

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Інститут Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад.
І.С.Гулого
Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки**

«До захисту в ЕК»
Директор інституту
_____ Блаженко С.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

« ___ » _____ 2021 р.

«До захисту допущено»
В.о. завідувача кафедри
_____ Петренко В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

« ___ » _____ 2021 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності _____ 144 Теплоенергетика _____
(код та назва спеціальності)
освітньо-професійної програми
_____ Теплоенергетика та енергоефективні технології _____
на тему: Розроблення методу та схеми охолодження соняшникової крупки
_____ для ЗАТ «Пологівський ОЕЗ» _____

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ЗТЕ-2М

_____ Візерський Вадим Анатолійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник к.т.н., проф. Масліков Михайло Олександрович _____
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Рецензент _____
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень із праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Здобувач _____
(підпис)

Київ – 2021 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім.акад. І.С.Гулого
Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 144 Теплоенергетика

(код і назва)

Освітньо-професійна програма Теплоенергетика та енергоефективні технології

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри **ТЕХТ**

проф. Василенко С.М.

“10” листопада 2020 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Візерського Вадима Анатолійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення методу та схеми охолодження соняшникової крупки для ЗАТ «Пологівський ОЕЗ»,

керівник роботи - Масліков Михайло Олександрович, к.т.н.професор

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “09”11.2020 року № 935-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 01.02.2021 року

3. Вихідні дані до роботи $G_{кр}=500$ т/доб $t_{жм}=125$ °С $t_{кр1}=102$ °С $t_{кр2}=70$ °С

$t_{кр3}=50$ °С $c_{кр}=0.4$ ккал/кг·К $t_{пов1}=28$ °С $\phi_{пов}=60$ % $c_{пов}=1,018$ кДж/к·К

$\rho_{пов}=1.177$ кг/м³ $f_{пов}=1$ м² $b=0.5$ м $L_1=60$ м $h_1=0.3$ м $L_3=50$ м $L_2=15$ м

$h_2=0.3$ м $\delta_{ст}=0.06$ м $\lambda_{ст}=50$ Вт/м·К $H_{кр}=0.08$ м $H_{лоп}=0.05$ м $\rho_{кр}=800$ кг/м³

$w=6$ % $w_{тр}=26$ м/хв

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналітичний огляд літератури. Розроблення математичної моделі та комп'ютерна програма для розрахунку охолодження крупки до екстрактора. Результати розрахунку системи охолодження крупки. Заходи по зменшенню температури крупки під час її транспортування до екстрактора.

5. Перелік графічного матеріалу

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	5
ВСТУП.....	7
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	8
1.1. Теплотехнологічні аспекти виробництва олії.....	8
1.2. Схема переробки олійної сировини.....	18
1.3. Методи та обладнання для охолодження крупки перед екстракцією.....	21
1.4. Висновки. Мета і задачі дослідження.....	22
2. РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА КОМП'ЮТЕРНА ПРОГРАМА ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ОХОЛОДЖЕННЯ КРУПКИ ДО ЕКСТРАКТОРА.....	24
2.1. Аналіз існуючого варіанту охолодження крупки до екстрактора.....	24
2.2. Методика розрахунку системи охолодження крупки і її елементів.....	25
3. РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ КРУПКИ.....	40
3.1. Дослідження ефективності охолодження стружки за допомогою проведення обчислювального експерименту з використанням розробленої комп'ютерної моделі системи охолодження.....	40
3.2. Основні результати розрахунку рекомендовного варіанту системи охолодження соняшникової крупки.....	74
3.3. Аналіз результатів дослідження.....	76
4. ЗАХОДИ ПО ЗМЕНШЕННЮ ТЕМПЕРАТУРИ КРУПКИ ПІД ЧАС ЇЇ ТРАНСПОРТУВАННЯ ДО ЕКСТРАКТОРА.....	83
5. ВИСНОВКИ.....	84
6. СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	85
7. ДОДАТКИ.....	86

АНОТАЦІЯ

Розроблена система охолодження соняшникової крупки до подавання її в екстрактор олієекстракційного заводу, яка забезпечує можливість підтримання регламентної температури крупки і усуває перевитрату розчинника незалежно від температури навколишнього середовища. Для цього: проведений огляд та аналіз літератури за темою; розроблена комп'ютерна програма, за допомогою якої проведений обчислювальний експеримент і вибраний оптимальний спосіб охолодження крупки; розраховані конструктивні параметри та гідравлічний опір системи повітряного охолодження; визначена витрату повітря на охолодження; розраховані оптимальні розміри орєбрення.

Ключові слова: Охолодження, соняшникова олія, олійно-жирова промисловість, олієекстракційний завод, орєбрення, обдування.

ANNOTATION

Was developed a cooling system for sunflower groats before feeding it to the extractor of the extraction plant. It provides the ability to maintain the regular temperature of the groats and eliminates overexpenditure solvent regardless of ambient temperature.

For this:

- was performed review and analysis of literature on the topic;
- was developed a computer program, with her help was performed a computational experiment and selected the optimal method of cooling the groats;
- were calculated design parameters and hydraulic resistance of the air cooling system;
- was determined the air flow rate for cooling;
- were calculated the optimal finning dimensions.

Keywords: Cooling, sunflower oil, oil and fat industry, oil extraction plant, ribbing, blowing.

ВСТУП

Для екстракції олії з крупки на Пологівському ОЕЗ застосовують розчинник гексановий марки П1-63/75 ТУ У 14277403. 001-97. За технологічним регламентом крупка на вході в екстрактор повинна мати температуру 45 – 55 °С. Зменшення її призводить до погіршення екстракція і втрати олії, а збільшення може призводити до збільшення втрат розчинника, температура початку перегонки якого понад 63 °С.

За даними фахівців підприємства мають місце перевищення регламентної температури крупки і, як наслідок збільшення втрат розчинника.

Для вибору оптимального способу охолодження крупки під час її транспортування до екстрактора розроблені математична модель та комп'ютерна програма, за допомогою якої проведено обчислювальний експеримент. Охолодження крупки внаслідок прямого обдування її охолоджуючим повітрям не розглядалися через недоліки такого способу охолодження. Для зменшення температури вибрано спосіб інтенсифікації теплопередачі від крупки до зовнішнього повітря за допомогою оребрення дна для однієї частини транспортерів та оребрення дна і обдування його повітрям для іншої частини транспортерів.

Розроблена схема охолодження транспортерів крупки, знайдені оптимальні розміри оребрення, вибрана система повітряного охолодження.

Рекомендовані до впровадження заходи по зменшенню температури крупки під час її транспортування до екстрактора дозволяють витримувати передбачений технологічним регламентом температурний режим за середньої температури найжаркішого місяця теплого періоду року.

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Теплотехнологічні аспекти виробництва олії

1.1.1. Отримання, зберігання та оброблення насіння.

Сировиною для вироблення є насамперед насіння різних олійних рослин: кукурудзи, льону, рицини, ріпаку, соєві боби. У світі також поширені оливкова, пальмова олії. В Україні найчастіше використовують насіння соняшника (містить близько 45% олії), а також кукурудзи, льону, рицини, ріпаку, соєві боби. У світі також поширені оливкова, пальмова олії. [3]

Насіння приймають від сільськогосподарських виробників, очищують від домішок, підсушують (за потреби) і подають на зберігання. Його зберігають у силосах елеваторів – циліндричних місткостях діаметром 5...7 м. і заввишки 30...40 м. Під час зберігання насіння насипом внаслідок біологічних процесів відбувається виділення теплоти (самозігрівання). Температура може підвищитися до 55...60°C, що призведе до псування насіння. Для запобігання цьому використовують активне вентилявання – продування силосів повітрям, охолодженим до 1...2°C. Таким способом насіння охолоджують до 5°C, що дає змогу подовжити термін зберігання. Недоліком систем активного вентилявання є значні витрати електроенергії вентиляторами та холодильними машинами.

Для очищення насіння від сміття використовують бурат – це два циліндричних сита, що обертаються, розташовані одне всередині іншого. Забруднене насіння подається всередину внутрішнього сита. Під час обертання насіння просіюється так, що очищене насіння залишається між ситами.

Очищення насіння від сміттєвих домішок проводиться спеціальними машинами з урахуванням геометричних розмірів та аеродинамічних властивостей, для видалення металевих домішок використовують феромагнітне очищення за допомогою електромагнітних сепараторів різних марок.

Для того, щоб видалити зайву вологу і зробити лушпиння насінини крихким (це надалі полегшить очищення від лушпиння), насіння підсушують гарячим повітрям, що підігрівають у парових калориферах. Це – практично єдина операція на цій стадії, де споживається теплова енергія.[3]

1.1.2. Отримання соняшникової олії

Серед різних технологій отримання рослинної олії важливе місце займає механічний спосіб отримання олії. В основі механічного способу лежить пресування подрібненої маси механічним шляхом. Зараз перевагу віддають пресуванню в шнекових пресах, а не в гідравлічних, тому, що пресування в гідравлічних пресах - це процес періодичної дії і занадто трудомісткий.

Підсушування насіння проводять за умови якщо його вологість на рівні критичної 7 – 10 % при температурі не більше 10 °С або більша. Оптимальною вологістю насіння олійних культур перед лущенням вважається така, яка на 2% менша від критичної.

Після лущення рушанка обробляється в сепараторних та пневмоочисних машинах з метою відокремлення ядра від плодових та насінних оболонок з мінімальними втратами олії. Для цього використовують аспіраційні та віяльні машини, які розділяють рушанку на фракції: ядро ціле, ядро подріблене, ціле та недолущене насіння. Останні дві фракції направляються на повторне обрушування.

Наступним етапом є подрібнення ядра, воно суттєво впливає на вихід олії і продуктивність обладнання. Головне завдання цього процесу полягає у максимальному зруйнуванні клітинної структури. Для цього соняшникове насіння кілька разів пропускають крізь вальцеві станки. Найкраще руйнування клітинної структури відбувається за його вологості 5,5–6,0%. Подрібнене ядро (м'ятку) не можна довго зберігати тому, що ферменти ліпідів швидко розщеплюють жири, гідролізуючи їх на гліцерин та вільні жирні кислоти. Від цього погіршуються харчові і технологічні властивості олії.

До пресу надходить мезга, тривалість підсмажування 40–45 хвилин. Пресування проходить в шнекових пресах різного типу з виходом олії 35–40%. Олія після пресування містить тверді та колоїдні домішки, зокрема білкові речовини, фосфатиди, жиророзчинні вітаміни, які зменшують тривалість зберігання олії.

Для очищення олії використовують різні способи: відстоювання, центрифугування та фільтрування. Очищену олію зберігають в щільно закритих емкостях, без доступу повітря, вологи та світла. [1]

В основі екстрагування покладено оброблення спеціально підготовленої олійної сировини органічними розчинниками. Макуха з пресового цеху після попереднього видалення олії потрапляє на дробарки (дискові та молоткові), де перетворюється на крупку. В деяких схемах олійний матеріал у вигляді крупки направляється прямо в екстрактор. Форма частинок матеріалу у вигляді листочка (пластинки матеріалу товщиною приблизно 0,4 мм) дозволяє мати в екстракторах легкопроникну розчинником масу матеріалу. Для отримання олійного матеріалу у вигляді листка крупку направляють на плющильні вальці [1].

З-під плющильних вальців листок направляється в екстрактор. Екстрактор є основним апаратом екстракційного цеху, він призначений для видалення олії в розчинник при протиточному контактуванні. У якості екстракційного розчинника використовують бензин (температура кипіння при атмосферному тиску 65–68°C). Розчин олії в бензині називається місцелою, а знежирений матеріал (залишкова олійність приблизно 1%) – шротом. Крім олії в шроті міститься бензин (до 40%), для видалення якого шрот, що виходить із екстрактора направляється у випарник (тостер). Шляхом подавання пари у випарнику відганяється бензин, який у вигляді пари в суміші з водяною парою потрапляє в конденсатор, а шрот після охолодження і, якщо необхідно, зволоження відправляється на склад шроту для відвантаження в якості цінного кормового продукту.

Місцела, яка виходить з екстрактора, також обробляється з метою розділення на олію та бензин. В деяких екстракторах (вертикальному шнековому) місцела виносить деяку кількість дрібної і твердої фази, яка відфільтровується до подавання на розділення шляхом дистиляції.

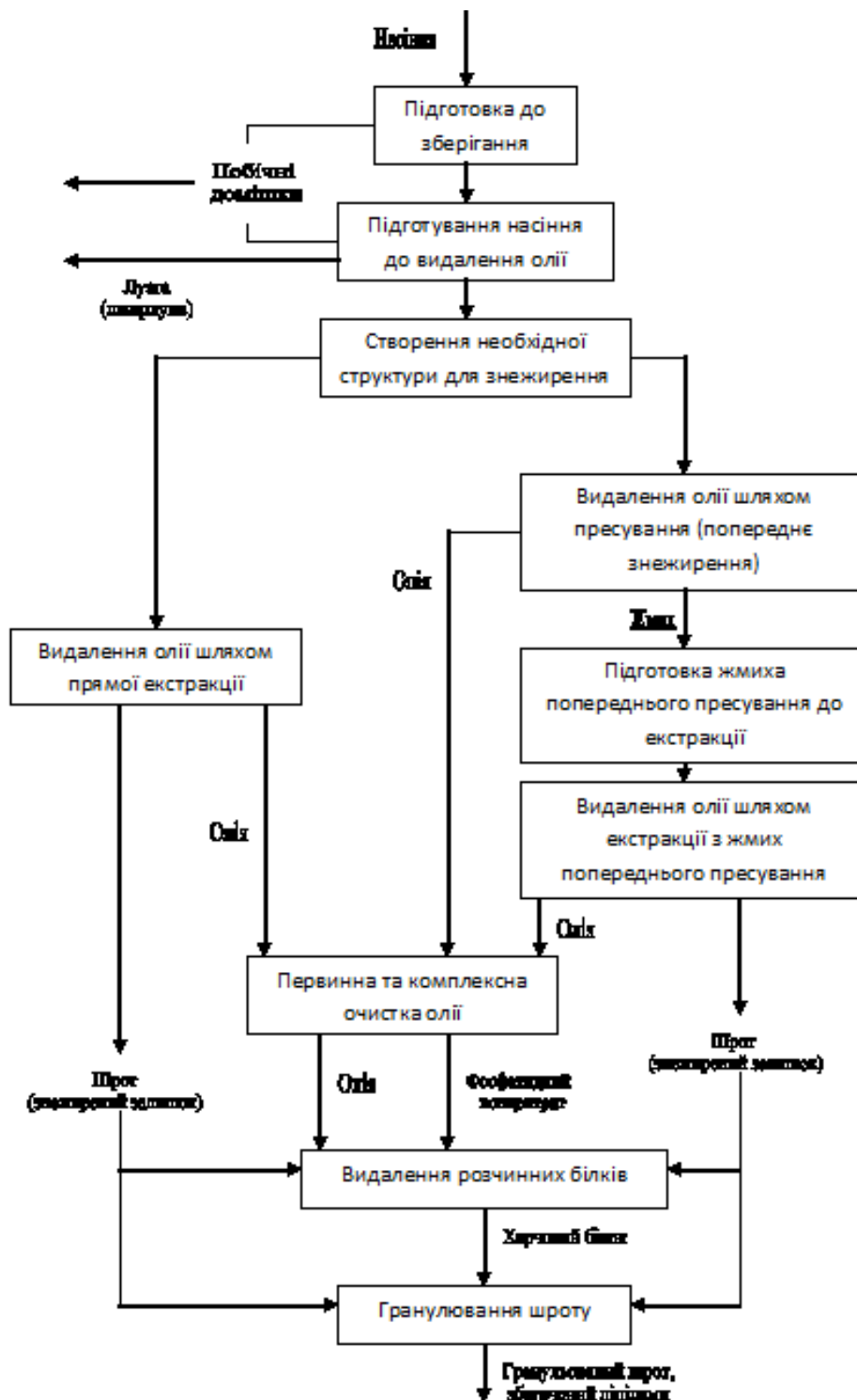


Рис. 1.1. Послідовність операцій переробки олійної сировини

Дистиляція (теплова відгонка бензину від олії) проводиться в дві стадії. На стадії проміжної дистиляції під дією тепла, підведеного з парою, відбувається нагрівання місцели до кипіння та випаровування бензину. Пари бензину виходять з апарату на конденсацію, а місцела потрапляє в кінцевий дистилятор, де і проходить повне видалення бензину з олії. Кінцева дистиляція проводиться із застосуванням вакууму та подаванням «гострої» пари. Суміш парів бензину та водяної пари виходить з кінцевого дистилятора на конденсацію, а отримана в кінцевому дистиляторі олія виводиться з нього, охолоджується, зважується та направляється в олієсховище. [1]

1.1.3. Екстрагування

1.1.3.1. Сутність і межі застосування процесу.

Екстрагування – вибіркоче добування одного або декількох компонентів із розчину або твердого тіла за допомогою розчинника, що називається екстрагентом. У екстрагенті добре розчиняються тільки компоненти, що добуваються і значно гірше або практично зовсім не розчинюються інші компоненти, тому розчинник називається вибіркочим або селективним. У харчовій технології як екстрагенти застосовують воду, спирт і водно-спиртові суміші, зріджений вуглекислий газ, жир і різноманітні органічні розчинники - чотирхлористий вуглець, дихлоретан, бензин та ін. [2]

За агрегатним станом розрізняють екстрагування у системі тверде тіло-рідина і рідина-рідина. Механізм процесу екстрагування з твердих тіл і застосовувана для цієї мети апаратура істотно відрізняються від екстрагування у системі рідина- рідина, і тому ці два процеси розглядаються окремо.

У харчовій технології значне розповсюдження має екстрагування у системі тверде тіло-рідина. Для деяких харчових виробництв екстрагування є основним технологічним процесом.

До них відносяться, наприклад:

- добування цукрози з бурякової стружки у цукровій промисловості (екстрагент - вода);

- екстрагування олії з насіння соняшника, барвника, сої та ін. (екстрагент - бензин);
- екстрагування агару з морських водоростей в агаровому виробництві (екстрагент - вода);
- добування дубильних, ароматичних і барвникових речовин із дубу в коньячному виробництві (екстрагент - спирт);
- одержання екстрактів прянощів із пряних рослин (екстрагент - зріджений діоксид вуглецю).

Процес екстрагування з твердих тіл відіграє важливу роль у виробництві вина, пива, крохмалю, желатину, лікєро-горілчаних виробів, розчинних кави і чаю. Процеси екстрагування мають місце під час приготування чаю і кави - це типовий процес екстрагування з твердих речовин (водою) компонентів, що зумовлюють смак і запах цих напоїв. [2]

За допомогою екстрагування виділяють молочну кислоту і антибіотики з ферментаційних розчинів, сивушні масла з суміші компонентів, що відбираються з брагоректифікаційних апаратів. Під час екстрагування з рідини екстрагент повинен бути нерозчинним у рідині, що піддається обробці, і володіти по відношенню до речовини, що добувається, більшою розчинністю, ніж вихідна рідина. Після проведення екстрагування рідини повинні легко відокремлюватися, відрізняючись між собою густиною. Під час екстрагування є дві фази (тверда і рідка або дві рідкі) і речовина, що переходить з однієї фази в іншу, так звана екстрагована речовина. У низці виробництв є необхідність одержання екстрагованої речовини у чистому вигляді (цукру, олії, розчинних чаю та кави). Для цього після екстрагування проводять випаровування або відгонку розчинника. [2]

1.1.3.2. Фізична сутність процесу екстрагування

Екстрагування є дифузійним процесом. Рушійною силою його є різниця концентрацій цільового компонента у двох фазах, що стикаються. Цільовий компонент переміщається у бік меншої концентрації з однієї фази в іншу.

Екстрагування у системі тверде тіло – рідина це складний процес, який у загальному вигляді включає чотири стадії:

- 1) дифузія розчинника (екстрагента) у пори твердого тіла;
- 2) розчинення цільового компонента (або декількох компонентів);
- 3) перенесення екстрагованої речовини у капілярах всередині твердого тіла до поверхні розділу фаз (внутрішня дифузія);
- 4) перенесення екстрагованої речовини у рідкому розчинникові від поверхні розділу фаз через пограничну плівку в ядро потоку екстрагента (зовнішня дифузія). [2]

На ефективність процесу екстрагування з рослинної сировини, тобто швидкість екстрагування, впливає низка чинників:

1. Правильний вибір розчинника полягає у тому, що екстрагент повинен добувати з сировини тільки потрібний компонент без сторонніх домішок. Екстрагент повинен також відповідати таким вимогам: бути хімічно чистим, не викликати корозії апаратури, легко відокремлюватися від екстрагованої речовини шляхом перегонки або випаровування не залишаючи шкідливих для організму сполук і не змінюючи запаху і кольору продукту..

2. Подрібнення твердої сировини до оптимального розміру. Розміри частинок матеріалу, який екстрагується, повинні бути настільки малі, щоб створити найбільшу поверхню зіткнення з розчинником і найменший шлях для внутрішньої дифузії. Проте не треба припускати переподрібнення матеріалу, а також неоднорідного подрібнення, бо при цьому переподрібнені частинки утворюють густий шар, перегороджуючи шлях розчиннику.

3. Створення оптимальних температурних умов є дуже важливою умовою. Підвищення температури викликає прискорення процесу дифузії внаслідок прискорення теплового руху молекул і зменшення при цьому в'язкості середовища, що полегшує і прискорює пересування компонента, який екстрагується, і розчинника. Підвищення температури (до 60° C) сприяє також руйнуванню оболонки клітин рослинної та тваринної сировини. Швидкість внутрішньої дифузії компонента можна підвищити, створюючи умови для

виникнення термодифузії, що посилює потік компонента, який екстрагується, до поверхні. Цього можна досягти шляхом нагрівання твердого тіла до температури більш високої, ніж температура екстрагенту, але при високій температурі компоненту (в нашому випадку крупки) в нас виникає велика перевитрата екстрагенту (гексану).

4. Створення підвищеного тиску, що сприяє більш тісному контакту розчинника і сировини і, отже, приводить до більш повного добування продукту, який екстрагується. Проте використання підвищеного тиску під час екстрагування вимагає більш складної за конструкцією герметичної апаратури.

5. Створення ефективної гідродинамічної обстановки процесу. Для збільшення швидкості зовнішньої дифузії треба створювати інтенсивний турбулентний рух екстрагента і здійснювати перемішування матеріалу.

6. Оптимальне співвідношення розчинника і сировини, що надходять на екстрагування. Збільшення кількості розчинника сприяє більш повному добуванню речовин, які екстрагуються, але може викликати екстрагування небажаних домішок. Крім того, концентрація екстрагованої речовини в екстрагенті при цьому буде невисокою, що робить важким їхній наступний розподіл. Занадто мала кількість розчинника, що подається на екстрагування, призведе до неповного добування продукту з сировини, що економічно недоцільно.

7. Дотримання умов оптимальної тривалості процесу екстрагування. Під час збільшення тривалості процесу підвищується виділення компонента, який екстрагується, але знижується продуктивність апаратів. Скороченню тривалості проведення екстрагування сприяють більш рівномірне подрібнення сировини, підвищення температури розчинника і сировини, а також збільшення кількості екстрагенту. [2]

1.1.4. Отримання екстракційної олії

Форпресова макуха містить 10...15% олії. Для її вилучення застосовують екстрагування. Макуху у вигляді гранул (пелюстки чи крупки,

залежно від типу екстрактора) і подають до екстрактора колонного чи зрошувального типу, куди надходить розчинник гексан, бензин, нефрас, у окремих випадках спирти), попередньо підігрітий у теплообмінниках до 30...40°C. Олія розчиняється у органічних розчинниках, тому її залишки екстрагуються з макухи. У екстракторі колонного типу (рис. 1.2.) пелюстка рухається вгору колоною за допомогою шнекового транспортера, а згори стікає підігрітий розчинник. У екстракторі зрошувального типу (рис.1.3.) крупка перебуває на рухомому сітчастому транспортері, а розчинник зрошує її, рухаючись протитоком за допомогою системи насосів та збірників, поступово розчиняючи та вимиваючи олію. [3]

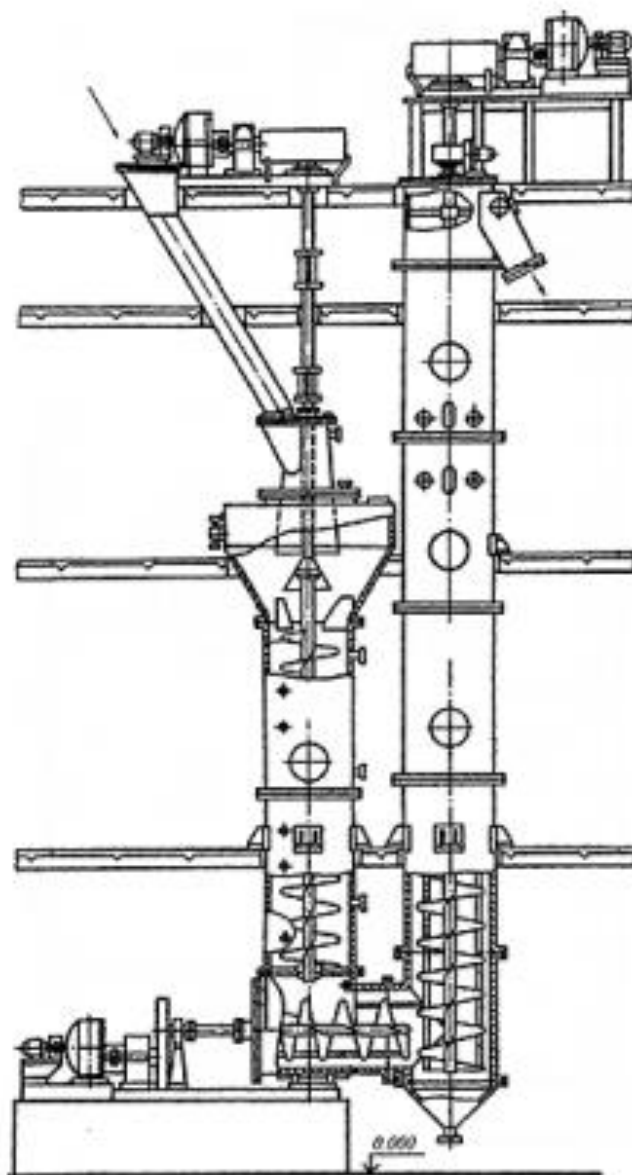


Рис. 1.2. Екстрактор колонного типу [3]

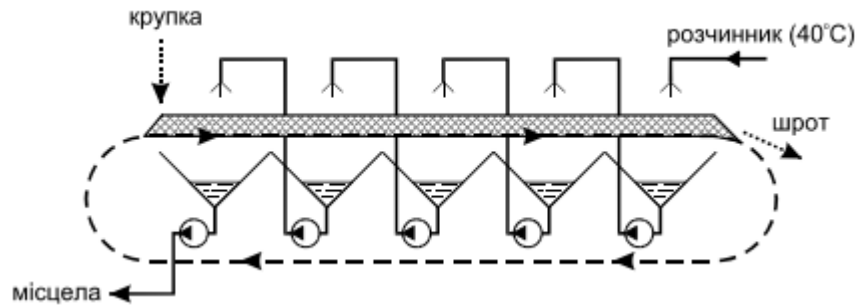


Рис. 1.3. Схема роботи екстрактора зрошувального типу [3]

Розчин олії у розчиннику (міццелу) для видалення розчинника дистилують на багатоступеневій дистиляційній установці, що складається з трьох або чотирьох дистиляторів (рис.1.4.). Дистилятор являє собою випарний апарат, що обігривається насиченою водяною парою (НП), що подають до нагрівної оболонки. Тиски та температури кипіння міццели за корпусами дистиляційної установки зменшуються. У останньому корпусі (кінцевий дистилятор) рештки розчинника сорбуються перегрітою парою (ПП), що подають не до нагрівної оболонки, а всередину дистилятора. Її отримують з насиченої пари, зменшуючи тиск за допомогою дроселювання. Після кінцевого дистилятора отримують екстракційну олію. [3]

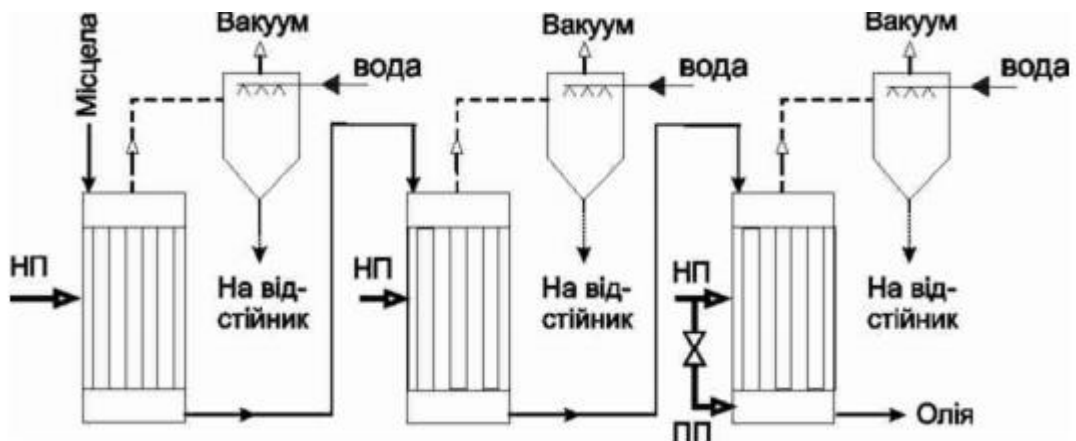


Рис. 1.4. Схема трьохступеневої дистиляційної установки. [3]

Залишок макухи після екстракції (шрот) містить 0,3...1% олії, велику кількість білків та інших поживних речовин. Тому його активно використовують для вироблення комбикормів. Але після екстрактора у шроті міститься 10...12% розчинника, що створює проблеми: такий шрот є

вибухонебезпечним, його не їстиме худоба і крім того, втрачається дорогий розчинник. Тому шрот проходить теплове оброблення у чанному тостері, що за конструкцією подібний до чанної жаровні, проте всередину його чанів додатково подають перегріту водяну пару для абсорбції пари розчинника. Шрот у тостері нагрівають до 105°C для випарювання решток розчинника. Пару розчинника, що утворюється під час випарювання на дистиляторах та тостері, конденсують на змішувальних водяних конденсаторах, утворену суміш розчинника та води розділяють у відстійниках. Розчинник надалі використовують повторно. Неконденсована суміш пари розчинника та водяної пари з конденсаторів надходить у поверхневі чи змішувальні дефлегматори – теплообмінники, охолоджувані водою з температурою 10...12°C або розсолем з температурою 0°C – де розчинник конденсується практично повністю. Холодоносій для дефлегматорів охолоджують за допомогою холодильних машин. Основними споживачами теплової енергії під час вироблення екстракційної олії є тостер, дистиляційна установка та підігрівник розчинника. [3]

1.2. Схема переробки олійної сировини.

1.2.1. Апаратурне оформлення лінії переробки олійної сировини

Машинно-апаратурна схема лінії виробництва олії хімічним способом [1] наведена на рис. 1.5.

Насіння соняшнику, попередньо зважене на вагах 1 подається на короткочасне зберігання в силос 2. Насіння може містити велику кількість домішок, тому його двічі очищають на дво - і триситових сепараторах 3 і 4, а також на магнітних уловлювачах 5. Домішки рослинного походження, відокремлені на сепараторах, збирають і використовують у комбікормовому виробництві.

Очищене від домішок насіння зважують на вагах 6 і подають у витратний бункер 7, звідки вони транспортуються в шахтну сушарку 8, що складається з декількох зон. Спочатку насіння сушать, а потім охолоджують. У процесі

теплого оброблення їх вологість зменшується з 9 ... 15 до 2 ... 7%. Температура насіння під час сушіння близько 50 ° С, після охолодження 35°С. Висушене насіння проходить контроль на вагах 9, а потім направляються в силоси 2 на тривале зберігання або в проміжковий бункер 10 для подальшого перероблення.

Подальше перероблення насіння полягає в максимальному відділенні оболонки від ядра. Цей процес передбачає дві самостійні операції: лущення (обрушення) насіння і власне відділення оболонки від ядра (сепарування). Насіння лущиться на дисковому млині 11, куди воно надходить з проміжного бункера 10. Рушанка, одержана з насіння після млина, представляє собою суміш, що складається з частинок, різних за масою, формою і розмірами. У Рушанці присутні цілі ядра, їх осколки, ряд різноманітних за розміром і формою частинок оболонки і, нарешті, ціле насіння - недоруш. Тому для відділення оболонки від ядра в основному застосовують аспіраційні віялки - повітряно-ситові сортувальні машини. З такої машини 12 ядро подається в проміжний бункер 13, а всі інші частини суміші обробляються для відділення цілих ядер та уламків насіння соняшнику, які разом з цілими ядрами поступають на подальшу переробку. [1]

Після зважування на вагах 14 ядра соняшнику подрібнюються на п'ятивальцевому верстаті 15. Процес подрібнення може здійснюватися за один або два рази - попереднє і остаточне. При подрібненні відбувається руйнування клітинної структури ядер соняшнику, що необхідно для створення оптимальних умов для найбільш повного і швидкого добування олії при подальшому пресуванні або екстрагуванні.

Продукт подрібнення - мезга - з верстата 15 надходить в жаровню 16, в якій за рахунок волого-теплової обробки досягається оптимальна пластичність продукту і створюються умови для полегшення відділення олії на пресах. При смаженні вологість мезги знижується до 5...7%, а температура підвищується до 105...115°С. [1]

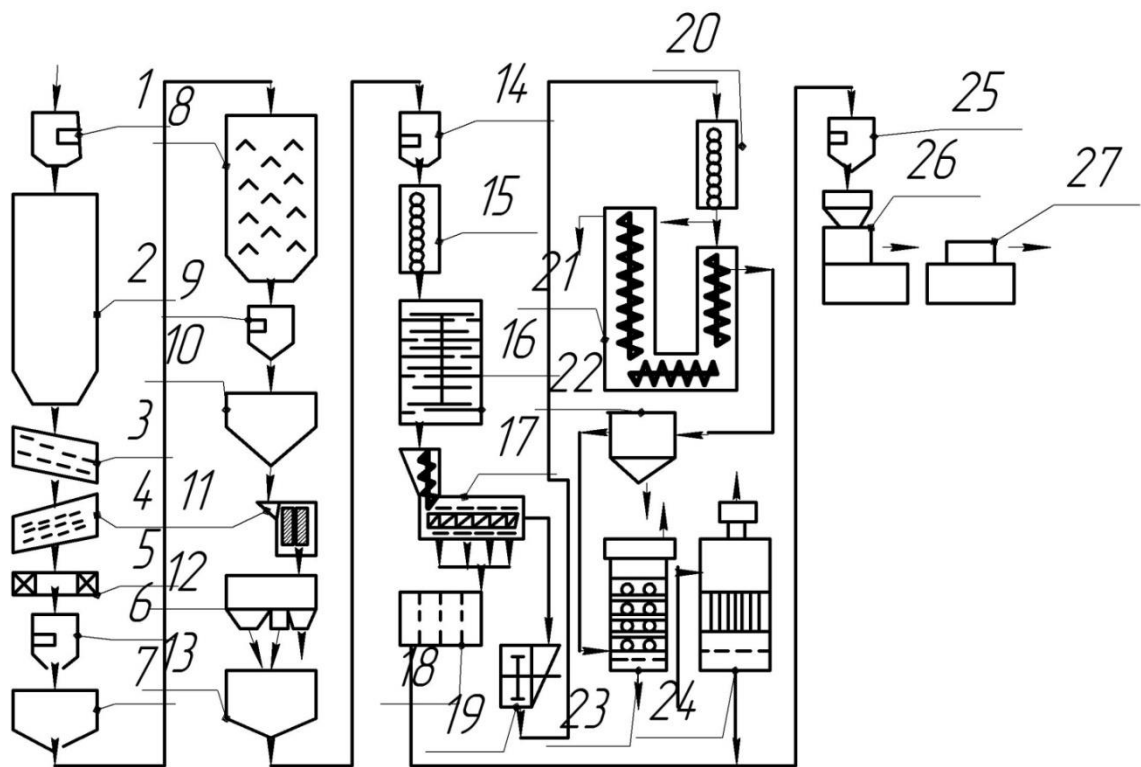


Рис. 1.5. Машинно-апаратурна схема лінії виробництва олії хімічним способом.

[1]

З шнекового преса 17, в який після жаровні подається мезга, виходять два продукти: олія, що містить значну кількість частинок ядра і тому очищається у фільтр-пресі 18, і макуха, що містить 6,0 .. 6,5% олії, яку необхідно ще відділити. Тому надалі гранули макухи піддаються подрібненню у молотковій дробарці 19 і вальцевих верстатах 20, а продукт подрібнення - екстрагуванню в екстракційному апараті 21. Апарат має дві колони, з'єднані перемичкою, в яких розташовані шнеки, що транспортують частинки макухи з правої колони в ліву. Протитечією до руху макухи переміщується екстрагувальна речовина - бензин, що є летким розчинником. У зв'язку з тим, що бензин в суміші з повітрям спалахує при температурі близько 250°C, на екстракційних заводах температура перегрівання технологічної пари не повинна перевищувати 220 ° С.

За допомогою дифузії олія добувається з розірваних клітин макухи, розчинених в бензині. Суміш олії, бензину та деякої кількості частинок виходить з правої колони екстрактора 21 і направляється у відстійник або патронний фільтр 22.

З лівої екстрагувальної колони апарату 21 виводиться знежирений продукт, який називається шротом. Після вилучення з нього залишків бензину шрот направляється на комбікормові заводи. Очищений від твердих частинок розчин олії в бензині - місцела - подається на дистиляцію. У попередньому дистиляторі 23 місцела нагрівається до 105 ... 115 ° С, і з неї за атмосферного тиску частково відганяються пари бензину. В кінцевому дистиляторі 24, який працює під розрідженням, з місцелли видаляються залишки бензину, і очищена олія подається на ваги 25. Після вагового контролю олія подається в пакувальну машину 26, а в машині 27 пачки фасованої олії укладаються в ящики.

Основним недоліком процесу екстрагування є складність процесу, наявність дорогих екстрагентів, необхідність їх відокремлення та регенерації тощо. Крім того, при використанні цього методу багаторазово знижується кількість біологічно-активних компонентів екстракті внаслідок їх розкладання або загибелі в процесі кип'ятіння або настоювання в гарячому екстрагенті.

У вітчизняних технологічних комплексах олійноекстракційного виробництва для екстракції олії використовують органічні розчинники з підвищеною леткістю (бензин, гексан, нефрас) у кількості 2,5 - 3,5 % до маси сировини. Для зменшення втрат розчинника важливо, щоб температура матеріалу (соняшникової крупки) на вході до екстрактора не перевищувала нормативних значень (55°C), тоді як після дробарок вона має температуру близько 100°C. [1]

1.3. Методи та обладнання для охолодження крупки перед екстракцією. [9]

Існуючі способи охолодження мають певні недоліки: суттєве подрібнення крупки, що погіршує технологічні показники екстракції (кондиціонери з водяними сорочками); значні втрати матеріалу внаслідок його винесення (обдування крупки повітрям, охолодження у завислому шарі або у падаючому потоці) [2].

Відомі варіанти охолодження крупки [2], що не мають зазначених недоліків: оребрення транспортерів, обдування повітрям, водяна сорочка тощо. Розрахунки показали, що окреме застосування оребрення на існуючих транспортерах не дасть змоги охолодити крупку до потрібної температури - потрібна надто велика кількість ребер і відповідно малий їх крок. Крім того, відсутня можливість регулювати температуру крупки протягом року. Використання водяної сорочки недоцільне через надмірну масу, бо система транспортерів має велику протяжність і розташована на даху. Обдування транспортерів повітрям через малі коефіцієнти тепловіддачі вимагає надто великих витрат повітря та відповідно важких і енергомістких вентиляторів.

1.4. Висновки. Мета і задачі дослідження.

Проведений аналіз дозволяє зробити такі висновки:

1. Ефективність олієжирового виробництва залежить від глибини екстракції олії з соняшnikової крупки. Оптимальна екстракція відбувається за температури крупки 45–55 ° С.

2. Суттєво погіршує прибутковість виробництва збільшення температури крупки понад регламентну – воно призводить до понаднормованої втрати дороговартісного екстрагента.

3. Існуючі способи охолодження мають певні недоліки: суттєве подрібнення крупки, що погіршує технологічні показники екстракції (кондиціонери з водяними сорочками); значні втрати матеріалу внаслідок його винесення (обдування крупки повітрям, охолодження у завислому шарі або у падаючому потоці).

4. Охолодження крупки стає актуальним через наявне потепління клімату, а наявні системи і обладнання вимагають модернізації у зв'язку з підвищенням температури довкілля, особливо у південних районах, де розміщені зони вирощування соняшника.

Мета дослідження – розробити для ЗАТ "Пологівський ОЕЗ" систему охолодження крупки до подавання її в екстрактор, яка забезпечує можливість

підтримання регламентної температури крупки в залежності від температури навколишнього середовища, що усуває перевитрату гексану.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі задачі:

- розробити математичну модель та комп'ютерну програму для розрахунку охолодження крупки до екстрактора;
- вибрати способи охолодження різних ділянок транспортування крупки;
- знайти довжини охолоджуваних ділянок;
- розрахувати конструктивні параметри обдувального пристрою та гідравлічний опір системи повітряного охолодження обдуванням;
- визначити витрату повітря на охолодження;
- розрахувати оптимальні розміри ребра, їх кількість та крок ребрення.

2. РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА КОМП'ЮТЕРНА ПРОГРАМА ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ОХОЛОДЖЕННЯ КРУПКИ ДО ЕКСТРАКТОРА

2.1. Аналіз існуючого варіанту охолодження крупки до екстрактора

На підприємстві ЗАТ "Пологівський ОЕЗ" охолодження крупки до екстракції відбувається у системі транспортування її в екстрактор (рис. 2.1.) шляхом відведення теплоти у довкілля за рахунок вільної конвекції. [8]

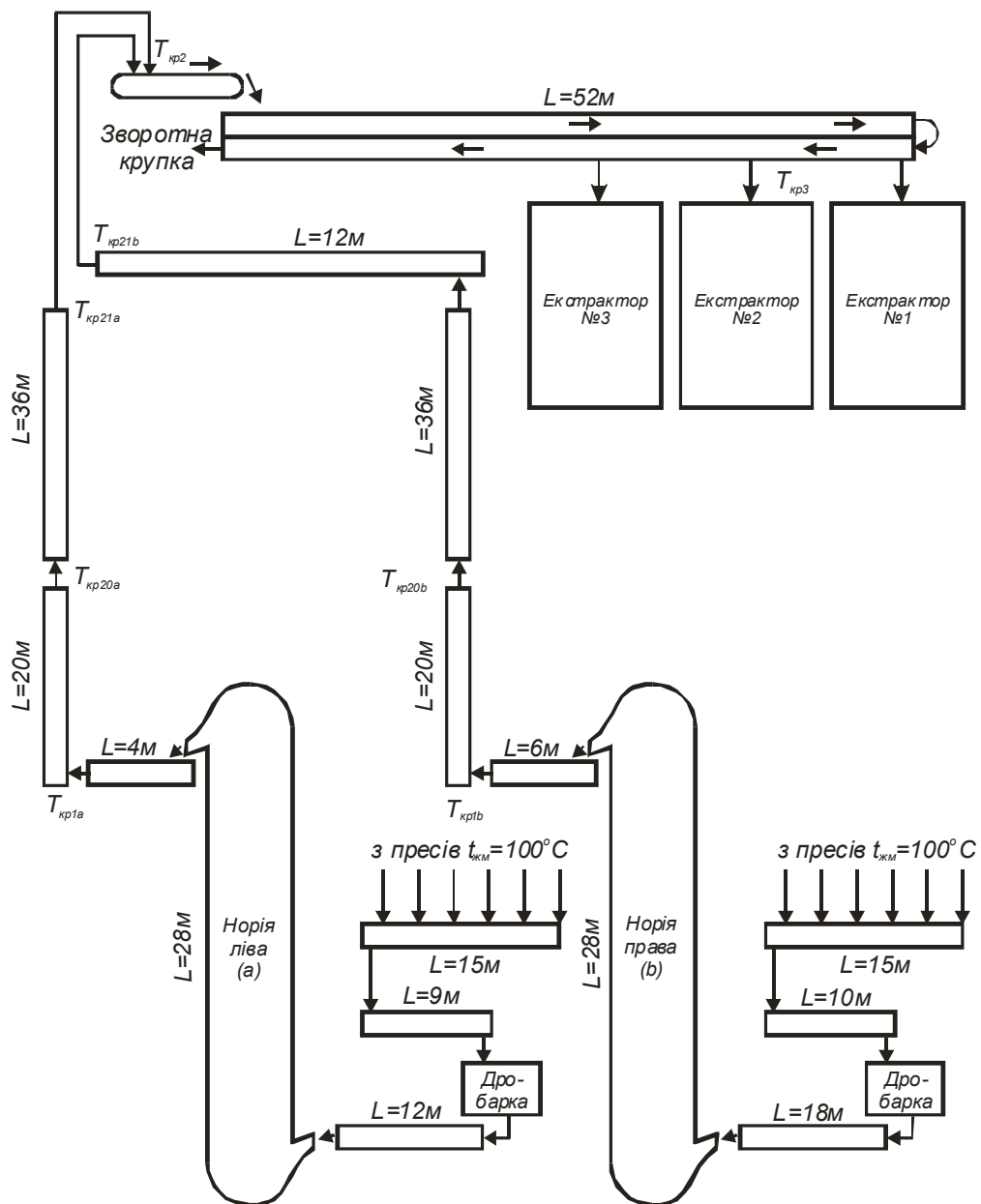


Рис. 2.1. Система транспортування крупки до екстрактора

Система транспортування складається з транспортерів, що переміщують крупку горизонтально, і двох норій, що піднімають крупку по вертикалі. Більшість горизонтальних транспортерів розміщені на даху і знаходяться під дією сонячної радіації. Довжини транспортерів і найменування елементів системи вказані на рисунку.

Така система і спосіб охолодження мають суттєвий недолік.

Зміна клімату у бік глобального потепління призвела до збільшення літніх температур понад 35 °С. Проект заводу такого потепління не враховував. Початкова температура крупки після пресів становить близько 100 °С. Ефективність її охолодження залежить лише від температури довкілля, інші заходи збільшення ефективності охолодження при підвищеній температурі повітря проектом не передбачені.

Для екстракції олії з крупки на Пологівському ОЕЗ застосовують розчинник гексановий марки П1-63/75 ТУ У 14277403. 001-97. За технологічним регламентом крупка на вході в екстрактор повинна мати температуру 45 – 55 °С. Зменшення її призводить до погіршення екстракції і втрати олії, а збільшення може призводити до збільшення втрат розчинника, температура початку перегонки якого понад 63 °С.

За даними фахівців підприємства мають місце перевищення регламентної температури крупки і, як наслідок збільшення втрат розчинника. Внаслідок недостатнього охолодження втрати розчинника збільшуються до 1,5 - 3 % , що для такого потужного заводу може складати до 20 т/добу. При вартості 69 грн/кг, збитки можуть доходити до 1,38 млн. грн./добу.

2.2. Методика розрахунку системи охолодження крупки та її елементів

2.2.1. Методика розрахунку охолодження крупки на транспортерах за рахунок передачі теплоти у довкілля (в умовах вільної конвекції)

Для розроблення системи охолодження крупки розроблені методики розрахунку її елементів [8]. Ці методики стали основою для розроблення комп'ютерної моделі системи у система комп'ютерної алгебри з класу систем

автоматизованого проектування Mathcad, орієнтованої на підготовку інтерактивних документів з обчисленнями і візуальним супроводженням [7].

Вихідні дані

	$Pr_0 := 0.71$	
Витрата крупки		$G_{кр}$
Температура жмиха після пресів		$t_{жм}$
Температура крупки перед охолодженням		$t_{кр1}$
Температура крупки після охолодження повітрям		$t_{кр2}$
Температура крупки перед екстрактором		$t_{кр3}$
Питома теплоємність крупки		$c_{кр}$
Температура повітря (максимальна в літній період)		$t_{пов1}$
Відносна вологість повітря		$\phi_{пов}$
Питома теплоємність повітря		$c_{пов} := 1.018 \cdot \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
Параметри повітря:	$\rho_{пов0} := \left(1.28 - 0.003667 \frac{t_{пов1}}{\text{К}} \right) \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	
$\lambda_{п} := 0.1 \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	$\nu_{п} := 0.00001$	$Pr_0 := 0.71$
Площа перерізу повітряного каналу		$f_{пов}$
Ширина транспортерів		b
Довжина транспортерів до редлера		$L1$
Висота транспортерів (середня)		$h1$
Довжина транспортерів після редлера		$L3$
Довжина редлера		$L2$
Висота редлера		$h2$
Товщина стінки редлера		$\delta_{ст}$
Теплопровідність сталі		$\lambda_{ст}$
Висота шару крупки у редлері		$H_{кр}$
Висота лопаток редлера		$H_{лоп}$
Густина крупки		$\rho_{кр}$
Вологість крупки		w
Швидкість транспортерів		$w_{тр}$

**Методика розрахунку
Ділянка 1 (дробарка - редлер)**

Площа тепловідведення на ділянці F $F := 2L1 \cdot (b + h1)$

$$t_{кр.с} := \frac{t_{жм} + t_{кр1}}{2}$$

$$\lambda_{кр} := \left[\left(532 + 18.1 \cdot \frac{w}{\%} + 4.6 \cdot \frac{t_{кр.с}}{K} \right) \cdot 10^{-4} \right] \cdot \left(0.25 + 17 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{кр} \cdot \frac{m^3}{кг} \right) \cdot \frac{Вт}{m \cdot K}$$

$$\tau_k := \frac{L1}{w_{тр}}$$

K - т тепловіддачі від крупки до стінки [4]

$$\alpha_1 := 150 \cdot \frac{ккал}{m^2 \cdot K \cdot год}$$

Температура зовнішньої стінки транспортера приблизно прийнята на 3 град. менша, ніж середня температура крупки

$$t_{ст} := t_{кр.с} + 3 \cdot ^\circ C$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до нерухомого повітря

$$\alpha_2 := \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{ст} - t_{пов1}}{K} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{пов} \cdot \frac{с}{m}} \right] \cdot \frac{Вт}{m^2 \cdot K} \quad w_{пов} := 0.2 \cdot \frac{m}{с}$$

$$k := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}}$$

Перші наближення

$$t_{пов2} := t_{пов1} + 10 \cdot ^\circ C \quad G_{пов} := 10 \cdot \frac{кг}{с}$$

Given

Кількість теплоти, що може відвестися від крупки

$$G_{кр} \cdot c_{кр} \cdot (t_{жм} - t_{кр1}) = k \cdot F \cdot \frac{(t_{жм} - t_{пов1}) - (t_{кр1} - t_{пов1})}{\ln \left[\frac{(t_{жм} - t_{пов1})}{(t_{кр1} - t_{пов1})} \right]}$$

$$A1 := \text{Find}(t_{кр1})$$

$$t_{кр1} := A1$$

Ділянка 2 (редлер)

Площа тепловідведення на ділянці

$$F := 2L_2 \cdot (b + h_2)$$

$$t_{кр.с} := \frac{t_{кр1} + t_{кр2}}{2}$$

$$\lambda_{кр} := \left[\left(532 + 18.1 \cdot \frac{w}{\%} + 4.6 \cdot \frac{t_{кр.с}}{K} \right) \cdot 10^{-4} \right] \cdot \left(0.25 + 17 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{кр} \cdot \frac{M^3}{кг} \right) \cdot \frac{BT}{M \cdot K}$$

$$\alpha_1 := 150 \cdot \frac{\text{ккал}}{M^2 \cdot K \cdot \text{год}} \cdot \alpha$$

$$w_{пов} := 0.2 \cdot \frac{M}{с}$$

$$x := \frac{6 \cdot h_1}{\pi}$$

$$Re := \frac{w_{пов} \cdot x}{v_{\Pi}}$$

$$Nu := 0.264 Re^{0.66} \cdot Pr_0^{0.35}$$

$$\alpha_2 := Nu \cdot \frac{\lambda_{\Pi}}{x}$$

$$k := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}}$$

$$t_{пов2} := t_{пов1} + 10 \cdot K$$

Перші наближення:

$$G_{пов} := 10 \cdot \frac{кг}{с}$$

$$t_{кр2} := 70 \cdot ^\circ C$$

Given

$$G_{кр} \cdot c_{кр} \cdot (t_{кр1} - t_{кр2}) = k \cdot F \cdot \frac{(t_{кр1} - t_{пов2}) - (t_{кр2} - t_{пов1})}{\ln \left[\frac{(t_{кр1} - t_{пов2})}{(t_{кр2} - t_{пов1})} \right]}$$

$$G_{пов} \cdot c_{пов} \cdot (t_{пов2} - t_{пов1}) = k \cdot F \cdot \frac{(t_{кр1} - t_{пов2}) - (t_{кр2} - t_{пов1})}{\ln \left[\frac{(t_{кр1} - t_{пов2})}{(t_{кр2} - t_{пов1})} \right]}$$

$$A1 := \text{Find}(t_{\text{кр}2}, G_{\text{пов}})$$

$$t_{\text{кр}2} := A1_0$$

$$G_{\text{пов}} := A1_1$$

Ділянка 3 (редлер - екстрактор)

Площа тепловідведення на ділянці

$$F := 2L1 \cdot (b + h1)$$

$$t_{\text{кр.с}} := \frac{t_{\text{кр}2} + t_{\text{кр}3}}{2}$$

$$\lambda_{\text{кр}} := \left[\left(532 + 18.1 \cdot \frac{w}{\%} + 4.6 \cdot \frac{t_{\text{кр.с}}}{\text{К}} \right) \cdot 10^{-4} \right] \cdot \left(0.25 + 17 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{\text{кр}} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \right) \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

$$\tau_{\text{к}} := \frac{L1}{w_{\text{тр}}}$$

К - т тепловіддачі від крупки до стінки (за реком. В. А. Маслікова)

$$\alpha_1 := 150 \cdot \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{год}}$$

Температура зовнішньої стінки транспортера приблизно прийнята на 3 град. менше ніж середня температура крупки

$$t_{\text{ст}} := t_{\text{кр.с}} + 3 \cdot \text{°C}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до нерухомого повітря

$$w_{\text{пов}} := 0.2 \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\alpha_2 := \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{\text{ст}} - t_{\text{пов}1}}{\text{К}} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{\text{пов}} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}}} \right] \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$k := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}}}$$

$$t_{\text{пов}2} := t_{\text{пов}1} + 10 \cdot \text{К}$$

Перші наближення:

$$G_{\text{пов}} := 10 \cdot \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Given

$$G_{\text{кр}} \cdot c_{\text{кр}} \cdot (t_{\text{кр}2} - t_{\text{кр}3}) = k \cdot F \cdot \frac{(t_{\text{кр}2} - t_{\text{пов}1}) - (t_{\text{кр}3} - t_{\text{пов}1})}{\ln \left[\frac{(t_{\text{кр}2} - t_{\text{пов}1})}{(t_{\text{кр}3} - t_{\text{пов}1})} \right]}$$

$$A1 := \text{Find}(t_{\text{кр}3})$$

$$t_{\text{кр}3} := A1$$

2.2.2. Методика розрахунку повітряного душу

Прийнято короби довжиною 12 метрів, розташовані по 3 на ділянках транспортерів довжиною 36 м і 1 короб довжиною 12 м, розташований на поперечній ділянці трубопроводу довжиною 12 м.

Вихідні дані

Витрата повітря для кожного короба ділянки 21a

$$Q_{\text{пов}} := \frac{3.241 \cdot 10^4 \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{год}}}{3}$$

Витрата повітря для кожного короба ділянки 21b

$$Q_{\text{пов}} := \frac{4.323 \times 10^4 \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{год}}}{4}$$

Прийнято для всіх коробів однакову витрату

$$Q_{\text{пов}} := 10800 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

Рекомендована швидкість повітря

$$w := 25 \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ширина редлера

$$b := 0.5 \cdot \text{м}$$

Довжина короба

$$L_2 := 12 \text{ м}$$

Методика розрахунку

Прийнято короб прямокутного перерізу зі змінною висотою

Ширина короба: b_1

Довжина короба: l_k

Висота короба на вході

$$h_1 := \frac{Q_{\text{пов}}}{w \cdot b_1}$$

на виході (за рекомендацією [1]) $h_2 := 0.25 \cdot h_1$

Площа повздовжного перерізу короба: $f_k := b_1 \cdot l_k$

Методика розрахунку душових щілин

Температура повітря біля редлера t_x

Температура повітря на виході з щілини t_o

Температура навколишнього повітря $t_{\text{зов}}$

Дослідний коефіцієнт турбулентності повітря [4], с397 a_1

Відстань від щілини до редлера x

Розміри щілини a_1, a_2

Еквівалентний діаметр щілини

$$d_0 := \frac{4 \cdot (a_1 \cdot a_2)}{2 \cdot (a_1 + a_2)}$$

Діаметр повітряного струменя біля редлера

$$d_x := d_0 \cdot 6.8 \left(\frac{a \cdot x}{d_0} + 0.145 \right)$$

Площа перерізу системи патрубків

$$f_{\text{соп}} := a_1 \cdot a_2$$

Швидкість повітря на виході з патрубків

$$w_0 := \frac{Q_{\text{пов}}}{f_{\text{соп}}}$$

Швидкість повітря біля редлера приймаємо такою ж, через малу відстань

$$w_x := w_0$$

Методика розрахунку аеродинамічного опору повітряного тракту

Кількість поворотів короба (колiна 90 град) $n_{\text{пов}}$

Абсолютна шорсткість короба (для сталі) Δ

Кінематична в'язкість повітря при 0 °C ν

Густина повітря при 0 °C ρ

Еквівалентний діаметр короба

$$d_K := \frac{4 \cdot (b_1 \cdot h_1)}{2 \cdot (b_1 + h_1)}$$

Число Рейнольдса

$$Re := \frac{w \cdot d_K}{\nu}$$

Для турбулентного режиму коефіцієнт гiдравлічного опору

$$\lambda := 0.11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d_K} \right)^{0.25}$$

Коефіцієнт місцевого опору коліна k_1

входу до короба (труба з сіткою) k_2

$$k_2 := 0.92$$

виходу з щілини (діафрагма)

$$k_3 := \left(\frac{1}{0.707 \cdot \sqrt{1 - \frac{f_{\text{соп}}}{f_K}}} \right)^2 \cdot \frac{f_K}{f_{\text{соп}}}$$

Втрати напору:

$$R := \left(\lambda \cdot \frac{L_2}{d_K} + \sum \xi \right) \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2}$$

За визначеними витратою повітря та напором вибирають до встановлення вентилятор [5,6].

2.2.3. Методика розрахунку системи охолодження з водяною сорочкою

Вихідні дані

Транспортер умовно розбитий на 3 ділянки:

1 - від дробарки до редлера: транспортер у кожусі, повітря нерухоме;

2а - редлер: зверху охолодження вільною конвекцією;

2б - редлер: має водяну "сорочку";

3 - від редлера до екстрактора: транспортер у кожусі повітря нерухоме.

Коефіцієнт тепловіддачі від крупки до стінки прийнято за даними В.А.Маслікова [4].

Коефіцієнт тепловіддачі від повітря до стінок на ділянках до і після редлера розрахований для вільної конвекції (нерухоме повітря).

Довжина редлера	L_2
Висота редлера	h_2
Товщина стінки редлера	$\delta_{ст}$
Теплопровідність сталі	$\lambda_{ст}$
Висота шару крупки у редлері	$H_{кр}$
Висота лопаток редлера	$H_{лоп}$
Густина крупки	$\rho_{кр}$
Вологість крупки	w
Швидкість транспортерів	$w_{тр}$

Інші вихідні дані аналогічні наведеним у 2.2.1.

Методика розрахунку

Ділянка 1 (дробарка - редлер)

Площа тепловідведення на ділянці

$$F := 2L_1 \cdot (b + h_1)$$

$$t_{кр.с} := \frac{t_{жм} + t_{кр1}}{2}$$

$$\lambda_{кр} := \left[\left(532 + 18.1 \cdot \frac{w}{\%} + 4.6 \cdot \frac{t_{кр.с}}{K} \right) \cdot 10^{-4} \right] \cdot \left(0.25 + 17 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{кр} \cdot \frac{m^3}{kg} \right) \cdot \frac{Вт}{m \cdot K}$$

$$\tau_K := \frac{L1}{w_{Tr}}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від крупки до стінки (за реком. В. А. Маслікова)

[4]

$$\alpha_1 := 150 \cdot \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{год}} \cdot \alpha$$

Температура зовнішньої стінки транспортера приблизно прийнята на 3 °С менше ніж середня температура крупки

$$t_{CT} := t_{кр.с} + 3 \cdot \text{°C}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до нерухомого повітря

$$\alpha_2 := \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{CT} - t_{пов1}}{\text{К}} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{пов} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}}} \right] \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$k := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}}}$$

Перші наближення

$$t_{пов2} := t_{пов1} + 10 \cdot \text{°C}$$

$$G_{пов} := 10 \cdot \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Кількість теплоти, що може відвестися від крупки

$$G_{кр} \cdot c_{кр} \cdot (t_{жм} - t_{кр1}) = k \cdot F \cdot \frac{(t_{жм} - t_{пов1}) - (t_{кр1} - t_{пов1})}{\ln \left[\frac{(t_{жм} - t_{пов1})}{(t_{кр1} - t_{пов1})} \right]}$$

$$A1 := \text{Find}(t_{кр1})$$

$$t_{кр1} := A1$$

Ділянка 2а (редлер)

Площа тепловідведення на ділянці

$$F1 := L2 \cdot (b + 2 \cdot h2)$$

$$t_{\text{кр.с}} := \frac{t_{\text{кр1}} + t_{\text{кр2}}}{2}$$

$$\lambda_{\text{кр}} := \left[\left(532 + 18.1 \cdot \frac{w}{\%} + 4.6 \cdot \frac{t_{\text{кр.с}}}{\text{К}} \right) \cdot 10^{-4} \right] \cdot \left(0.25 + 17 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{\text{кр}} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \right) \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

$$\alpha_1 := 150 \cdot \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{год}} \cdot \alpha$$

$$w_{\text{пов}} := 0.2 \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$x := \frac{6 \cdot h1}{\pi}$$

$$\text{Re} := \frac{w_{\text{пов}} \cdot x}{v_{\text{п}}}$$

$$\text{Nu} := 0.264 \text{Re}^{0.66} \cdot \text{Pr}_0^{0.35}$$

$$\alpha_2 := \text{Nu} \cdot \frac{\lambda_{\text{п}}}{x}$$

$$k1 := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}}}$$

$$t_{\text{пов2}} := t_{\text{пов1}} + 10 \cdot ^\circ\text{C}$$

Ділянка 2б (водяна сорочка редлера)

Площа тепловідведення на ділянці

$$F2 := L2 \cdot b$$

$$t_{\text{кр2р}} := t_{\text{кр1}} - 20\text{К}$$

$$t_{\text{кр.с}} := \frac{t_{\text{кр1}} + t_{\text{кр2}}}{2}$$

$$\lambda_{\text{кр}} := \left[\left(532 + 18.1 \cdot \frac{w}{\%} + 4.6 \cdot \frac{t_{\text{кр.с}}}{\text{К}} \right) \cdot 10^{-4} \right] \cdot \left(0.25 + 17 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{\text{кр}} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \right) \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

$$\alpha_1 := 150 \cdot \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{год}} \alpha$$

Приймаємо, що водяна сорочка має переріз $b \cdot a$, де $a := 0.05 \text{ м}$

Гідравлічний діаметр

$$d := 2a$$

Температура води початкова: $t_{в1}$

Фізичні властивості води:

$$\nu_B := 1.006 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

$$a_B := 1.43 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

$$\lambda_B := 0.6 \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

$$c_B := 4.19 \cdot \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\text{Pr} := \frac{\nu_B}{a_B}$$

Швидкість води

$$w_B := 2.0 \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\text{Re} := \frac{w_B \cdot d}{\nu_B}$$

$$\text{Nu} := 0.023 \cdot \text{Re}^{0.8} \cdot \text{Pr}_0^{0.4}$$

$$\alpha_2 := \text{Nu} \cdot \frac{\lambda_B}{d}$$

$$k_2 := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{\text{СТ}}}{\lambda_{\text{СТ}}}}$$

$$t_{B2} := t_{B1} + 20 \cdot ^\circ\text{C}$$

Перші наближення:

$$G_B := 10 \cdot \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Кількість теплоти, що можна відвести від крупки

$$G_{\text{кр}} \cdot c_{\text{кр}} \cdot (t_{\text{кр}1} - t_{\text{кр}2}) = (k1 \cdot F1 + k2 \cdot F2) \cdot \frac{(t_{\text{кр}1} - t_{B2}) - (t_{\text{кр}2} - t_{B1})}{\ln \left[\frac{(t_{\text{кр}1} - t_{B2})}{(t_{\text{кр}2} - t_{B1})} \right]}$$

$$G_B \cdot c_B \cdot (t_{B2} - t_{B1}) = (k1 \cdot F1 + k2 \cdot F2) \cdot \frac{(t_{\text{кр}1} - t_{B2}) - (t_{\text{кр}2} - t_{B1})}{\ln \left[\frac{(t_{\text{кр}1} - t_{B2})}{(t_{\text{кр}2} - t_{B1})} \right]}$$

$$A2 := \text{Find}(t_{\text{кр}2}, G_B)$$

$$t_{\text{кр}2p} := A2_0$$

$$G_B := A2_1$$

Ділянка 3 (редлер - екстрактор)

$$t_{\text{кр}2} := t_{\text{кр}2p}$$

Площа тепловідведення на ділянці

$$F := 2L1 \cdot (b + h1)$$

$$t_{\text{кр}.c} := \frac{t_{\text{кр}2} + t_{\text{кр}3}}{2}$$

$$\lambda_{\text{кр}} := \left[\left(532 + 18.1 \cdot \frac{w}{\%} + 4.6 \cdot \frac{t_{\text{кр}.c}}{\text{К}} \right) \cdot 10^{-4} \right] \cdot \left(0.25 + 17 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{\text{кр}} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \right) \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

$$\tau_{\text{к}} := \frac{L1}{w_{\text{тр}}}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від крупки до стінки (за реком. В. А. Маслікова

[4])

$$\alpha_1 := 150 \cdot \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{год}}$$

Температура зовнішньої стінки транспортера приблизно прийнята на 3 град. менше ніж середня температура крупки

$$t_{\text{СТ}} := t_{\text{кр.с}} + 3 \cdot ^\circ\text{C}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до нерухомого повітря

$$w_{\text{ПОВ}} := 0.2 \cdot \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

$$\alpha_2 := \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{\text{СТ}} - t_{\text{ПОВ1}}}{\text{К}} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{\text{ПОВ}} \cdot \frac{\text{с}}{\text{М}}} \right] \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{М}^2 \cdot \text{К}}$$

$$k := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{\text{СТ}}}{\lambda_{\text{СТ}}}}$$

$$G_{\text{кр}} \cdot c_{\text{кр}} \cdot (t_{\text{кр2}} - t_{\text{кр3}}) = k \cdot F \cdot \frac{(t_{\text{кр2}} - t_{\text{ПОВ1}}) - (t_{\text{кр3}} - t_{\text{ПОВ1}})}{\ln \left[\frac{(t_{\text{кр2}} - t_{\text{ПОВ1}})}{(t_{\text{кр3}} - t_{\text{ПОВ1}})} \right]}$$

$$A1 := \text{Find}(t_{\text{кр3}})$$

$$t_{\text{кр3}} := A1$$

3. РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ КРУПКИ

3.1. Дослідження ефективності охолодження стружки за допомогою проведення обчислювального експерименту з використанням розробленої комп'ютерної моделі системи охолодження

Проведено обчислювальний експеримент за допомогою розробленої у середовищі Mathcad комп'ютерної моделі. Варіювалися: температурний режим, продуктивність виробництва, способи охолодження, конфігурація системи. Далі наведені найбільш суттєві і характерні варіанти системи охолодження. Знайдена конфігурація системи, яка забезпечує потрібне охолодження крупки.

3.1.1. Існуючий варіант охолодження крупки на транспортерах

Розрахунок проведено з умовним розбиттям транспортера на 3 ділянки:

1 - від дробарки до редлера: транспортер у кожусі повітря нерухоме

2 - редлер: транспортер у кожусі повітря нерухоме

3 - від редлера до екстрактора: транспортер у кожусі повітря нерухоме.

Коефіцієнт тепловіддачі від крупки до стінки прийнято за даними В.А.Маслікова для підігрівника жмиха [4].

К-т тепловіддачі від повітря до стінок розрахований для вільної конвекції (нерухоме повітря).

Вихідні дані

Витрата крупки		$G_{кр} := 500 \cdot \frac{т}{доб}$
Температура жмиха після пресів		$t_{жм} := 125 \cdot ^\circ C$
Температура крупки перед охолодженням(перше наближення)		$t_{кр1} := 102 \cdot ^\circ C$
Температура крупки після охолодження повітрям (перше наближення)		$t_{кр2} := 70 \cdot ^\circ C$
Температура крупки перед екстрактором		$t_{кр3} := 50 \cdot ^\circ C$
Питома теплоємність крупки		$c_{кр} := 0.4 \cdot \frac{ккал}{кг \cdot K}$
Температура повітря (максимально можлива в літній період)		$t_{пов1} := 28 \cdot ^\circ C$
Відносна вологість повітря		$\phi_{пов} := 60\%$
Питома теплоємність повітря	$c_{пов} := 1.018 \cdot \frac{кДж}{кг \cdot K}$	$c_{пов} = 1.018 \frac{кДж}{кг \cdot K}$
Густина повітря	$\rho_{пов0} := \left(1.28 - 0.003667 \cdot \frac{t_{пов1}}{K} \right) \cdot \frac{кг}{м^3}$	$\rho_{пов0} = 1.177 \frac{кг}{м^3}$
Теплопровідність , питомий об'єм , число Прандтля для повітря		
	$\lambda_{п} := 0.1 \cdot \frac{Вт}{м \cdot K}$	$\nu_{п} := 0.0000162 \frac{м^2}{с}$
		$Pr_0 := 0.71$
Площа перерізу повітряного каналу		$f_{пов} := 1 \cdot м^2$
Ширина транспортерів		$b := 0.5 м$
Довжина транспортерів до редлера		$L1 := 61 м$
Висота транспортерів (середня)		$h1 := 0.3 м$
Довжина транспортерів після редлера		$L3 := 50 м$
Довжина редлера		$L2 := 15 м$
Висота редлера		$h2 := 0.3 м$
Товщина стінки редлера		$\delta_{ст} := 0.006 м$
Теплопровідність сталі		$\lambda_{ст} := 50 \cdot \frac{Вт}{м \cdot K}$
Висота шару крупки у редлері		$H_{кр} := 0.08 м$
Висота лопаток редлера		$H_{лоп} := 0.05 м$
Густина крупки		$\rho_{кр} := 800 \frac{кг}{м^3}$
Вологість крупки		$w := 6\%$
Швидкість транспортерів		$w_{тр} := 26 \frac{м}{хв}$

Розрахунок

Ділянка 1 (дробарка - редлер)

Площа тепловідведення на ділянці $F := 2L1 \cdot (b + h1)$ $F = 97.6 \text{ м}^2$

$t_{кр.с} := \frac{t_{жм} + t_{кр1}}{2}$ $t_{кр.с} = 113.5 \text{ }^\circ\text{C}$

$\lambda_{кр} := \left[\left(532 + 18.1 \cdot \frac{w}{\%} + 4.6 \cdot \frac{t_{кр.с}}{\text{К}} \right) \cdot 10^{-4} \right] \cdot \left(0.25 + 17 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{кр} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \right) \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ $\lambda_{кр} = 0.187 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$

$\tau_{к} := \frac{L1}{w_{тр}}$ $\tau_{к} = 140.769 \text{ с}$

К - т тепловіддачі від крупки до стінки $\alpha_1 := 150 \cdot \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{год}}$ $\alpha_1 = 174.45 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$

Температура зовнішньої стінки транспортера приблизно прийнята на $3 \text{ }^\circ\text{C}$ менше ніж середня температура крупки $t_{ст} := t_{кр.с} + 3 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$ $t_{ст} = 116.5 \text{ }^\circ\text{C}$

К - т тепловіддачі від стінки до нерухомого повітря $w_{пов} := 0.2 \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$\alpha_2 := \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{ст} - t_{пов1}}{\text{К}} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{пов} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}}} \right] \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ $\alpha_2 = 54.025 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$

$k := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}}$ $k = 41.047 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$

Перші наближення $t_{пов2} := t_{пов1} + 10 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$ $G_{пов} := 10 \cdot \frac{\text{кг}}{\text{с}}$

Given

Кількість теплоти, що може відвестися від крупки

$$G_{кр} \cdot c_{кр} \cdot (t_{жм} - t_{кр1}) = k \cdot F \cdot \frac{(t_{жм} - t_{пов1}) - (t_{кр1} - t_{пов1})}{\ln \left[\frac{(t_{жм} - t_{пов1})}{(t_{кр1} - t_{пов1})} \right]}$$

$$A1 := \text{Find}(t_{кр1})$$

$$t_{кр1} := A1$$

$$t_{кр1} = 92.158 \text{ К}$$

Ділянка 2 (редлер)

Площа тепловідведення на ділянці $F := 2L2 \cdot (b + h2)$ $F = 24 \text{ м}^2$

$t_{кр.с} := \frac{t_{кр1} + t_{кр2}}{2}$ $t_{кр.с} = 81.079 \text{ }^\circ\text{C}$

$\lambda_{кр} := \left[\left(532 + 18.1 \cdot \frac{w}{\%} + 4.6 \cdot \frac{t_{кр.с}}{\text{К}} \right) \cdot 10^{-4} \right] \cdot \left(0.25 + 17 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{кр} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \right) \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$

$\alpha_1 := 150 \cdot \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{год}}$ $\alpha_1 = 174.45 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ $\lambda_{кр} = 0.163 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$

$w_{пов} := 0.2 \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$$x := \frac{6 \cdot h1}{\pi} \quad x = 0.573 \text{ м}$$

$$Re := \frac{w_{\text{пов}} \cdot x}{v_{\text{п}}} \quad Re = 7.074 \times 10^3$$

$$Nu := 0.264 \cdot Re^{0.66} \cdot Pr_0^{0.35}$$

$$Nu = 81.34$$

$$\alpha_2 := Nu \cdot \frac{\lambda_{\text{п}}}{x}$$

$$\alpha_2 = 14.197 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$k := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{\text{СТ}}}{\lambda_{\text{СТ}}}}$$

$$k = 13.108 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$t_{\text{пов2}} := t_{\text{пов1}} + 10 \cdot K$$

$$t_{\text{пов2}} = 38 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Перші наближення: $G_{\text{пов}} := 10 \cdot \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad t_{\text{кр2}} := 70 \text{ } ^\circ\text{C}$

Given

$$G_{\text{кр}} \cdot c_{\text{кр}} \cdot (t_{\text{кр1}} - t_{\text{кр2}}) = k \cdot F \cdot \frac{(t_{\text{кр1}} - t_{\text{пов2}}) - (t_{\text{кр2}} - t_{\text{пов1}})}{\ln \left[\frac{(t_{\text{кр1}} - t_{\text{пов2}})}{(t_{\text{кр2}} - t_{\text{пов1}})} \right]}$$

$$G_{\text{пов}} \cdot c_{\text{пов}} \cdot (t_{\text{пов2}} - t_{\text{пов1}}) = k \cdot F \cdot \frac{(t_{\text{кр1}} - t_{\text{пов2}}) - (t_{\text{кр2}} - t_{\text{пов1}})}{\ln \left[\frac{(t_{\text{кр1}} - t_{\text{пов2}})}{(t_{\text{кр2}} - t_{\text{пов1}})} \right]}$$

$$A1 := \text{Find}(t_{\text{кр2}}, G_{\text{пов}})$$

$$t_{\text{кр2}} := A1_0$$

$$G_{\text{пов}} := A1_1$$

$$t_{\text{кр2}} = 90.271 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$G_{\text{пов}} = 1.796 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Ділянка 3 (редлер - екстрактор)

Площа тепловідведення на ділянці

$$F := 2L1 \cdot (b + h1)$$

$$F = 97.6 \text{ м}^2$$

$$t_{\text{кр.с}} := \frac{t_{\text{кр2}} + t_{\text{кр3}}}{2}$$

$$t_{\text{кр.с}} = 70.136 \text{ К}$$

$$\lambda_{\text{кр}} := \left[\left(532 + 18.1 \cdot \frac{w}{\%} + 4.6 \cdot \frac{t_{\text{кр.с}}}{\text{К}} \right) \cdot 10^{-4} \right] \cdot \left(0.25 + 17 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{\text{кр}} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \right) \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

$$\tau_{\text{к}} := \frac{L1}{w_{\text{тр}}}$$

$$\tau_{\text{к}} = 140.769 \text{ с}$$

$$\lambda_{\text{кр}} = 0.155 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

K - т тепловіддачі від крупки до стінки (за рекомендацією В. А. Маслікова) [4]

$$\alpha_1 := 150 \cdot \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{год}} \quad \alpha_1 = 174.45 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Температура зовнішньої стінки транспортера приблизно прийнята на 3°C менше ніж середня температура крупки

$$t_{CT} := t_{кр.с} + 3 \cdot ^\circ C \quad t_{CT} = 73.136 \text{ K}$$

K - т тепловіддачі від стінки до нерухомого повітря

$$w_{ПОВ} := 0.2 \cdot \frac{M}{c}$$

$$\alpha_2 := \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{CT} - t_{ПОВ1}}{K} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{ПОВ} \cdot \frac{c}{M}} \right] \cdot \frac{Вт}{M^2 \cdot K} \quad \alpha_2 = 33.644 \frac{Вт}{M^2 \cdot K}$$

$$k := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}}} \quad k = 28.11 \frac{Вт}{M^2 \cdot K}$$

$$t_{ПОВ2} := t_{ПОВ1} + 10 \cdot K \quad t_{ПОВ2} = 38 \text{ K}$$

Перші наближення $G_{ПОВ} := 10 \cdot \frac{кг}{c}$

Given

$$G_{кр} \cdot c_{кр} \cdot (t_{кр2} - t_{кр3}) = k \cdot F \cdot \frac{(t_{кр2} - t_{ПОВ1}) - (t_{кр3} - t_{ПОВ1})}{\ln \left[\frac{(t_{кр2} - t_{ПОВ1})}{(t_{кр3} - t_{ПОВ1})} \right]}$$

$$A1 := \text{Find}(t_{кр3})$$

$$t_{кр3} := A1 \quad t_{кр3} = 74.919 \text{ K}$$

Основні результати розрахунку:

Для температури повітря $t_{ПОВ1} = 28 \text{ } ^\circ C$ і температури жмиха $t_{ЖМ} = 125 \text{ } ^\circ C$

отримано:

1 ділянка: температура крупки на виході - $t_{кр1} = 92.158 \text{ } ^\circ C$

2 ділянка: температура крупки на виході - $t_{кр2} = 90.271 \text{ } ^\circ C$

3 ділянка: температура крупки на виході - $t_{кр3} = 74.919 \text{ } ^\circ C$

3.1.2. Розрахунок системи із застосуванням повітряного душу

Прийнято короби довжиною 12 метрів, розташовані по 3 на ділянках транспортерів довжиною 36 м і 1 короб довжиною 12 м, розташований на поперечній ділянці трубопроводу довжиною 12 м.

Вихідні дані

Витрата повітря для кожного короба ділянки 21а

$$Q_{\text{ПОВ}} := \frac{3.241 \cdot 10^4 \cdot \frac{\text{М}^3}{\text{ГОД}}}{3}$$

$$Q_{\text{ПОВ}} = 1.08 \times 10^4 \frac{\text{М}^3}{\text{ГОД}}$$

Витрата повітря для кожного короба ділянки 21б

$$Q_{\text{ПОВ}} := \frac{4.323 \times 10^4 \cdot \frac{\text{М}^3}{\text{ГОД}}}{4} \quad Q_{\text{ПОВ}} = 1.081 \times 10^4 \frac{\text{М}^3}{\text{ГОД}}$$

Прийнято для всіх коробів однакову витрату $Q_{\text{ПОВ}} := 10800 \cdot \frac{\text{М}^3}{\text{ГОД}}$

Рекомендована швидкість повітря $w := 25 \cdot \frac{\text{М}}{\text{с}}$

Ширина редлера $b := 0.5 \cdot \text{м}$

Довжина короба $L_2 := 12 \text{м}$

Розрахунок

Прийнято короб прямокутного перерізу зі змінною висотою

Ширина короба: $b_1 := 0.3 \cdot \text{м}$

Довжина короба $l_{\text{к}} := 12 \cdot \text{м}$

Висота короба на вході $h_1 := \frac{Q_{\text{ПОВ}}}{w \cdot b_1} \quad h_1 = 0.4 \text{м}$

на виході (за рекомендацією [4]) $h_2 := 0.25 \cdot h_1 \quad h_2 = 0.1 \text{м}$

Площа повздовжного перерізу короба $f_K := b \cdot l_K$ $f_K = 3.6 \text{ м}^2$

Розрахунок душових щілин

Температура повітря біля редлера $t_x := 28 \cdot ^\circ\text{C}$

Температура повітря на виході з щілини $t_0 := 28 \cdot ^\circ\text{C}$

Температура навколишнього повітря $t_{\text{зов}} := 28 \cdot ^\circ\text{C}$

Дослідний коефіцієнт турбулентності повітря [4], с397 $a := 0.07$

Відстань від щілини до редлера $x := 0.1 \cdot \text{м}$

Розміри щілини $a_1 := 0.06 \cdot \text{м}$ $a_2 := 12 \cdot \text{м}$

Еквівалентний діаметр щілини $d_0 := \frac{4 \cdot (a_1 \cdot a_2)}{2 \cdot (a_1 + a_2)}$ $d_0 = 0.119 \text{ м}$

Діаметр повітряного струменя біля редлера $d_x := d_0 \cdot 6.8 \left(\frac{a \cdot x}{d_0} + 0.145 \right)$

$d_x = 0.165 \text{ м}$

Площа перерізу системи патрубків $f_{\text{соп}} := a_1 \cdot a_2$ $f_{\text{соп}} = 0.72 \text{ м}^2$

Швидкість повітря на виході з патрубків $w_0 := \frac{Q_{\text{пов}}}{f_{\text{соп}}}$ $w_0 = 4.167 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Швидкість повітря біля редлера приймаємо такою ж, через малу відстань

$w_x := w_0$ $w_x = 4.167 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Розрахунок аеродинамічного опору повітряного тракта

Кількість поворотів короба (коліна 90 град) $n_{\text{пов}} := 1$

Абсолютна шорсткість короба (для сталі) $\Delta := 0.1 \text{ мм}$

Кінематична в'язкість повітря при $0 \cdot ^\circ\text{C}$ $\nu := 1.3 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$

Густина повітря при $0 \cdot ^\circ\text{C}$ $\rho := 1.29 \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Еквівалентний діаметр короба $d_K := \frac{4 \cdot (b1 \cdot h1)}{2 \cdot (b1 + h1)} \quad d_K = 0.343 \text{ м}$

Число Рейнольдса $Re := \frac{w \cdot d_K}{\nu} \quad Re = 6.593 \times 10^5$

Для турбулентного режиму коефіцієнт гідравлічного опору

$$\lambda := 0.11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d_K} \right)^{0.25} \quad \lambda = 0.014$$

Коефіцієнт місцевого опору коліна $k1 := 1.1$

входу до короба (труба з сіткою) $k2 := 0.92 \quad k3 := 1$

виходу з щілини (діафрагма) $k3 := \left(\frac{1}{0.707 \cdot \sqrt{1 - \frac{f_{\text{соп}}}{f_K}}} \right)^2 \cdot \frac{f_K}{f_{\text{соп}}}$

$$k3 = 1$$

Втрати напору: $R := \left(\lambda \cdot \frac{L2}{d_K} + \sum \xi \right) \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2}$

$$R = 617.716 \frac{\text{кгс}}{\text{м}^2} \quad R = 605.772 \text{ мм}_\text{в}_\text{ст}$$

За визначеними витратою повітря та напором рекомендується до встановлення вентилятор.

3.1.3. Розрахунок системи із застосуванням водяного охолодження

Розрахунок проведено з умовним розбиттям транспортера на 3 ділянки:

1 - від дробарки до редлера: транспортер у кожусі, повітря нерухоме

2а - редлер: зверху охолодження нерухомим повітрям

2б - редлер: має водяну "сорочку"

3 - від редлера до екстрактора: транспортер у кожусі повітря нерухоме.

Коефіцієнт тепловіддачі від крупки до стінки прийнято за даними В.А.Маслікова для підігрівника жмиха перед експеллером.[4]

К-т тепловіддачі від повітря до стінок на ділянках до і після редлера розрахований для вільної конвекції (нерухоме повітря).

Вихідні дані

$$\text{Витрата крупки } G_{\text{кр}} := 500 \cdot \frac{\text{Т}}{\text{доб}}$$

$$\text{Температура жмиха після пресів } t_{\text{жм}} := 125 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{Температура крупки перед охолодженням(перше наближення)} \\ t_{\text{кр1}} := 102 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{Температура крупки перед екстрактором } t_{\text{кр3}} := 55 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{Питома теплоємність крупки } c_{\text{кр}} := 0.4 \cdot \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\text{Температура повітря (максимально можлива в літній період)} \\ t_{\text{пов1}} := 28 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{Відносна вологість повітря } \phi_{\text{пов}} := 60\%$$

$$\text{Питома теплоємність повітря } c_{\text{пов}} := 1.018 \cdot \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{\text{пов}} = 1.018 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\text{Густина повітря } \rho_{\text{пов0}} := \left(1.28 - 0.003667 \cdot \frac{t_{\text{пов1}}}{\text{К}} \right) \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_{\text{пов0}} = 1.177 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad \lambda_{\text{п}} := 0.1 \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \quad \nu_{\text{п}} := 0.0000162 \frac{\text{м}^2}{\text{с}} \quad \text{Pr}_0 := 0.71$$

$$\text{Ширина транспортерів } b := 0.5\text{м}$$

$$\text{Довжина транспортерів до редлера } L1 := 61\text{м}$$

$$\text{Висота транспортерів (середня) } h1 := 0.3\text{м}$$

$$\text{Довжина транспортерів після редлера } L3 := 50\text{м}$$

Довжина редлера $L_2 := 15\text{м}$

Висота редлера $h_2 := 0.3\text{м}$

Товщина стінки редлера $\delta_{\text{СТ}} := 0.006\text{м}$

Теплопровідність сталі $\lambda_{\text{СТ}} := 50 \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$

Висота шару крупки у редлері $H_{\text{кр}} := 0.08\text{м}$

Висота лопаток редлера $H_{\text{ЛОП}} := 0.05\text{м}$

Густина крупки $\rho_{\text{кр}} := 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Вологість крупки $w := 6\%$

Швидкість транспортерів $w_{\text{ТР}} := 26 \frac{\text{М}}{\text{ХВ}}$

Розрахунок

Ділянка 1 (дробарка - редлер)

Площа тепловідведення на ділянці $F_{\text{вв}} := 2L_1 \cdot (b + h_1) \quad F = 97.6\text{м}^2$

$$t_{\text{кр.с}} := \frac{t_{\text{жм}} + t_{\text{кр1}}}{2} \quad t_{\text{кр.с}} = 113.5^\circ\text{C}$$

$$\lambda_{\text{кр}} := \left[\left(532 + 18.1 \cdot \frac{w}{\%} + 4.6 \cdot \frac{t_{\text{кр.с}}}{\text{К}} \right) \cdot 10^{-4} \right] \cdot \left(0.25 + 17 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{\text{кр}} \cdot \frac{\text{М}^3}{\text{КГ}} \right) \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{М} \cdot \text{К}}$$

$$\lambda_{\text{кр}} = 0.187 \frac{\text{Вт}}{\text{М} \cdot \text{К}}$$

$$\tau_{\text{К}} := \frac{L_1}{w_{\text{ТР}}} \quad \tau_{\text{К}} = 140.769\text{с}$$

К - т тепловіддачі від крупки до стінки (за реком. В. А. Маслікова).[4]

$$\alpha_1 := 150 \cdot \frac{\text{ккал}}{\text{М}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{ГОД}} \quad \alpha_1 = 174.45 \frac{\text{Вт}}{\text{М}^2 \cdot \text{К}}$$

Температура зовнішньої стінки транспортера приблизно прийнята на 3°C менше ніж середня температура крупки $t_{\text{СТ}} := t_{\text{кр.с}} + 3 \cdot ^\circ\text{C} \quad t_{\text{СТ}} = 116.5^\circ\text{C}$

К - т тепловіддачі від стінки до нерухомого повітря $w_{\text{ПОВ}} := 0.2 \cdot \frac{\text{М}}{\text{с}}$

$$\alpha_2 := \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{\text{СТ}} - t_{\text{ПОВ1}}}{\text{К}} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{\text{ПОВ}} \cdot \frac{\text{с}}{\text{М}}} \right] \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{М}^2 \cdot \text{К}}$$

$$\alpha_2 = 54.025 \frac{\text{Вт}}{\text{М}^2 \cdot \text{К}}$$

$$k := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{\text{СТ}}}{\lambda_{\text{СТ}}}} \quad k = 41.047 \frac{\text{Вт}}{\text{М}^2 \cdot \text{К}}$$

Перші наближення

$$t_{\text{ПОВ2}} := t_{\text{ПОВ1}} + 10 \cdot ^\circ\text{С}$$

$$G_{\text{ПОВ}} := 10 \cdot \frac{\text{КГ}}{\text{с}}$$

Кількість теплоти, що може відвестися від крупки

$$G_{\text{кр}} \cdot c_{\text{кр}} \cdot (t_{\text{ЖМ}} - t_{\text{кр1}}) = k \cdot F \cdot \frac{(t_{\text{ЖМ}} - t_{\text{ПОВ1}}) - (t_{\text{кр1}} - t_{\text{ПОВ1}})}{\ln \left[\frac{(t_{\text{ЖМ}} - t_{\text{ПОВ1}})}{(t_{\text{кр1}} - t_{\text{ПОВ1}})} \right]}$$

$$A1 := \text{Find}(t_{\text{кр1}}) \quad t_{\text{кр1}} := A1 \quad t_{\text{кр1}} = 92.158 \text{ } ^\circ\text{С} \quad t_{\text{кр2}} := 70 \cdot \text{К}$$

Ділянка 2а (редлер)

Площа тепловідведення на ділянці

$$F1 := L2 \cdot (b + 2 \cdot h2) \quad F = 97.6 \text{ М}^2$$

$$t_{\text{кр.с}} := \frac{t_{\text{кр1}} + t_{\text{кр2}}}{2} \quad t_{\text{кр.с}} = 81.079 \text{ К}$$

$$\lambda_{\text{кр}} := \left[\left(532 + 18.1 \cdot \frac{\text{в}}{\%} + 4.6 \cdot \frac{t_{\text{кр.с}}}{\text{К}} \right) \cdot 10^{-4} \right] \cdot \left(0.25 + 17 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{\text{кр}} \cdot \frac{\text{М}^3}{\text{КГ}} \right) \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{М} \cdot \text{К}}$$

$$\lambda_{\text{кр}} = 0.187 \frac{\text{Вт}}{\text{М} \cdot \text{К}}$$

$$\alpha_1 := 150 \cdot \frac{\text{ккал}}{\text{М}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{ГОД}} \quad \alpha_1 = 174.45 \frac{\text{Вт}}{\text{М}^2 \cdot \text{К}}$$

$$w_{\text{пов}} := 0.2 \cdot \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

$$x := \frac{6 \cdot h_1}{\pi} \quad x = 0.573 \text{ м}$$

$$Re := \frac{w_{\text{пов}} \cdot x}{\nu_{\text{п}}} \quad Re = 7.074 \times 10^3$$

$$Nu := 0.264 \cdot Re^{0.66} \cdot Pr_0^{0.35} \quad Nu = 81.34$$

$$\alpha_2 := Nu \cdot \frac{\lambda_{\text{п}}}{x} \quad \alpha_2 = 14.197 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$k_1 := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}}} \quad k = 41.047 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$t_{\text{пов}2} := t_{\text{пов}1} + 10 \cdot ^\circ\text{С} \quad t_{\text{пов}2} = 38 \cdot ^\circ\text{С}$$

Ділянка 2б (водяна сорочка редлера)

Площа тепловідведення на ділянці $F_2 := L_2 \cdot b$ $F = 97.6 \text{ м}^2$

$$t_{\text{кр}2\text{р}} := t_{\text{кр}1} - 20\text{К} \quad t_{\text{кр}2\text{р}} = 72.158 \cdot ^\circ\text{С}$$

$$t_{\text{кр}.\text{с}} := \frac{t_{\text{кр}1} + t_{\text{кр}2}}{2} \quad t_{\text{кр}.\text{с}} = 81.079 \cdot ^\circ\text{С}$$

$$\lambda_{\text{кр}} := \left[\left(532 + 18.1 \cdot \frac{w}{\%} + 4.6 \cdot \frac{t_{\text{кр}.\text{с}}}{\text{К}} \right) \cdot 10^{-4} \right] \cdot \left(0.25 + 17 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{\text{кр}} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \right) \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

$$\lambda_{\text{кр}} = 0.163 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

$$\alpha_1 := 150 \cdot \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{год}} \quad \alpha_1 = 174.45 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Приймаємо, що водяна сорочка має переріз b^*a , де $a := 0.05 \text{ м}$

Гідравлічний діаметр $d := 2a$ $d = 0.1 \text{ м}$

Температура води початкова: $t_{\text{в}1} := 15\text{К}$

Фізичні властивості води: $\nu_B := 1.006 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ $a_B := 1.43 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$

$$\lambda_B := 0.6 \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \quad c_B := 4.19 \cdot \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\text{Pr} := \frac{\nu_B}{a_B} \quad \text{Pr} = 7.035$$

Швидкість води $w_B := 2.0 \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$$\text{Re} := \frac{w_B \cdot d}{\nu_B} \quad \text{Re} = 1.988 \times 10^5$$

$$\text{Nu} := 0.023 \cdot \text{Re}^{0.8} \cdot \text{Pr}^{0.4} \quad \text{Nu} = 347.518$$

$$\alpha_2 := \text{Nu} \cdot \frac{\lambda_B}{d} \quad \alpha_2 = 2.085 \times 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$k_2 := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{\text{СТ}}}{\lambda_{\text{СТ}}}} \quad k = 41.047 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$t_{B2} := t_{B1} + 20 \cdot ^\circ\text{C} \quad t_{B2} = 35 \cdot ^\circ\text{C}$$

Перші наближення Кількість теплоти, що може відвестися від крупки

$$G_{\text{кр}} \cdot c_{\text{кр}} \cdot (t_{\text{кр}1} - t_{\text{кр}2}) = (k_1 \cdot F_1 + k_2 \cdot F_2) \cdot \frac{(t_{\text{кр}1} - t_{B2}) - (t_{\text{кр}2} - t_{B1})}{\ln \left[\frac{(t_{\text{кр}1} - t_{B2})}{(t_{\text{кр}2} - t_{B1})} \right]}$$

$$G_B \cdot c_B \cdot (t_{B2} - t_{B1}) = (k_1 \cdot F_1 + k_2 \cdot F_2) \cdot \frac{(t_{\text{кр}1} - t_{B2}) - (t_{\text{кр}2} - t_{B1})}{\ln \left[\frac{(t_{\text{кр}1} - t_{B2})}{(t_{\text{кр}2} - t_{B1})} \right]}$$

$$A_2 := \text{Find}(t_{\text{кр}2}, G_B)$$

$$t_{\text{кр}2p} := A_2[0]$$

$$G_B := A_2[1]$$

$$t_{\text{кр}2p} = 83.127 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$G_B = 3.76 \frac{\text{Т}}{\text{год}}$$

Ділянка 3 (редлер - екстрактор)

$$t_{кр2} := t_{кр2р} \quad t_{кр2} = \text{°C}$$

Площа тепловідведення на ділянці $F := 2L1 \cdot (b + h1) \quad F = 97.6 \text{ м}^2$

$$t_{кр.с} := \frac{t_{кр2} + t_{кр3}}{2} \quad t_{кр.с} = \text{°C}$$

$$\lambda_{кр} := \left[\left(532 + 18.1 \cdot \frac{w}{\%} + 4.6 \cdot \frac{t_{кр.с}}{\text{К}} \right) \cdot 10^{-4} \right] \cdot \left(0.25 + 17 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{кр} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \right) \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

$$\lambda_{кр} = 0.163 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

$$\tau_{кр} := \frac{L1}{w_{тр}} \quad \tau_{кр} = 140.769 \text{ с}$$

К - т тепловіддачі від крупки до стінки (за реком. В. А. Маслікова)[4]

$$\alpha_1 := 150 \cdot \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{год}} \quad \alpha_1 = 174.45 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Температура зовнішньої стінки транспортера приблизно прийнята на 3 °С менше ніж середня температура крупки $t_{ст} := t_{кр.с} + 3 \cdot \text{°C} \quad t_{ст} = \text{°C}$

К - т тепловіддачі від стінки до нерухомого повітря $w_{пов} := 0.2 \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$$\alpha_2 := \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{ст} - t_{пов1}}{\text{К}} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{пов} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}}} \right] \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad \alpha_2 = 33.14 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$k := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}} \quad k = 27.757 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$G_{кр} \cdot c_{кр} \cdot (t_{кр2} - t_{кр3}) = k \cdot F \cdot \frac{(t_{кр2} - t_{пов1}) - (t_{кр3} - t_{пов1})}{\ln \left[\frac{(t_{кр2} - t_{пов1})}{(t_{кр3} - t_{пов1})} \right]}$$

$$A1 := \text{Find}(t_{\text{кр}3}) \quad t_{\text{кр}3} := A1 \quad t_{\text{кр}3} = 69.684^\circ\text{C}$$

Температури крупки по тракту:

$$t_{\text{жм}} = 125^\circ\text{C} \quad t_{\text{кр}1} = 92.158^\circ\text{C} \quad t_{\text{кр}2} = \text{ }^\circ\text{C} \quad t_{\text{кр}3} = \text{ }^\circ\text{C}$$

Основні результати розрахунку

$$\text{Для } t_{\text{пов}1} = 28\text{ К} \quad t_{\text{жм}} = 125\text{ К}$$

1 ділянка: температура крупки на виході - $t_{\text{кр}1} = 92.158^\circ\text{C}$

2 ділянка: температура крупки на виході - $t_{\text{кр}2} = 83.127^\circ\text{C}$

3 ділянка: температура крупки на виході - $t_{\text{кр}3} = 69.684^\circ\text{C}$

Розрахункова витрата води $G_{\text{в}} = 1.044 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$

3.1.4. Розрахунок системи із застосуванням усіх обраних засобів охолодження

Повірковий розрахунок

Розрахункова схема наведена на рис. 3.1.

1а - до норії і норія, вільна конвекція

1б - до норії і норія, вільна конвекція

20а - транспортери оребрені. вільна конвекція

20б - транспортери оребрені. вільна конвекція

21а - транспортер оребрений обдувка

21б - транспортер оребрений обдувка

3 - вільна конвекція

Розраховано на 2 нитки (половина крупки кожної черги)

Тепловіддача від крупки йде лише на висоту 50 мм

Встановлено 7 повітряних коробів: $L = 12$ м

Вихід з короба - конфузор

Одразу ж розраховується душ

Вихідні дані

Витрата крупки

$$G_{кр} := 500 \cdot \frac{\text{т}}{\text{доб}}$$

Температура крупки після дробарки

$$t_{жм} := 100 \cdot ^\circ\text{C}$$

Висота шару крупки

$$h_{кр} := 50 \cdot \text{мм}$$

Питома теплоємність крупки

$$c_{кр} := 0.4 \cdot \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Температура повітря (максимально можлива в літній період)

$$t_{пов1} := 28 \cdot ^\circ\text{C}$$

Температура повітря в приміщенні цеху

$$t_{пов11} := 28 \cdot ^\circ\text{C}$$

Відносна вологість повітря

$$\phi_{пов} := 60\%$$

Питома теплоємність повітря

$$c_{пов} := 1.046 \cdot \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{пов} = 1.046 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Густина повітря

$$\rho_{пов} := \left(1.28 - 0.003667 \cdot \frac{t_{пов1}}{\text{К}} \right) \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_{пов} = 1.177 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\nu_{п} := 0.0000162 \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

$$\lambda_{п} := 0.1 \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

$$\text{Pr}_0 := 0.71$$

Ширина транспортерів

$$b := 0.5 \text{ м}$$

Довжина транспортерів до норії і норії(ліва)

$$L1a := (15 + 9 + 9 + 3 + 28 + 4) \text{ м}$$

$$L1a = 68 \text{ м}$$

Довжина транспортерів до норії і норії(права)

$$L1b := (15 + 10 + 12 + 6 + 28 + 6) \text{ м}$$

$$L1b = 77 \text{ м}$$

Висота транспортерів (середня)

$$h := 0.5 \text{ м}$$

Довжина оребрених транспортерів, що не обдуваються, до обдування

$$L20a := 20 \cdot \text{м}$$

$$L20b := 20 \cdot \text{м}$$

Довжина оребрених транспортерів, що обдуваються

$$L21a := 36 \cdot \text{м}$$

$$L21b := 48 \cdot \text{м}$$

Сумарна довжина оребрених транспортерів	$L_{2ca} := (20 + 36)\text{м}$	$L_{2ca} = 56\text{ м}$
	$L_{2cb} := (20 + 36 + 12)\text{м}$	$L_{2cb} = 68\text{ м}$
Крок ребер (однаковий для всіх оребрених транспортерів)		$s_p := 60\cdot\text{мм}$
Довжина транспортерів після оребрених		$L_3 := 52\text{м}$
Товщина стінки оребрених транспортерів		$\delta_{\text{СТ}} := 3\text{мм}$
Теплопровідність сталі		$\lambda_{\text{СТ}} := 50\cdot\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$
Густина сталі		$\rho_{\text{СТ}} := 7800\cdot\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
Густина крупки		$\rho_{\text{кр}} := 800\cdot\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
Вологість крупки		$w := 6\%$
Швидкість транспортерів		$w_{\text{тр}} := 26\frac{\text{м}}{\text{хв}}$
К - т тепловіддачі від крупки до стінки		$\alpha_{1\text{кр}} := 75\cdot\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\cdot\text{К}}$
Швидкість руху повітря у приміщенні		$w_{\text{пов.п}} := 0.5\cdot\frac{\text{м}}{\text{с}}$
Швидкість руху повітря у транспортері		$w_{\text{пов.к}} := 0.5\cdot\frac{\text{м}}{\text{с}}$
Швидкість руху повітря поза приміщенням		$w_{\text{пов.з}} := 3\cdot\frac{\text{м}}{\text{с}}$

Розрахунок

Температура крупки після норій (перше наближення)	$t_{\text{кр1a}} := 74\cdot^{\circ}\text{C}$
	$t_{\text{кр1b}} := 70\cdot^{\circ}\text{C}$
Температура крупки перед оребреною ділянкою, що обдувається (перше наближення)	$t_{\text{кр20a}} := 70\cdot^{\circ}\text{C}$
	$t_{\text{кр20b}} := 69\cdot^{\circ}\text{C}$
Температура крупки після оребреної ділянки, що обдувається (перше наближення)	$t_{\text{кр21a}} := 61\cdot^{\circ}\text{C}$
	$t_{\text{кр21b}} := 57\cdot^{\circ}\text{C}$
Температура крупки перед екстрактором (перше наближення)	$t_{\text{кр3}} := 55\cdot^{\circ}\text{C}$

Перші наближення:

теплових потоків	$q_{\text{кр1}} := 1170\cdot\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	$q_{\text{кр2}} := 150\cdot\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	$q_{\text{пов}} := 715\cdot\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$
температур	$t_{\text{пов.к}} := 80\cdot^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{ст.з}} := 86\cdot^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{ст.в}} := 87\cdot^{\circ}\text{C}$
	$t_{\text{кр.с}} := 88\cdot^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{дн.з}} := 86\cdot^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{дн.в}} := 87\cdot^{\circ}\text{C}$

$$\alpha_{21} := 15\cdot\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\cdot\text{К}} \quad \alpha_{22} := 15\cdot\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\cdot\text{К}} \quad \alpha_{2\text{кр}} := 15\cdot\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\cdot\text{К}} \quad \alpha_{1\text{пов}} := 15\cdot\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\cdot\text{К}}$$

$$k_{кр} := 10 \cdot \frac{Вт}{м^2 \cdot К} \quad k_{пов} := 10 \cdot \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Ділянка 1а (до норії і норія) $L1a = 68 м$

Площа тепловідведення від повітря у кожусі до повітря на ділянці (верх+стінки - $h_{кр}$)

$$F_{пов} := L1a \cdot [b + 2(h - h_{кр})] \quad F_{пов} = 95.2 м^2$$

Площа тепловідведення від крупки до повітря на ділянці (дно+стінки на висоту шару крупки)

$$F_{кр} := L1a \cdot (b + 2h_{кр}) \quad F_{кр} = 40.8 м^2$$

Given

$$t_{кр.с} = \frac{t_{жм} + t_{кр1а}}{2}$$

$$t_{дн.в} = t_{кр.с} - \frac{q_{кр1}}{\alpha_{1кр}}$$

$$t_{дн.з} = t_{дн.в} - \frac{q_{кр1} \cdot \delta_{ст}}{\lambda_{ст}}$$

К - т тепловіддачі від стінки до повітря в приміщенні на ділянках крупки і повітря

$$\alpha_{21} = \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{дн.з} - t_{пов11}}{К} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{пов.п} \cdot \frac{с}{м}} \right] \cdot \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

$$\alpha_{22} = \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{ст.з} - t_{пов11}}{К} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{пов.п} \cdot \frac{с}{м}} \right] \cdot \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

К - т тепловіддачі від крупки до повітря в кожусі

$$\alpha_{2кр} = \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{кр.с} - t_{пов.к}}{К} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{пов.к} \cdot \frac{с}{м}} \right] \cdot \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Температура повітря у кожусі

$$t_{пов.к} = t_{кр.с} - \frac{q_{кр2}}{\alpha_{2кр}}$$

$$t_{ст.в} = t_{пов.к} - \frac{q_{пов}}{\alpha_{1пов}}$$

$$t_{ст.з} = t_{ст.в} - \frac{q_{пов} \cdot \delta_{ст}}{\lambda_{ст}}$$

К - т тепловіддачі від повітря в кожусі до стінки

$$\alpha_{1пов} = \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{пов.к} - t_{ст.в}}{К} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{пов.к} \cdot \frac{с}{м}} \right] \cdot \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Коефіцієнт теплопередачі на ділянці, заповненій крупкою

$$k_{кр} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1кр}} + \frac{1}{\alpha_{21}} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}}$$

Коефіцієнт теплопередачі на ділянці, заповненій повітрям

$$k_{пов} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1пов}} + \frac{1}{\alpha_{22}} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}}$$

$$\frac{G_{кр}}{2} \cdot c_{кр} \cdot (t_{жм} - t_{кр1a}) = k_{кр} \cdot F_{кр} \cdot \frac{(t_{жм} - t_{пов11}) - (t_{кр1a} - t_{пов11})}{\ln \left[\frac{(t_{жм} - t_{пов11})}{(t_{кр1a} - t_{пов11})} \right]} + k_{пов} \cdot F_{пов} \cdot (t_{пов.к} - t_{пов11})$$

$$q_{кр1} = k_{кр} \cdot (t_{кр.с} - t_{пов11})$$

$$q_{кр2} = \alpha_{2кр} \cdot (t_{кр.с} - t_{пов.к})$$

$$q_{пов} = k_{пов} \cdot (t_{пов.к} - t_{пов11})$$

$$A1 := \text{Find}(t_{кр1a}, t_{кр.с}, t_{дн.в}, t_{дн.з}, \alpha_{21}, \alpha_{22}, \alpha_{2кр}, t_{пов.к}, t_{ст.в}, t_{ст.з}, \alpha_{1пов}, k_{кр}, k_{пов}, q_{кр1}, q_{кр2})$$

$t_{кр1a} := A10$	$t_{кр1a} = 75.292 \text{ } ^\circ\text{C}$	$\alpha_{1пов} := A110$	$\alpha_{1пов} = 26.297 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
$t_{кр.с} := A11$	$t_{кр.с} = 87.646 \text{ } ^\circ\text{C}$	$k_{кр} := A111$	$k_{кр} = 23.165 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
$t_{дн.в} := A12$	$t_{дн.в} = 69.223 \text{ } ^\circ\text{C}$	$k_{пов} := A112$	$k_{пов} = 13.138 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
$t_{дн.з} := A13$	$t_{дн.з} = 69.14 \text{ } ^\circ\text{C}$	$q_{кр1} := A113$	$q_{кр1} = 1.382 \times 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$
$\alpha_{21} := A14$	$\alpha_{21} = 33.586 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$q_{кр2} := A114$	$q_{кр2} = 151.517 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$
$\alpha_{22} := A15$	$\alpha_{22} = 26.297 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$q_{пов} := A115$	$q_{пов} = 674.083 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$
$\alpha_{2кр} := A16$	$\alpha_{2кр} = 18.169 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$		
$t_{пов.к} := A17$	$t_{пов.к} = 79.307 \text{ } ^\circ\text{C}$		
$t_{ст.в} := A18$	$t_{ст.в} = 53.674 \text{ } ^\circ\text{C}$		
$t_{ст.з} := A19$	$t_{ст.з} = 53.633 \text{ } ^\circ\text{C}$		

Ділянка 1б (до норії і норія)

$$L1b = 77 \text{ м}$$

Площа тепловідведення від повітря у кожусі до повітря на ділянці (верх+стінки - $h_{кр}$)

$$F_{пов} := L1b \cdot [b + 2(h - h_{кр})] \quad F_{пов} = 107.8 \text{ м}^2$$

Площа тепловідведення від крупки до повітря на ділянці (дно+стінки на висоту шару крупки)

$$F_{кр} := L1b \cdot (b + 2h_{кр}) \quad 58 \quad F_{кр} = 46.2 \text{ м}^2$$

Given

$$t_{кр.с} = \frac{t_{жм} + t_{кр1b}}{2}$$

$$t_{дн.в} = t_{кр.с} - \frac{q_{кр1}}{\alpha_{1кр}}$$

$$t_{дн.з} = t_{дн.в} - \frac{q_{кр1} \cdot \delta_{ст}}{\lambda_{ст}}$$

К - т тепловіддачі від стінки до повітря в приміщенні на ділянках крупки і повітря

$$\alpha_{21} = \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{дн.з} - t_{пов11}}{К} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{пов.п} \cdot \frac{с}{м}} \right] \cdot \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

$$\alpha_{22} = \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{ст.з} - t_{пов11}}{К} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{пов.п} \cdot \frac{с}{м}} \right] \cdot \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

К - т тепловіддачі від крупки до повітря в кожусі

$$\alpha_{2кр} = \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{кр.с} - t_{пов.к}}{К} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{пов.к} \cdot \frac{с}{м}} \right] \cdot \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Температура повітря у кожусі

$$t_{пов.к} = t_{кр.с} - \frac{q_{кр2}}{\alpha_{2кр}}$$

$$t_{ст.в} = t_{пов.к} - \frac{q_{пов}}{\alpha_{1пов}}$$

$$t_{ст.з} = t_{ст.в} - \frac{q_{пов} \cdot \delta_{ст}}{\lambda_{ст}}$$

К - т тепловіддачі від повітря в кожусі до стінки

$$\alpha_{1пов} = \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{пов.к} - t_{ст.в}}{К} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{пов.к} \cdot \frac{с}{м}} \right] \cdot \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Коефіцієнт теплопередачі на ділянці, заповненій крупкою

$$k_{кр} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1кр}} + \frac{1}{\alpha_{21}} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}}$$

Коефіцієнт теплопередачі на ділянці, заповненій повітрям

$$k_{пов} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1пов}} + \frac{1}{\alpha_{22}} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}}$$

$$\frac{G_{кр}}{2} \cdot c_{кр} \cdot (t_{жм} - t_{кр1b}) = k_{кр} \cdot F_{кр} \cdot \frac{(t_{жм} - t_{пов11})^{59} - (t_{кр1b} - t_{пов11})}{\ln \left[\frac{(t_{жм} - t_{пов11})}{(t_{кр1b} - t_{пов11})} \right]} + k_{пов} \cdot F_{пов} \cdot (t_{пов.к} - t_{пов11})$$

$$q_{кр1} = k_{кр} \cdot (t_{кр.с} - t_{пов11})$$

$$q_{кр2} = \alpha_{2кр} \cdot (t_{кр.с} - t_{пов.к})$$

$$q_{пов} = k_{пов} \cdot (t_{пов.к} - t_{пов11})$$

$$A1 := \text{Find}(t_{кр1b}, t_{кр.с}, t_{дн.в}, t_{дн.з}, \alpha_{21}, \alpha_{22}, \alpha_{2кр}, t_{пов.к}, t_{ст.в}, t_{ст.з}, \alpha_{1пов}, k_{кр}, k_{пов}, q_{кр1}, q_{кр2})$$

$$t_{кр1b} := A10 \quad t_{кр1b} = 72.862 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \alpha_{1пов} := A110 \quad \alpha_{1пов} = 26.054 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$t_{кр.с} := A11 \quad t_{кр.с} = 86.431 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{дн.в} := A12 \quad t_{дн.в} = 68.508 \text{ } ^\circ\text{C} \quad k_{кр} := A111 \quad k_{кр} = 23.005 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$t_{дн.з} := A13 \quad t_{дн.з} = 68.427 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{21} := A14 \quad \alpha_{21} = 33.251 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad k_{пов} := A112 \quad k_{пов} = 13.017 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$\alpha_{22} := A15 \quad \alpha_{22} = 26.054 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad q_{кр1} := A113 \quad q_{кр1} = 1.344 \times 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$\alpha_{2кр} := A16 \quad \alpha_{2кр} = 18.086 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad q_{кр2} := A114 \quad q_{кр2} = 147.601 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$t_{пов.к} := A17 \quad t_{пов.к} = 78.269 \text{ } ^\circ\text{C} \quad q_{пов} := A115 \quad q_{пов} = 654.346 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$t_{ст.в} := A18 \quad t_{ст.в} = 53.154 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{ст.з} := A19 \quad t_{ст.з} = 53.115 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Температура крупки після норій

$$t_{кр1a} = 75.292 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{кр1b} = 72.862 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Температура крупки після норій
середня

$$t_{кр1с} := \frac{t_{кр1a} + t_{кр1b}}{2}$$

$$t_{кр1с} = 74.077 \text{ К}$$

Ділянка 20а (орєбрені транспортери до обдування)

$$L20a = 20 \text{ м}$$

Кількість ребер

$$n_{р20a} := \text{round}\left(\frac{L20a}{s_p}\right)$$

$$n_{р20a} = 333$$

Визначальний розмір

$$x := \frac{4 \cdot b \cdot h}{2(b + h)}$$

$$x = 0.5 \text{ м}$$

Температура повітря

$$t_{пов1р} := t_{пов1}$$

$$t_{пов1р} = 28 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Площа поверхні теплообміну

$$F20a_{кр} := L20a \cdot (b + 2h_{кр})$$

$$F20a_{кр} = 12 \text{ м}^2$$

$$F20a_{пов} := L20a \cdot [b + 2 \cdot (h - h_{кр})] \quad F20a_{пов} = 28 \text{ м}^2$$

Ребра: встановлені тільки на дні транспортерів

Висота ребра $l := 80\text{мм}$

Товщина ребра $\delta_p := 3\text{мм}$

Крок ребер $s_p = 60\text{мм}$

Периметр поперечного перерізу ребра $P := 2 \cdot (b + \delta_p)$

$$P = 1.006\text{ м}$$

Площа поперечного перерізу ребра $f_p := b \cdot \delta_p$

$$f_p = 1.5 \times 10^{-3}\text{ м}^2$$

Коефіцієнти тепловіддачі від неоребреної стінки:

$$\text{до повітря} \quad \alpha_{2c} := 0.264 \cdot \left(\frac{w_{\text{пов.п}} \cdot x}{v_{\text{п}}} \right)^{0.66} \cdot \text{Pr}_0^{0.35} \cdot \frac{\lambda_{\text{п}}}{x}$$

$$\alpha_{2c} = 27.223 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$\text{до ребра} \quad \alpha_{2p} := 7.54 \cdot \frac{\lambda_{\text{п}}}{2 \cdot s_p}$$

$$\alpha_{2p} = 6.283 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$\mu_p := \sqrt{\frac{P \cdot \alpha_{2c}}{f_p \cdot \lambda_{\text{ст}}}}$$

$$\mu_p = 19.109\text{ м}^{-1}$$

$$K_p := \lambda_{\text{ст}} \cdot f_p \cdot \mu_p \cdot \frac{\sinh(\mu_p \cdot l) + \frac{\alpha_{2p} \cdot \cosh(\mu_p \cdot l)}{\lambda_{\text{ст}} \cdot \mu_p}}{\cosh(\mu_p \cdot l) + \frac{\alpha_{2p} \cdot \sinh(\mu_p \cdot l)}{\lambda_{\text{ст}} \cdot \mu_p}}$$

$$K_p = 1.306 \frac{\text{Вт}}{\text{К}}$$

Перші наближення для ребер

$$Q_p := 100 \cdot \text{Вт}$$

$$t_{\text{кр.с}} := 74 \cdot \text{°C}$$

$$Q_{\text{пов}} := 100 \cdot \text{Вт}$$

Given

$$t_{\text{кр.с}} = \frac{t_{\text{кр1а}} + t_{\text{кр20а}}}{2}$$

$$t_{\text{дн.в}} = t_{\text{кр.с}} - \frac{q_{\text{кр1}}}{\alpha_{1\text{кр}}}$$

$$t_{\text{дн.з}} = t_{\text{дн.в}} - \frac{q_{\text{кр1}} \cdot \delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}}$$

К - т тепловіддачі від стінки до повітря в приміщенні на ділянках крупки і повітря

$$\alpha_{21} = \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{\text{дн.з}} - t_{\text{пов1р}}}{\text{К}} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{\text{пов.п}} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}}} \right] \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$\alpha_{22} = \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{\text{ст.з}} - t_{\text{пов1р}}}{\text{К}} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{\text{пов.п}} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}}} \right] \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

61

К - т тепловіддачі від крупки до повітря в кожусі

$$\alpha_{2кр} = \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{кр.с} - t_{пов.к}}{K} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{пов.к} \cdot \frac{с}{M}} \right] \cdot \frac{Вт}{M^2 \cdot K}$$

Температура повітря у кожусі

$$t_{пов.к} = t_{кр.с} - \frac{q_{кр2}}{\alpha_{2кр}}$$

$$t_{ст.в} = t_{пов.к} - \frac{q_{пов}}{\alpha_{1пов}}$$

$$t_{ст.з} = t_{ст.в} - \frac{q_{пов} \cdot \delta_{ст}}{\lambda_{ст}}$$

K - т тепловіддачі від повітря в кожусі до стінки

$$\alpha_{1пов} = \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{пов.к} - t_{ст.в}}{K} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{пов.к} \cdot \frac{с}{M}} \right] \cdot \frac{Вт}{M^2 \cdot K}$$

$$k_{пов} = \left(\alpha_{1пов}^{-1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \alpha_{22}^{-1} \right)^{-1}$$

$$Q_{пов} = k_{пов} \cdot F_{20a} \cdot (t_{пов.к} - t_{пов1p})$$

$$q_{кр2} = \alpha_{2кр} \cdot (t_{кр.с} - t_{пов.к})$$

$$q_{пов} = k_{пов} \cdot (t_{пов.к} - t_{пов1p})$$

$$Q_p = K_p \cdot (t_{дн.з} - t_{пов1p})$$

$$t_{кр20a} = t_{кр1a} - \frac{Q_p \cdot \eta_{p20a}}{\frac{G_{кр}}{2} \cdot c_{кр}}$$

$$A1 := \text{Find}(t_{кр.с}, t_{дн.в}, t_{дн.з}, \alpha_{21}, \alpha_{22}, \alpha_{2кр}, t_{пов.к}, t_{ст.в}, t_{ст.з}, \alpha_{1пов}, k_{пов}, Q_{пов}, q_{кр2}, q_{пов}, Q_p)$$

$$t_{кр.с} := A10$$

$$t_{кр.с} = 74.034 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{ст.в} := A17$$

$$t_{ст.в} = 37.398 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{дн.в} := A11$$

$$t_{дн.в} = 56.111 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{ст.з} := A18$$

$$t_{ст.з} = 53.115 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{дн.з} := A12$$

$$t_{дн.з} = 56.03 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{1пов} := A19$$

$$\alpha_{1пов} = 18.662 \frac{Вт}{M^2 \cdot K}$$

$$\alpha_{21} := A13$$

$$\alpha_{21} = 27.424 \frac{Вт}{M^2 \cdot K}$$

$$k_{пов} := A10$$

$$k_{пов} = 9.326 \frac{Вт}{M^2 \cdot K}$$

$$\alpha_{22} := A14$$

$$\alpha_{22} = 18.662 \frac{Вт}{M^2 \cdot K}$$

$$Q_{пов} := A111$$

$$Q_{пов} = 4.905 \text{ кВт}$$

$$\alpha_{2кр} := A15$$

$$\alpha_{2кр} = 27.057 \frac{Вт}{M^2 \cdot K}$$

$$q_{кр2} := A112$$

$$q_{кр2} = 737.258 \frac{Вт}{M^2}$$

$$t_{\text{пов.к}} := A1_6 \quad t_{\text{пов.к}} = 46.785 \text{ } ^\circ\text{C} \quad q_{\text{пов}} := A1_{13} \quad q_{\text{пов}} = 175.186 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$t_{\text{кр20a}} := A1_{15} \quad t_{\text{кр20a}} = 72.776 \text{ } ^\circ\text{C} \quad Q_p := A1_{14} \quad Q_p = 36.61 \text{ Вт}$$

$$F_{p1} := 2L_{20a} \cdot (b + h) + n_{p20a} \cdot [2l \cdot b + \delta_p \cdot (2l + b)] - n_{p20a} \cdot b \cdot \delta_p \quad F_{p1} = 66.8 \text{ м}^2$$

Потрібна кількість металу на оребрення (площа листа):

$$F_{\text{м20a}} := n_{p20a} \cdot b \cdot l \quad F_{\text{м20a}} = 13.32 \text{ м}^2$$

Маса металу на оребрення:

$$M_{\text{м20a}} := F_{\text{м20a}} \cdot \delta_p \cdot \rho_{\text{ст}} \quad M_{\text{м20a}} = 311.688 \text{ кг}$$

Температура крупки після ділянки $t_{\text{кр20a}} = 72.776 \text{ К}$

Ділянка 20b (оребрені транспортери)

$$L_{20b} = 20 \text{ м}$$

Визначальний розмір $x := \frac{4 \cdot b \cdot h}{2(b + h)} \quad x = 0.5 \text{ м}$

Температура повітря $t_{\text{пов1р}} := t_{\text{пов1}} \quad t_{\text{пов1р}} = 28 \text{ } ^\circ\text{C}$

Площа поверхні теплообміну $F_{20b_{\text{кр}}} := L_{20b} \cdot (b + 2h_{\text{кр}}) \quad F_{20b_{\text{кр}}} = 12 \text{ м}^2$

$$F_{20b_{\text{пов}}} := L_{20b} \cdot [b + 2 \cdot (h - h_{\text{кр}})] \quad F_{20b_{\text{пов}}} = 28 \text{ м}^2$$

Ребра: встановлені тільки на дні транспортерів

Висота ребра $l := 80 \text{ мм}$

Товщина ребра $\delta_p := 3 \text{ мм}$

Крок ребер $s_p = 60 \text{ мм}$

Кількість ребер $n_{p20b} := \text{round}\left(\frac{L_{20b}}{s_p}\right) \quad n_{p20b} = 333$

Периметр поперечного перерізу ребра $P := 2 \cdot (b + \delta_p) \quad P = 1.006 \text{ м}$

Площа поперечного перерізу ребра $f_p := b \cdot \delta_p \quad f_p = 1.5 \times 10^{-3} \text{ м}^2$

Коефіцієнти тепловіддачі від неоребреної стінки:

до повітря $\alpha_{2c} := 0.264 \cdot \left(\frac{w_{\text{пов.п}} \cdot x}{v_{\text{п}}}\right)^{0.66} \cdot \text{Pr}_0^{0.35} \cdot \frac{\lambda_{\text{п}}}{x} \quad \alpha_{2c} = 27.223 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$

до ребра $\alpha_{2p} := 7.54 \cdot \frac{\lambda_{\text{п}}}{2 \cdot s_p} \quad \alpha_{2p} = 6.283 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$

$$\mu_p := \sqrt{\frac{P \cdot \alpha_{2c}}{f_p \cdot \lambda_{\text{ст}}}} \quad \mu_p = 19.109 \text{ м}^{-1}$$

$$K_p := \lambda_{CT} \cdot f_p \cdot \mu_p \cdot \frac{\sinh(\mu_p \cdot l) + \frac{\alpha_{2p} \cdot \cosh(\mu_p \cdot l)}{\lambda_{CT} \cdot \mu_p}}{\cosh(\mu_p \cdot l) + \frac{\alpha_{2p} \cdot \sinh(\mu_p \cdot l)}{\lambda_{CT} \cdot \mu_p}} \quad K_p = 1.306 \frac{\text{Вт}}{\text{К}}$$

Перші наближення для ребер

$$t_{кр.с} := 74 \cdot ^\circ\text{С}$$

$$Q_{ПОВ} := 100 \cdot \text{Вт}$$

Given

$$t_{кр.с} = \frac{t_{кр1b} + t_{кр20b}}{2}$$

$$t_{дн.в} = t_{кр.с} - \frac{q_{кр1}}{\alpha_{1кр}}$$

$$t_{дн.з} = t_{дн.в} - \frac{q_{кр1} \cdot \delta_{CT}}{\lambda_{CT}}$$

К - т тепловіддачі від стінки до повітря в приміщенні на ділянках крупки і повітря

$$\alpha_{21} = \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{дн.з} - t_{пов1p}}{\text{К}} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{ПОВ.П} \cdot \frac{c}{\text{М}}} \right] \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{М}^2 \cdot \text{К}}$$

$$\alpha_{22} = \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{ст.з} - t_{пов1p}}{\text{К}} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{ПОВ.П} \cdot \frac{c}{\text{М}}} \right] \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{М}^2 \cdot \text{К}}$$

К - т тепловіддачі від крупки до повітря в кожусі

$$\alpha_{2кр} = \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{кр.с} - t_{пов.к}}{\text{К}} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{ПОВ.К} \cdot \frac{c}{\text{М}}} \right] \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{М}^2 \cdot \text{К}}$$

Температура повітря у кожусі

$$t_{пов.к} = t_{кр.с} - \frac{q_{кр2}}{\alpha_{2кр}}$$

$$t_{ст.в} = t_{пов.к} - \frac{q_{ПОВ}}{\alpha_{1ПОВ}}$$

$$t_{ст.з} = t_{ст.в} - \frac{q_{ПОВ} \cdot \delta_{CT}}{\lambda_{CT}}$$

К - т тепловіддачі від повітря в кожусі до стінки

$$\alpha_{1ПОВ} = \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{пов.к} - t_{ст.в}}{\text{К}} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{ПОВ.К} \cdot \frac{c}{\text{М}}} \right] \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{М}^2 \cdot \text{К}}$$

$$k_{ПОВ} = \left(\alpha_{1ПОВ}^{-1} + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + \alpha_{22}^{-1} \right)^{-1}$$

$$Q_{\text{ПОВ}} = k_{\text{ПОВ}} \cdot F_{20a_{\text{ПОВ}}} \cdot (t_{\text{ПОВ.К}} - t_{\text{ПОВ1P}})$$

$$q_{\text{КР2}} = \alpha_{2\text{КР}} \cdot (t_{\text{КР.С}} - t_{\text{ПОВ.К}})$$

$$q_{\text{ПОВ}} = k_{\text{ПОВ}} \cdot (t_{\text{ПОВ.К}} - t_{\text{ПОВ1P}})$$

$$Q_p = K_p \cdot (t_{\text{ДН.З}} - t_{\text{ПОВ1P}})$$

$$t_{\text{КР20b}} = t_{\text{КР1b}} - \frac{Q_p \cdot n_{p20b}}{\frac{G_{\text{КР}}}{2} \cdot c_{\text{КР}}}$$

$$A1 := \text{Find}(t_{\text{КР.С}}, t_{\text{ДН.В}}, t_{\text{ДН.З}}, \alpha_{21}, \alpha_{22}, \alpha_{2\text{КР}}, t_{\text{ПОВ.К}}, t_{\text{СТ.В}}, t_{\text{СТ.З}}, \alpha_{1\text{ПОВ}}, k_{\text{ПОВ}}, Q_{\text{ПОВ}}, q_{\text{КР2}}, q_{\text{ПОВ}}, Q_p)$$

$$t_{\text{КР.С}} := A10$$

$$t_{\text{КР.С}} = 71.708 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{СТ.В}} := A17$$

$$t_{\text{СТ.В}} = 28.361 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{ДН.В}} := A11$$

$$t_{\text{ДН.В}} = 53.785 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{СТ.З}} := A18$$

$$t_{\text{СТ.З}} = 28.361 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{ДН.З}} := A12$$

$$t_{\text{ДН.З}} = 53.704 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{1\text{ПОВ}} := A19$$

$$\alpha_{1\text{ПОВ}} = 14.419 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$\alpha_{21} := A13$$

$$\alpha_{21} = 26.331 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$k_{\text{ПОВ}} := A110$$

$$k_{\text{ПОВ}} = 7.207 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$\alpha_{22} := A14$$

$$\alpha_{22} = 14.419 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$Q_{\text{ПОВ}} := A111$$

$$Q_{\text{ПОВ}} = 0.146 \text{ кВт}$$

$$\alpha_{2\text{КР}} := A15$$

$$\alpha_{2\text{КР}} = 34.453 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$q_{\text{КР2}} := A112$$

$$q_{\text{КР2}} = 1.481 \times 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$t_{\text{ПОВ.К}} := A16$$

$$t_{\text{ПОВ.К}} = 28.722 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$q_{\text{ПОВ}} := A113$$

$$q_{\text{ПОВ}} = 5.203 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$t_{\text{КР20b}} := A115$$

$$t_{\text{КР20b}} = 70.554 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_p := A114$$

$$Q_p = 33.572 \text{ Вт}$$

$$F_{p1} := 2L_{20b} \cdot (b + h) + n_{p20b} \cdot [2l \cdot b + \delta_p \cdot (2l + b)] - n_{p20b} \cdot b \cdot \delta_p$$

$$F_{p1} = 66.8 \text{ м}^2$$

Потрібна кількість металу на оребрення (площа листа):

$$F_{\text{м20b}} := n_{p20b} \cdot b \cdot l$$

$$F_{\text{м20a}} = 13.32 \text{ м}^2$$

Маса металу на оребрення:

$$M_{\text{м20b}} := F_{\text{м20b}} \cdot \delta_p \cdot \rho_{\text{ст}}$$

$$M_{\text{м20b}} = 311.688 \text{ кг}$$

Температура крупки після ділянки

$$t_{\text{КР20b}} = 70.554 \text{ К}$$

Розрахунок оребрених ділянок, що обдуваються

Прийнято короби довжиною 12 метрів, розашовані по 3 на ділянках транспортерів довжиною 36 м і 1 короб довжиною 12 м, розташований на поперечній ділянці трубопровода довжиною 12 м.

Ділянка 21a (оребрений транспортер, обдування) $L_{21a} = 36 \text{ м}$

Кількість коробів (прямокутно-трапеційного перерізу) $n_{\text{к21a}} := 3$

Рекомендована швидкість повітря у коробі

$$w := 16 \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ширина короба:

$$b1 := 0.5 \cdot \text{м}$$

Довжина короба	$l_{ка} := 12 \cdot м$	
Площа повздовжнього перерізу короба	$f_{ка} := b_1 \cdot l_{ка}$	$f_{ка} = 6 м^2$
Ширина щілини	$b_{щ} := 50 мм$	
Площа перерізу щілини	$f_{ща} := l_{ка} \cdot b_{щ}$	$f_{ща} = 0.6 м^2$
Температура повітря, що ним обдувають редлер:	$t_{пов1p} := t_{пов1}$	
Швидкість повітря біля редлера (перше наближення)	$w_{пов} := 5 \cdot \frac{м}{с}$	

Дослідний коефіцієнт турбулентності повітря [1], с397 $a := 0.07$

Відстань від щілини до редлера $x := 0.2 \cdot м$

Еквівалентний діаметр щілини

$$d_0 := \frac{4 \cdot f_{ща}}{2 \cdot (l_{ка} + b_{щ})} \quad d_0 = 0.1 м$$

Діаметр повітряного струменя біля редлера (з врахуванням розкриття струменя)

$$d_x := d_0 \cdot 6.8 \left(\frac{a \cdot x}{d_0} + 0.145 \right) \quad d_x = 0.193 м$$

Швидкість повітря на виході з щілини $w_0 := w_{пов} \cdot \left(\frac{\frac{a \cdot x}{d_0} + 0.145}{0.266} \right) \quad w_0 = 5.368 \frac{м}{с}$

Сумарна витрата повітря на короби $Q_{пов_a} := w_0 \cdot L21a \cdot b_{щ} \quad Q_{пов_a} = 3.479 \times 10^4 \frac{м^3}{год}$

Площа поверхні теплообміну транспортера без оребрення $F2 := 2L21a \cdot (b + h) \quad F2 = 72 м^2$

Редери: встановлені тільки на дні транспортерів

Висота ребра $l := 80 мм$

Товщина ребра $\delta_p := 3 мм$

Крок ребер (перше наближення) $s_p = 60 мм$

Периметр поперечного перерізу ребра $P := 2 \cdot (b + \delta_p) \quad P = 1.006 м$

Площа поперечного перерізу ребра $f_p := b \cdot \delta_p \quad f_p = 1.5 \times 10^{-3} м^2$

Кількість ребер $n_{p21a} := \text{round} \left(\frac{L21a}{s_p} \right) \quad n_{p21a} = 600$

Визначальний розмір транспортера (Кулінченко) $x := \frac{4 \cdot b \cdot h}{2(b + h)} \quad x = 0.5 м$

Коефіцієнти тепловіддачі від неореброваної стінки:

до повітря $\alpha_{2c} := 0.264 \cdot \left(\frac{w_{пов} \cdot x}{v_{II}} \right)^{0.66} \cdot Pr_0^{0.35} \cdot \frac{\lambda_{II}}{x} \quad \alpha_{2c} = 124.433 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$

до ребра $\alpha_{2p} := 7.54 \cdot \frac{\lambda_{II}}{2 \cdot s_p} \quad \alpha_{2p} = 6.283 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$

$$\mu_p := \sqrt{\frac{P \cdot \alpha_{2c}}{f_p \cdot \lambda_{CT}}} \quad \mu_p = 40.854 \text{ m}^{-1}$$

$$K_p := \lambda_{CT} \cdot f_p \cdot \mu_p \cdot \frac{\sinh(\mu_p \cdot l) + \frac{\alpha_{2p} \cdot \cosh(\mu_p \cdot l)}{\lambda_{CT} \cdot \mu_p}}{\cosh(\mu_p \cdot l) + \frac{\alpha_{2p} \cdot \sinh(\mu_p \cdot l)}{\lambda_{CT} \cdot \mu_p}} \quad K_p = 3.055 \frac{\text{Вт}}{\text{К}}$$

Температура зовнішньої поверхні стінки $t_{CT2} := \frac{t_{кр20a} + t_{кр21a}}{2} - 5\text{К}$ $t_{CT2} = 61.888 \text{ К}$

$$Q_p := K_p \cdot (t_{CT2} - t_{пов1p}) \quad Q_p = 33.572 \text{ Вт}$$

Температура повітря після нагріву

$$t_{пов2} := \frac{Q_p \cdot n_{p21a}}{Q_{пов_a} \cdot \rho_{пов} \cdot c_{пов}} + t_{пов1p} \quad t_{пов2} = 33.221 \text{ К}$$

Температура зовнішньої поверхні стінки

$$t_{CT2} := \frac{t_{кр20a} + t_{кр21a}}{2} - 5\text{К} \quad t_{CT2} = 61.888 \text{ К}$$

Температура крупки після ділянки

$$t_{кр21a} := t_{кр20a} - \frac{Q_p \cdot n_{p21a}}{\frac{G_{кр}}{2} \cdot c_{кр}} \quad t_{кр21a} = 59.957 \text{ К}$$

Уточнена витрата повітря з урахуванням оребрення:

$$Q_{пов_a} := \frac{Q_p \cdot n_{p21a}}{c_{пов} \cdot \rho_{пов} \cdot (t_{пов2} - t_{пов1p})} \quad Q_{пов_a} = 3.479 \times 10^4 \frac{\text{м}^3}{\text{ГОД}}$$

або на кожен короб

$$Q_{пов_a} := \frac{Q_{пов_a}}{n_{к21a}} \quad Q_{пов_a} = 1.16 \times 10^4 \frac{\text{м}^3}{\text{ГОД}}$$

Необхідна площа короба: на вході на виході - лише трапеційна частина

$$F1 := \frac{Q_{пов_a}}{w} \quad F1 = 0.201 \text{ м}^2$$

Given

$$h1та := 0.1\text{м} \quad h1па := 0.3\text{м} \quad \alpha := 60 \cdot \text{deg}$$

$$F1 = b_{щ} \cdot h1та + h1та^2 \cdot \tan(\alpha) + b1 \cdot h1па$$

$$0.25 \cdot F1 = b_{щ} \cdot h1та + h1та^2 \cdot \tan(\alpha)$$

$$b1 = b_{щ} + 2h1та \cdot \tan(\alpha)$$

$$S := \text{Find}(h1та, h1па, \alpha)$$

$$S = \begin{pmatrix} 0.183\text{м} \\ 0.302\text{м} \\ 0.888 \end{pmatrix}$$

$$h1та := S_0 \quad h1па := S_1 \quad \alpha := S_2$$

Висота прямокутної частини короба 67

$$h1па = 301.956 \text{ мм}$$

Висота трапеційної частини короба

$$h1та = 183.004 \text{ мм}$$

Кут відхилення бічних стінок трапеційної частини

$$h1па + h1та = 484.96 \text{ мм}$$

Сумарна висота короба від вертикалі

$$\alpha = 50.877 \text{ deg}$$

Кількість поворотів короба (коліна 90 град)

$$n_{\text{пов}} := 1$$

Абсолютна шорсткість короба (для сталі)

$$\Delta := 0.1 \text{ мм}$$

Еквівалентний діаметр короба $d_{\text{ка}} := \frac{4 \cdot F1}{b1 + 2h1_{\text{па}} + \left(b_{\text{щ}} + \frac{2 \cdot h1_{\text{га}}}{\cos(\alpha)} \right)}$ $d_{\text{ка}} = 0.547 \text{ м}$

Кінематична в'язкість повітря

$$v_{\text{пов}} := \left[\frac{13.45 + 0.0885 \cdot \frac{t_{\text{пов1р}}}{\text{К}} + 0.00013 \cdot \left(\frac{t_{\text{пов1р}}}{\text{К}} \right)^2}{101.325} \right] \cdot 10^{-4} \cdot \frac{\text{М}^2}{\text{с}}$$
$$v_{\text{пов}} = 1.582 \times 10^{-5} \frac{\text{М}^2}{\text{с}}$$

Число Рейнольдса

$$Re_a := \frac{w \cdot d_{\text{ка}}}{v_{\text{пов}}} \quad Re_a = 5.537 \times 10^5$$

Для турбулентного режиму
коефіцієнт гідравлічного опору

$$\lambda_a := 0.11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d_{\text{ка}}} \right)^{0.25} \quad \lambda_a = 0.013$$

Коефіцієнти місцевого опору:

коліна

$$k1 := 1.1$$

входу до короба (труба з сіткою)

$$k2 := 0.92$$

конфузора

$$k3a := 0.5 \cdot \sin(\alpha) \cdot \left(1 - \frac{f_{\text{ща}}}{f_{\text{ка}}} \right) \quad k3a = 0.349$$

виходу з щілини (стінка перед виходом)

$$k4 := 1.2$$

$$\Sigma \xi_a := n_{\text{пов}} \cdot k1 + k2 + k3a + k4 \quad \Sigma \xi_a = 3.569$$

Втрати напору: $R_a := 1.2 \left(\lambda_a \cdot \frac{l_{\text{ка}}}{d_{\text{ка}}} + \Sigma \xi_a \right) \cdot \frac{\rho_{\text{пов}} \cdot w^2}{2}$ $R_a = 70.96 \text{ мм}_в_ст$

Потрібна кількість металу на оребрення (площа листа):

$$F_{\text{м21a}} := n_{\text{р21a}} \cdot b \cdot l \quad F_{\text{м21a}} = 24 \text{ м}^2$$

Маса металу на оребрення:

$$M_{\text{м21a}} := F_{\text{м21a}} \cdot \delta_p \cdot \rho_{\text{ст}} \quad M_{\text{м21a}} = 561.6 \text{ кг}$$

Температура крупки після ділянки

$$t_{\text{кр21a}} = 59.957 \text{ К}$$

Ділянка 21b (оребрений редлер, обдування)

$$L21b = 48 \text{ м}$$

Кількість коробів (трапеційного

$$n_{\text{к21b}} := 4$$

перерізу) довжиною 18 та 12 м

Рекомендована швидкість повітря у коробі

$$w = 16 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

Ширина короба:

$$b1 = 0.5 \text{ м}$$

Довжина короба

$$l_{\text{кб}} := 18 \cdot \text{м}$$

Площа повздовжного перерізу короба

$$f_{\text{кб}} := b1 \cdot l_{\text{кб}} \quad f_{\text{кб}} = 9 \text{ м}^2$$

Площа перерізу щілини $f_{\text{щб}} := l_{\text{кб}} \cdot b_{\text{щ}}$

$$f_{\text{щб}} = 0.9 \text{ м}^2$$

68

Температура повітря, що ним обдувають редлер: $t_{\text{пов1р}} := t_{\text{пов1}}$

Швидкість повітря біля редлера (перше наближення)		$w_{\text{пов}} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
Дослідний коефіцієнт турбулентності повітря [1]	$a := 0.07$	
Відстань від щілини до редлера	$x := 0.2 \cdot \text{м}$	
Еквівалентний діаметр щілини	$d_0 := \frac{4 \cdot f_{\text{щб}}}{2 \cdot (l_{\text{кб}} + b_{\text{щ}})}$	$d_0 = 0.1 \text{ м}$
Діаметр повітряного струменя біля редлера (з врахуванням розкриття струменя)	$d_x := d_0 \cdot 6.8 \left(\frac{a \cdot x}{d_0} + 0.145 \right)$	$d_x = 0.194 \text{ м}$
Швидкість повітря на виході з щілини	$w_0 := w_{\text{пов}} \cdot \left(\frac{\frac{a \cdot x}{d_0} + 0.145}{0.266} \right)$	$w_0 = 5.364 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
Сумарна витрата повітря на короби	$Q_{\text{пов}_b} := w_0 \cdot (L21b \cdot b_{\text{щ}})$	$Q_{\text{пов}_b} = 4.635 \times 10^4 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$
Площа поверхні теплообміну транспортера без оребрення	$F2 := 2L21a \cdot (b + h)$	$F2 = 72 \text{ м}^2$
Ребра: встановлені тільки на дні транспортерів		
Висота ребра	$l := 80 \text{ мм}$	
Товщина ребра	$\delta_p := 3 \text{ мм}$	
Крок ребер (перше наближення)	$s_p = 60 \text{ мм}$	
Периметр поперечного перерізу ребра	$P := 2 \cdot (b + \delta_p)$	$P = 1.006 \text{ м}$
Площа поперечного перерізу ребра	$f_p := b \cdot \delta_p$	$f_p = 1.5 \times 10^{-3} \text{ м}^2$
Кількість ребер	$n_{p21b} := \text{round} \left(\frac{L21b}{s_p} \right)$	$n_{p21b} = 800$
Визначальний розмір транспортера (Кулінченко)	$x := \frac{4 \cdot b \cdot h}{2(b + h)}$	$x = 0.5 \text{ м}$
Коефіцієнти тепловіддачі від неоребреної стінки: до повітря	$\alpha_{2c} := 0.264 \cdot \left(\frac{w_{\text{пов}} \cdot x}{v_{\text{п}}} \right)^{0.66} \cdot \text{Pr}_0^{0.35} \cdot \frac{\lambda_{\text{п}}}{x}$	$\alpha_{2c} = 124.433 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
до ребра	$\alpha_{2p} := 7.54 \cdot \frac{\lambda_{\text{п}}}{2 \cdot s_p}$	$\alpha_{2p} = 6.283 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
	$\mu_p := \sqrt{\frac{P \cdot \alpha_{2c}}{f_p \cdot \lambda_{\text{ст}}}}$	$\mu_p = 40.854 \text{ м}^{-1}$
	$K_p := \lambda_{\text{ст}} \cdot f_p \cdot \mu_p \cdot \frac{\sinh(\mu_p \cdot l) + \frac{\alpha_{2p} \cdot \cosh(\mu_p \cdot l)}{\lambda_{\text{ст}} \cdot \mu_p}}{\cosh(\mu_p \cdot l) + \frac{\alpha_{2p} \cdot \sinh(\mu_p \cdot l)}{\lambda_{\text{ст}} \cdot \mu_p}}$	$K_p = 3.055 \frac{\text{Вт}}{\text{К}}$

$$Q_p := K_p \cdot (t_{ct2} - t_{пов1p}) \quad Q_p = 103.536 \text{ Вт}$$

Температура повітря після нагріву

$$t_{пов2} := \frac{Q_p \cdot n_{p21b}}{Q_{пов_b} \cdot \rho_{пов} \cdot c_{пов}} + t_{пов1p} \quad t_{пов2} = 33.224 \text{ К}$$

Температура зовнішньої поверхні стінки

$$t_{ct2} := \frac{t_{кр20b} + t_{кр21b}}{2} - 5 \text{ К} \quad t_{ct2} = 58.777 \text{ К}$$

Температура крупки після ділянки

$$t_{кр21b} := t_{кр20b} - \frac{Q_p \cdot n_{p21b}}{\frac{G_{кр}}{2} \cdot c_{кр}} \quad t_{кр21b} = 53.462 \text{ К}$$

Уточнена витрата повітря з урахуванням оребрнення:

$$Q_{пов_b} := \frac{Q_p \cdot n_{p21b}}{c_{пов} \cdot \rho_{пов} \cdot (t_{пов2} - t_{пов1p})} \quad Q_{пов_b} = 4.635 \times 10^4 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

або на кожен короб

$$Q_{пов_b} := \frac{Q_{пов_b}}{n_{к21b}} \quad Q_{пов_b} = 1.159 \times 10^4 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

Необхідна площа короба: на вході

$$F1 := \frac{Q_{пов_b}}{w} \quad F1 = 0.201 \text{ м}^2$$

на виході - лише трапеція

$$h1tb := 0.1 \text{ м} \quad h1pb := 0.3 \text{ м} \quad \beta := 60 \cdot \text{deg}$$

Given

$$F1 = b_{щ} \cdot h1tb + h1tb^2 \cdot \tan(\beta) + b1 \cdot h1pb$$

$$0.25 \cdot F1 = b_{щ} \cdot h1tb + h1tb^2 \cdot \tan(\beta)$$

$$b1 = b_{щ} + 2h1tb \cdot \tan(\beta)$$

$$S := \text{Find}(h1tb, h1pb, \beta)$$

$$h1tb := S_0 \quad h1pb := S_1 \quad \beta := S_2$$

$$S = \begin{pmatrix} 0.183 \text{ м} \\ 0.302 \text{ м} \\ 0.888 \end{pmatrix}$$

Висота прямокутної частини короба

$$h1pb = 301.75 \text{ мм}$$

Висота трапеційної частини короба

$$h1tb = 182.879 \text{ мм}$$

Сумарна висота короба

$$h1pb + h1tb = 484.63 \text{ мм}$$

Кут відхилення бічних стінок

$$\beta = 50.896 \text{ deg}$$

трапеційної частини короба від вертикалі

Кількість поворотів короба (коліна 90 град)

$$n_{пов} := 1$$

Абсолютна шорсткість короба (для сталі) 70

$$\Delta := 0.1 \text{ мм}$$

Еквівалентний діаметр короба

$$d_{kb} := \frac{4 \cdot F1}{b1 + 2h1pb + \left(b_{щ} + \frac{2 \cdot h1tb}{\cos(\beta)} \right)} \quad d_{kb} = 0.464 \text{ м}$$

Кінематична в'язкість повітря

$$v_{\text{пов}} := \left[\frac{13.45 + 0.0885 \cdot \frac{t_{\text{пов1p}}}{\text{К}} + 0.00013 \cdot \left(\frac{t_{\text{пов1p}}}{\text{К}} \right)^2}{101.325} \right] \cdot 10^{-4} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}} \quad v_{\text{пов}} = 1.582 \times 10^{-5} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Число Рейнольдса $Re_b := \frac{w \cdot d_{\text{кб}}}{v_{\text{пов}}} \quad Re_b = 4.695 \times 10^5$

Для турбулентного режиму
коефіцієнт гідравлічного опору $\lambda_b := 0.11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d_{\text{кб}}} \right)^{0.25} \quad \lambda_b = 0.013$

Коефіцієнти місцевого опору:

коліна $k1 := 1.1$

входу до короба (труба з сіткою) $k2 := 0.92$

конфузора $k3b := 0.5 \cdot \sin(\beta) \cdot \left(1 - \frac{f_{\text{щб}}}{f_{\text{кб}}} \right) \quad k3b = 0.349$

виходу з щілини (стінка перед виходом) $k4 := 1.2$

$$\Sigma \xi_b := n_{\text{пов}} \cdot k1 + k2 + k3b + k4 \quad \Sigma \xi_b = 3.569$$

Втрати напору: $R_b := 1.2 \left(\lambda_b \cdot \frac{l_{\text{кб}}}{d_{\text{кб}}} + \Sigma \xi_b \right) \cdot \frac{\rho_{\text{пов}} \cdot w^2}{2} \quad R_b = 75.32 \text{ мм_в_ст}$

Потрібна кількість металу на оребрення (площа листа):

$$F_{\text{м21b}} := n_{\text{р21b}} \cdot b \cdot l \quad F_{\text{м21b}} = 32 \text{ м}^2$$

Маса металу на оребрення:

$$M_{\text{м21b}} := F_{\text{м21b}} \cdot \delta_{\text{р}} \cdot \rho_{\text{ст}} \quad M_{\text{м21b}} = 748.8 \text{ кг}$$

Температура крупки після ділянки

$$t_{\text{кр21b}} = 53.462 \text{ К}$$

Ділянка 3 (редлер - екстрактор) $L3 = 52 \text{ м}$

Температура крупки на вході
(після змішування) $t_{\text{кр2}} := \frac{t_{\text{кр21a}} + t_{\text{кр21b}}}{2} \quad t_{\text{кр2}} = 56.709 \text{ }^\circ\text{C}$

Площа тепловідведення на ділянці $F := 2L3 \cdot (b + h) \quad F = 104 \text{ м}^2$

Площа тепловідведення від повітря у кожусі до повітря на ділянці (верх+стінки -
 $h_{\text{кр}}$) $F_{\text{пов}} := L3 \cdot [b + 2(h - h_{\text{кр}})] \quad F_{\text{пов}} = 72.8 \text{ м}^2$

Площа тепловідведення від крупки до повітря на ділянці (дно+стілки на висоту шару
крупки) $F_{\text{кр}} := L3 \cdot (b + 2h_{\text{кр}}) \quad F_{\text{кр}} = 31.2 \text{ м}^2$

Given

$$t_{\text{кр.c}} = \frac{t_{\text{кр2}} + t_{\text{кр3}}}{2} \quad 71$$

$$t_{\text{дн.в}} = t_{\text{кр.с}} - \frac{q_{\text{кр1}}}{\alpha_{1\text{кр}}}$$

$$t_{\text{дн.з}} = t_{\text{дн.в}} - \frac{q_{\text{кр1}} \cdot \delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}}$$

К - т тепловіддачі від стінки до повітря в приміщенні на ділянках крупки і повітря

$$\alpha_{21} = \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{\text{дн.з}} - t_{\text{пов11}}}{\text{К}} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{\text{пов.п}} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}}} \right] \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$\alpha_{22} = \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{\text{ст.з}} - t_{\text{пов11}}}{\text{К}} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{\text{пов.п}} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}}} \right] \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

К - т тепловіддачі від крупки до повітря в кожусі

$$\alpha_{2\text{кр}} = \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{\text{кр.с}} - t_{\text{пов.к}}}{\text{К}} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{\text{пов.к}} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}}} \right] \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Температура повітря у кожусі

$$t_{\text{пов.к}} = t_{\text{кр.с}} - \frac{q_{\text{кр2}}}{\alpha_{2\text{кр}}}$$

$$t_{\text{ст.в}} = t_{\text{пов.к}} - \frac{q_{\text{пов}}}{\alpha_{1\text{пов}}}$$

$$t_{\text{ст.з}} = t_{\text{ст.в}} - \frac{q_{\text{пов}} \cdot \delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}}$$

К - т тепловіддачі від повітря в кожусі до стінки

$$\alpha_{1\text{пов}} = \left[9.3 + 0.47 \cdot \left(\frac{t_{\text{пов.к}} - t_{\text{ст.в}}}{\text{К}} \right) + 7 \cdot \sqrt{w_{\text{пов.к}} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}}} \right] \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Коефіцієнт теплопередачі на ділянці, заповненій крупкою

$$k_{\text{кр}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1\text{кр}}} + \frac{1}{\alpha_{21}} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}}}$$

Коефіцієнт теплопередачі на ділянці, заповненій повітрям

$$k_{\text{пов}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1\text{пов}}} + \frac{1}{\alpha_{22}} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}}}$$

$$G_{\text{кр}} \cdot c_{\text{кр}} \cdot (t_{\text{кр2}} - t_{\text{кр3}}) = k_{\text{кр}} \cdot F_{\text{кр}} \cdot \frac{(t_{\text{кр2}} - t_{\text{пов11}}) - (t_{\text{кр3}} - t_{\text{пов11}})}{\ln \left[\frac{(t_{\text{кр2}} - t_{\text{пов11}})}{(t_{\text{кр3}} - t_{\text{пов11}})} \right]} + k_{\text{пов}} \cdot F_{\text{пов}} \cdot (t_{\text{пов.к}} - t_{\text{пов11}})$$

$$q_{\text{кр1}} = k_{\text{кр}} \cdot (t_{\text{кр.с}} - t_{\text{пов11}})$$

$$q_{\text{кр}2} = \alpha_{2\text{кр}} \cdot (t_{\text{кр.с}} - t_{\text{пов.к}})$$

$$q_{\text{пов}} = k_{\text{пов}} \cdot (t_{\text{пов.к}} - t_{\text{пов11}})$$

$$A1 := \text{Find}(t_{\text{кр}3}, t_{\text{кр.с}}, t_{\text{дн.в}}, t_{\text{дн.з}}, \alpha_{21}, \alpha_{22}, \alpha_{2\text{кр}}, t_{\text{пов.к}}, t_{\text{ст.в}}, t_{\text{ст.з}}, \alpha_{1\text{пов}}, k_{\text{кр}}, k_{\text{пов}}, q_{\text{кр}1}, q_{\text{кр}2},$$

$t_{\text{кр}3} := A10$	$t_{\text{кр}3} = 55.1 \text{ } ^\circ\text{C}$	$\alpha_{1\text{пов}} := A110$	$\alpha_{1\text{пов}} = 14.114 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
$t_{\text{кр.с}} := A11$	$t_{\text{кр.с}} = 55.905 \text{ } ^\circ\text{C}$	$k_{\text{кр}} := A111$	$k_{\text{кр}} = 18.253 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
$t_{\text{дн.в}} := A12$	$t_{\text{дн.в}} = 49.114 \text{ } ^\circ\text{C}$	$k_{\text{пов}} := A112$	$k_{\text{пов}} = 7.054 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
$t_{\text{дн.з}} := A13$	$t_{\text{дн.з}} = 49.083 \text{ } ^\circ\text{C}$		
$\alpha_{21} := A14$	$\alpha_{21} = 24.159 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$		
		$q_{\text{кр}1} := A113$	$q_{\text{кр}1} = 509.34 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$
$\alpha_{22} := A15$	$\alpha_{22} = 14.114 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$q_{\text{кр}2} := A114$	$q_{\text{кр}2} = 787.189 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$
$\alpha_{2\text{кр}} := A16$	$\alpha_{2\text{кр}} = 27.637 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$		
$t_{\text{пов.к}} := A17$	$t_{\text{пов.к}} = 27.422 \text{ } ^\circ\text{C}$	$q_{\text{пов}} := A115$	$q_{\text{пов}} = -4.081 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$
$t_{\text{ст.в}} := A18$	$t_{\text{ст.в}} = 27.711 \text{ } ^\circ\text{C}$		
$t_{\text{ст.з}} := A19$	$t_{\text{ст.з}} = 27.711 \text{ } ^\circ\text{C}$		

3.2. Основні результати розрахунку рекомендовного варіанту системи охолодження соняшникової крупки

Схема зниження температури крупки у транспортерах

$$\begin{aligned}
 t_{\text{кр}1a} &= 75.292 \text{ }^\circ\text{C} & t_{\text{кр}20a} &= 72.776 \text{ }^\circ\text{C} & t_{\text{кр}21a} &= 59.957 \text{ }^\circ\text{C} \\
 t_{\text{жм}} &= 100 \text{ K} & & & t_{\text{кр}2} &= 56.709 \text{ }^\circ\text{C} & t_{\text{кр}3} &= 55.1 \text{ }^\circ\text{C} \\
 t_{\text{кр}1b} &= 72.862 \text{ }^\circ\text{C} & t_{\text{кр}20b} &= 70.554 \text{ }^\circ\text{C} & t_{\text{кр}21b} &= 53.462 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Крупка

Витрата крупки

$$G_{\text{кр}} = 500 \frac{\text{т}}{\text{доб}}$$

Висота шару крупки у транспортерах

$$h_{\text{кр}} = 50 \text{ мм}$$

Коеф. тепловіддачі від крупки до стінки транспортера

$$\alpha_{1\text{кр}} = 75 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Температура крупки після дробарки

$$t_{\text{жм}} = 100 \text{ K}$$

Повітря

Температура повітря у приміщенні

$$t_{\text{пов}11} = 28 \text{ }^\circ\text{C}$$

Температура навколишнього повітря

$$t_{\text{пов}1} = 28 \text{ }^\circ\text{C}$$

1a і 1b ділянки: вільна конвекція, без оребрення

Довжина ділянки

1a ділянка:

$$L_{1a} = 68 \text{ м}$$

1b ділянка:

$$L_{1b} = 77 \text{ м}$$

Температура крупки на виході

$$t_{\text{кр}1a} = 75.292 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{кр}1b} = 72.862 \text{ }^\circ\text{C}$$

20a і 20b ділянки: вільна конвекція, оребрення

Довжина ділянки

ділянка 20a

$$L_{20a} = 20 \text{ м}$$

ділянка 20b

$$L_{20b} = 20 \text{ м}$$

Кількість ребер

$$n_{p20a} = 333$$

$$n_{p20b} = 333$$

Площа оребрення

$$F_{\text{м}20a} = 13.32 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{м}20b} = 13.32 \text{ м}^2$$

Потрібна маса металу на оребрення при товщині ребра $\delta_p = 3 \text{ мм}$ -

$$M_{\text{м}20a} = 311.688 \text{ кг}$$

$$M_{\text{м}20b} = 311.688 \text{ кг}$$

Температура крупки на виході

$$t_{\text{кр}20a} = 72.776 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{кр}20b} = 70.554 \text{ }^\circ\text{C}$$

21a і 21b ділянки: обдування, оребрення (на даху)

Довжина ділянки

ділянка 21a

$$L_{21a} = 36 \text{ м}$$

ділянка 21b

$$L_{21b} = 48 \text{ м}$$

Кількість ребер

$$n_{p21a} = 600$$

$$n_{p21b} = 800$$

Площа оребрення

$$F_{\text{м}21a} = 24 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{м}21b} = 32 \text{ м}^2$$

Потрібна маса металу на оребрення при товщині ребра $\delta_p = 3 \text{ мм}$ -

$$M_{\text{м}21a} = 561.6 \text{ кг}$$

$$M_{\text{м}21b} = 748.8 \text{ кг}$$

Температура крупки на виході

$$t_{\text{кр}21a} = 59.957 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{кр}21b} = 53.462 \text{ }^\circ\text{C}$$

Розміри коробів

Довжина: $l_{ka} = 12 \text{ м}$ Ширина: $b_1 = 500 \text{ мм}$
Висота: прямокутної ділянки $h_{1pa} = 301.956 \text{ мм}$
 трапеційної ділянки $h_{1ta} = 183.004 \text{ мм}$

Довжина: $l_{kb} = 18 \text{ м}$ Ширина: $b_1 = 500 \text{ мм}$
Висота: прямокутної ділянки $h_{1pb} = 301.75 \text{ мм}$
 трапеційної ділянки $h_{1tb} = 182.879 \text{ мм}$

Ширина щілини $b_{щ} = 50 \text{ мм}$

Швидкість повітря, що обдуває транспортер $w_{пов} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Витрата повітря на обдування на кожен з коробів

$$Q_{пов_a} = 11.595 \frac{1000 \cdot \text{м}^3}{\text{год}} \quad Q_{пов_b} = 11.587 \frac{1000 \cdot \text{м}^3}{\text{год}}$$

Втрати напору для кожного короба:

$$R_a = 70.96 \text{ мм_в_ст} \quad R_b = 75.32 \text{ мм_в_ст}$$

3 ділянка: вільна конвекція, без оребрення

Довжина ділянки $L_3 = 52 \text{ м}$
Температура крупки на виході $t_{кр3} = 55.1 \text{ }^\circ\text{C}$

Ребра

Розмір ребер $500 \times 80 \times 3 \text{ мм}$

Крок ребер $s_p = 60 \text{ мм}$

Кількість ребер $n_{p20a} = 333$ $n_{p21a} = 600$
 $n_{p20b} = 333$ $n_{p21b} = 800$

Загальна кількість $n_p := n_{p20a} + n_{p20b} + n_{p21a} + n_{p21b}$ $n_p = 2.066 \times 10^3$

Сумарна потрібна маса металу на оребрення (лист 3 мм)

$$M_m := M_{m20a} + M_{m20b} + M_{m21a} + M_{m21b} \quad M_m = 1.934 \text{ т}$$

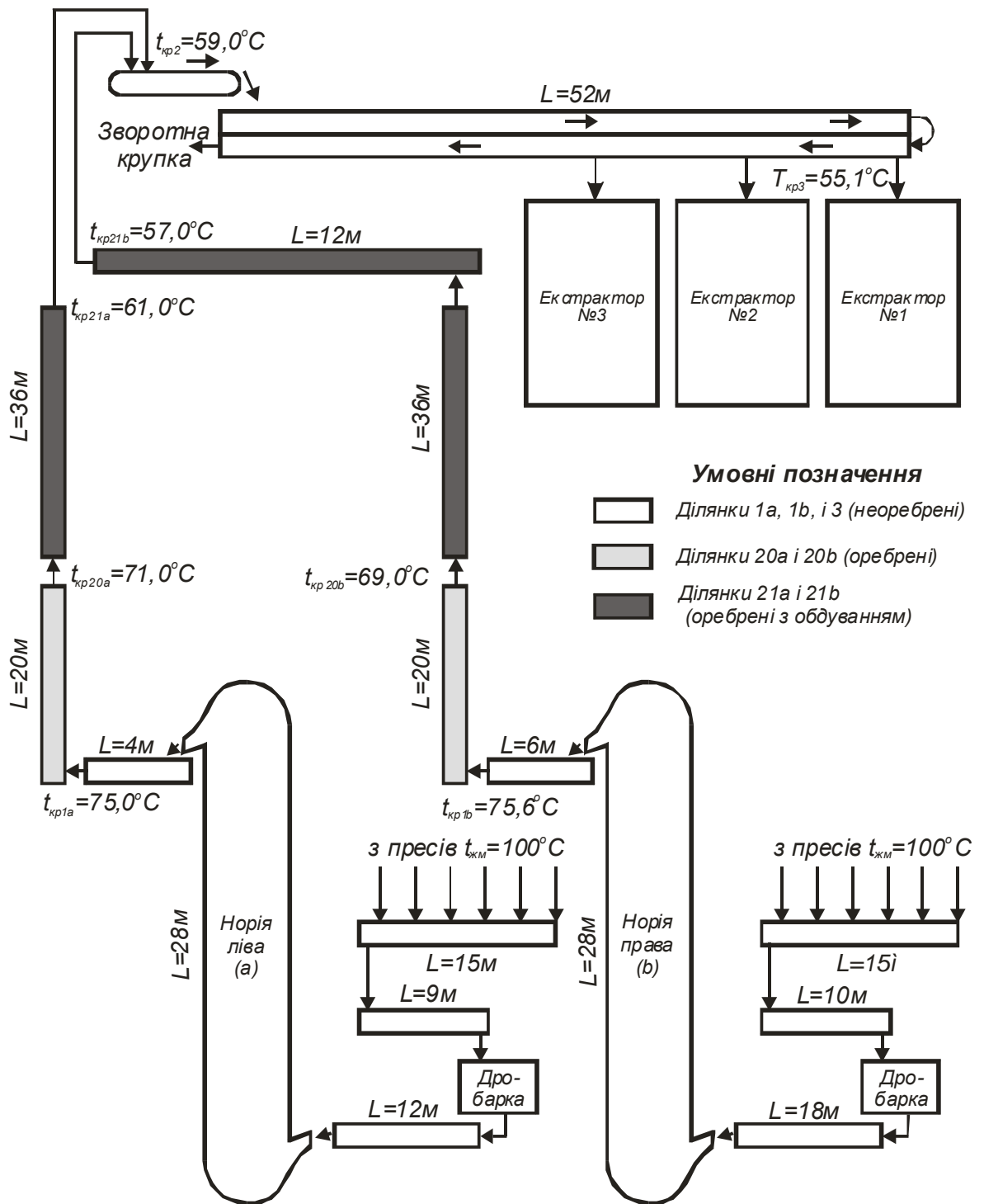


Рис. 3.1. Схема охолодження соняшникової крупки (рекомендований варіант)

3.3. Аналіз результатів дослідження

Основні результати обчислювального експерименту, проведеного з використанням розробленої комп'ютерної моделі, наведені в табл. 3.1.

Розрахунки проведені для таких умов:

- температура зовнішнього повітря не змінювалась і дорівнювала розрахунковій кліматичній літній температурі регіону (28 °С);
- змінювалися конструктивні розміри охолоджуючих пристроїв на транспортерах довжиною 12 м і 18 м: ширина короба; ширина щілини; висота короба на вході повітря;
- змінювалися витрата і швидкість повітря, напір вентилятора для вказаних транспортерів;
- визначались температури крупки: після кожного транспортера; на вході в екстрактор.

Таблиця 3.1.

Основні результати обчислювального експерименту

№ варіанту	Ширина короба, мм	Ширина щілини, мм	Висота короба на вході (для L=12м)	Висота короба на вході (для L=18м)	Швидкість повітря в щілині, м/с	Напір вентилятора H, мм (для L=12м)	Напір вентилятора H, мм (для L=18м)	Витрата повітря Q, м ³ /год (для L=12м)	Витрата повітря Q, м ³ /год (для L=18м)	Температура крупки кінцева, град
1	300	50	320	480	4	685,1	689,8	8640	12960	55,13
2	350	50	274,3	411,4	4	763,3	767	8640	12960	55,13
3	400	50	240	360	4	842,8	845,6	8640	12960	55,13
4	450	50	213,3	320	4	923,1	925,3	8640	12960	55,13
5	500	50	192	288	4	1004	1006	8640	12960	55,13
6	300	50	280	420	3,5	687,1	691,8	7560	11340	55,96
7	350	50	240	360	3,5	765,7	769,2	7560	11340	55,96
8	400	50	210	315	3,5	845,5	848,2	7560	11340	55,96
9	450	50	186,7	280	3,5	926,1	928,2	7560	11340	55,96

10	500	50	168	252	3,5	1007	1009	7560	11340	55,96
11	300	50	240	360	3	689,9	694,4	6480	9720	56,72
12	350	50	205,7	308,6	3	768,8	772,2	6480	9720	56,72
13	400	50	180	270	3	849,2	851,7	6480	9720	56,72
14	450	50	160	240	3	930,3	932,1	6480	9720	56,72
15	500	50	144	216	3	1012	1013	6480	9720	56,72
16	300	50	200	300	2,5	693,8	698,1	5400	8100	57,5
17	350	50	171,4	257,1	2,5	773,5	776,6	5400	8100	57,5
18	400	50	150	225	2,5	854,5	856,6	5400	8100	57,5
19	450	50	133,3	200	2,5	936,4	937,7	5400	8100	57,5
20	500	50	120	180	2,5	1019	1020	5400	8100	57,5
21	300	50	160	240	2	699,8	703,8	4320	6480	57,83
22	350	50	137,1	205,7	2	780,6	783,2	4320	6480	57,83
23	400	50	120	180	2	862,8	864,3	4320	6480	57,83
24	450	50	106,7	160	2	945,9	946,5	4320	6480	57,83
25	500	50	96	144	2	1030	1029	4320	6480	57,83
26	300	60	384	576	4	606,2	611	10370	15550	55,13
27	350	60	329,1	493,7	4	669,8	673,6	10370	15550	55,13
28	400	60	288	432	4	734,9	737,9	10370	15550	55,13
29	450	60	256	384	4	800,9	803,4	10370	15550	55,13
30	500	60	230,4	345,6	4	867,7	869,6	10370	15550	55,13
31	300	60	336	504	3,5	607,9	612,6	9072	13610	55,96
32	350	60	288	432	3,5	671,7	675,4	9072	13610	55,96
33	400	60	252	378	3,5	737,1	740	9072	13610	55,96

34	450	60	224	336	3,5	803,4	805,7	9072	13610	55,96
35	500	60	201,6	302,4	3,5	870,4	872,2	9072	13610	55,96
36	300	60	288	432	3	610,1	614,7	7776	11660	56,72
37	350	60	246,9	370,3	3	674,3	677,9	7776	11660	56,72
38	400	60	216	324	3	740	742,8	7776	11660	56,72
39	450	60	192	288	3	806,8	808,9	7776	11660	56,72
40	500	60	172,8	259,2	3	874,3	875,7	7776	11660	56,72
41	300	60	240	360	2,5	613,3	617,7	6480	9720	57,5
42	350	60	205,7	308,6	2,5	678	681,4	6480	9720	57,5
43	400	60	180	270	2,5	744,3	746,8	6480	9720	57,5
44	450	60	160	240	2,5	811,7	813,4	6480	9720	57,5
45	500	60	144	216	2,5	879,8	880,9	6480	9720	57,5
46	300	60	192	288	2	618,2	622,4	5184	7776	57,83
47	350	60	164,6	246,9	2	683,8	686,8	5184	7776	57,83
48	400	60	144	216	2	751	753,1	5184	7776	57,83
49	450	60	128	192	2	819,3	820,5	5184	7776	57,83

У табл. 3.2. визначений за умов попереднього експерименту вплив варіантів конфігурації системи охолодження (варіанти А і В) на температуру крупки перед екстрактором. Відмінність варіантів полягає у різній кількості і довжині коробів повітряного охолодження.

Ефективність обох варіантів однакова, але замовник надав перевагу уніфікованому варіанту В8 як такому, що забезпечує регламентну температуру і має 7 однакових коробів.

Параметри системи охолодження транспортерів крупки Пологівського ОЕЗ

№ варіанту	Швидкість повітря біля короба, м/с	Короб L=18 м (ліва сторона)			Короб L=18 м (права сторона)			Короб L=12 м			Температура крупки кінцева, град
		Витрата повітря Q, м ³ /год	Висота короба на вході, мм	Напір вентилятора Н, мм в. ст. (для L=18м)	Витрата повітря Q, м ³ /год	Висота короба на вході, мм	Напір вентилятора Н, мм в. ст. (для L=18м)	Витрата повітря Q, м ³ /год	Висота короба на вході, мм	Напір вентилятора Н, мм в. ст. (для L=18м)	
A	Ширина щілини 50 мм. 5 коробів Ширина коробів 500 мм. Довжина коробів: 2x18 м (ліва) 2x18м+1x12 м (права). Швидкість повітря в коробі 16 м/с Температура повітря 28 °С										
1	3	10430	435	75	10430	435	75	6952	315	75	56,7
2	3,5	12170	510	73	12170	510	73	8111	370	74	56
3	4	13900	580	72	13900	580	72	9270	420	73	55,1
4	4,5	15640	655	71	15640	655	71	10430	475	72	54,6
5	5	17380	730	70	17380	730	70	11590	525	71	54,1
B	Ширина щілини 50 мм. 7 коробів. Ширина коробів 500 мм. Довжина коробів: 12 м. Швидкість повітря в коробі 16 м/с Температура повітря 28 °С										
6	3							6952	290	80	56,7
7	3,5							8111	340	79	56
8	4							9270	390	77	55,1
9	4,5							10430	440	76	54,6
10	5							11590	485	75	54,1

У табл. 3.1 наведені результати обчислювального експерименту, проведеного з використанням розробленої комп'ютерної моделі, для визначення впливу на температуру крупки перед екстрактором температури зовнішнього повітря та відмінностей різних варіантів системи охолодження.

Температура зовнішнього повітря змінювалася від 20°C до 40°C включно. Розраховано варіант для розрахункової кліматичної літньої температури регіону (28 °С).

Значення температури соняшникової крупки перед екстрактором за різних варіантів охолодження в залежності від температури зовнішнього повітря

Варіант	Відмінності системи охолодження	Температура зовнішнього повітря, °С					
		20	25	28	30	35	40
1	Існуюча система. Охолодження за рахунок тепловтрат транспортерів	53.762	57.629	59.919	61.432	65.168	68.83
2	Редлер обдувається повітрям	52.673	55.873	57.148	58.405	61.265	64.812
3	Редлер оребрений і обдувається повітрям	52.815	54.644	55.892	57.369	59.485	62.707
4	Редлер охолоджується водою	49.095	52.609	54.684	56.053	59.421	62.708
5	Редлер оребрений	54.207	55.105	57.61	58.932	61.682	64.349
6	Пропонована система	51.743	54.52	55.1	55.809	57.983	59.931

Як свідчать отримані результати, при температурі зовнішнього повітря понад 35 °С всі розглянуті варіанти системи не забезпечують охолодження крупки перед екстрактором до температури (крім варіанту 6), що гарантує зміну агрегатного стану гексану і його мінімальні втрати.

Графічна інтерпретація залежності наведена на рис. 3.2.

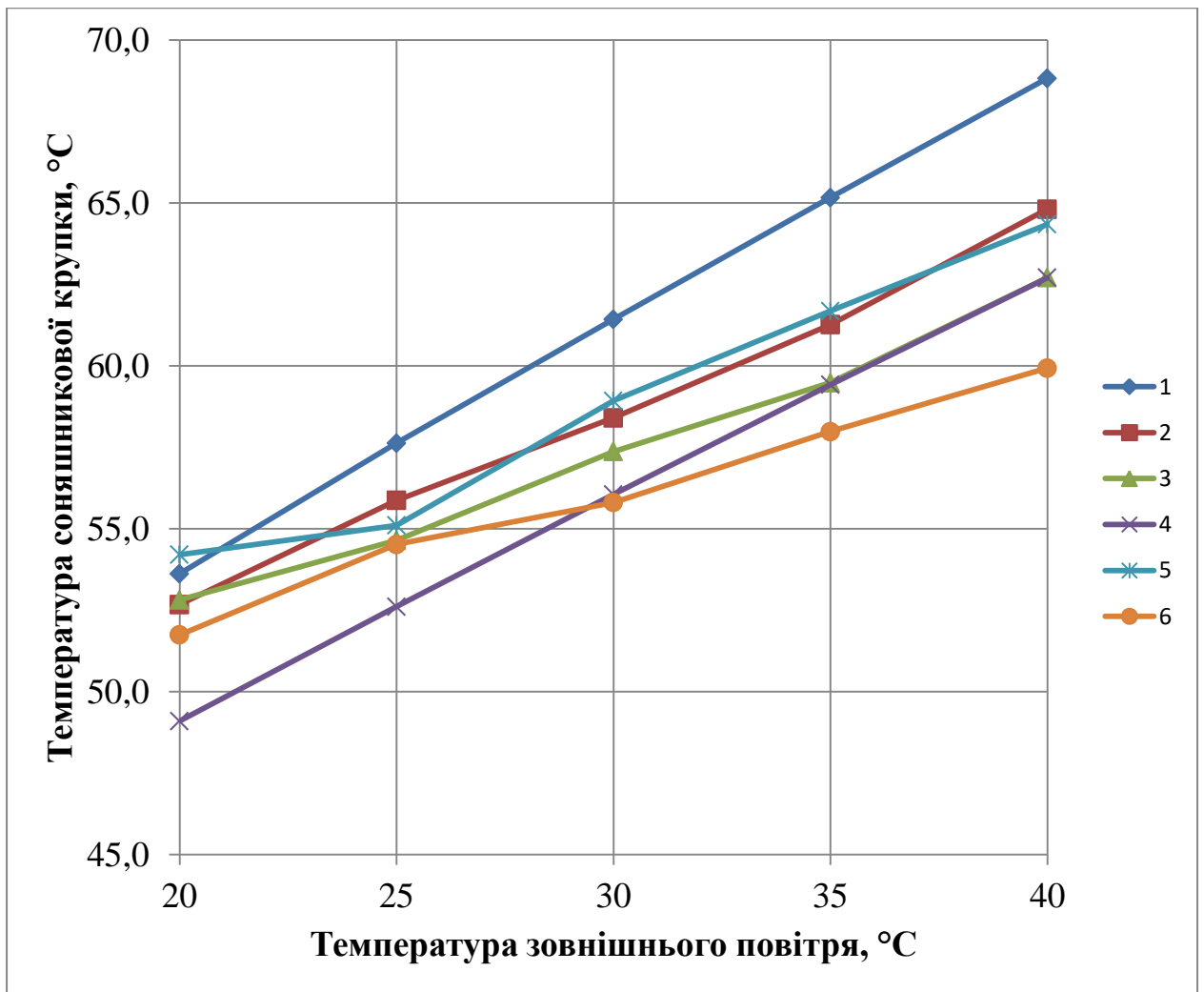


Рис. 3.2. Залежність температури крупи перед екстрактором від температури зовнішнього повітря та різних варіантів системи охолодження, описаних в табл. 3.3.

4. ЗАХОДИ ПО ЗМЕНШЕННЮ ТЕМПЕРАТУРИ КРУПКИ ПІД ЧАС ЇЇ ТРАНСПОРТУВАННЯ ДО ЕКСТРАКТОРА

Для зменшення температури крупки вибрано спосіб інтенсифікації теплопередачі від крупки до зовнішнього повітря за допомогою оребрення дна однієї частини транспортерів та оребрення дна і обдування його повітрям іншої частини транспортерів.

Пропонована схема системи охолодження транспортерів наведена в додатку 1. В ній враховані транспортери правої лінії транспортування, що будуть змонтовані.

Для охолодження обдуванням під оребреними транспортерами встановлено повітряні короби з щілинами, що забезпечують рівномірну по довжині подачу повітря. Повітря подається вентиляторами, виходить через щілини з однаковою швидкістю та обдуває оребрені транспортери, покращуючи тепловідведення з ребер.

Відповідно до цієї схеми ділянки 20а 20в повинні бути оребрені. Основні конструктивні розміри цього оребрення та обдувального пристрою наведені на листі 2.

Для прийнятих конструктивних розмірів загальна витрата повітря на обдування складає 53000 м³ на годину. Для більшої гнучкості регулювання охолодження пропонується встановлювати один обдувальний пристрій на кожні 12 м транспортера, тобто, всього 7 пристроїв з витратою повітря на кожен пристрій 7560 м³ на годину. Гідравлічний опір обдувального пристрою – 700 мм.вод.ст.

ВИСНОВКИ

1. Прибутковість виробництва олії суттєво погіршує збільшення температури крупки понад регламентну – воно призводить до понаднормованої втрати дороговартісного екстрагенту.

2. Існуючі способи охолодження мають певні недоліки: суттєве подрібнення крупки, що погіршує технологічні показники екстракції (кондиціонери з водяними сорочками); значні втрати матеріалу внаслідок його винесення (обдування крупки повітрям, охолодження у завислому шарі або у падаючому потоці).

3. Охолодження крупки стає актуальним через наявне потепління клімату, а існуючі системи і обладнання вимагають модернізації у зв'язку з підвищенням температури довкілля, особливо у південних районах, де розміщені зони вирощування соняшника.

4. Розроблена математична модель та комп'ютерна програма для розрахунку охолодження крупки до екстрактора, яка дозволила провести обчислювальний експеримент і встановити вплив способів та конфігурації системи охолодження, температури зовнішнього повітря на температуру крупки перед екстрактором.

5. Розроблена система охолодження, яка дозволяє регулювати температуру крупки зміною витрати повітря в залежності від температури навколишнього середовища.

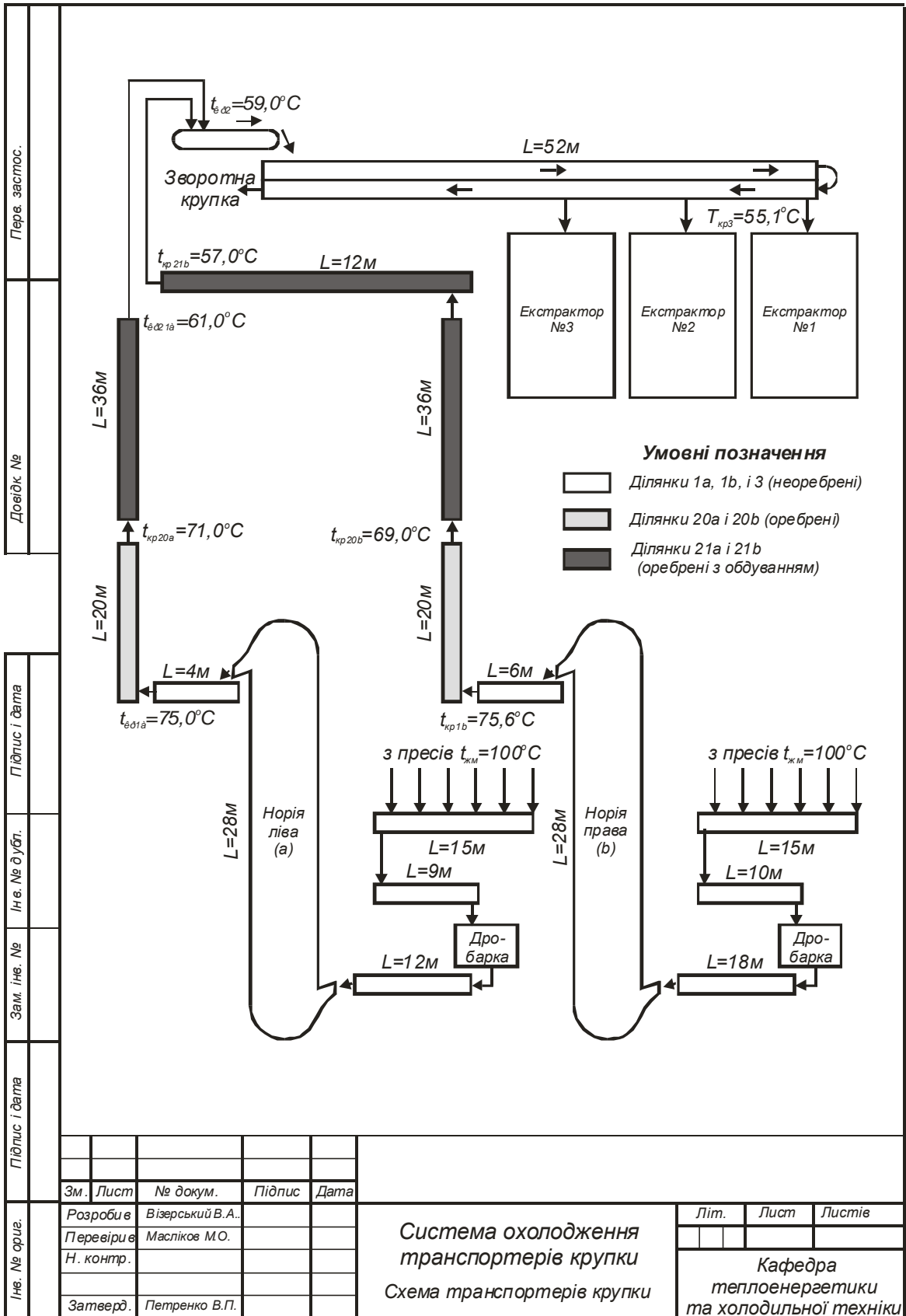
6. Розроблено конструкцію орєбренних транспортерів та обдувальних пристроїв для ЗАТ "Пологівський ОЕЗ".

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. https://studopedia.su/14_52490_himichniy-sposib-otrimannya-roslinnoi-olii.html
2. http://prd.kdu.edu.ua/Files/Metoda/metod_zabezp_new/proc_i_apataty_vyrobn/1_ekcii_proc_i_apataty_vyrobn.pdf
3. <https://docplayer.net/70061247-Suchasni-tehnologichni-procesi-obladnannya-ta-energovikoristannya-v-harchoviy-promislovosti.html>
4. Технологическое оборудование производства растительных масел. Масликов В.А.
5. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника. Справочник. Под ред. Григорьева и Зорина. М.: Энергоатомиздат 1983
6. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. Книга 2. К: Будівельник.- 1976
7. Mathcad [Электронный ресурс] Режим доступа : <https://www.mathcad.com/ru>
8. М.О.Масліков, М.М.Масліков. Система охолодження крупки перед подаванням до екстрактора, Наукові праці УДУХТ.–2001.– №10, с. 29-30
9. <https://mail.google.com/mail/u/0/?tab=rm&ogbl#inbox/FMfcgxwKjwwJNRBkbGhdRJztVffnLBbh?projector=1&messagePartId=0.4>

ДОДАТКИ

Додаток 1.



Перв. застос.																																												
Довідк. №																																												
Підпис і дата	<p>Примітка</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Під одним транспортером по довжині розміщено два обдувальних пристрої. 2. Приварювання ребер виконати по ГОСТ 5264-80-Т1- 4. 3. * - розміри для довідок. 																																											
Зам. інв. №	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Формат</th> <th>Зона</th> <th>Поз.</th> <th>Позначення</th> <th>Найменування</th> <th>Кл.</th> <th>Примітка</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td>Куттик рівнобічний № 5</td> <td>2</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td></td> <td>Стінка бокова</td> <td>2</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>3</td> <td></td> <td>Дно</td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>4</td> <td></td> <td>Ребро</td> <td>12.5</td> <td>на 1 поє.м</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>5</td> <td></td> <td>Обдувальний пристрій</td> <td>2</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кл.	Примітка			1		Куттик рівнобічний № 5	2				2		Стінка бокова	2				3		Дно	1				4		Ребро	12.5	на 1 поє.м			5		Обдувальний пристрій	2	
Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кл.	Примітка																																						
		1		Куттик рівнобічний № 5	2																																							
		2		Стінка бокова	2																																							
		3		Дно	1																																							
		4		Ребро	12.5	на 1 поє.м																																						
		5		Обдувальний пристрій	2																																							
Інв. № ориг.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Фі.</th> <th>Лист</th> <th>№ докум.</th> <th>Підпис</th> <th>Дата</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Розробив</td> <td></td> <td>Візерський В.А.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Перевірив</td> <td></td> <td>Масліков М.О.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Н. контр.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Затверд.</td> <td></td> <td>Петренко В.П.</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Фі.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розробив		Візерський В.А.			Перевірив		Масліков М.О.			Н. контр.					Затверд.		Петренко В.П.																			
Фі.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата																																								
Розробив		Візерський В.А.																																										
Перевірив		Масліков М.О.																																										
Н. контр.																																												
Затверд.		Петренко В.П.																																										
<p>Система охолодження транспортерів крупки Обдування ребреного транспортера. Лінія "а", L=36м</p>																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Літ.</th> <th>Лист</th> <th>Листів</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки</p>			Літ.	Лист	Листів																																							
Літ.	Лист	Листів																																										