для доставляння, за (4.1)

$$Q_{\text{пн}} = 2 \cdot 1 \cdot 25 \cdot 19 / 100 = 9,5 \text{ літрів.}$$

в) для роботи телескопічного навантажувача

- тривалість роботи 4 години;
- витрата пального $Q = 22$ л/1 год.

$$Q_{\text{пр}} = 4 \cdot 22 = 88 \text{ літрів.}$$

Загальна витрата дизпалива

$$Q = 16,2 + 9,5 + 88 = 113,7 \text{ літрів.}$$

Витрата електроенергії

$$E = P \cdot \tau \cdot k, \quad (4.2)$$

де P – потужність приладів чи механізмів, кВт;

τ – час роботи приладу, год;

k – коефіцієнт, враховуючий періодичність дії електрообладнання.

а) витрати електричної енергії на роботу зварювального напівавтомату інверторного типу JASIC TIG 180P (W211).

$$k = 0,1; \tau = 3 \text{ (год)}; P = 6,5 \text{ (кВт)}; E_{\text{за}} = 6,5 \cdot 3 \cdot 0,1 = 1,95 \text{ (кВт·год)}.$$

б) витрати електричної енергії на роботу нагнітальних вентиляторів ВЦ 4 - 75:

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

4.1.7 Визначення трудомісткості виконання монтажних робіт

Трудомісткість виконання монтажних робіт визначається у відповідності до ресурсних елементних кошторисних норм [7-10] і показана в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Трудомісткість виконання монтажних робіт

Найменування робіт	Од. виміру	Об'єм робіт	Норма часу, люд/год	Трудомісткість люд/дні
1	2	3	4	5
Доставка деталей до місць монтажу та їх складування	т	6,640	4,4	3,65
Розмітка місць прокладання трубопроводу	100м	0,43	1,64	0,09
Монтаж спірального теплообмінника	1 шт	1	32,75	4,09
Монтаж вентилятора ВЦ 4-70 №12,5	1 шт	1	42,5	5,3
Монтаж вентилятора ВЦП №6	1 шт	1	22,27	2,78
Монтаж вентилятора ВЦП №3	1 шт	1	18,19	2,27
Монтаж циклона СЦН-40-650	10 шт	0,1	59,84	0,75
Монтаж фільтра повітряного	1 м ²	0,75	7,04	0,66
Прокладання повітропроводів діаметром 320×0,7 мм	100м ²	0,261	265,2	8,62
Прокладання повітропроводів діаметром 400×0,7 мм	100м ²	0,2	231,2	5,78
Прокладання повітропроводів діаметром 500×0,7 мм	100м ²	0,015	231,2	0,43

Продовження таблиці 4.6				
1	2	3	4	5
Встановлення відводів 90° 320×1 прямокутних вентиляційних	10 шт	0,7	2,07	0,18
Встановлення відводів 90° 400×1 прямокутних вентиляційних	10 шт	0,2	2,07	0,05
Встановлення трійника кр.d400/d400 мм.	10 шт	0,2	2,07	0,05
Встановлення вставки гнучкої ВЦП-122-43-3	1 м ²	0,25	9,78	0,3
Встановлення вставки гнучкої ВЦП-122-43-6	1 м ²	0,34	9,78	0,42
Встановлення вставки гнучкої ВГк-12,5	1 м ²	0,78	9,78	0,95
Гідравлічне випробування системи	100 м	0,43	8,22	0,44
Ізоляція повітропроводів діаметром 320 мм товщиною 60мм	10 м	2,6	6,62	2,15
Ізоляція повітропроводів діаметром 400 мм товщиною 60мм	10 м	1,62	6,62	1,34
Ізоляція повітропроводів діаметром 500 мм товщиною 60мм	10 м	0,098	6,62	0,081
Робоча перевірка системи в цілому і здача в експлуатацію	100 м	0,43	8,22	0,44
Повернення допоміжного обладнання на склад	т	0,02	4,4	0,011

4.1.8 Визначення складу ланок

Середній розряд робітників та склад ланок при виконанні монтажних робіт визначається у відповідності з нормативними документами [7-10].

Склад ланок для виконання монтажних робіт представлений в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Склад ланок для виконання монтажних робіт

№ з/п	Найменування роботи	Тру-домісткість, люд/дні	Виконавці		Тривалість, дні
			кількість	склад ланки	
1	2	3	4	5	6
1	Доставляння деталей до місць монтажу та їх складування	3,65	3	водій і два робітники	1,22
2	Розмітка місць прокладання трубопроводу	0,09	1	монтажник, 6 розряду	0,09
3	Монтаж спірального теплообмінника	4,09	2	монтажники 4, 3 розряду	2,05
4	Монтаж вентилятора ВЦ 4-70 №12,5	5,3	3	монтажники 1/4 2/3 розряду	1,77
5	Монтаж вентилятора ВЦП №6	2,78	3	монтажники 1/4 2/3 розряду	0,93
6	Монтаж вентилятора ВЦП №3	2,27	3	монтажники 1/4 2/3 розряду	0,76
7	Монтаж циклона ЦСН-40-650	0,75	2	монтажники 3,4 розряду	0,38
8	Монтаж фільтра повітряного	0,66	2	слюсарі-монтажники 3,4 розряду	0,33
9	Прокладання повітропроводів діаметром 320×0,7 мм	8,62	4	слюсарі-монтажники 1/5, 1/4, 2/3 розряду	2,16
10	Прокладання повітропроводів діаметром 400×0,7 мм	5,78	4	слюсарі-монтажники 1/5, 1/4, 2/3 розряду	1,45
11	Прокладання повітропроводів діаметром 500×0,7 мм	0,43	4	слюсарі-монтажники 1/5, 1/4, 2/3 розряду	0,11
12	Встановлення відводів 90° 320×1 прямокутних вентиляційних	0,18	2	слюсарі-монтажники 1/4, 1/3 розряду	0,09
13	Встановлення відводів 90° 400×1 прямокутних вентиляційних	0,05	2	слюсарі-монтажники 1/4, 1/3 розряду	0,03
14	Встановлення трійника КР.d400/d400 мм.	0,05	2	слюсарі-монтажники 1/4, 1/3 розряду	0,03
15	Встановлення вставки гнучкої ВЦП-122-43-3	0,3	2	слюсарі-монтажники 1/4, 1/3 розряду	0,15
16	Встановлення вставки гнучкої ВЦП-122-43-6	0,42	2	слюсарі-монтажники 1/4, 1/3 розряду	0,21

Продовження таблиці 4.7

1	2	3	4	5	6
17	Встановлення вставки гнучкої ВГк-12,5	0,95	2	слюсарі-монтажники 1/4, 1/3 розряду	0,48
18	Гідравлічне випробування системи	0,44	1	монтажник, 6 розряду	0,44
19	Ізоляція повітропроводів діаметром 320 мм товщиною 60мм	2,15	2	теплоізоляційники 1/4, 1/3 розряду	1,08
20	Ізоляція повітропроводів діаметром 400 мм товщиною 60мм	1,34	2	теплоізоляційники 1/4, 1/3 розряду	0,67
21	Ізоляція повітропроводів діаметром 500 мм товщиною 60мм	0,081	2	теплоізоляційники 1/4, 1/3 розряду	0,04
22	Робоча перевірка системи в цілому і здача в експлуатацію	0,44	1	монтажник 6 розряду	0,44
23	Повернення допоміжного обладнання на склад	0,011	2	водій і робітник	0,06

4.1.9 Монтажне регулювання і здача системи в експлуатацію

Процес введення нового або модернізованого обладнання в експлуатацію включає такі етапи:

- монтажне регулювання;
- отримання повідомлення від підрядника про завершення робіт;
- здійснення технічної інвентаризації;
- складання акту виконаних робіт;
- виконання підсумкової перевірки;
- збирання всієї необхідної документації;
- подавання заяви про приймання в експлуатацію об'єкта до державної архітектурно-будівельної інспекції;
- отримання сертифіката. Дату видачі сертифіката вважають датою введення змонтованого об'єкта в експлуатацію.

4.1.10 Монтажне регулювання

Монтажне регулювання вентиляційних систем проводиться для порівняння та доведення їх параметрів до проектних значень.

Для прийняття в експлуатацію вентиляційного встановлення готується пакет необхідної документації:

- інструкція з експлуатації;
- журнал експлуатації та ремонту;
- технічний паспорт, який містить докладні відомості, що відбивають технічні дані вентиляційного встановлення, характеристику та параметри його роботи.
- технічний звіт, який містить: опис і характеристику приміщень, вентиляційного обладнання та пристроїв, результати аеродинамічних випробувань, а також висновки, висновки та рекомендації для ефективного використання припливно-втяжної вентиляції.

Виконують аеродинамічні випробування. Під час проведення аеродинамічних випробувань визначають:

- продуктивність і повний тиск вентилятора кожної вентиляційної установки, а також частоту обертання вентилятора й електродвигуна;
- швидкість руху та температуру повітря, його відносну вологість;
- витрати видаленого повітря, швидкості руху повітря в вентиляційних каналах, швидкості випуску повітря з приточних отворів і насадок, швидкості всмоктування в робочих перерізах витяжних отворів і місцевих відсмоктувань, а також розподіл витрати повітря за окремими ділянками вентиляційної мережі;
- теплопродуктивність теплообмінника, витрату нагрітого повітря, різницю температур повітря до та після теплообмінника, а також його аеродинамічний опір.
- пропускну здатність і опір циклона і фільтра, а також коефіцієнт корисної дії їх використання;
- наявність підсосів або витоків повітря за окремими елементами вентиляційної мережі (повітряні мережі, фланці, камери, фільтри, циклон та теплообмінник);

Під час випробування мережі повітроводів одночасно з динамічним тиском у досліджувальному перерізі вимірюється повний і статичний тиск. Визначається швидкість руху повітря, його напір і опір мережі.

Результати вимірювань, які були отримані під час аеродинамічних випробувань вентиляційних систем, вносять у паспорт вентиляційного встановлення. Також до паспорта додається аксонометрична схема вентиляційного встановлення з точками вимірів аеродинамічних випробувань відповідно до ДСТУ EN 12599 : 2005 [11].

4.1.11 Здача системи в експлуатацію

Перед першим запуском в експлуатацію потрібно виконати налагодження та випробування.

По закінченню налагодження проводять приймально-здавальні випробування за програмою, погодженою із замовником, оформляють протокол випробувань. Замовникові передається проєктна документація і підписується акт передавання установки в експлуатацію.

Якщо монтується об'єкт з виробничим призначенням (кількість робочих місць більша від 50, загальна вартість більше 5 мільйонів гривень) виникає необхідність пусконаладжувальних робіт і оформлення додаткових документів (дозволів Держгірнагляду, висновків СЕС, декларацій ДСНС) і необхідно організувати додаткове перевіряння.

Для проведення перевіряння потрібне збирання робочої комісії, в склад якої мають входити: проєктувальники, підрядники, субпідрядники, інспектори СЕС, ДАБІ, ДСНС, особи, що представляють промислову безпеку, охорону праці, енергетичний нагляд та енергозбереження.

У ході перевіряння підрядник має надати робочій комісії:

- проєктну документацію;
- повну інформацію про ті організації, що беруть участь у будівництві;
- документи на використані вироби, конструкції, матеріали, устаткування.

Комісія повинна перевірити:

- відповідність конструктивних рішень завершених монтажних робіт затвердженим проєктам і вимогам СЕС, охорони праці тощо;
- чи відповідають роботи вимогам нормативної документації;
- чи відповідає нормативним вимогам документація.

Результатом перевірки є акт про готовність об'єкта.

Висновки до підрозділу 4.1

В підрозділі розроблено технологію монтажу спірального теплообмінного апарату для рекуперації теплоти з топки в розпилювальній сушарці і технологію монтажу газоочисного обладнання.

Виконано підбір матеріалів для монтажу спірального теплообмінного апарата, циклона ЦСН-15-650, фільтра тонкого очищення і нагнітальних вентиляторів ВЦ 4-75 №12,5.

Визначено загальну масу обладнання для монтажу та інструментів, яка склала 6645 кг.

Визначено склад робіт та об'єми робіт.

Розрахована необхідна кількість енергоресурсів на монтажні роботи

Розрахована трудомісткість виконання монтажних робіт, яка рівна 40,83 люд/дні.

Тривалість монтажних робіт рівна 15 днів.

Виконані розрахунки дозволили скласти календарний план робіт, графіки руху машин і механізмів.

4.2 Автоматизація модернізованої системи

4.2.1 Технологічний процес

Для сушіння і переробки рідких матеріалів, які схильні до розпадань при нагріванні (термолабільних) розпилювальні сушарки є найбільш універсальними, вони підходять для висушування будь-яких рідких середовищ. Тут сушіння відбувається через диспергування рідкого матеріалу в краплі, яке забезпечують розбризкувальні пристрої: форсунки, відцентрові, дискові або акустичні пристрої. Краплі попадають в сушильну камеру, і в неї одночасно з краплями подають нагрітий теплоносій.

Щоб сировина висушувалась однорідно, умовою є забезпечення якісного перемішування газів і розпорошених крапель рідкої сировини, через це такі апарати працюють в режимі, що близький до режиму з ідеальним змішуванням. Для уникнення потрапляння розпиленої сировини на стінки сушильної камери, камери мають достатньо великі об'єми, що зумовлює досить низьку концентрацію часток сировини в зоні робочої камери. Тому досить актуальним в розпилювальних сушарках є підвищення ступеня диспергування, крім того, чим тонше і однорідніше розпорошення матеріал можна висушувати за істотно меншої кінцевої температури теплоносія, що підвищує енергетичний к. к. д. сушильного процесу або зниження витрати теплоносія

Зрозуміло, що чим тоншим є розпил матеріалу тим інтенсивнішим є його пилоутворення. При розпилювальному сушінні з пилоутворенням борються, застосуваннями агломерації висушеного продукту. Для цього в розпилювальний факел вдувають пилову фракцію висушеної сировини. Відбувається коалесценція сухих часток з краплями вологого матеріалу. Продукт укрупнюється і для його сепарації не потрібно застосовувати складну систему пиловловлення. Типова схема цього – розпилювальна сушарка що має рециркуляцію пилових фракцій продукту до факелу розпилювання.

4.2.2 Технологічне обладнання

Теплоносій для сушіння нагрівається калорифером і подається в робочу камеру нагнітальною машиною високого тиску. В розподілювачі потік теплоносія закручується протилежно до напрямку руху частинок розпиленої рідкої сировини. Сировина (наприклад, згущене молоко) нагнітається в робочу камеру сушарки по трубопроводом за допомогою насоса.

Транспортування висушеного молочного порошку виконують повітрям, яке забирають з цеху допоміжними вентиляторами. Перед пневмотранспортною лінією таке повітря очищується фільтрами, що мають змінний елемент з крепсильона.

Відпрацьований теплоносій з найбільш малими фракціями молочного порошку через спеціальні патрубки виводять з сушильної камери нагнітальною машиною для очищення в батарею циклонів. З батареї циклонів теплоносій поступає у два скрубери вологого очищення для остаточної очистки. Як змочувальна рідина в скруберах використовують знежирене молоко, воно насосом з бака через триходовий кран поступає до зрошувального пристрою скрубера. Потім вентилятором, очищене повітря виводиться до навколишнього середовища.

Сухий молочний порошок в кінці робочої камери зсипається до пневмотранспортної лінії нагнітального типу. До пневмотранспортної лінії потрапляє і з батареї циклонів дрібний молочний порошок. Висушена сировина поступає пневмотранспортною лінією до розвантажувального циклона, з якого потім подається до бункера-накопичувача. У зв'язку з недостатнім очищенням, повітря з розвантажувального циклона повертають до повітряпровода, яким подається в батарею циклонів відпрацьоване повітря з сушильної камери.

4.2.3 Теплоносії, які застосовують в процесі розпилювального сушіння

Вхідними продуктами є повітря та молоко. Робочим теплоносею системи сушіння є розігріте повітря. Готовим продуктом після сушіння є сухе молоко.

Для довгої і надійної роботи системи важливим етапом у підготовці системи сушіння є вибір теплоносія. Найбільш поширеним теплоносієм для розпилювальних сушарок є нагріте повітря. Однак, температура теплоносія для сушарок різних типів має відрізнятися, так, для сушіння молока вона не має перевищувати 55 °С. Оскільки молоко вважається термолабільним продуктом перевищення температури вхідного теплоносія може призвести до браку готової продукції.

Для того, щоб підтримувати температуру на рівні 55°C використовують різні повітрозмішувачі, які до теплоносія, що нагрітий в теплогенераторах, підмішують свіже очищене повітря з навколишнього середовища.

4.2.4 Обґрунтування вибору характеристик, які регулюються та каналів регулюючого впливання

4.2.4.1 Схеми автоматичної регуляції

Відомо, що температура теплоносія на вході до сушильної камери є основним параметром регулювання в розпилювальних сушарках. Для стабільної роботи сушарки для сушіння молока необхідну витрату повітря необхідно підтримувати із заданою температурою, і вона не має бути більшою, ніж температура закипання молока, це має безпосередній вплив на якість готового продукту. Повітря підігрівається теплогенератором, що живиться тюкованою соломою. Регулювання температури теплоносія можна виконувати методом змішування теплоносія в змішувачі з повітрям навколишнього середовища [2].

Димові гази з топки після рекуператора охолоджуються в теплообміннику, при цьому підігріваючи молоко, яке поступає для сушіння.

4.2.4.2 Автоматичне регулювання витрати теплоносія на вході

З датчиків температури повітря (поз. 1-1) і витрати (поз. 1-2), які встановлюються на виході зі змішувальника, отриманий сигнал поступає до контролера (поз. 1-3), що повинен порівняти текуче значення температури, із заданим, після

чого надсилаються сигнали до виконавчого механізму (поз. 1-4), приводячого в дію регулюючі органи (як правило у вигляді засувки) (поз. 1-5).

Змішувач середовищ запроєктовано так, щоб змішування відбувалося до заданого значення у будь-якому випадку. При виконанні умови, що температура теплоносія на виході із змішувача є нижчою або вищою від заданих значень, з температурного датчика (поз. 1-1) сигнал надходить до контролера (поз. 1-3), а він, в свою чергу, надсилатиме сигнали до регулюючого органа (поз. 1-4). Регулювальний орган приводить в дію нагнітальну машину, яка подає порцію свіжого повітря і охолоджує теплоносій до заданого значення температури, що складає 96 °C.

Температура сушильного агента і розпилювальній сушарці для молока має підтримуватись у межах заданого діапазону, оскільки це буде безпосередньо впливати на якісь сухого продукту. Через це витрата свіжого повітря для змішування має швидко регулюватись за необхідності. Технологічною особливістю виробництва сухого молока є те, що воно може зберігатися тривалий час, це головна відмінна риса сухого молока в порівнянні із традиційними молочними продуктами [3].

Схема автоматичного регулювання температури теплоносія на вході до робочої камери показана на рис. 4.1.

4.2.4.3 Автоматичне регулювання витрати повітря на вході до теплогенератора

З температурного датчика повітря (поз. 2-1) і витратного датчика (поз. 2-2) сигнали подаються до контролера (поз. 2-3), котрий опрацює сигнали, порівняє їх із заданими значеннями і згенерує вихідний сигнал, спрямований до виконавчого механізму (поз. 2-4). Виконавчий механізм згодом приведе в дію регулюючі органи (поз. 2-5). У разі подачі надмірно холодного повітря це зареєструє температурний датчик перед теплогенератором і подасть сигнал до контролера, який керує приводом заслонки яка регулює подачу повітря. В разі, якщо вхідне повітря потрапить в теплогенератор з температурою, яка нижчі від заданих значень, це

може призвести до конденсації водяної пари з димових газів на стінах труби по якій рухається повітря [4]. Схема для автоматичної регуляції витрати повітря на вході в теплогенератор показана на рис. 4.2

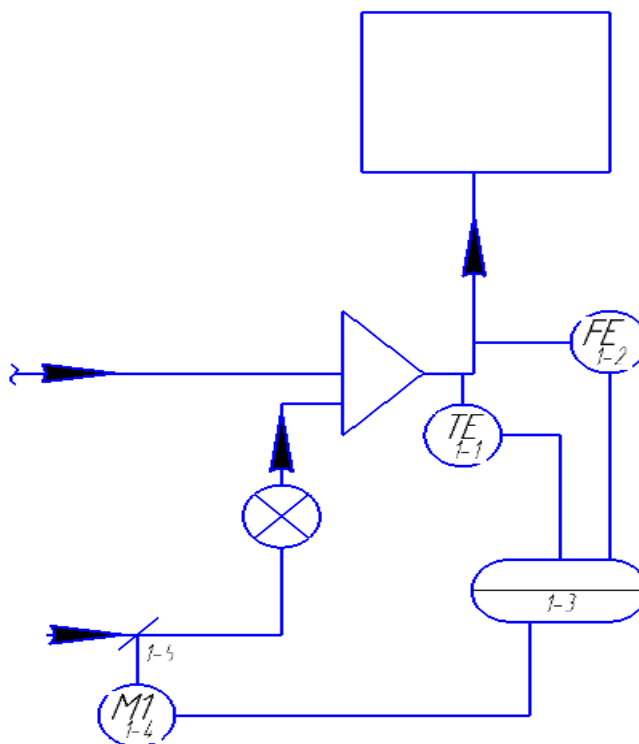


Рисунок 4.1 – Схема автоматичного регулювання температури теплоносія на вході до робочої камери

1-1 – температурний датчик MBT 3270 що має діапазон сприймання до 300 °C; 1-2 – витратний датчик Vortex VTX; 1-3 – контролер Modicon M171; 1-4 – механізм виконавчий; 1-5 – орган регулюючий.

4.2.4.4 Регулювання витрати сировини на вході в сушильну камеру

Регулювання і контроль витрат сировини необхідно виконувати для підтримання заданої температури на вході в сушильну камеру. Необхідність підтримання температури сировини в заданих межах вимагає дотримання технологічного режиму та дозволяє отримувати сухе молоко з меншою ціною, оскільки витрачається менше теплоти для сушіння. На вході в сушильну камеру вимірюють витрату (поз. 3-1) і температуру сировини температурним датчиком (поз.3-2), сигнал подається до контролера (поз. 3-3), він повинен порівняти значення текучої температури із заданим. За відхилення температури від заданих значень

контролер подасть сигнал до виконавчого механізму (поз. 3-4), який приведе в дію регулюючі органи (поз. 3-5), змінюючи при цьому подачу молока. Схема автоматичного регулювання подачі молока на вході до сушильної камери наведена на Рис. 4.3.

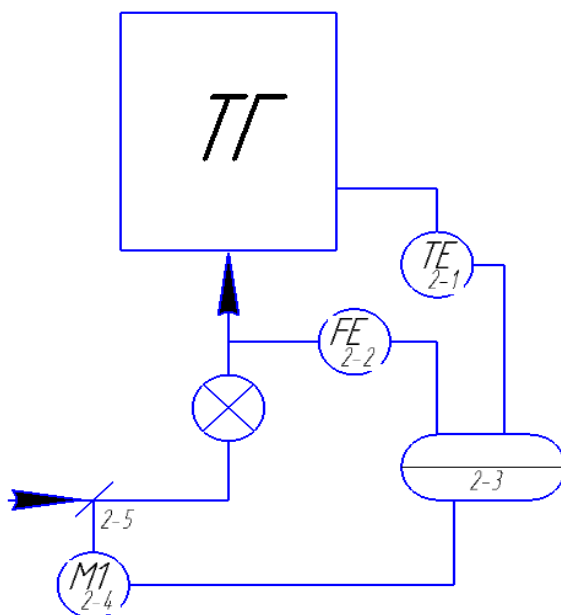


Рисунок 4.2 – Схема автоматичної регуляції витрати повітря на вході до теплогенератора

2-1 – температурний датчик MBT 5116 з робочим діапазоном $-50...+600^{\circ}\text{C}$;

2-2 – датчик витрат типу Vortex VTX; 2-3 – контролер Modicon M171;

2-4 – виконавчі механізми ; 2-5 – регулюючі органи

4.2.4.5 Регулювання подачі повітря на вході в циклони

Подача повітря регулюється залежно від його температури на виході з теплоутилізатора і від температури повітря на вході в циклони. Датчики подачі (поз. 4-1) та температурний датчик (поз. 4-2), який вимірює температуру повітря на виході з утилізатора і температуру повітря на вході в циклони, (поз. 4-3) подають сигнали до контролера (поз. 4-4), порівнюючого значення текучих температур із заданими [5]. За наявності відхилень температури контролер подасть сигнал до виконавчого механізму (поз. 4-5), який приведе в дію регулюючі органи (поз. 4-6) змінюючи подачу повітря.

Схема автоматичного регулювання подачі повітря на вході в циклони

подана на рис. 4.4.

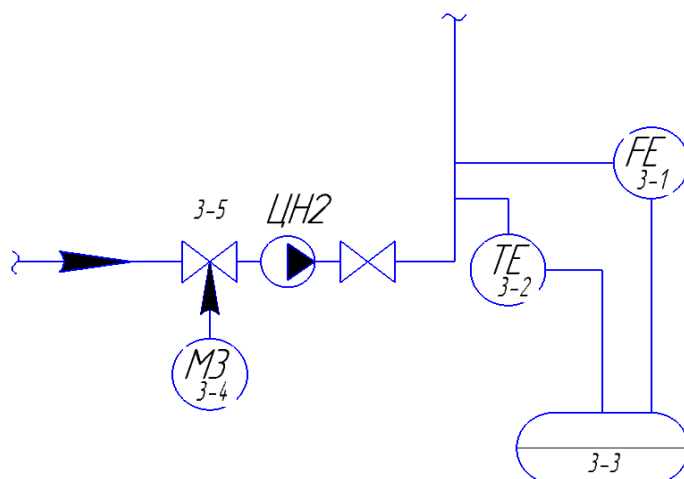


Рисунок 4.3 – Схема автоматичного регулювання подачі молока на вході в сушильну камеру

3-1 – датчик витрати Classic UST;

3-2 – температурний датчик MBT 3560 з робочим діапазоном $-40\dots+200^{\circ}\text{C}$;

3-3 – контролер Modicon M171; 3-4 – механізм виконавчий;

3-5 – орган регулюючий

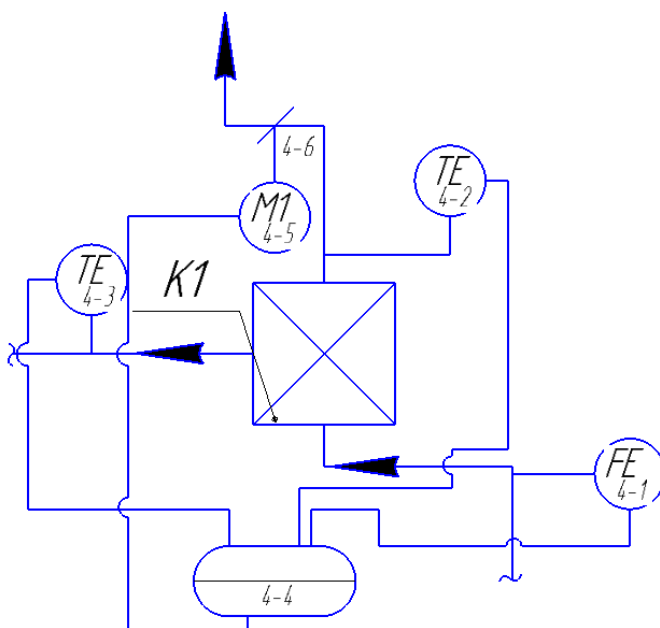


Рисунок 4.4 – Схема автоматичного регулювання подачі повітря на вході в циклони

4-1 – датчик подачі Vortex VTX;

4-2 – температурний датчик MBT 3560 з робочим діапазоном $-40\dots+200^{\circ}\text{C}$;

4-3 – температурний датчик; 4-4 – контролер Modicon M171;

4-5 – механізм виконавчий; 4-6 – орган регулюючий.

4.2.5 Контроль величин та засоби сигналізації

4.2.5.1 Технологічний захист

Запобіжними називають пристрої призначені для ліквідації небезпечних виробничих факторів в джерелах їх виникнення.

За характером дії запобіжні пристрої ділять на обмежувальні та блокувальні.

За принципом дії блокувальні пристрої ділять на:

- електронні;
- механічні;
- електричні;
- пневматичні;
- електромагнітні;
- оптичні;
- магнітні;
- гідравлічні,
- комбіновані [6].

Обмежувальні пристрої спрацьовують за порушення параметрів технологічних процесів чи режимів роботи виробничого устаткування.

За конструктивним виконанням обмежувальні пристрої ділять на:

- клапани;
- муфти;
- мембрани;
- штифти;
- шпонки;
- сильфони;
- пружини;
- шайби.

За умови зниження молока в живильному бункері нижче від допустимих рівнів або у випадку його зростання вище за допустимий, щоб запобігти аварії датчики рівня подають сигнал до контролера, що подає сигнал до виконавчого механізму. Виконавчий механізм вмикає або вимикає живильного насос.

Розпилювальна сушарка працює за певного тиску, який забезпечується постійною подачею сировини і теплоносія в розпилювальну камеру. Коли тиск в системі починає спадати це може означати що або сировина або теплоносії не поступають в робочу камеру. Датчики тиску подають сигнали до контролера, який подає сигнал виконавчому механізму на ввімкнення живильного насоса, або на ввімкнення компресора, який нагнітає теплоносії. Коли після цього тиск не повертається до заданого рівня, контролер подає сигнал виконавчому механізму для вимкнення насоса чи компресора і при цьому відповідний сигнал подається і людині-оператору. Коли проблема вирішується рембригадою, процес сушіння поновлюється.

В разі зникнення на виробництві електроживлення спрацьовує реле контролю напруги, яке резервне живлення (генератор) автоматично ввімкне. При поновленні мережного електроживлення генератор вимкнеться.

4.2.6 Контроль фізичних величин в техпроцесі

Невід'ємною операцією технологічних процесів є вимірювання необхідних фізичних величин, контроль та облік кількості готової продукції.

При розробленні модернізованої схеми автоматизації розпилювальної сушарки для контролю фізичних величин в техпроцесах встановленні датчики тиску, вологості, температури, витрати, які контролюють наступні величини:

- витрату сировини (молока);
- температуру молока в бункері;
- температуру та вологість молока в сушильній камері;
- витрату готової продукції;
- температуру повітря після теплообмінника;

- температуру повітря в теплогенераторі;
- температура повітря на вході в сушильну камеру;
- витрата повітря після засобів його очищення.

Датчиками температури контролюється температура молока в бункері, після ТА, в сушильній камері, це дасть можливість підтримувати задану температуру сировини на різних стадіях сушіння. Контролюється температура теплоносія в теплогенераторі, на вході в сушильну камеру та після теплообмінника.

Вологомірами контролюються процеси сушіння та запобігання браку готової продукції.

Датчики контролю витрати надають інформацію про кількість сировини, яка знаходиться в системі. З їх допомогою керують температурами теплоносія і сировини.

4.2.7 Використання технологічної сигналізації

Технологічну сигналізацію застосовують для попередження про можливі порушення нормального ходу технологічних процесів, або про виведення параметрів за межі допустимих значень.

При цьому в системах автоматизації мають спрацьовувати схеми технологічної сигналізації, які видають відповідні світлові і звукові сигнали про критичний стан конкретних параметрів.

Схеми запускають технологічні контакти, що повинні бути вмонтовані у вторинні прилади або в спеціальні сигналізатори.

Схеми технологічної сигналізації можуть запускати відповідні схеми автоматичного блокування (т.зв. технічне блокування). Схеми сигналізації повинні давати світлову інформацію у вигляді загоряння ламп червоного кольору і звукову у вигляді спрацювання дзвінка або бузера. В схему повинен бути передбачений пристрій відключення звукового чи світлового сигналу.

За умови зниження рівня сировини в живильному бункері нижче ніж допустимий рівень, повинен подаватися сигнал для ввімкнення живильного насоса 1,

після чого відбувається повторне перевіряння допустимих рівнів сировини в бункері з певною затримкою в часі. У випадку невідновлення рівнів контролер повинен подати сигнал виконавчому механізму для відключення насоса 2, і на включення резервного насоса 3, при цьому має ввімкнутись попереджувальна світлова сигналізація

У випадку зростання тиску в живильній лінії вище допустимих значень контролер подає сигнали для вимкнення насоса 2, у випадку подальшого зростання тиску контролер подасть сигнал до зривного клапана, і вмикається звукова сигналізація для сповіщення персоналу.

У випадку зниження температури в топці теплогенератора температурний датчик подасть сигнал до контролера, який подасть сигнал оператору на екрані. Коли температура продовжить падати, датчик подасть сигнал до контролера, який, в свою чергу блокує процес сушіння і ввімкне світлову сигналізацію, чим сповістить оператора.

У випадку зростання температури в топці теплогенератора вище допустимої подасться сигнал з датчика температури до контролер, який подасть сигнал до виконавчого механізму, щоб заблокувати подачу палива. Для сповіщення оператора контролер вмикає звукову і світлову сигналізацію.

4.2.8 Розрахунки регулюючого органа

З метою регулювання витрати сировини на вході до теплообмінника УГ підберемо триходові клапани М7 і М3 щоб розділити потоки між насосом ЦН1 і бункером БМ для зберігання молока [10].

Вхідні дані:

а) для розрахунку клапана М7:

- робоче середовище – молоко;
- втрати тиску в регульованій системі, $\Delta P_{\text{сист}}=50$ кПа;
- об'ємна витрата $V_m=0,473$ м³/год;
- робоча температура $t=34$ °С.

б) для розрахунку клапана МЗ:

- робоче середовище – молоко;
- втрати тиску в регульованій системі, $\Delta P_{\text{сист}} = 1,2$ кПа;
- об'ємна витрата $V_M = 0,473$ м³/год;
- робоча температура $t = 15$ °С.

Перепад тисків на клапанах вибирають так, щоб його авторитет по відношенню до сумарних втрат тиску в системі і на клапані склав не менше ніж 0,8, тобто

$$a = \frac{\Delta P_{\text{кл}}}{\Delta P_{\text{кл}} + \Delta P_{\text{сист}}} \geq 0,8, \quad (4.1)$$

тобто $\Delta P_{\text{кл}} \geq \Delta P_{\text{сист}}$.

4.2.8.1 Клапан М7. За авторитету $a = 0,5$ відповідно з вхідними даними беремо, що $\Delta P_{\text{кл}} = \Delta P_{\text{сист}} = 50$ кПа. На підставі заданих витрат і взятого перепаду тисків на клапані можна вибрати клапан з $K_{VS} = 1$ або 1,6 м³/годину.

По першому варіанті втрати тиску в клапані відкритому повністю складуть 64 кПа і тоді авторитет

$$a_1 = \frac{64}{64 + 50} = 0,55.$$

По другому варіанті втрати тиску в клапані відкритому повністю складуть 44 кПа і тоді авторитет

$$a_2 = \frac{44}{44 + 50} = 0,47.$$

Так як згідно до 2 варіанту авторитет клапана складе менше від 0,5 то для встановлення виберемо клапан за першим варіантом з $K_{VS} = 1 \text{ м}^3/\text{год}$ з авторитетом 0,55 типу CLAMP ДУ-32, який має призначення для роботи в неагресивних середовищах з температурою не вище $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.2.8.2 Клапан МЗ

За авторитету $a = 0,8$ у відповідності до вхідних даних береться, що $\Delta P_{\text{кл}} = \Delta P_{\text{сист}} = 1,2 \text{ кПа}$. На підставі заданої витрати і прийнятого перепаду тисків на клапані можна вибрати клапан з $K_{VS} = 0,47$ або $0,52 \text{ м}^3/\text{год}$.

За першим варіантом втрати тиску в повністю відкритому клапані складуть 102 кПа і авторитет

$$a_1 = \frac{102}{102 + 1,2} = 0,98.$$

За другим варіантом втрати тиску в повністю відкритому клапані складуть 46 кПа і авторитет

$$a_2 = \frac{45}{45 + 1,2} = 0,97.$$

Так як у обоох варіантів авторитет клапана склав більше 0,8 для встановлення беремо клапан за другим варіантом з $K_{VS} = 0,52 \text{ м}^3/\text{год}$ з авторитетом 0,97 CLAMP ДУ-32 який має призначення для роботи в неагресивних середовищах з температурою до $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Висновки до розділу 4.2.

В розділі 4.2 розроблено схему автоматизації розпилювальної сушарки SFB-9200 фірми Niro Atomizer для сушіння молока, що побудована на основі контролера Modicon M171. А також були використані по місцю інтелектуальні реле для реалізації невеликих систем управління від 10 до 40 входів/виходів Zelio

Logic. Обґрунтовано вибір теплоносія, який використовуються в процесі сушіння.

Обґрунтовано вибір величин, які регулюються і каналів регулюючих впливів. Розроблена система автоматичного регулювання подачі повітря на вході в сушильну камеру, система автоматичного регулювання подачі повітря в теплогенератор, регулювання витрати повітря на виході з циклонів, регулювання витрати молока перед входом в робочу камеру. Були використані такі датчики температури: MBT 3270 з діапазоном сприймання – до 300°C, MBT 3560 з діапазоном сприймання -40...+200°C, MBT 5116 з діапазоном сприймання -50...+600°C. Витратоміри німецької компанії Bopp & Reuther Messtechnik : Vortex VTX; Classic UST з універсальним інтелектуальним передатчиком.

Описано величини, які підлягають контролю, та сигналізації.

Проведено розрахунки та підбір регулюючих клапанів. З об'ємною витратою $V_m=0,473 \text{ м}^3/\text{год}$, робоче середовище – молоко, $K_{VS} = 1 \text{ м}^3/\text{год}$, вибрана модель CLAMP ДУ-32, що призначена для роботи в середовищах з температурою до 100 °C.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

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 коштрис 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.

(найменування об'єкта будівництва)		
Таблиця 5.1 - Локальний кошторисний розрахунок на монтажні роботи № 1		
на	(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
		142.722 тис. грн.
		0.62941 тис. люд.-год
		50.215 тис. грн.
		4.1 розряд
Складений в поточних цінах станом на 2024 р.		

№ п.ч.	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кіль- кість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год. не зайня- тих обслугову- ванням машин	
					Всього	експлуа- тації машин	Всього	за- робітної плати	в тому числі за- робітної плати	всього на оди- ницю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КМ7-169-4	Монтаж вентилятора відцентровий ВРП7 - 40, № 8, з електродвигуном типу АИРІ60S4, 15,0 кВт, маса до 0,5 т	шт	2.0	2121.91 1293.29	525.50 108.74	4244	2587	1051 217	18.2000 1.2861	36.40 2.57
2	КМ7-169-3	Монтаж вентилятора радіального загального призначення з електродвигуном на одній вісі, маса до 0,35 т	шт	1.0	1774.68 1094.32	379.71 76.60	1775	1094	380 77	15.4000 0.9084	15.40 0.91
3	КМ7-169-1	Монтаж вентилятора радіального загального призначення з електродвигуном на одній вісі, маса до 0,05 т	шт	1.0	1122.74 795.87	30.63 7.25	1123	796	31 7	11.2000 0.0846	11.20 0.08
4	КМ6-341-1	Монтаж теплообмінника	т	3.368	19646.26 7846.27	6633.19 1431.13	66169	26426	22341 4820	100.8000 16.0310	339.49 53.99
5	КБ20-39-2	Установлення циклонів ма-сою до 0,5 т	10 шт циклонів	0.1	22129.24 6801.66	13748.55 2974.60	2213	680	1375 297	87.3800 31.6642	8.74 3.17
6	КБ20-1-6	Прокладання повітроводів із листової сталі класу Н [нормальні] товщиною 0,6 мм, діаметром до 450 мм	100 м2 поверхні повітроводів	0.2896	81071.03 14034.76	439.41 124.71	23478	4064	127 36	207.4000 1.6753	60.06 0.49

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	КБ18-17-10	Установлення Відвід 90 320 1 прямокутний вентиляційний ДСТУ EN 12599:2006	шт	7.0	1132.26 122.19	37.79 9.80	7926	855	265 69	1.6600 0.1231	11.62 0.86
8	КБ18-17-10	Установлення Відвід 90 400 1 прямокутний вентиляційний ДСТУ EN 12599:2006	шт	2.0	1477.46 122.19	37.79 9.80	2955	244	76 20	1.6600 0.1231	3.32 0.25
9	КБ18-17-10	Установлення Трійник КР.d400/d400 мм, нерж AISI430 0,5	шт	2.0	1577.26 122.19	37.79 9.80	3155	244	76 20	1.6600 0.1231	3.32 0.25
10	КБ18-17-10	Установлення Перехід квад- рат-круг 600 600*d320 не- ржавіючий	шт	2.0	1072.26 122.19	37.79 9.80	2145	244	76 20	1.6600 0.1231	3.32 0.25
11	КБ20-37-1	Установлення фільтрів чарун- кових	1 м2 по- верхні у просвіті	0.74	2033.37 512.02	49.83 13.86	1505	379	37 10	7.0400 0.1862	5.21 0.14
12	КБ18-17-10	Установлення Перехід квад- рат-круг 360 *360*d320 не- ржавіючий	шт	1.0	942.26 122.19	37.79 9.80	942	122	38 10	1.6600 0.1231	1.66 0.12
13	КБ18-17-10	Установлення Перехід квад- рат-круг 400 *400*d320 не- ржавіючий	шт	1.0	972.26 122.19	37.79 9.80	972	122	38 10	1.6600 0.1231	1.66 0.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
14	KB18-17-10	Установлення Перехід круг- круг 420* 320* d320 не- ржавіючий	шт	1.0	902.26 122.19	37.79 9.80	902	122	38 10	1.6600 0.1231	1.66 0.12
15	KB18-17-10	Установлення Перехід круг- круг 320* 265* d320 не- ржавіючий	шт	1.0	872.26 122.19	37.79 9.80	872	122	38 10	1.6600 0.1231	1.66 0.12
16	KB20-29-1	Установлення вставок гнуч- ких до радіальних вентиля- торів	м2	1.25	853.97 661.81	7.12 1.98	1067	827	9 2	9.7800 0.0266	12.23 0.03
Разом прямих витрат по кошторису							121443	38928	25996 5635		516.95 63.47
Разом прямі витрати							грн.				
в тому числі:											
вартість матеріалів, виробів і комплектів							грн.				
вартість ЕММ							25996				
в т.ч. заробітна плата в ЕММ								5635			
заробітна плата робітників								38928			
всього заробітна плата								44563			
Загальновиробничі витрати							21279				
трудомісткість в загальновиробничих витратах							люд-г				48.99
заробітна плата в загальновиробничих витратах							грн.	5652			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Всього по кошторису				грн.	142722				
		Кошторисна трудомісткість				люд-г					629.41
		Кошторисна заробітна плата				грн.		50215			

Керівник
проектної ор-
ганізації

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Прийняв

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

_____ (найменування об'єкта будівництва)

Таблиця 5.2 - Локальний кошторисний розрахунок на придбання устаткування, меблів та інвентарю № 2

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

ОСНОВА: креслення(специфікації) № _____, відомості тощо
Кошторисна вартість 357,254 тис. грн.
Складений в поточних цінах станом на 2024 р.

№ ч.ч.	Документ, що обґрунтовує ціну	Найменування і характеристика устаткування, меблів та інвентарю, маса одиниці устаткування	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.	Загальна вартість, грн.
1	2	3	4	5	6	7
1	2308-1002	Циклон ЦН-15- 650	шт	1.0	35744.73	35745
2	2308-5036	Теплообмінник спіральний	шт	1.0	103177.33	103177
3	2308-1007	Вентилятор ВЦ 4-70 №12,5	шт	2.0	86132.79	172266
4	2308-1002	Вентилятор ВЦП №6	шт	1.0	17015.87	17016
5	2308-1005	Вентилятор ВЦП №3	шт	1.0	15550.30	15550
Разом						343754
Транспортні та заготівельно-складські витрати						13500
Всього по кошторису						357254

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

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

(найменування об'єкта будівництва)

Об'єктний кошторис № 11-001

на будівництво

Теплообмінник циклон

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

Кошторисна вартість 499.976 тис. грн.
Кошторисна трудомісткість 0.62941 тис. люд.-год
Кошторисна заробітна плата 50.215 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 трудомісткість, тис. люд.год	Кошторисна заробітна плата, тис.грн.	Показники одиничної вартості
			будівельних робіт	устатку- вання, меблів та інвентарю	всього			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	придбання обладнання	142.722	357.254	357.254	-		
2	2	монтаж обладнання			142.722	0.62941	50.215	
		Всього по кошторису	142.722	357.254	499.976	0.62941	50.215	

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Загальні витрати проекту 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 проекту	1	1	5,00
Вивчення інформаційних джерел, патентний пошук	0,2	1	1,00
Техніко-економічне обґрунтування	1,5	3	7,50
Проектування	2,5	4	12,50
Експертиза інноваційного рішення	1	1	5,00
Витрати на придбання патентів, ліцензій, ноу-хау, технологій	2	2	10,00
Виготовлення нового виробу	100	6	499,976
Витрати на пусконаладжувальні роботи, комплексне освоєння проектних потужностей і досягнення техніко-економічних показників	3	1	15,00
Витрати на підготовку кадрів	5	2	25,00
Всього		21	580,97

Показники комерційної ефективності проекту (таблиця 5.5).

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

№	Показники	Рік						
		-1	0	1	2	3	4	5
1	Потік реальних грошей	-41,00	-670,974	719,31	579,18	441,50	357,29	309,05
2	Сальдо реальних грошей	-41,00	-201,954	719,31	536,95	399,27	319,18	275,06
3	Сальдо накопичених реальних грошей за п.2	-41,00	-242,952	476,35	1013,30	1412,57	1731,75	2006,82
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)	-47,56	-670,97	620,09	430,42	282,85	197,33	147,14
6	Інтегральний економічний ефект(накопичена чиста вартість) за п 5 ((t)+(t-1))	-47,56	-718,53	-98,44	331,98	614,83	812,16	959,31

З таблиці 5.5 видно додатне сальдо накопичених реальних грошей на 1-2 році реалізації проекту.

Оцінювання економічної ефективності інноваційного проекту.

Чистими грошовими надходженнями визначаються за формулою:

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

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.

$$NV = 1694,36 \text{ тис. грн.}$$

Чиста поточна вартість

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

де η_t - коефіцієнт дисконтування.

$NPV = 959,31$ 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.

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

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.

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	-47,56	-670,97	620,09	430,42	282,85	197,33	147,14
Кумулятивна	-47,56	-718,53	-98,44	331,98	614,83	812,16	959,31

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

$$T = 1 + 98,44 / 430,42 = 1,2 \text{ років.}$$

Висновки до Розділу 5.

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

- Кошторисна вартість $K_b = 499,976$ тис. грн.
- Кошторисна заробітна плата ЗП = 50,215 тис. грн.
- Кошторисна трудомісткість $T = 0,62941$ тис. люд –год
- Вартість матеріалів – 413,773 тис. грн.

Розраховували основні показники ефективності інвестицій в проект:

- Чисті грошові надходження – 1694,36 тис. грн.;
- Чиста поточна вартість – 959,31 тис. грн.;
- Термін окупності, розрахований кумулятивним методом – 1,2 роки.

ВИСНОВКИ

Виконано аналіз джерел літератури, на підставі якого складено математичну модель для сушіння молока в розпилювальній сушарці видатністю 500 кг/год від вологості 50 до вологості 15%.

Розрахована необхідна потужність калорифера, $Q = 787,5$ кВт, необхідна витрата повітря $L = 4167$ кг/год, кількість випаруваної води складає 175 кг/год.

Числовий експеримент дозволив визначити залежності впливу швидкості сушильного агента на коефіцієнт міжфазної тепловіддачі на границі «крапля – оточуюче середовище», на теплові втрати через теплову ізоляцію сушарки, на потужність приводу нагнітальної машини.

Визначено необхідний час перебування краплі в сушарці при сушінні за паспортним режимом і тривалість сушіння, яка є функцією швидкості сушильного агента. Критична оптимальна швидкість сушильного агента складає 57,94 м/с. Підвищення швидкості вище критичної гарантовано дозволяє краплі молока повністю висохнути до нормативної вологості.

У технологічній частині розроблено технологію монтажу спірального теплообмінного апарату для рекуперації теплоти з топки в розпилювальній сушарці і технологію монтажу газоочисного обладнання.

Виконано підбір матеріалів для монтажу спірального теплообмінного апарату, циклона ЦСН-15-650, фільтра тонкого очищення і нагнітальних вентиляторів ВЦ 4-75 №12,5.

Визначено загальну масу обладнання для монтажу та інструментів, яка склала 6645 кг.

Визначено склад робіт та об'єми робіт, розрахована необхідна кількість енергоресурсів на монтажні роботи.

Розрахована трудомісткість виконання монтажних робіт, яка склала 40,83 люд/дні. Тривалість монтажних робіт склала 15 днів.

Виконані розрахунки дозволили скласти календарний план робіт, графіки руху машин і механізмів.

Розроблено схему автоматизації розпилювальної сушарки SFB-9200 фірми Niro Atomizer для сушіння молока, що побудована на основі контролера Modicon M171. А також були використані по місцю інтелектуальні реле для реалізації невеликих систем управління від 10 до 40 входів/виходів Zelio Logic. Обґрунтовано вибір теплоносія, який використовуються в процесі сушіння.

Обґрунтовано вибір величин, які регулюються і каналів регулюючих впливів. Розроблена система автоматичного регулювання витрати повітря на вході в робочу камеру, система автоматичного регулювання витрати повітря на вході в теплогенератор, регулювання витрати повітря на виході з циклонів, регулювання витрати молока перед входом в робочу камеру. Були використані такі датчики температури: MBT 3270 з діапазоном сприймання – до 300°C, MBT 3560 з діапазоном сприймання -40...+200°C, MBT 5116 з діапазоном сприймання -50...+600°C. Витратоміри німецької компанії Vorr & Reuther Messtechnik : Vortex VTX; Classic UST з універсальним інтелектуальним передатчиком.

Описано величини, які підлягають контролю, та сигналізації.

Проведено розрахунки та підбір регулюючого клапана. З об'ємною витратою $V_m=0,473 \text{ м}^3/\text{год}$, робоче середовище – молоко, $K_{VS} = 1 \text{ м}^3/\text{год}$, модель CLAMP ДУ-32 призначений для роботи в середовищах температура яких не вище 100 °C.

В економічній частині складено кошторисні документи: локальні кошториси на монтаж обладнання, на придбання обладнання, об'єктний кошторис. В кошторисах пораховані кошторисна вартість $K_v = 499,976 \text{ тис. грн.}$, кошторисна заробітна плата ЗП = 50,215 тис. грн., кошторисна трудомісткість $T = 0,62941 \text{ тис. люд} \cdot \text{год}$, та вартість матеріалів – 413,773 тис. грн.

Термін окупності, розрахований кумулятивним методом – 1,2 роки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості/ І.С. Гулий, та ін. За ред. академіка УААН Гулого І.С. Вінниця: Нова книга, 2001. 576 с.
2. Сушарки розпилювальні URL : <https://perryvidex.eu/category/dryers/spray-dryer> (дата звернення 15.12.2003).
3. Ткаченко С. Й., Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки : навч. посібн. Вінниця : ВНТУ, 2008. 98 с.
4. Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки. Приклади та задачі. Вінниця: ВНТУ, 2015. 112 с.
5. Теорія і практика сублімаційного сушіння : посібн. / Л. В. Соколова та ін., Терноп. держ. мед. ун-т ім. І. Я. Горбачевського. Тернопіль : Крок, 2011. 129 с.
6. Сардаров А. М., Маяк О. А., Шершньов Г. Г. Дослідження структурних характеристик і кінетики процесу сушіння рослинної сировини у вібраційній вакуумній сушарці / *Наукові праці НУХТ*. 2018. Том 24, № 6, С.110-119.
7. Шутюк В. В. Науково-методологічні засади ресурсозбережних енерготехнологічних комплексів сушіння харчових продуктів [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.18.12. ; Нац. ун-т харч. технологій. Київ, 2016. 41 с.
8. Шутюк В. В., Василенко С. М., Бессараб О. С. Математичне моделювання сушіння харчових продуктів перегрітою парою / *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 2013. №49, С. 120-126.
9. Mujumdar A. S., Passos M. L. Developments in Drying. Kasetsart University Press: Bangkok, Thailand, 2000. P. 235-268.
10. Шутюк В. В., Василенко С. М., Бессараб О. С. Сучасні тенденції розвитку наукових досліджень в сушильних технологіях / *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Серія: техніка та енергетика АПК. 2013. Вип. 185, ч. 1. С. 278-287.

11. Кундрат А.М., Кундрат М.М. Науково-технічні обчислення засобами MathCAD та MS Excel : навч. посібн. Рівне: НУВГП, 2014. 252 с.
12. Боженко М.Ф. Енергозбереження в теплопостачанні. Текст лекцій для студентів спеціальності «Теплоенергетика» : Київ : НТУУ «КПІ», 2011. 199 с.
13. Циклон ЦСН. URL : <https://prom-vent.com.ua/ua/p109183383-tsiklon-stsn-800.html/> (дата звернення 19.12.2023).
14. Mercedes Benz Sprinter 313CDI . URL: <https://www.mbtruck.ru/obzor-avto/mercedes-sprinter/2006/313cdi/> . (дата звертання 15.12.2023).
15. Багатофункціональний телескопічний навантажувач JCB 531-170 : URL : <https://stroy-plys.ru/34-pogruzchik-teleskopicheskiy-jcb-531-170.html>. (дата звертання 15.12.2023).
16. Зварний напівавтоматичний апарат Tesla Weld MIG/MAG/FCAW/TIG /MMA 302. URL : <https://teslaweld.com/svarochnyy-poluavtomaticheskiy-apparat-tesla-weld-mig-mag-tig-mma-302> . (дата звертання 15.12.2023).
17. Інструменти ручні URL: <https://prozorro.gov.ua/tender/UA-2016-10-21-000907-c> (дата звертання 20.12.2023).
18. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 20. Вентиляція та кондиціонування повітря. Чинний від 2023-02-07. Київ: Мінрегіон України, 2021. 150 с. URL: <https://econstruction.gov.ua/files/upload/2022-11-05/d55e5c6b-59be-464f-a9f6-0c2555f5ad79.pdf> (дата звернення: 20.12.2023).
19. Ресурсні елементні кошторисні норми на монтаж устаткування. Збірник Устаткування для очищення газів. Чинний від 2023-02-07. Київ: Мінрегіон України, 2021. 111 с. URL: <https://e-construction.gov.ua/files/upload/2022-12-28/18317af0-0ba7-4693-982c-9e456ee7e980.pdf> (дата звернення: 20.12.2023).
20. 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. URL:

- <https://econstruction.gov.ua/files/upload/2022-12-28/c464e588-eedb-417b-8d9f83a4e5d3df86.pdf> (дата звернення: 21.12.2023).
21. Ресурсні елементні кошторисні норми на ремонтно-будівельні роботи. Збірник 16. Зовнішні інженерні мережі. Чинний від 2023-02-07. Київ: Мінірегіон України, 2021. 111 с. URL: <https://e-construction.gov.ua/files/upload/7e7da4505274-11ec-b992-4b0cbf32d4e5.pdf> (дата звернення: 20.12.2023).
 22. Аеродинамічні випробування. URL: <https://ventprom.net/ua/p37857264-ispytaniya-pasportizatsiya-sistem.html> (дата звернення 24.12.2023).
 23. Гусев А. М. Охорона праці: навч. посібн. : Київ: Видавництво Європейського університету, 2006. 283 с.
 24. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 20. Вентиляція та кондиціонування повітря. [Електронний ресурс]. URL : <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/11/knu-resursni-elementni-koshtorysni-normy-na-budivelni-roboty.-ventilyacziya-ta-kondycziyuvannya-povitrya.-zbirnyk-20.pdf>. Дата звернення 18.01.2023.
 25. MERCEDES BENZ SPRINTER 313 CDI [Електронний ресурс]. URL : <https://www.mbtruck.ru/obzor-avto/mercedessprinter/2006/313cdi/>. Дата звертання 25.12.2022.
 26. Многофункциональный телескопический погрузчик JCB 540 140 313 CDI [Електронний ресурс]. URL: <https://stroyplys.ru/34-pogruzchik-teleskopicheskiy-jcb-540-140.html>. Дата звертання 26.12.2022.
 27. Сварочный полуавтоматический аппарат Tesla Weld MIG/MAG/FCAW/TIG/MMA 302 [Електронний ресурс]. URL: <https://teslaweld.com/svarochnyy-poluavtomaticheskiy-apparat-tesla-weldmig-mag-tig-mma-302>. Дата звертання 27.12.2022.
 28. Вентилятор відцентровий ВВД №5 [Електронний ресурс]. URL: <https://systemax.com.ua/p154064199-ventilyatortsentrobeznyj-vvd.html>. Дата звертання 25.12.2022.
 29. Абрашкевич Ю. Д., Пелевін Л. Є. Обладнання для монтажних робіт. Навч. посібн. Київ: КНУБА, 2016. 232 с.

30. Техніка безпеки при проведенні монтажних робіт [Електронний ресурс].
URL: <http://www.otopleniedoma.com/ua/page26.html>. Дата звертання 29.12.2022.
31. Автоматизація процесу сушіння. URL: <https://studfile.net/preview/6860835/page:15/> . (Дата звернення 15.06.23р.).
32. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтегр. технології. Київ: НТУУ «КПІ», 2008. 236 с.
33. Кожухар, В. Я., Брем В. В., Каверін Ю. Ф. Автоматичні системи керування хіміко-технологічними процесами: навч. посіб. для студ. хім.-технол. спец. Одеса: Екологія, 2005. 222 с.
34. Ультразвукові витратоміри для газів. URL: <http://carprice.kharkov.ua/vitratomir-povitrya/> (Дата звернення 15.06.23р.).
35. Трьохходові клапани для газів високої температури [Електронний ресурс]. URL: <https://teplogrand.ua/catalog/smesitelnye-klapany/> (Дата звернення 13.06.23р.).
36. Автоматичні пускачі TeSys. URL: <https://www.se.com/ua/uk/product-range-presentation/625-tesys-gv2-me/#tabs-top> (Дата звернення 15.06.23р.).
37. Багатофункціональні компактні пристрої управління і захисту пускачі TeSys U до 38A (18,5 кВт/400В). URL : <https://www.se.com/ua/uk/product-range/682-tesys-ultra-tesys-u/> (Дата звернення 12.06.23р.).
38. Термопара WIKA модель TC81 для вимірювання температури газів, продуктів згоряння. URL : <https://celmet.com.ua/-wika/wika-tc81> (Дата звернення 15.06.23р.).
39. Терморегулятор вимірювач PT-0102-Щ1-1-ТО-ОС+1РЕ. URL : <https://energo-shop.com/rt-0102-shch1-1-to-os1re-termorehuliator-vymiriuvach/> (дата звернення 15.06.23р.).
40. Манометри WIKA URL: https://www.wika.ua/111_10_111_12_ua_ua.WIKA?ProductGroup=81360 . (Дата звернення 15.06.23р.).

41. Шибєр для вентиляції з заслінкою і електроприводом URL : <https://yak-zrobyty.in.ua/shiber-dlya-ventilyacii-z-zaslinkoyu-i-elektroprivodom-riznovidi-osoblivosti-montazhu> . (Дата звернення 15.06.23р.).
42. Промислові засоби автоматизації : навч. посіб.: У 2 ч. / За заг. ред. А. К. Бабіченка. Харків: НТУ «ХП», 2003. Ч. 1. Вимірювальні пристрої. 470 с.
43. Промислові засоби автоматизації : навч. посіб.: У 2 ч. / За заг. ред. А. К. Бабіченка. Харків: НТУ «ХП», 2003. Ч. 2. Регулювальні і виконавчі пристрої. 658 с.
44. Стенцель, Й. І. Автоматизація технологічних процесів хімічних виробництв: навч. посіб. для студ. спец. «Автоматизація технол. процесів і виробництв» / ІСДО; Східноукр. нац. ун-т ім. Володимира Даля; Сіверськодонецький технологіч. ін-т. Київ: ІСДО, 1995. 360 с.
45. Дацишин О. В., Гвоздєв О. В., Ялпачик Ф. Ю. Рогач Ю. П. Механізація переробки і зберігання плодоовочевої продукції. Київ: Мета, 2003. 203 с.
46. Скрипников Ю. Г. Технологія переробки плодів і ягід. Київ: Урожай, 1991. 123 с.
- 47.41. Машини та обладнання переробних виробництв. За редакцією проф. Дацишина О. В. Київ: Вища освіта. 2005. 308 с.
48. Автоматизація виробничих процесів. Дифузійні процеси (обладнання для сушіння). Навч.-метод. посібн. [Електронний ресурс] / Укл. В. В. Тичков, В. Я. Гальченко, Р. В. Трембовецька, З. В. Бондарчук; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. Черкаси: ЧДТУ, 2018. 179 с.
49. Процеси і апарати харчових виробництв: Підручник / За ред. проф. І. Ф. Малєжика. Київ: НУХТ, 2003. 400с.
50. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування: Навч. посіб. / За ред. проф. І.Ф. Малєжика. Київ: НУХТ, 2012. 543 с.
51. Патент на винахід №85766 С2 Україна, МПК F26B11/00, F26B9/08. Барабанна сушарка / Дударєв І.М., Кірчук Р.В., Кокалюк Л.Ю.; Заявлено 01.06.2007; Опубл. 25.02.2009; Бюл. № 4.

52. Krischer O. Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik. Springer-Verlag. Berlin : Heidelberg GmbH, 1956. 302 p.
53. Sadegh Seiedlou. Convective Drying of Apple: Mathematical Modeling and Determination of some Quality Parameters / International Journal of Agriculture and Biology, March 2010. №12(2).
54. Kudra T. Energy aspects in drying// Drying Technology.– 2004. Vol. 22 (5). – P. 917 – 932 doi: 10.1081/DRT–120038572.
55. Снєжкін Ю. Ф., Шапар Р.О. Енергоефективне обладнання для зневоднення термолабільних матеріалів. /Теплофізика та теплоенергетика. 2020, т. 42, №2. С. 5-17.
- 56.54. Осокіна Н.М., Гайдай Г. С. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва. Умань. 2005.
57. Ставников В. М. Процеси і апарати харчових виробництв. Київ: Урожай, 1983. 345.
58. Лабай В. Й. Залежність ексергетичного ККД кондиціонера від зміни температур тепло- та холодоносіїв // Нова тема. 2008. № 2, С. 27–28.
59. Задоянний О. В. Ексергетичні критерії при оцінці енергоощадності систем кондиціонування повітря будівель і споруд // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. : КНУБА. 2014. Вип. 17. С. 3–9.
60. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014. [Чинний від 2014-05-30]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58073.
61. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. [Чинний від 2007-12-01]. 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->

62. 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.
63. 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.

ДОДАТКИ

Додаток А
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Використання альтернативних видів твердого палива в
розпилювальних сушарках

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (вказати))

Підрозділ кафедра ТЕ, ФБЦЕІ, група ТЕ-23м
(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Керівник Співак О.Ю. к.т.н., доцент
(прізвище, ініціали, посада)

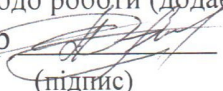
Показники звіту подібності

Turnitin	
Оригінальність	88%
Загальна схожість	12%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

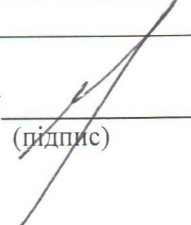
- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ Виявлені у роботі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

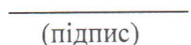
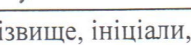
Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи (додається)

Автор  Присяжний Д.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Допустити до захисту

Особа, відповідальна за перевірку  Співак О.Ю.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Експерт  
(за потреби) (підпис) (прізвище, ініціали, посада)

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

«ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ
ТВЕРДОГО ПАЛИВА В РОЗПИЛЮВАЛЬНИХ СУШАРКАХ»
за спеціальністю 144 – теплоенергетика

08-15.МКР.004.00.00.000 ТЗ

Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи
к.т.н. Співак О. Ю.
“ 09 ” грудня 2024 р.

Розробив студент гр.ТЕ–23м
Присяжний Д.В.
“ 08 ” грудня 2024 р.

Вінниця 2024

1 Найменування та область застосування розробки

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

2 Основа для проведення розробки

Наказ ректора ВНТУ № 310 від 17.09.2024 р.

Основою для розробки стала технічна документація на розпилювальну конвективну сушарку. Розрахунки по підвищенню енергоефективності сушильних установок. Літературні джерела, патентна документація та розробки кафедри ТЕ ВНТУ. Тематичний план науково-дослідних робіт кафедри теплоенергетики, протокол №12 від 25.01.2024 р.

3 Джерела розробки

Основним джерелом розробки є покращення енергозбереження при роботі розпилювальних сушарок, 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 видів твердого альтернативного палива для роботи розпилювальної сушарки. Дослідження роботи розпилювальної сушарки методами математичного моделювання і числового експерименту.

5 Економічні показники

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

В даній роботі проводиться: дослідження можливості і економічної доцільності використання різних видів альтернативних палив для роботи розпилювальних сушарок; дослідження зміни затрат на роботу розпилювальної сушарки.

6 Заходи з енергозбереження

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

Автоматичне регулювання основних параметрів роботи розпилювальної сушарки.

Використання сучасного обладнання, що дозволяє значно зменшити теплові втрати.

7 Вимоги до стандартизації та уніфікації

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

8 Вимоги з надійності

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

9 Стадії і етапи розробки

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 Охорона праці

9.7 Економічна оцінка інноваційного проекту

9.8 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)

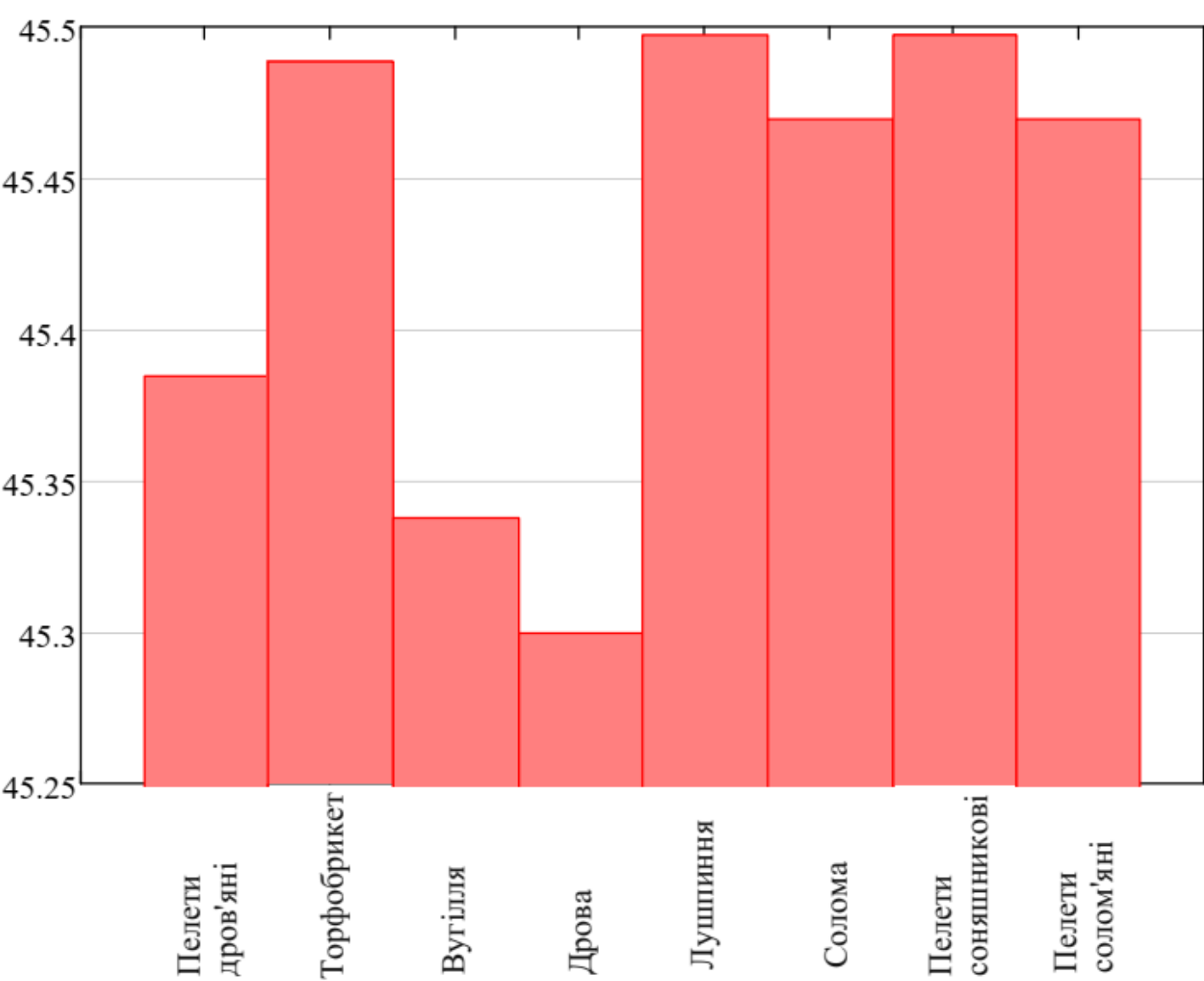
ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**«ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ
ТВЕРДОГО ПАЛИВА В РОЗПИЛЮВАЛЬНИХ СУШАРКАХ»**
(Назва магістерської кваліфікаційної роботи)

ГРАФІЧНІ ЗАЛЕЖНОСТІ

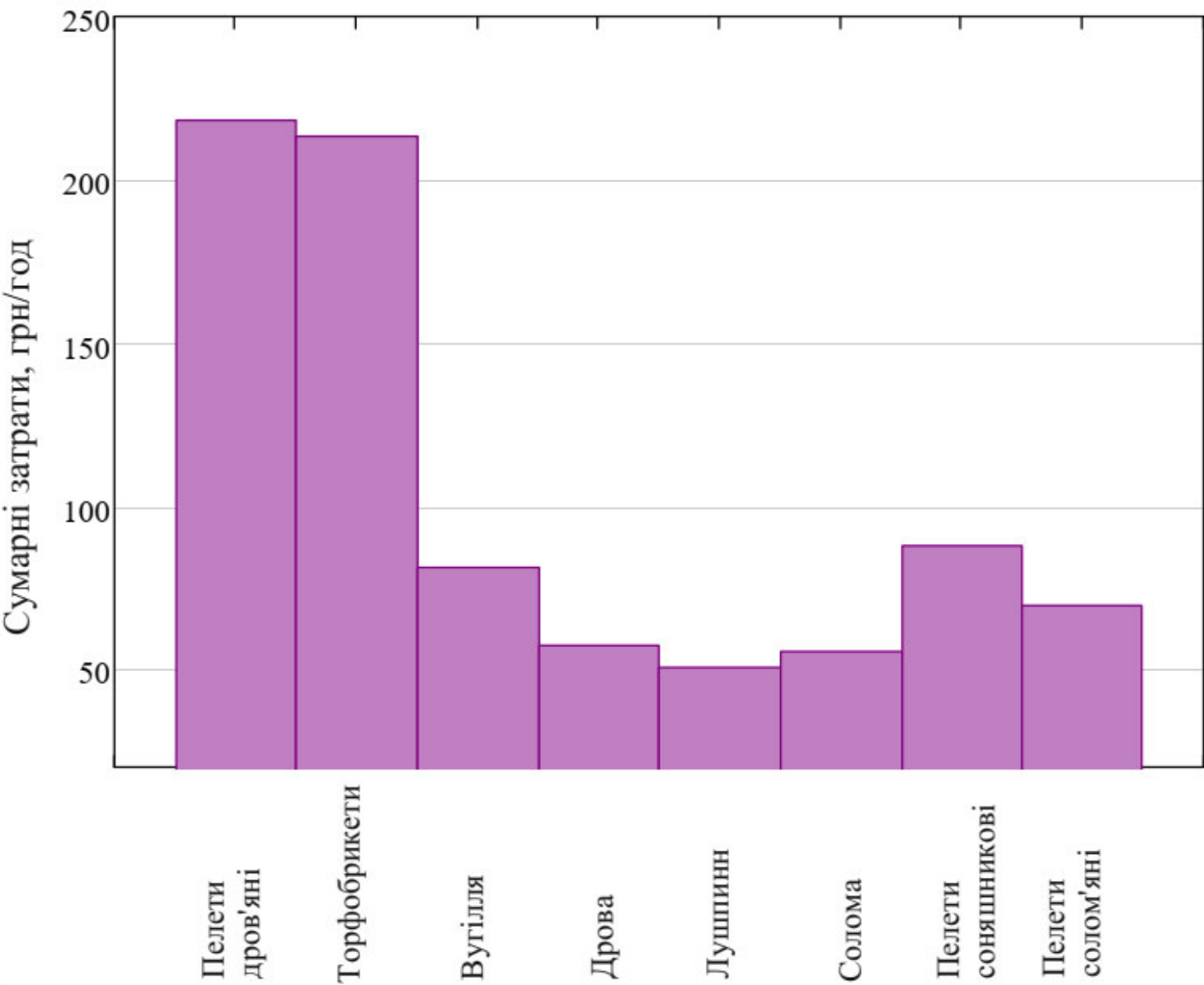
Зміна коефіцієнта корисної дії сушарки в залежності від застосованого виду палива

Коефіцієнт корисної дії, %



а)

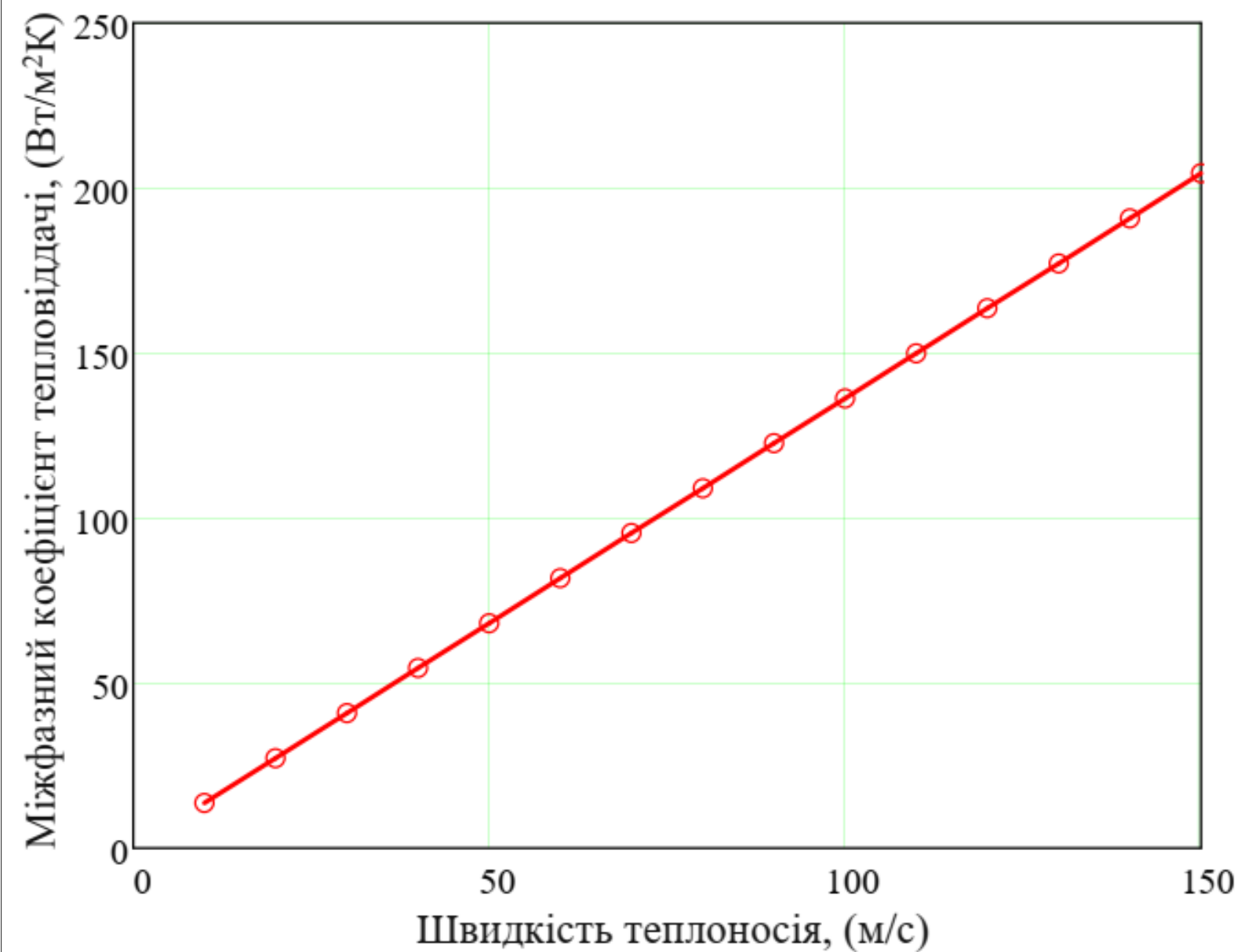
Сумарні затрати на альтернативне паливо для розглянутих варіантів



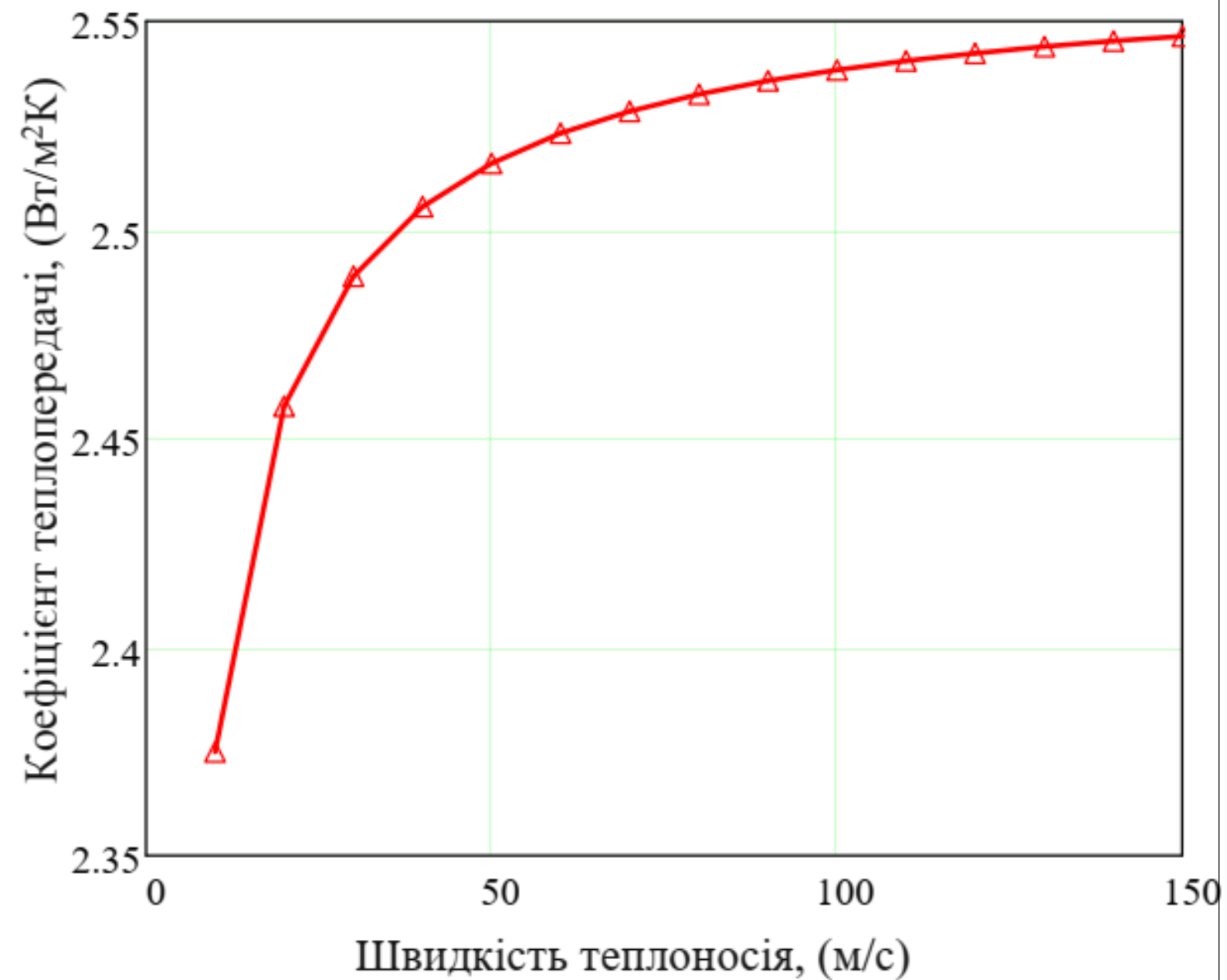
б)

ГРАФІЧНІ ЗАЛЕЖНОСТІ

Вплив швидкості теплоносія на міжфазний коефіцієнт тепловіддачі

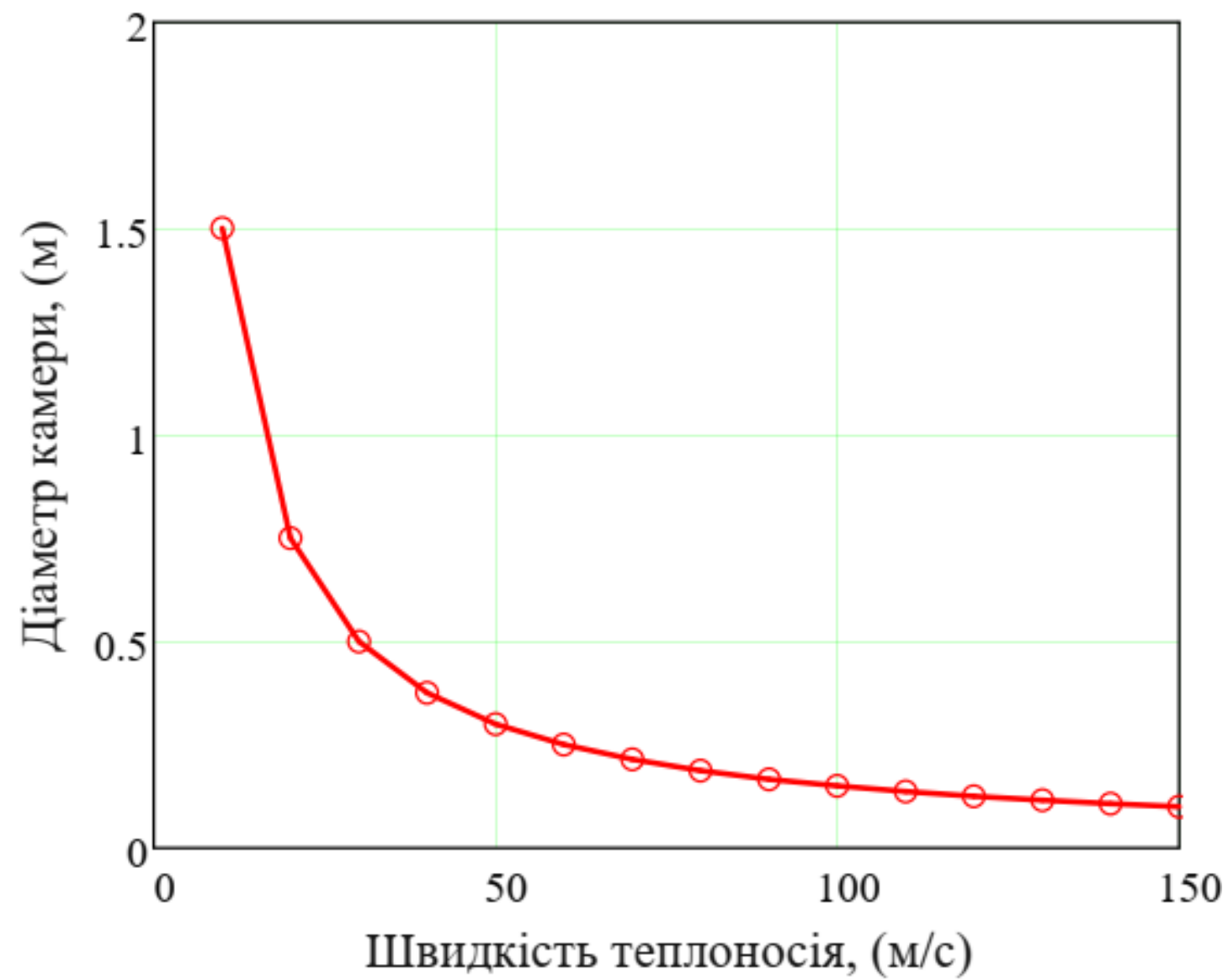


Вплив швидкості теплоносія на коефіцієнт теплопередачі



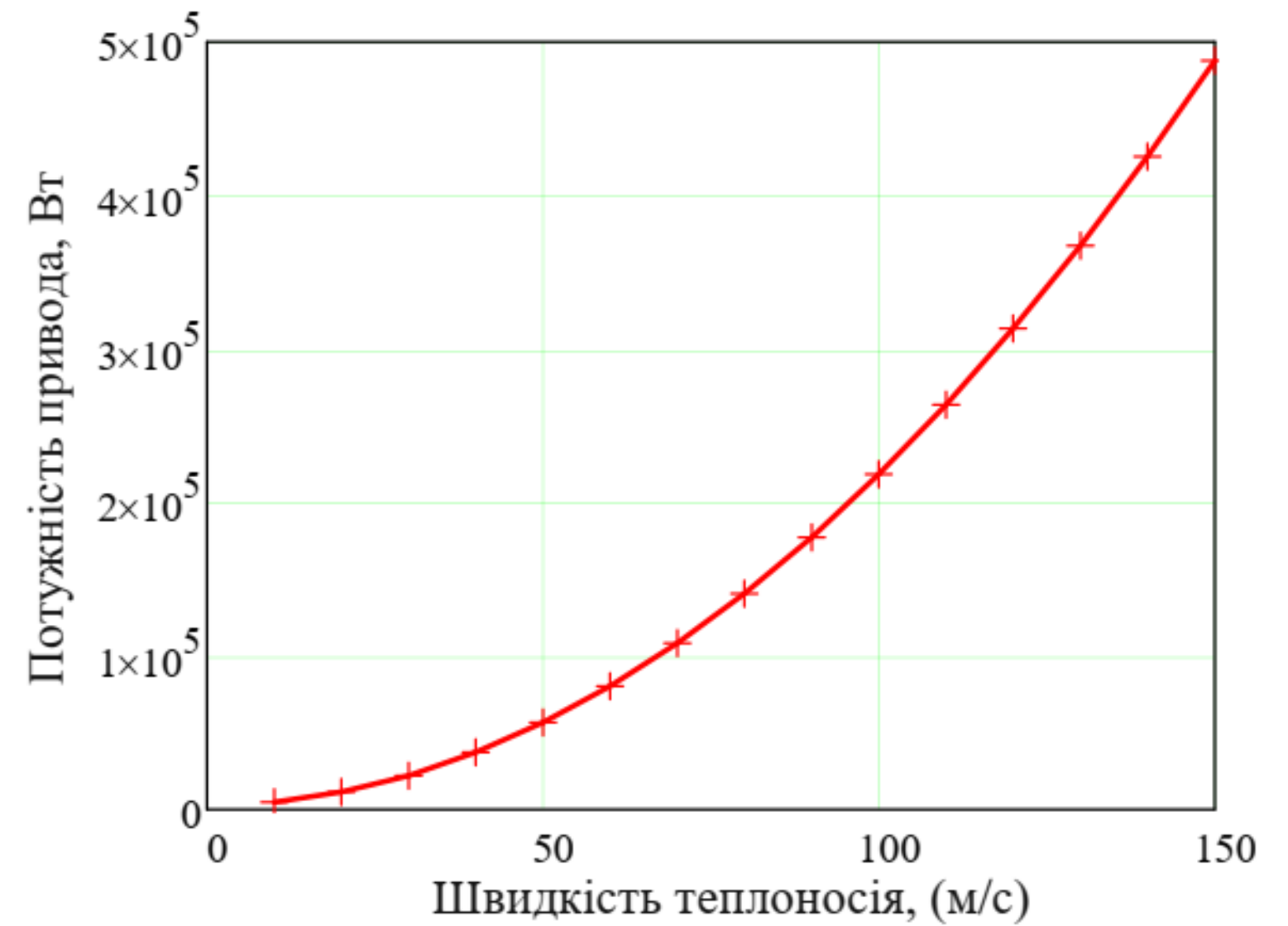
ГРАФІЧНІ ЗАЛЕЖНОСТІ

Залежність оптимального діаметра камери від швидкості теплоносія



а)

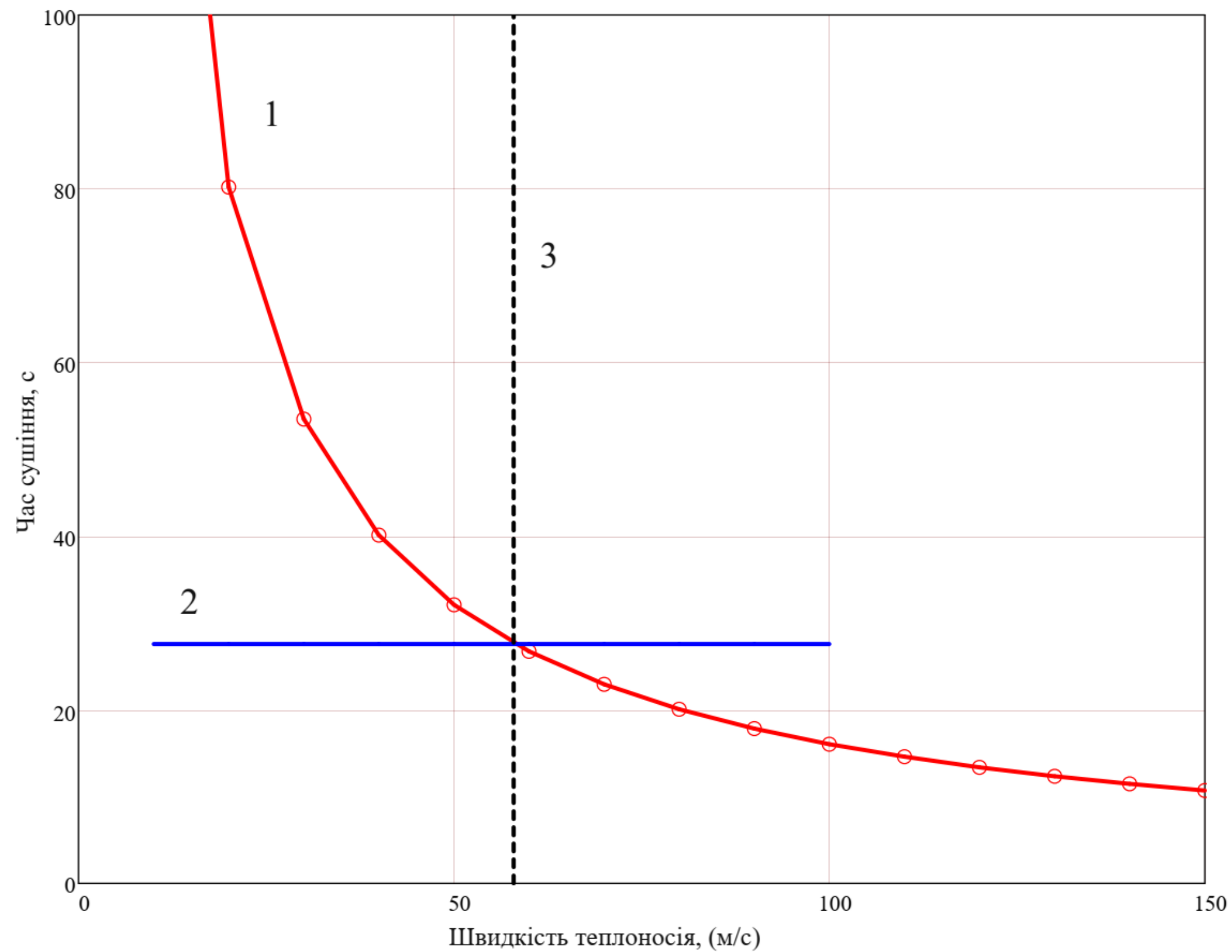
Вплив швидкості теплоносія на потужність приводу нагнітальної машини



б)

ГРАФІЧНІ ЗАЛЕЖНОСТІ

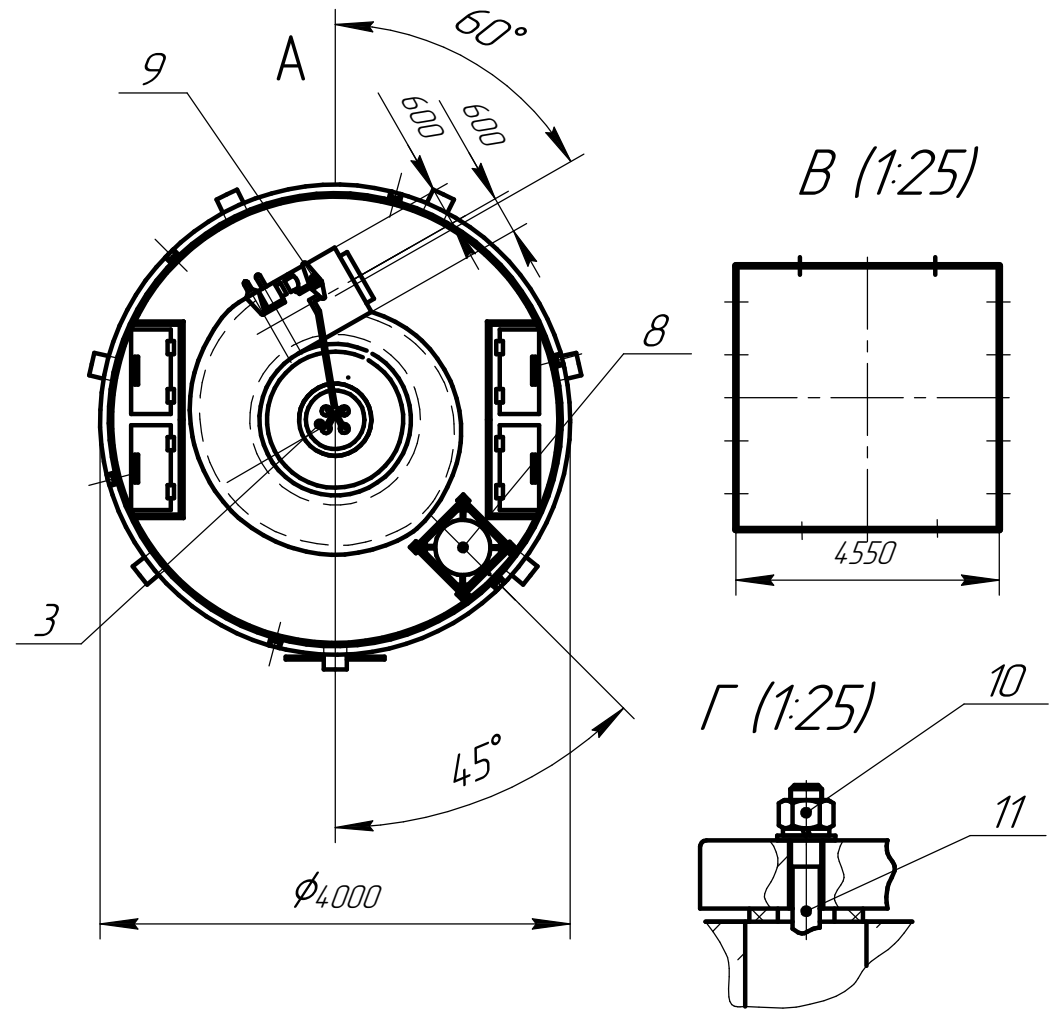
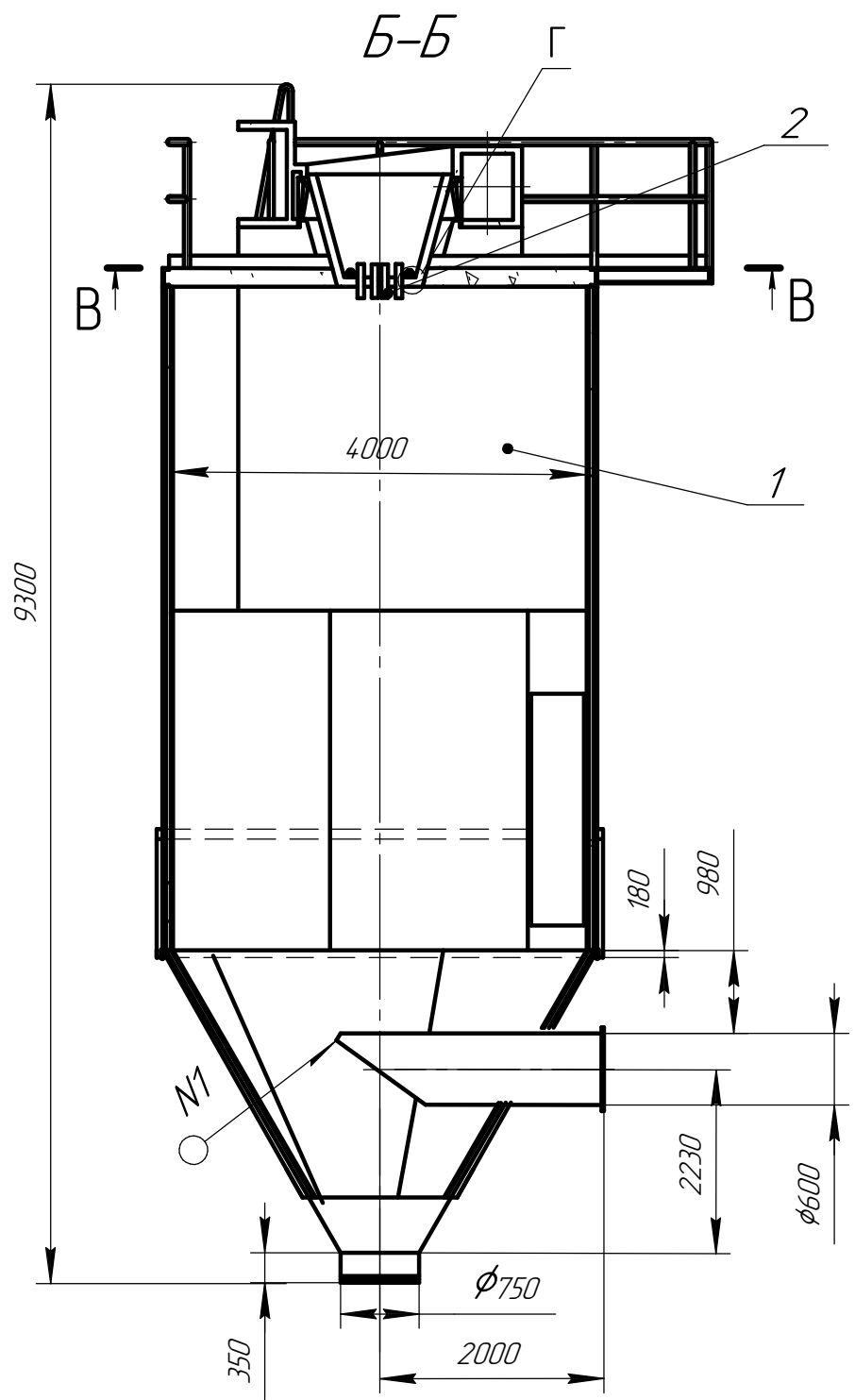
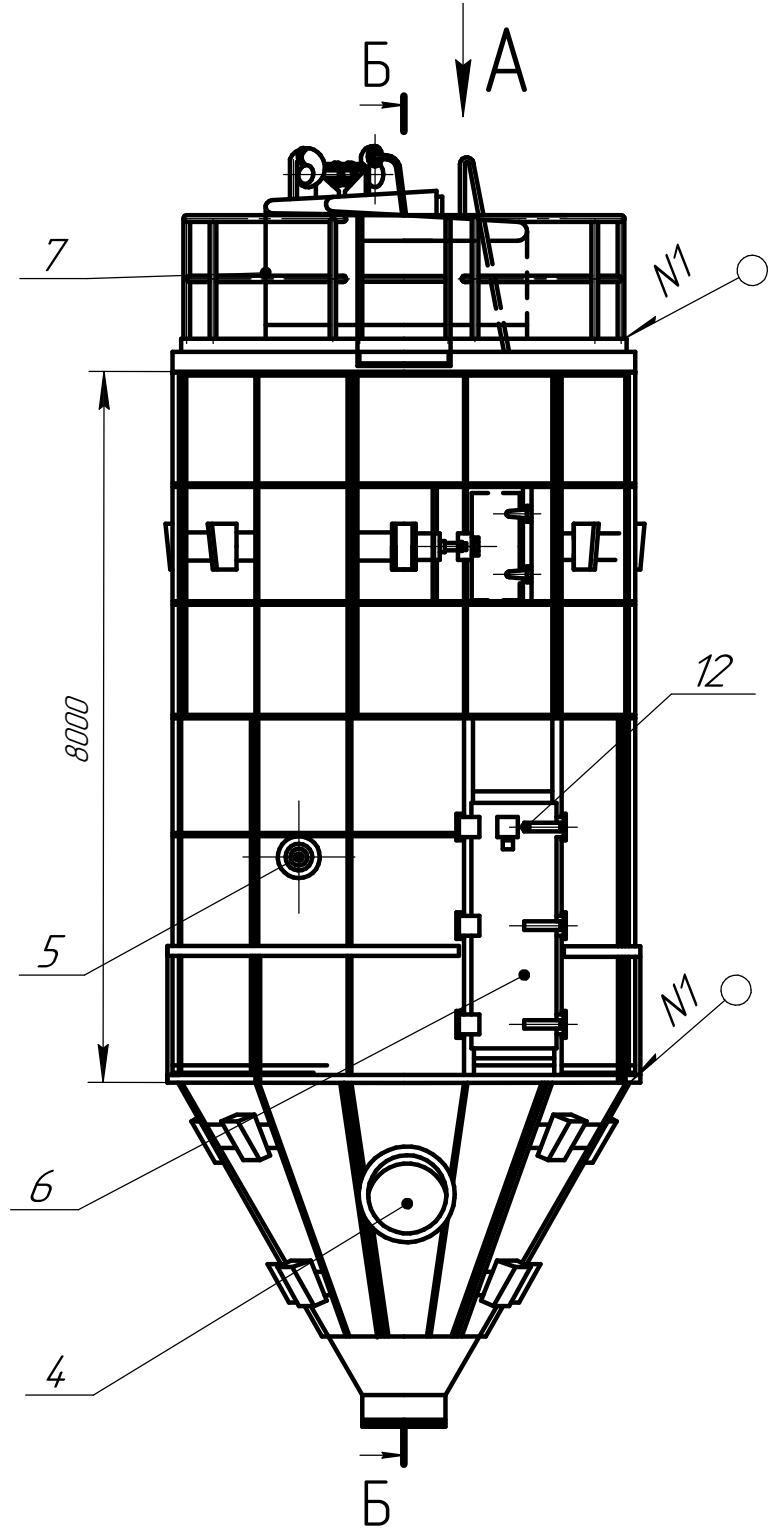
Залежність часу сушіння молока від швидкості теплоносія



- 1 – Залежність тривалості сушіння від швидкості теплоносія;
2 – Оптимальна тривалість сушіння;
3 – Критична швидкість теплоносія

[illegible]

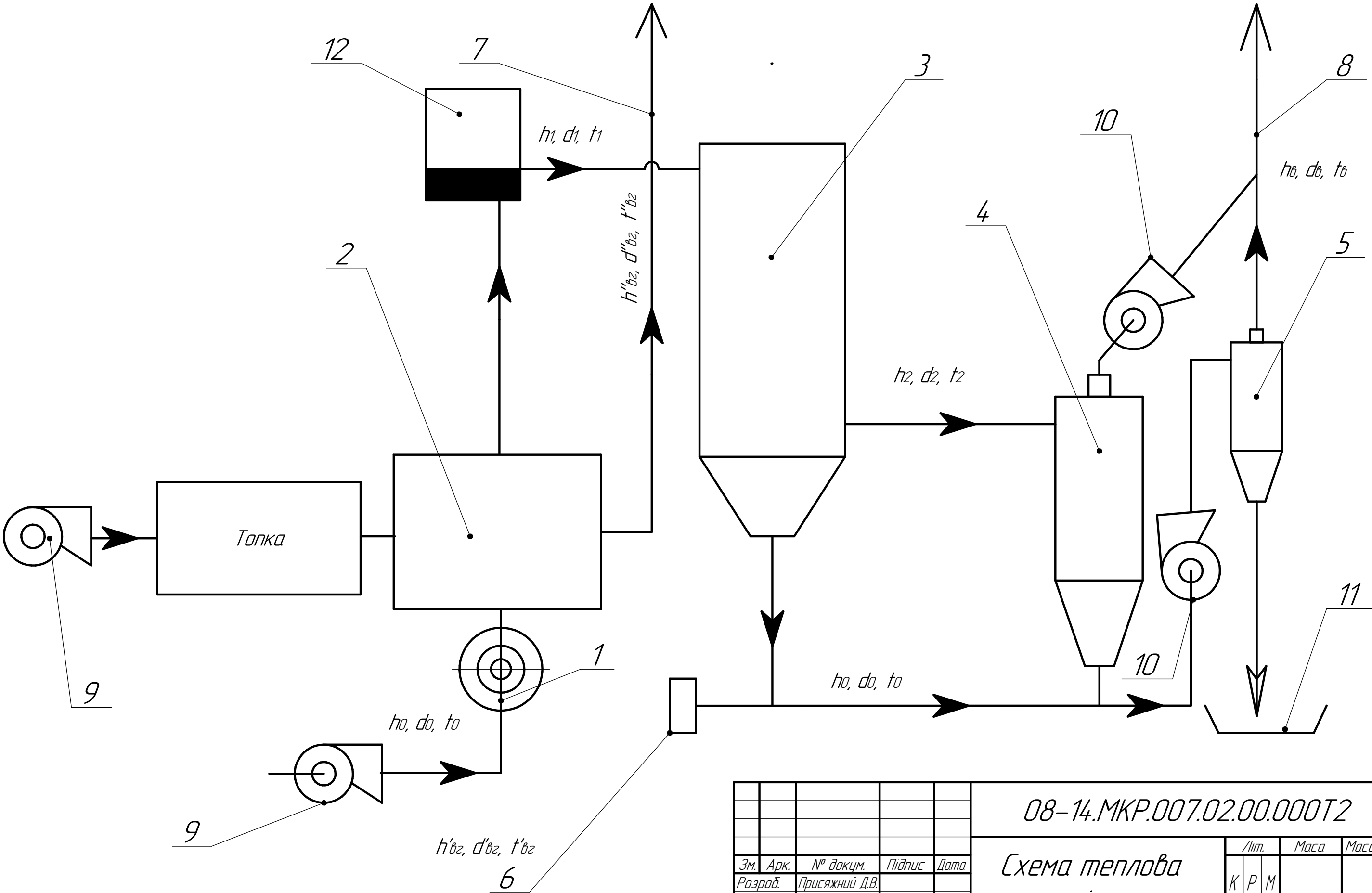
[illegible]



- Технічні характеристики
- | | |
|--|-------|
| 1. Водатність за випаруваню вологою кг/год | 300 |
| 2. Температура сушильного агента ?С | 175 |
| 3. Температура продукту ?С | 82-96 |
| 4. Початковий вміст сухих речовин % | 49-53 |
| 5. Кінцевий вміст сухих речовин % | 96 |
- Технічні вимоги
- Зварні шви за ДСТУ ГОСТ 5264-80-T1- Δ3- 2 № 1
 - Допуск Н14, h14±IT 14/2
- * Розміри для довідок.

					08-15.МКР.007.01.00.000 СК					
					Сушильна башня Складальне креслення	Літ.		Маса	Масштаб	
Зм.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		К	Р	М		1:1
Розроб.		Присяжний Д.В.								
Перев.		Співак О.Ю.								
Т.контр.										
Опонент		Христич О.В.				Арк.		Арк-ів 1		
Н.контр.		Співак О.Ю.				ТЕ-23М				
Затв.		Степанов Д.В.								

[illegible]

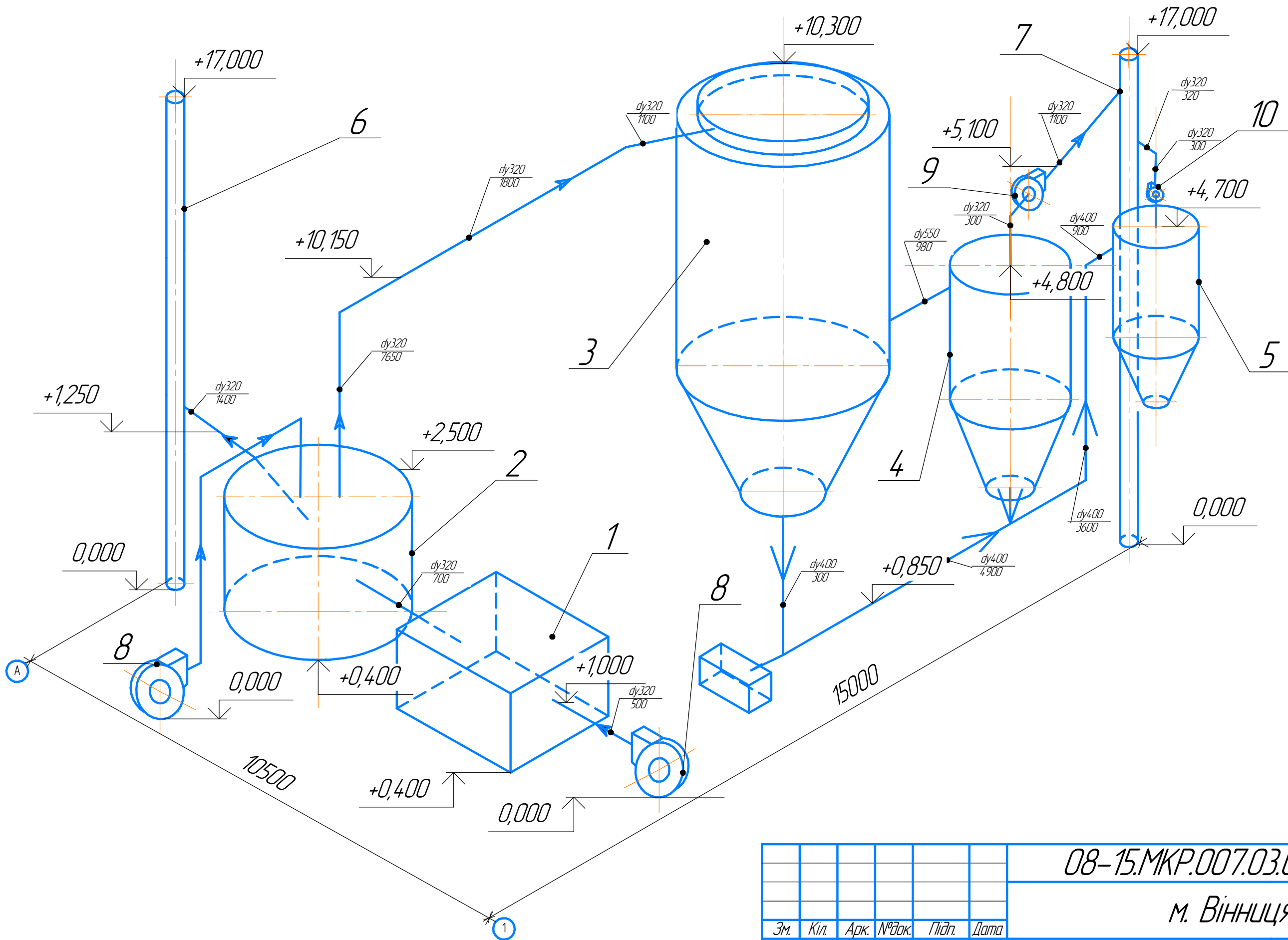


					08-14.МКР.007.02.00.000Т2					
					Схема теплова функціональна	Літ.		Маса	Масштаб	
						К	Р	М		
						Арк.		Аркциів		1
						ТЕ-23М				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Присяжний Д.В.								
Перев.		Співак О.Ю.								
Т.контр.										
Опонент		Христич О.В.								
Н.контр.		Співак О.Ю.								
Затв.		Степанов Д.В.								

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.	Присяжний Д.В.			
Перев.	Співак О.Ю.			
Т.контр.				
ОпONENT	Христич О.В.			
Н.контр.	Співак О.Ю.			
Затв.	Степанов Д.В.			

Перше використання	Справ. №	Позна-чення.	Назва				Кіл.	Примітка							
		1	Топка				1								
		2	Спіральний теплообмінник				1								
		3	Сушильна башта				1								
		4	Циклон грубого очищення				1								
		5	Циклон тонкого очищення				1								
		6	Труба витяжна топкова				1								
		7	Труба витяжна циклонна				1								
		8	Вентилятор ВЦ 4-70 № 12,5				2								
		9	Вентилятор ВЦП 122-43-8				1								
		10	Вентилятор ВЦП 122-43-6				1								
Підп. і дата	Інв. № дубл.	Взам. інв. №	Підп. і дата												
Інв. № подл.	Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	08-15.МКР.007.03.00.000									
Схема аксонометрична						Лит.			Арк.		Архів				
											1				
						ТЕ-23М									
Розроб.						Присяжний Д.В.									
Перев.						Снівак О.Ю.									
Опонент						Христич О.В.									
Н.контр.						Снівак О.Ю.									
Затв.						Степанов Д.В.									

Узгоджено					
Інв. № прог.	Підп. та дата	Взам. інв. №			



						08-15.МКР.007.03.00.000АР		
						м. Вінниця		
Зм.	Кіл.	Арк.	№зак.	Підп.	Дата	Використання альтернативних видів твердого палива в розпилювальних сушарках	Стадія	Аркуш
Розробив	Присяжний Д.В.						МКР	1
Перевірів	Співак О.Ю.							
Т. Контр.								
Опонент	Христич О.В.							
Н.Контр.	Співак О.Ю.					Схема аксонометрична		ВНТУ, ТЕ-23м
Затвердив	Степанов Д.В.							

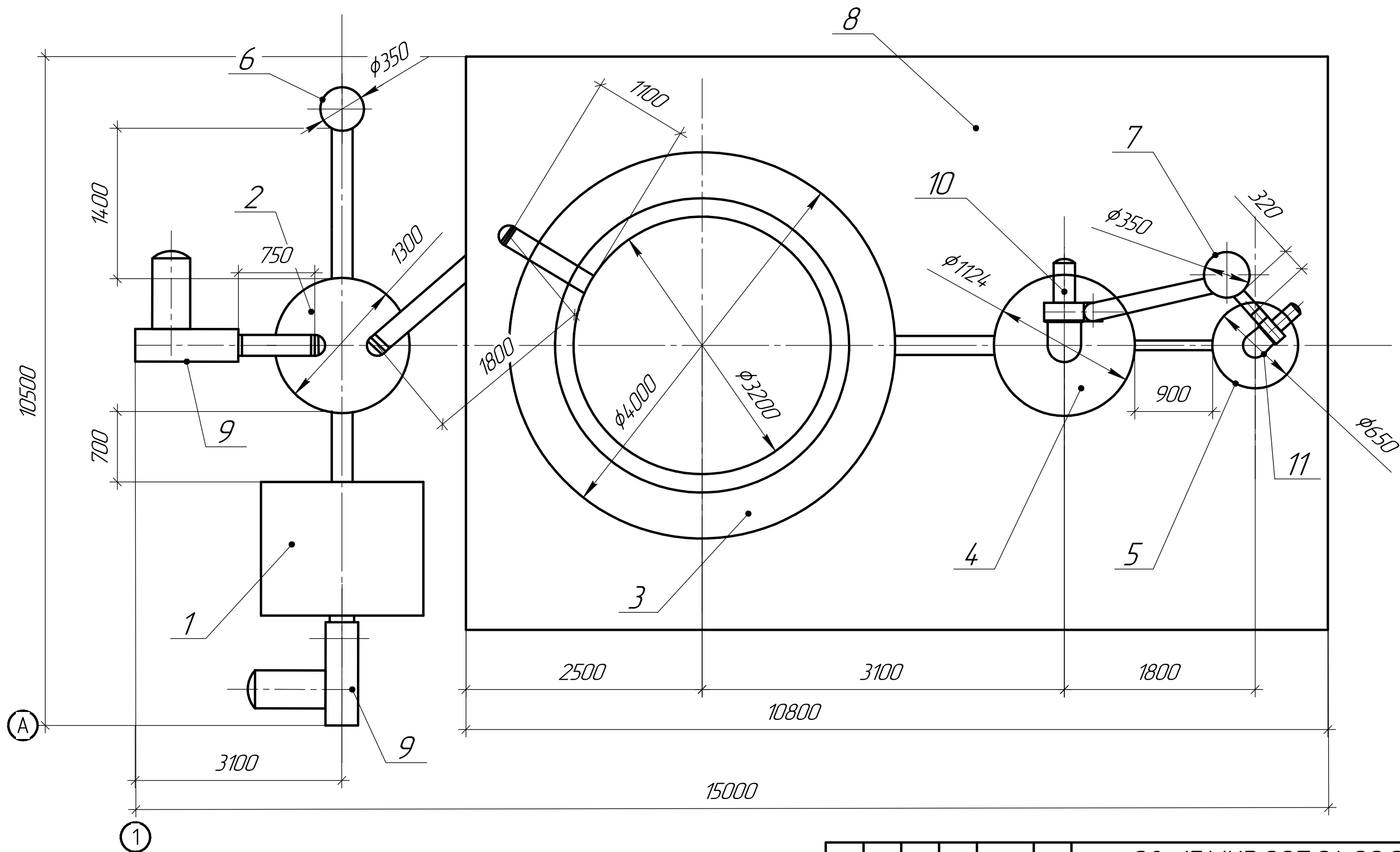
[illegible]

Узгоджено

Взам. інв. №

Підп. та дата

Інв. № ориг.

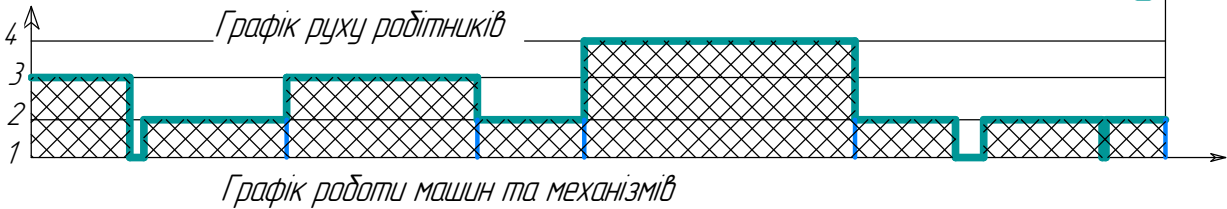


						08-15.МКР.007.04.00.000АР		
						м. Вінниця		
Зм.	Кіл.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	Використання альтернативних видів твердого палива в розпилювальних сушарках	Стадія	Аркуш
Розробив		Присяжний Д.В.					МКР	1
Перевірив		Співак О.Ю.				План сушильного комплексу	ВНТУ, ТЕ-23м	
Т. Контр.								
ОпONENT		Христич О.В.						
Н.Контр.		Співак О.Ю.						
Затвердив		Степанов Д.В.						

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН МОНТАЖУ ДОДАТКОВОГО ОБЛАДНАННЯ В ПОВІТРЯНИЙ ТРАКТ РОЗПИЛЮВАЛЬНОЇ СУШАРКИ

№ з/п	Найменування робіт	Одін. вимір.	Об'єму	Норма часу, год/год	Трудо-міст-кість	Тривалість, дні	К-ть чоловік	Склад ланки	Листопад 2023									
									Ср	Чт	Пт	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Пн	Вт
									1	2	3	6	7	8	9	10	13	14
1	Доставка деталей до місця монтажу та їх складування	т	6640	4,4	3,65	1,22	3	водії і 2 робітники										
2	Розмітка місць прокладання трубопроводу	100 м	0,43	1,64	0,09	0,09	1	монтажник 6 розряду										
3	Монтаж спірального теплообмінника	1 шт	1	32,75	4,09	2,05	2	монтажники 4, 3 розряду										
4	Монтаж вентилятора ВЦ 4-70 №12,5	1 шт	1	4,25	5,3	1,77	3	монтажники 1/4, 2/3 розряду										
5	Монтаж вентилятора ВЦП №6	1 шт	1	22,27	2,78	0,93	3	монтажники 1/4, 2/3 розряду										
6	Монтаж вентилятора ВЦП №3	1 шт	1	18,19	2,27	0,76	3	монтажники 1/4, 2/3 розряду										
7	Монтаж циклона ЦСН-40-650	10 шт	0,1	59,84	0,75	0,38	2	монтажники 4, 3 розряду										
8	Монтаж фільтра повітряного	1 м²	0,75	7,04	0,66	0,33	2	слюсарі-монтажники 4, 3 розряду										
9	Прокладання повітропроводів d320×0,7	100 м²	0,261	265,2	8,62	2,16	4	слюсарі-монтажники 1/5, 1/4, 2/3 розряду										
10	Прокладання повітропроводів d400×0,7	100 м²	0,2	231,2	5,78	1,45	4	слюсарі-монтажники 1/5, 1/4, 2/3 розряду										
11	Прокладання повітропроводів d500×0,7	100 м²	0,015	231,2	0,43	0,11	4	слюсарі-монтажники 1/5, 1/4, 2/3 розряду										
12	Встановлення відводів 90° 320×1	10 шт	0,7	2,07	0,18	0,09	2	слюсарі-монтажники 1/4, 1/3 розряду										
13	Встановлення відводів 90° 400×1	10 шт	0,2	2,07	0,05	0,03	2	слюсарі-монтажники 1/4, 1/3 розряду										
14	Встановлення трітника КР d400/d400 мм	10 шт	0,2	2,07	0,05	0,03	2	слюсарі-монтажники 1/4, 1/3 розряду										
15	Встановлення вставки гнучкої ВЦП-122-43-3	1 м²	0,25	9,78	0,3	0,15	2	слюсарі-монтажники 1/4, 1/3 розряду										
16	Встановлення вставки гнучкої ВЦП-122-43-6	1 м²	0,34	9,78	0,42	0,21	2	слюсарі-монтажники 1/4, 1/3 розряду										
17	Встановлення вставки гнучкої ВГК-12,5	1 м²	0,78	9,78	0,95	0,48	2	слюсарі-монтажники 1/4, 1/3 розряду										
18	Гідравлічне випробування системи	100 м	0,43	8,22	0,44	0,44	1	монтажник 6 розряду										
19	Ізоляція повітропроводів діаметром 320 мм	10 м	2,6	6,62	2,15	1,08	2	теплоізоляційники 1/4, 1/3 розряду										
20	Ізоляція повітропроводів діаметром 400 мм	10 м	1,62	6,62	1,34	0,67	2	теплоізоляційники 1/4, 1/3 розряду										
21	Ізоляція повітропроводів діаметром 500 мм	10 м	0,098	6,62	0,081	0,04	2	теплоізоляційники 1/4, 1/3 розряду										
22	Робоча перевірка системи в цілому і здача в експлуатацію	100 м	0,43	8,22	0,44	0,44	1	монтажник 6 розряду										
23	Повернення допоміжного обладнання на склад	т	0,02	4,4	0,011	0,06	2	водії і робітник										

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ
ГРАФІКУ РУХУ РОБІТНИКІВ



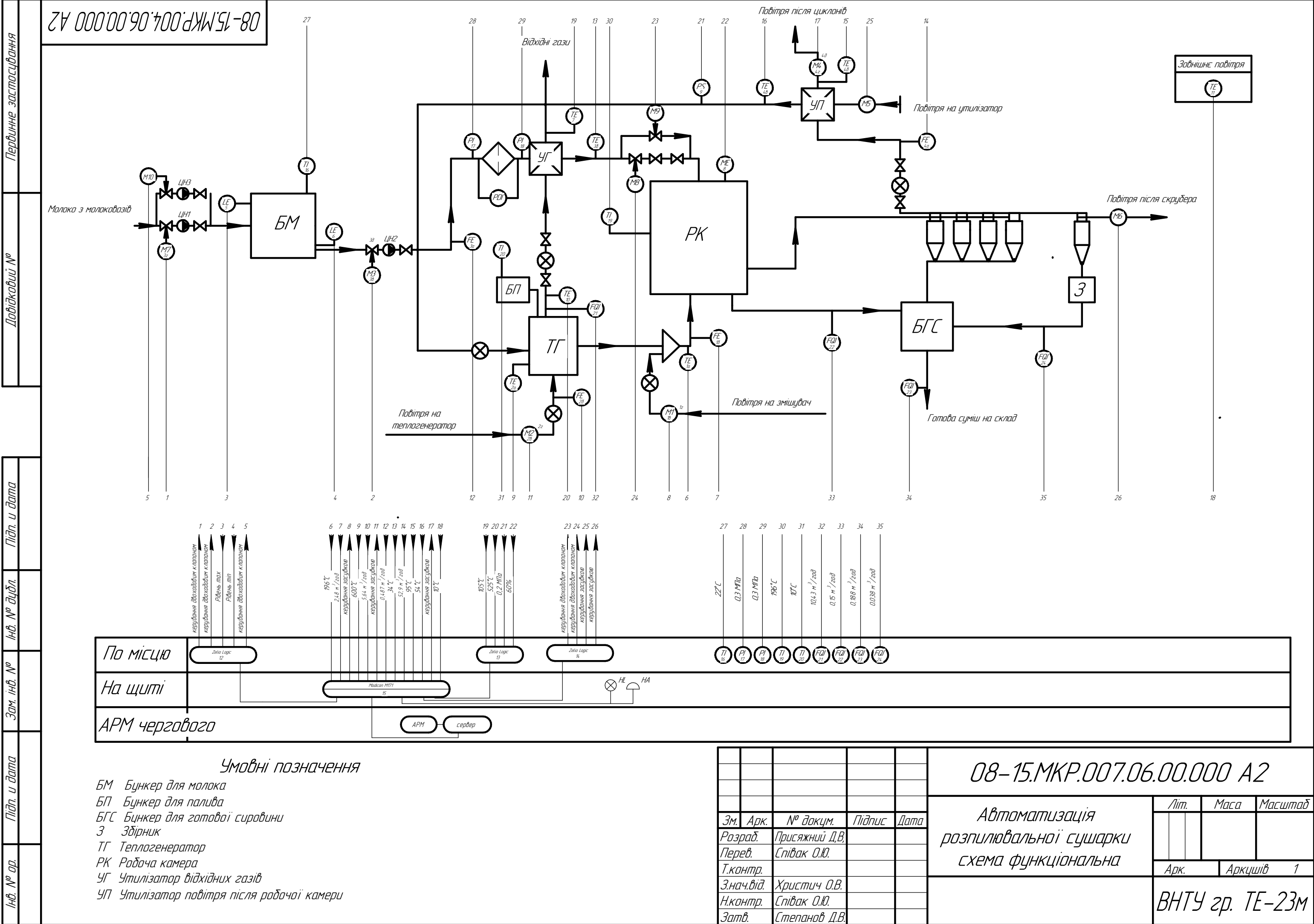
№	Позначення	Формула	Результат	Од. виміру
1	$Q_{заг.}$	Q_1	40,83	
2	$T_{заг.}$	—	15	
3	R_{max}	—	4	
4	$R_{сер.}$	$Q_{заг.}/T_{заг.}$	2,72	
5	$T_{вст.}$	—	2,05	
6	$\pm_1$	$R_{сер.}/R_{max}$	0,68	
7	$\pm_2$	$T_{вст.}/T_{заг.}$	0,14	

Mercedes-Benz Sprinter 313	1,22																	0,06
JSB 531-170																		
Tesla Weld TIG 302																		

						08-15.МКР.007.05.00.000АР		
						м. Вінниця		
Зм.	Кіл.	Арк.	№зак.	Підп.	Дата	Використання альтернативних видів твердого палива в розпилювальних сушарках	Стадія	Аркуш
Розробив	Присяжний Д.В.						МКР	1
Перевірив	Співак О.Ю.							
Т. Контр.								
Опонент	Христич О.В.					Календарний план		ТЕ-23м
Н.Контр.	Співак О.Ю.							
Затвердив	Степанов Д.В.							

Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітка	Перв. примен.	Справ. №	Подп. и дата	Инв. № дцкл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	08-15.МКР.007.06.00.000 А2									
										Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата					
1а	Датчик температури повітря (до 300°C)	1								Розроб.	Присяжний Д.В.				Автоматизація розпилювальної сушарки	Літ.	Аркцш	Аркцшів	
1б	Датчик витрати повітря	1								Перевірів	Співак О.Ю.							1	2
1в	Автоматична заслінка з електроприводом	1								Опонент	Христич О.В.						ВНТУ зр. ТЕ-23м		
2а	Датчик температури (-50...+600°C)	1								Н.контр.	Співак О.Ю.								
2б	Датчик витрати повітря	1								Затв.	Степанов Д.В.								
2в	Автоматична заслінка з електроприводом	1																	
3а	Датчик витрати молока	1																	
3б	Датчик температури молока (-40...+200°C)	1																	
3в	Двоходовий клапан з електроприводом	1																	
4а	Датчик витрати повітря	1																	
4б	Датчик температури повітря (-40...+200°C)	1																	
4в	Датчик температури повітря (-40...+200°C)	1																	
4г	Автоматична заслінка з електроприводом	1																	
5,6	Датчики рівня	2																	
7,10	Датчик температури відхідних газів	2																	
8	Датчик вологості в робочій камері	1																	
9	Датчик тиску	1																	
11	Датчик температури	1																	
		6																	
		1																	
12,13,14	Інтелектуальне реле Zelio logic	3																	
15	Контролер Modicon M171	1																	
16,19,20	Термометр стрілковий біметалічний	3																	
17,18	Манометр технічний відростіючий -0,1...0,4МПа	2																	
21	Витратомір газовий	1																	
22,23,24	Витратомір готової продукції	3																	

Поз. позначення					Найменування					Кіл.					Примітка				
34,39,42, 57					Манометр технічний відростіюкий -0,1...0,4МПа					4					ДА 8008-ВУф				
35, 37, 58					Термометр стрілковий біметалічний 0...+100°C					3					тип 8003-01-80				
36, 40, 41, 51, 53					Манометр технічний відростіюкий -0,1...0,25МПа					5					ДА 8008-ВУф				
44, 48					Манометр технічний відростіюкий -0,1...0,25МПа					2					ДА 8008-ВУф				
45, 55					Манометр технічний відростіюкий -0,1...0,25МПа					2					ДА 8008-ВУф				
46, 52, 56					Термометр стрілковий біметалічний -20...+20°C					3					тип 8003-01-80				
47, 50					Термометр стрілковий біметалічний -20...+20°C					2					тип 8003-01-80				
54, 49					Термометр стрілковий біметалічний 10...+50°C					2					тип 8003-01-80				
59					Манометр технічний відростіюкий 0...0,06МПа					1					ДА 8008-ВУф				
61					Напоромір 0...10кПа					1					ДН 05100				
62					Сигналізатор загазованості електрохімічний CH ₄					1					Seitron RGD MET MP1				
63					Датчик загазованості електрохімічний CO					1					Seitron RGD COO MP1				



Додаток Г (довідниковий)

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ

Аналіз доцільності використання твердого біопалива

Початкові дані

Склад
палива

C=1; □=2; S=3; □=4; N=5; W=6

Параметри
сировини

Gm := 3000

Wn := 51

Wk := 4

Параметри
сушильного
агента

t0 := 10

φ0 := 0.75

t := 65

□RIGIN := 1

Хімічний склад палива

Пелети_дров'яні := 1

Торфобрикет := 2

Вугілля := 3

Дрова := 4

Лушпиння := 5

Солома := 6

Пелети_соняшникові := 7

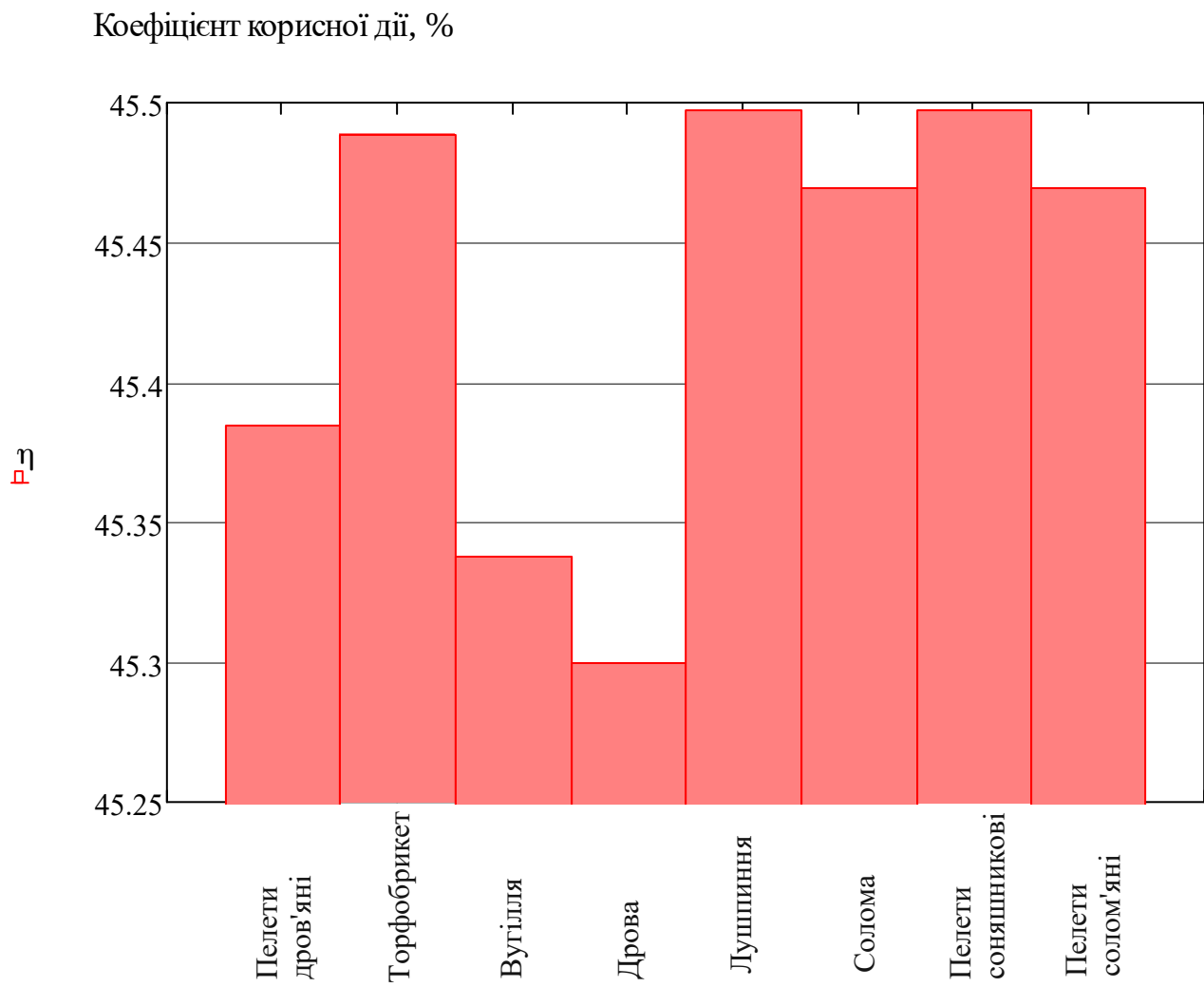
Пелети_соломяні := 8

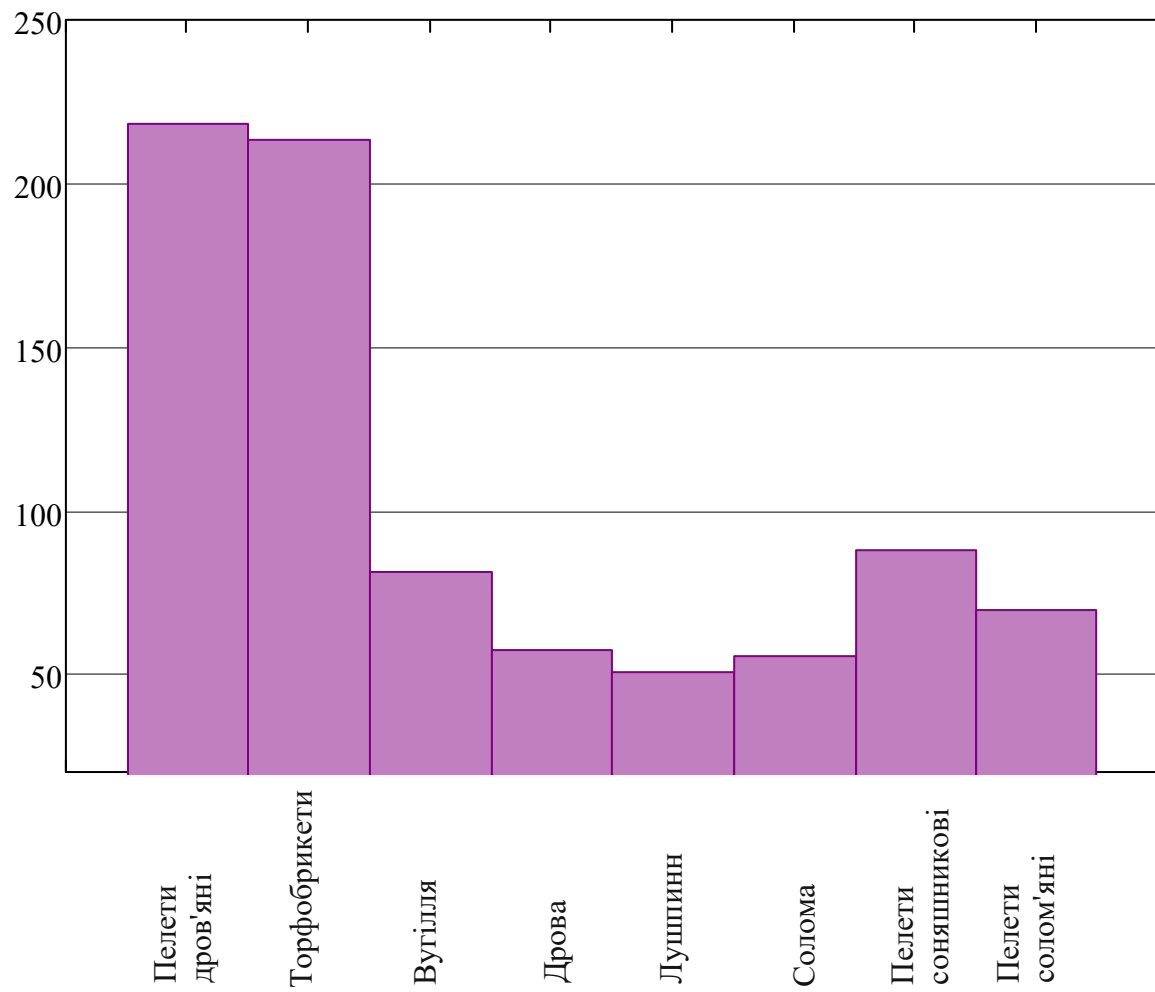
$$S1 := \begin{pmatrix} 42.5 & 4.9 & 0.2 & 34.6 & 0.4 & 15 & 2.4 \\ 28.3 & 6 & 0.2 & 45 & 2.5 & 8 & 10 \\ 74 & 4.4 & 2 & 5.1 & 2.7 & 8 & 4.8 \\ 50 & 4 & 0.2 & 44 & 0.25 & 18 & 1.7 \\ 50 & 6.1 & 0.1 & 36.1 & 0.1 & 7 & 0.6 \\ 45.6 & 5.8 & 0.08 & 42.4 & 0.48 & 35 & 9 \\ 50 & 6.1 & 0.01 & 36.1 & 0.1 & 10 & 2.6 \\ 45.6 & 5.8 & 0 & 42.4 & 0.48 & 10 & 8 \end{pmatrix}$$

Ціна палива

C := S1^{<1>}□ := S1^{<2>}S := S1^{<3>}□ := S1^{<4>}N := S1^{<5>}W := S1^{<6>}A := S1^{<7>}

$$v := \begin{pmatrix} \text{Пелети_дров'яні} \\ \text{Торфобрикет} \\ \text{Вугілля} \\ \text{Дрова} \\ \text{Лушпиння} \\ \text{Солома} \\ \text{Пелети_соняшникові} \\ \text{Пелети_соломяні} \end{pmatrix} \quad \Psi := \begin{pmatrix} 11000 \\ 7500 \\ 7800 \\ 3000 \\ 3200 \\ 2900 \\ 5500 \\ 3800 \end{pmatrix}$$





Додаток Д
(довідниковий)

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ

Початкові дані

ORIGIN := 1

Параметри холодного повітря	$t_x := 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	$d_0 := 0.005$	$h_0 := 21$	$M_r := 29$	<u>КМОЛЬ</u>
Параметри теплоносія	$t_{r1} := 196\text{ }^{\circ}\text{C}$	$d_2 := 0.047$	$h_1 := 210$	$M_n := 18$	<u>КГ</u>
Теплоємності матеріалу	$C_m := 1.717$	$C_v := 4.19$			
Температура сировини на вході	$t_{m1} := 34\text{ }^{\circ}\text{C}$				
Температура сировини на виході	$t_{m2} := 55\text{ }^{\circ}\text{C}$				
Вологість холодного повітря	$\varphi_0 := 60\text{ } \%$				
Вологість вхідного і вихідного теплоносія	$\varphi_1 := 12\text{ } \%$	$\varphi_2 := 20\text{ } \%$			
Густина матеріалу і повітря	$\rho_m := 1027$	$\rho_{cr} := 1.205$	$\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$		
Видатність по сирому продуктові	$G_m := 500\text{ кг/год}$				
Видатність готового продукту	$G_p := 25.8\text{ кг/год}$				
Початкова вологість сировини	$w_1 := 50\text{ } \%$	$\omega_1 := 0.5$			
Кінцева вологість сировини	$w_2 := 15\text{ } \%$	$\omega_2 := 0.15$			
Критична вологість	$\omega_{kp} := 0.08$				
Динамічна в'язкість водяної пари і повітря	$\mu_p := 13.4 \cdot 10^{-6}$	$\mu_{cr} := 23.2 \cdot 10^{-6}$	$\frac{\text{Па}}{\text{с}}$		
Теплоємність пари і повітря	$C_n := 2.956$	$C_{cr} := 1.005$			
Діаметр і висота циліндричної частини башти	$D := 0.8$	$H := 0.09$	<u>М</u>		
Діаметр отвору виходу	$D_0 := 0.32$	<u>М</u>			
Кількість заходів розпилювального диска	$n := 3$				
Товщина стінки камери і товщина теплової ізоляції	$\delta_{ct} := 0.003$	$\delta_{iz} := 0.025$	<u>М</u>		
Температура на зовнішній поверхні камери	$t_{zn} := 40$				
Теплопровідність стінки камери та теплової ізоляції	$\lambda_c := 50$	$\lambda_{iz} := 0.116$			
Втрати напору в циклоні, мультициклоні, у фільтрі	$\Delta P_{\text{ц}} := 600$	$\Delta P_{\text{мц}} := 500$	$\Delta P_{\text{ф}} := 100$	<u>Па</u>	

Збурюючим фактором є швидкість суміші на вході в розпилювач

$$V_1 := (10 \ 20 \ 30 \ 40 \ 50 \ 60 \ 70 \ 80 \ 90 \ 100 \ 110 \ 120 \ 130 \ 140 \ 150)$$

$$V_1 := V_1^T$$

РОЗРАХУНОК

Температура теплоносія на виході

$$t_{r2} := t_{m2} + 20$$

Кількість випарованої вологи

$$W := G_m \cdot (\omega_1 - \omega_2) = 175$$

Питому теплові втрати

$$\text{На нагрівання сировини} \quad q_m := \frac{G_m \cdot (C_m + C_v \cdot \omega_2) \cdot (t_{m2} - t_{m1})}{W} = 140.73$$

$$a_z := 4187$$

На видалення зв'язаної вологи

$$q_z := \left| \frac{a_z \cdot ((\omega_{kp} - \omega_2)^2)}{2 \cdot (\omega_1 - \omega_2)} \right| = 343.932$$

Приймаємо попередньо

$$q_5 := 7$$

Відхилення процесу від теоретичного

$$\Delta := C_v \cdot t_{m1} - (q_m + q_z + q_5) = -349.202$$

Питома витрата теплоти

$$q := \frac{h_1 - h_0}{d_2 - d_0} = 4.5 \times 10^3$$

Загальна витрата теплоти

$$Q := q \cdot W = 787500$$

Питома витрата повітря

$$l := \frac{1}{d_2 - d_0}$$

Повна витрата повітря

$$L := l \cdot W = 4167$$

Середня температура матеріалу

$$t_m := \frac{t_{m1} + t_{m2}}{2}$$

Середня температура теплоносія $t_r := \frac{t_{r1} + t_{r2}}{2} = 135.5$

Середній вологовміст теплоносія $d_{cp} := \frac{d_0 + d_2}{2} = 0.026$

Густина суміші $\rho_{cm} := \frac{273}{(273 + t_r)} \cdot \left[\rho_{cr} \cdot (1 + d_{cp}) \cdot \left(1 + d_{cp} \cdot \frac{M_r}{M_n} \right) \right] = 0.861$

$x := d_{cp} \cdot (1 + d_{cp})$

Коефіцієнт динамічної в'язкості $\mu_{cm} := \left[\frac{x}{\mu_p} + \frac{(1 - x)}{\mu_{cr}} \right]^{-1} = 2.276 \times 10^{-5}$

Теплоємність суміші $C_{cm} := C_n \cdot x + C_{cr} \cdot (1 - x) = 1.057$

Теплопровідність суміші $\lambda_{cm} := \frac{1.72 \cdot C_{cm} \cdot \mu_{cm} \cdot 10^3}{1.4} = 0.03$

Кінематична в'язкість суміші $\nu_{cm} := \frac{\mu_{cm}}{\rho_{cm}}$

Температуропровідність суміші $a_{cm} := \frac{\lambda_{cm}}{\rho_{cm} \cdot C_{cm} \cdot 10^3} = 3.248 \times 10^{-5}$

Критерій Прандтля для суміші $Pr_{cm} := \frac{\nu_{cm}}{a_{cm}} = 0.814$

Обємна густина матеріалу $\rho_v := \rho_m \cdot (1 + \omega_2) = 1181$

Густина на вході в сушарку $\rho_{m1} := \rho_v \cdot (1 + \omega_1) = 1772$

За визначальний розмір беремо середній діаметр краплі молока в сушарці $d_e := 0.0005 \text{ м}$

Приведена густина $\rho := \frac{\rho_{m1} - \rho_{cm}}{\rho_{cm}}$

$$g_v := 9.82$$

Критерій Архімеда

$$Ar := \frac{\rho \cdot g \cdot d_e^3 \cdot \rho_{cm}^2}{\mu_{cm}^2} = 3.613 \times 10^3$$

Критичний критерій Рейнольдса

$$Re_{kp} := 0.29 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{0.64} \cdot \left(\frac{D}{d_e}\right)^{1.3} \cdot Ar^{0.6} = 1.43 \times 10^5$$

Критична швидкість витікання теплоносія

$$v_{kp} := \frac{Re_{kp} \cdot \nu_{cm}}{H} = 41.991$$

Ширина камери

$$b := \frac{L \cdot (1 + d_0)}{3600 \rho_{cm} \cdot V_1 \cdot H}$$

$$G_1 := G_m \cdot (1 + \omega_1)$$

$$G_2 := G_m \cdot (1 + \omega_2)$$

Масова концентрація дисперсної фази

$$\theta := \frac{G_1 + G_2}{2 \cdot L} = 0.159$$

$$\Delta t := t_{zn} - t_x = 30$$

Внутрішній діаметр сушарки

$$D_1 := D - 2 \cdot \delta_{ct}$$

Критерій Рейнольдса

$$Re_1 := \frac{V_1 \cdot D_1}{\nu_{cm}}$$

Поправка на ділянку гідродинамічної стабілізації потоку

$$\epsilon_1 := 0.6 \cdot \frac{1 + 2.5 \cdot H \cdot (Re_1 \cdot D_1)^{-1}}{\left(\frac{H}{Re_1 \cdot D_1}\right)^{0.07}}$$

Коефіцієнт тепловіддачі в сушарці

$$N := 15$$

$$\alpha_1 := \begin{array}{|l} \text{for } i \in 1..N \\ \quad \begin{array}{|l} \overrightarrow{Nu}_{1_i} \leftarrow 1.4 \cdot \left(\frac{\overrightarrow{Re}_{1_i} \cdot D_1}{L} \right)^{0.4} \cdot Pr_{cm}^{0.33} \cdot \epsilon_{l_i} \text{ if } \overrightarrow{Re}_{1_i} < 2300 \\ \overrightarrow{Nu}_{1_i} \leftarrow 0.008 \left(\overrightarrow{Re}_{1_i} \right)^{0.9} \cdot Pr_{cm}^{0.43} \cdot \epsilon_{l_i} \text{ if } 2300 \leq \overrightarrow{Re}_{1_i} \leq 10000 \\ \overrightarrow{Nu}_{1_i} \leftarrow 0.023 \left(\overrightarrow{Re}_{1_i} \right)^{0.8} \cdot Pr_{cm}^{0.43} \cdot \epsilon_{l_i} \text{ otherwise} \\ \alpha_{1_i} \leftarrow \frac{\overrightarrow{Nu}_{1_i} \cdot \lambda_{cm}}{D_1} \\ \alpha_1 \end{array} \\ \alpha_1 \end{array}$$

Зовнішній діаметр корпусу з врахуванням теплової ізоляції

$$D_2 := D + 2 \cdot \delta_{iz}$$

Коефіцієнт термічного розширення повітря

$$\beta := \frac{1}{273 + t_x}$$

$$Pr_{\Pi} := 0.701$$

$$\lambda_{\Pi} := 0.0251$$

$$\nu_{\Pi} := 14.16 \cdot 10^{-6}$$

$$hh := 3.48$$

Критерій Релея

$$Ra := \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot hh^3}{\nu_{\Pi}^2} \cdot Pr_{\Pi} = 1.534 \times 10^{11}$$

Критерій Нуссельта для вільної конвекції

$$Nu_2 := 0.15 \cdot Ra^{0.333}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої стінки сушарки в навколишнє середовище

$$\alpha_2 := \frac{Nu_2 \cdot \lambda_{\Pi}}{hh} = 5.742$$

Коефіцієнт теплопередачі через стінку сушарки

$$k := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ct}}{\lambda_c} + \frac{\delta_{iz}}{\lambda_{iz}} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Поверхня теплообміну $F := \pi \cdot D_2 \cdot \left(b + \frac{D}{2}\right)$

Розрахункові втрати теплоти в навколишнє середовище

$$q_{5p} := \frac{\vec{k} \cdot \vec{F} \cdot [0.5 \cdot (t_{r1} - t_{zn}) - t_x]}{W} = 28.409$$

Кінетична енергія теплоносія при критичній швидкості витікання

$$E_{kp} := \frac{L \cdot (1 + d_0) \cdot v_{kp}^2}{2 \cdot 3600} = 1.026 \times 10^3$$

$$A := 2.65$$

Утримуюча здатність камери $G_{kp} := A \cdot 10^{-3} \cdot E_{kp} \cdot D_1^{-0.55} \cdot n^{0.15} = 3.638$

маса краплі молока $m := 0.113 \cdot 10^{-3}$

Утримуюча здатність камери при робочій швидкості

$$G_p := G_{kp} \cdot \left[1 + 0.9 \cdot \left(\frac{v_{kp}}{V_1} \right)^{2.5} \cdot m^{0.55} \cdot \left(\frac{v_{kp}}{V_1} \right) \right] = 4.117$$

Тривалість перебування матеріалу в сушарці $\tau := \frac{2 \cdot G_p \cdot 3600}{G_1 + G_2} = 22.4$

Критичний критерій Рейнольдса в тангенціальному каналі розпилювача

$$Re_{k_{kp}} := 0.29 \cdot \left(\frac{D_1}{H} \right)^{0.36} \cdot \left(\frac{D}{d_e} \right)^{0.33} \cdot Ar^{0.6} = 988.342$$

Критерій Рейнольдса за швидкістю теплоносія в сушарці

$$Re_c := \frac{V_1 \cdot d_e}{\nu_{cm}}$$

Критерій Нуссельта для міжфазного теплообміну

$$Nu_f := \left[0.047 \cdot Re_c \cdot Ar^{-0.1} \cdot \left(\frac{d_e}{D_1} \right)^{0.33} \right] \cdot \left(\frac{H}{D_1} \right)^{0.15} \cdot \left(\frac{G_p}{G_{kp}} \right)^{-0.6}$$

Коефіцієнт міжфазного теплообміну

$$\alpha_f := \frac{Nu_f \cdot \lambda_{cm}}{d_e}$$

Питома поверхня дисперсної фази

$$f := 1.2$$

$$S := \frac{6 \cdot f}{d_e} = 1.44 \times 10^4$$

Питома витрата повітря

$$g_{cm} := \frac{L}{\tau_c} = 8333$$

Тривалість сушіння матеріалу

$$\tau_c := \frac{g_{cm} \cdot C_{cm} \cdot \rho_v \cdot 10^3 \cdot (t_{r1} - t_{r2})}{2\alpha_f \cdot S \cdot (t_{r2} - t_{m2})} =$$

	1
1	160.375
2	80.187
3	53.458
4	40.094
5	32.075
6	26.729
7	22.911
8	20.047
9	17.819
10	16.037
11	14.58
12	13.365
13	12.337
14	11.455
15	10.692

Коефіцієнт аеродинамічного опору камери

$$\xi_c := (1 + 0.6 \cdot m) \cdot \left(\frac{b}{D_1} \right)^{0.35} \cdot \left(\frac{D_0}{D} \right)^{-0.2} \cdot \left[90 \cdot \left[\left(\frac{H}{D_1} \right) + 4.4 \cdot e^{-4.6 \cdot D} \right] \right]$$

$$\xi_{cm} := \frac{\max(\xi_c) + \min(\xi_c)}{2}$$

Місцеві опори, приймаємо

$$\xi_m := 1.5$$

Гідравлічний опір камери

$$\Delta P_{\Gamma} := \frac{(\xi_m + \vec{\xi}_c) \cdot \rho_{cm} \cdot V_1^2}{2}$$

Загальні втрати напору

$$\Delta P := \Delta P_{\Gamma} + \Delta P_{\Pi} + \Delta P_{\text{мц}} + \Delta P_{\phi}$$

Розрахунковий напір нагнітальних машин

$$H_B := 1.1 \cdot \Delta P$$

Приймаємо ККД вентилятора і привода

$$\eta_B := 0.7 \quad \eta_{\text{пр}} := 0.95$$

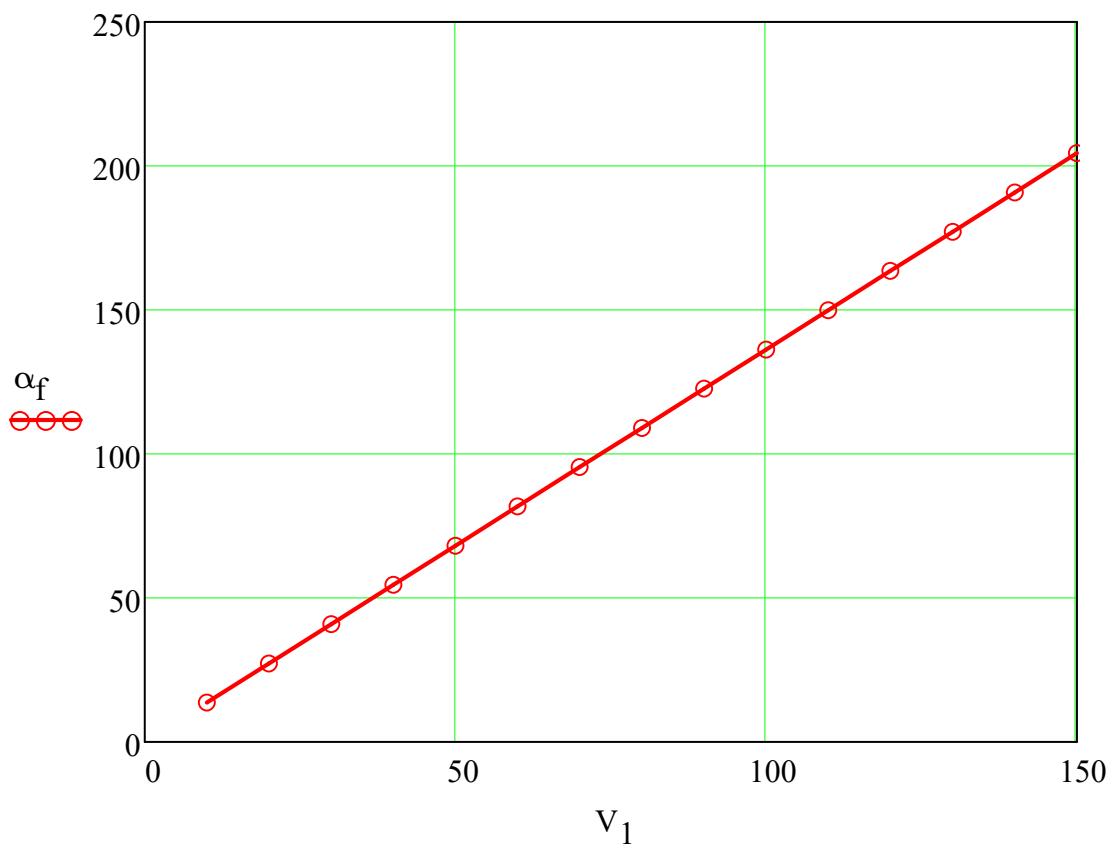
Необхідна потужність привода вентилятора

$$N_B := \frac{L \cdot H_B}{3600 \cdot \rho_{cm} \cdot \eta_B \cdot \eta_{\text{пр}}}$$

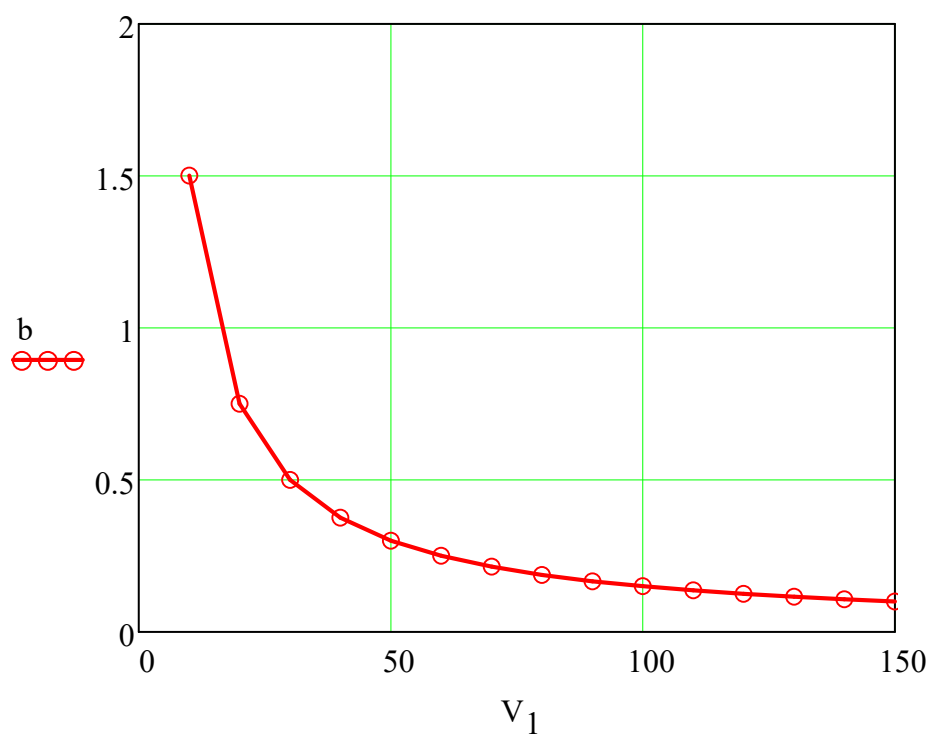
Вплив швидкості суміші на міжфазний коефіцієнт тепловіддачі

$$C := \text{line}(V_1, \alpha_f) \quad C = \begin{pmatrix} -9.095 \times 10^{-14} \\ 1.363 \end{pmatrix} \quad \alpha(V_1) := 4.347 + 1.378 \cdot V_1$$

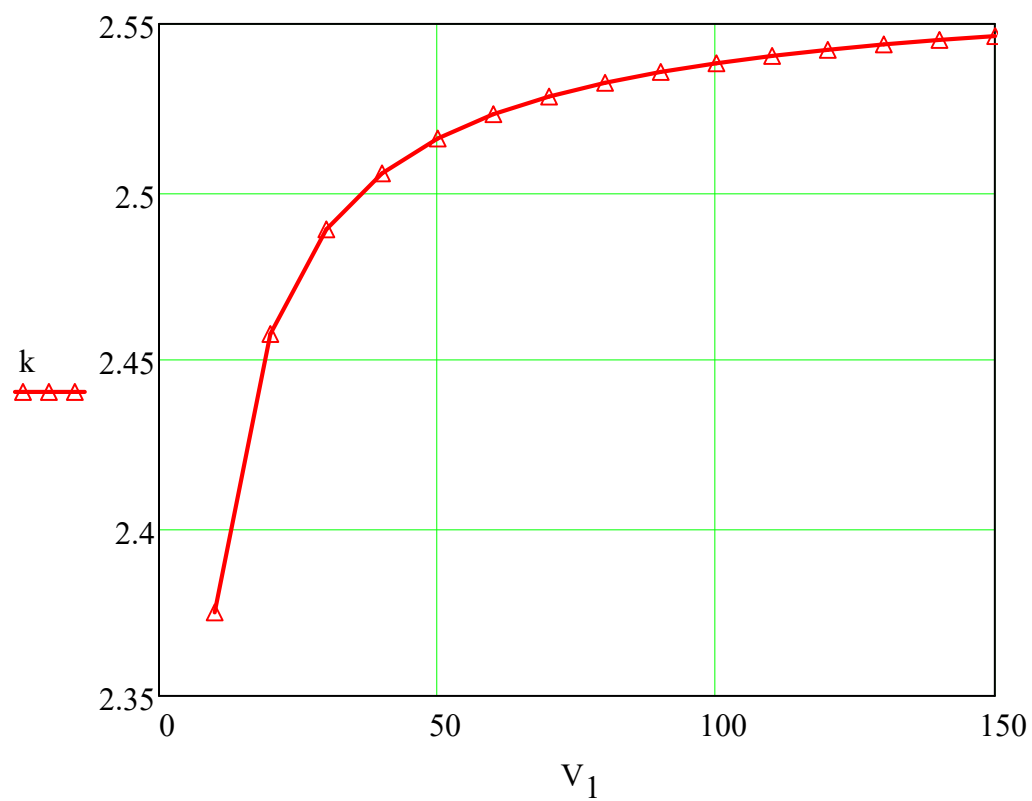
$$\text{corr}(\alpha(V_1), V_1) = 1$$

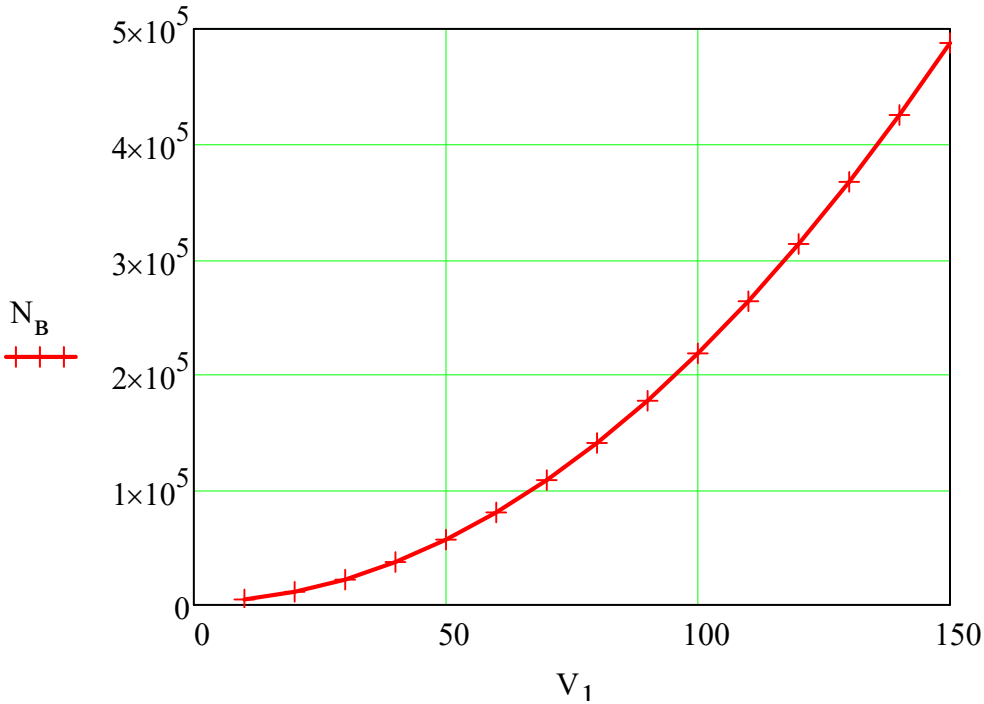


На ширину камери



На коефіцієнт теплопередачі





на час сушіння

