

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра агроінжинірингу

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри

Шуляк М. Л.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за бакалаврським рівнем вищої освіти
на тему: «Проектування валкового млина
відповідно до вимог ДСТУ EN 14958»

Виконав:

(підпис)

Скоробагатько С. В.

Група:

ЗМЕХ 2001

(Науковий) керівник:

(підпис)

Івченко О. В.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1 Характеристика об'єкту проектування	7
1.1 Сумський національний аграрний університет: історія, сучасність та шляхи розвитку	7
1.2 Висновок	13
Розділ 2 Загальна характеристика валкових млинів.....	14
2.1 Призначення валкових млинів.....	14
2.2 Історія виникнення та удосконалення	14
2.3 Застосування в різних галузях економіки	16
2.4 Основні елементи та технічні характеристики	17
2.5 Статистичні дані щодо ефективності використання	18
2.6 Найближчі конкуренти валкових млинів	18
2.7 Висновок	19
Розділ 3 Аналіз основних вимог ДСТУ EN 14958 щодо проектування валкових млинів	20
3.1 Вступ.....	20
3.2 Об'єкт та сфера застосування стандарту	20
3.3 Вимоги до безпечності конструкції.....	20
3.4 Ергономічні та функціональні вимоги.....	21
3.5 Енергетична ефективність та охорона довкілля	21
3.6 Ідентифікація, маркування та технічна документація.....	22
3.7 Методи оцінювання відповідності	22
3.8 Впровадження у вітчизняне машинобудування	22
3.9 Висновок	23
Розділ 4 Удосконалення устаткування.....	24
4.1 Опис базової моделі валкового млина	24
4.2 Модернізація млина: кінематичний розрахунок головного приводу	25

4.2.1 Вибір структурної формули привода	25
4.2.2 Розробка кінематичної схеми приво­ду головного руху.....	26
4.2.3 Варіанти структурних формул коробки швидкостей.....	26
4.2.4 Побудова структурних сіток	27
4.2.5 Аналіз структурних сіток	27
4.2.6 Побудова графіка частот обертання основного валу	33
4.2.7 Розрахунок кількості зубів шестерень коробки швидкостей	33
4.2.8 Перевірка фактичних частот обертання шпинделя	37
4.2.9 Розрахунок пасової передачі.....	43
4.2.10 Розрахунок вихідного валу	50
Висновки	59
Список використаних джерел	60
Додатки.....	62

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасних умовах, зумовлених повномасштабною війною в Україні, зростає потреба в науково обґрунтованих рішеннях щодо підвищення ефективності та стійкості національної агропромислової системи. Одним із ключових завдань є забезпечення харчової безпеки шляхом удосконалення технологічних процесів переробки сільськогосподарської сировини [1]. З цієї точки зору актуальним є наукове проектування устаткування, зокрема валкових млинів, яке базується на стандартизованих європейських підходах, зокрема вимогах ДСТУ EN 14958.

Валковий млин – це важливий об'єкт у ланцюзі механічної підготовки сировини як для виробництва харчових продуктів, так і для отримання енергоносіїв з біомаси [2]. Його конструкція повинна забезпечувати оптимальні параметри подрібнення з урахуванням фізико-механічних властивостей матеріалу, мінімізацію енергоспоживання, дотримання вимог безпеки, надійність і довговічність експлуатації.

Застосування положень ДСТУ EN 14958 [3] як нормативної бази для конструювання дозволяє уніфікувати параметри обладнання, сприяти інтеграції українських розробок у європейський ринок, а також реалізувати підхід до безпечного та ресурсоефективного виробництва.

З наукової точки зору, доцільність проектування валкового млина полягає у необхідності [4]:

- теоретичного моделювання процесів деформації та руйнування біомаси між робочими органами млина;
- експериментального визначення впливу конструктивних параметрів (радіуса валків, ширини зазору, швидкості обертання) на фракційний склад продукту подрібнення;
- розробки оптимізаційних моделей з урахуванням показників енергоефективності та зносу елементів;

– валідації моделі за допомогою експериментальних досліджень на лабораторному або дослідному зразку млина.

Крім харчової безпеки, ця тематика тісно пов'язана з розвитком зеленої енергетики, що є предметом активного наукового інтересу у світовому контексті [5]. Використання рослинної біомаси як відновлюваного ресурсу для виробництва енергії передбачає необхідність її попереднього подрібнення до встановлених фракцій, що забезпечує ефективне згоряння або ферментацію. Наукове дослідження цього процесу дозволяє сформулювати рекомендації щодо інженерного проектування устаткування для біоенергетичних технологій.

Враховуючи мультисекторний ефект (харчова безпека, енергетика, зайнятість, індустріальний розвиток), актуальність теми також підтримується на рівні державних наукових стратегій у сфері економічної стійкості в умовах війни та повоєнного відновлення.

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра: на основі теоретичного аналізу, моделювання та нормативних вимог розробити конструкцію валкового млина, придатного для подрібнення рослинної біомаси та зернової сировини, відповідно до вимог ДСТУ EN 14958, з подальшим використанням у сферах харчової промисловості, біоенергетики та локального виробництва.

Об'єкт дослідження: процес механічного подрібнення рослинної сировини у валкових млинах, що використовується в харчовій, енергетичній та технічній переробці.

Предмет дослідження: конструктивні, кінематичні та технологічні параметри валкового млина, а також їхній вплив на ефективність подрібнення та відповідність вимогам безпеки, встановлених ДСТУ EN 14958.

Науково-практичне значення роботи:

1. Харчова безпека.

Удосконалення обладнання дозволяє підвищити якість продуктів первинної переробки зернових культур.

Проект млина може бути адаптований до умов децентралізованого виробництва у фермерських господарствах.

2. Зелена енергетика.

Результати дослідження можуть бути використані для розробки технологічних схем підготовки біомаси (солома, стебла технічних культур) до піролізу, ферментації або спалювання.

Оптимізація процесу подрібнення дозволяє знизити енерговитрати на етапі підготовки палива.

3. Економічна та соціальна стійкість.

Впровадження розроблених рекомендацій сприятиме створенню нових робочих місць у таких галузях:

Агропереробка – експлуатація млинів на рівні громад і кооперативів.

Машинобудування – виготовлення, адаптація і технічне обслуговування устаткування.

Енергетика – локальні системи генерації тепла та електроенергії з біомаси.

Освіта і наука – впровадження інновацій через інженерні освітні програми, наукові публікації та стартапи.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Сумський національний аграрний університет: історія, сучасність та шляхи розвитку

Сумський національний аграрний університет (СНАУ) розміщується за наступною юридичною адресою: 40021, Україна, Сумська область, м. Суми, вул. Герасима Кондратьєва, 160. Розташування на електронній карті представлено на рис. 1.1. Університет заснований на державній формі власності. Наразі підпорядкований Міністерству освіти і науки України.

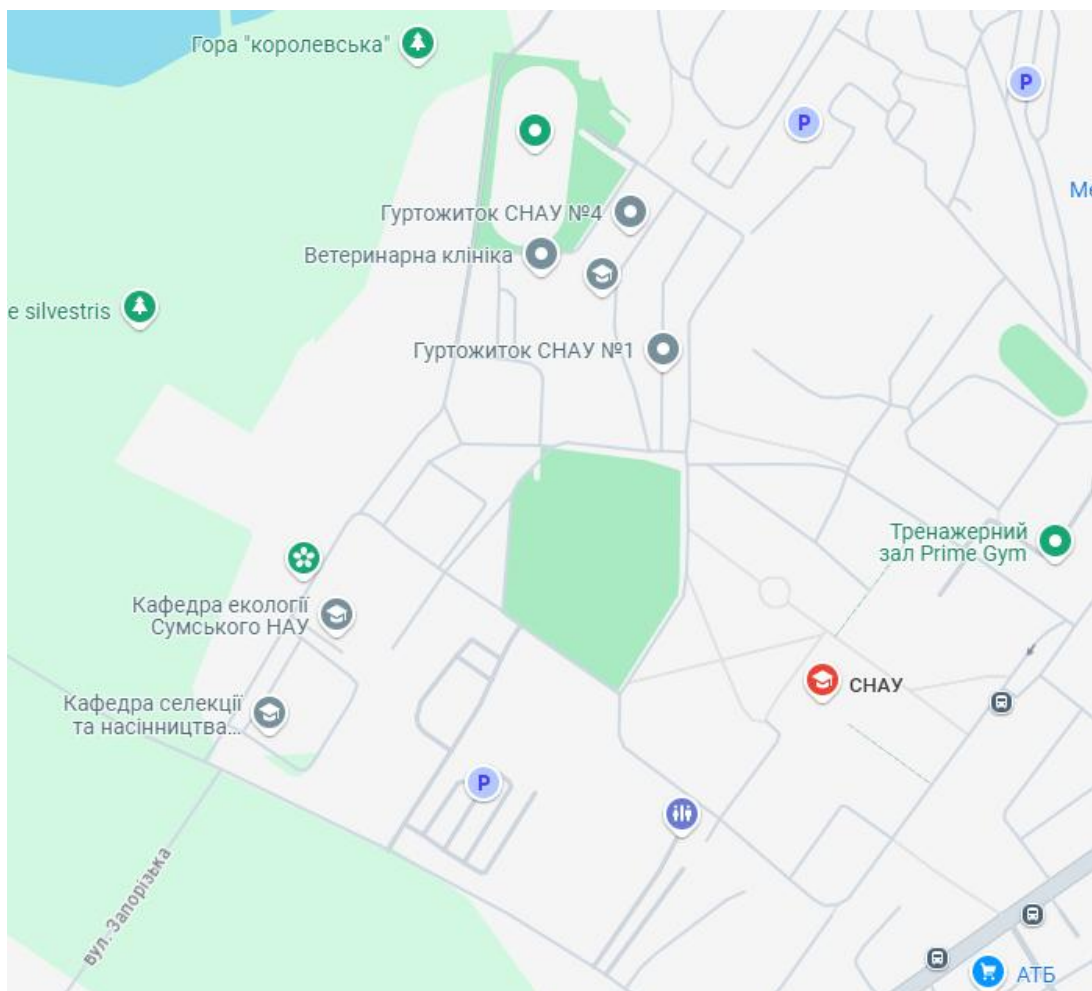


Рисунок 1.1 – Місце розташування Сумського НАУ [6]

Сумський НАУ – один із провідних науково-освітніх центрів аграрного профілю України, акредитований за IV рівнем, що демонструє високу здатність до розвитку в умовах криз та трансформацій. Заснований у 1977 році як філія Харківського сільськогосподарського інституту ім. В.В. Докучаєва, університет перетворився на багатoproфільний інноваційний хаб, що поєднує освітню, науково-дослідну, виробничу та міжнародну діяльність у межах сучасної аграрної парадигми сталого розвитку.

Попри розташування в прифронтовій зоні, Сумський НАУ зберігає академічну стійкість і продовжує реалізовувати стратегію інтеграції до європейського науково-освітнього простору. В умовах воєнного стану університет виконує важливу роль не лише як освітній заклад, але й як центр антикризового наукового мислення. Пріоритетами стають мобільність освітнього процесу, трансфер агротехнологій, збереження людського потенціалу та адаптація інфраструктури до цифрових форматів взаємодії.

Освітній процес у Сумський НАУ охоплює 8 факультетів і 5 фахових коледжів, де готують фахівців за широким спектром акредитованих спеціальностей, орієнтованих на практичну реалізацію знань у галузях агровиробництва, тваринництва, інженерії, екології, економіки та управління. Вивчення іноземних мов, цифрових рішень, геоінформаційних технологій, штучного інтелекту та точного землеробства інтегровано у навчальні програми як основа для формування фахівця європейського рівня.

Сумський НАУ виступає активним генератором наукового знання: функціонують 19 наукових лабораторій, реалізуються прикладні дослідження з агрономії, біотехнології, селекції, ветеринарної медицини, агроінженерії та цифрового землеробства. Аспірантура охоплює 26 наукових спеціальностей, а на базі кафедри селекції та насінництва працює Інститут проблем картоплярства північно-східного регіону України – регіональний науково-методичний центр, що має потенціал трансформації в міждисциплінарний дослідницький інститут агроінновацій (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – ЦККНО «Лабораторія екологічного землеробства та природокористування» [7]

Матеріальна база включає навчально-дослідне господарство площею 2,6 тис. га, дослідне поле, лабораторії, навчально-наукову виробничу лабораторію (віварій), що забезпечує експериментальну базу для міжгалузевих наукових досліджень і трансферу технологій до реального сектора економіки.

Інформаційно-цифрова інфраструктура університету охоплює понад 1000 комп'ютеризованих робочих місць, власну локальну мережу з доступом до Internet, а також потужну цифрову платформу дистанційного навчання, що дозволяє реалізовувати гібридні та індивідуалізовані освітні траєкторії. Обсяг комп'ютерного навантаження для студентів досягає 350 годин, що відповідає сучасним вимогам цифрової грамотності в аграрній освіті.

Університет активно розвиває міжнародне партнерство. Студенти мають змогу проходити виробничу практику на підприємствах країн ЄС, США, Канади, Австралії, що дозволяє інтегрувати світовий досвід в аграрне виробництво України. Сумський НАУ – учасник програми Erasmus+, Horizon Europe, ENEPLAN, що відкриває доступ до грантових механізмів, мобільності науковців і модернізації освітнього контенту.

Перерахуємо напрями перспективного розвитку Сумського НАУ.

З урахуванням нових викликів і можливостей, університет розглядає такі науково-освітні напрями розвитку:

1. Центр стійких агросистем і біоекономіки: формування міжфакультетської дослідницької платформи з питань відновлюваної енергетики, переробки біомаси, кліматоадаптивного землеробства та збереження агробіорізноманіття.

2. Інкубатор аграрних інновацій та цифрових стартапів: розвиток технологічного парку для впровадження аграрних ІТ-рішень, автоматизованих систем моніторингу, платформ аграрної аналітики, підтримка студентських і викладацьких стартапів.

3. Міжнародна агрошкола: створення програми подвійних дипломів і англomовних магістерських програм для підготовки фахівців міжнародного рівня.

4. Науково-освітній центр відновлення аграрних територій: орієнтований на відновлення деградованих земель, відбудову сільських територій, інженерну та агроекологічну реконструкцію прифронтних регіонів.

5. Мережа університетських демо-господарств: створення пілотних аграрних виробництв із впровадженими науковими розробками Сумського НАУ для демонстрації рішень аграріям і залучення зовнішніх інвестицій.

Завдяки своїй системності, науковому потенціалу та соціальній відповідальності, Сумський НАУ здатен відігравати провідну роль у трансформації аграрної освіти, відновленні агросектору України, підвищенні продовольчої безпеки та реалізації зеленої економіки у післявоєнний період.

Тема кваліфікаційної роботи «Проектування валкового млина відповідно до вимог ДСТУ EN 14958» органічно вписується у стратегічні пріоритети діяльності Сумського НАУ, зокрема у реалізацію його місії [8], що передбачає примноження людського капіталу шляхом проведення наукових досліджень та впровадження інновацій світового рівня, а також

підготовку фахівців, здатних розвивати аграрний сектор і суспільство на принципах сталого розвитку.

Удосконалення конструкцій сучасного валкового млина відповідно до європейського стандарту ДСТУ EN 14958 [3] є актуальним інженерним завданням, що спрямоване на підвищення ефективності технологічних процесів у харчовій та енергетичній промисловості. Такий підхід відповідає концепції інноваційного розвитку університету, який ставить за мету не лише засвоєння існуючих знань, а й їхнє творче оновлення через прикладні наукові розробки. Засади проектування валкового млина інтегрує знання механіки, матеріалознавства, енергетики та екологічного аналізу, що сприяє формуванню міждисциплінарної компетентності майбутнього фахівця – випускника Сумського НАУ.

Водночас, зазначений проєкт є практичним внеском у модернізацію агропромислової інфраструктури України, зокрема у створення додаткових ланок переробки рослинної сировини та відходів агровиробництва з метою отримання продуктів харчування або біоенергетичних ресурсів. Це відповідає принципам циркулярної економіки та сталого розвитку, які є ключовими у стратегії Сумського НАУ [8]. Крім того, впровадження такого обладнання створює нові робочі місця, посилює продовольчу безпеку та сприяє економічній стійкості держави, що особливо важливо в умовах воєнного часу.

Таким чином, обрана тема є не лише прикладом практичної реалізації освітньо-наукового потенціалу студента, а й відображенням стратегічного курсу розвитку Сумського НАУ (див. рис. 1.3) на інноваційне, компетентнісне та суспільно орієнтоване навчання, спрямоване на формування нового покоління інженерів-аграріїв, здатних вирішувати комплексні виклики сталого розвитку.

ПРИНЦИПИ РОЗВИТКУ СНАУ:

- Сприяння досягненню цілей сталого розвитку ООН;
- Взаємопов'язаний розвиток, як баланс та узгодженість стратегії розвитку Університетського комплексу, що включає коледжі та факультети;
- Інтеграційна спрямованість, гнучкість у відповідь на зміну обставин, які легше за все будуть досягатися наявністю спільної зацікавленості та постійного зворотного зв'язку надавача освітніх послуг (факультету), отримувача освітніх послуг (студента, аспіранта) та інших стейкхолдерів (підприємств, установ, організацій, де працюватимуть випускники тощо);
- Інноваційність, яка стосуватиметься не тільки застосування нових технологій навчання, а і формування нового підходу до надання освітніх послуг (наприклад, орієнтація на замовника через використання он-лайн, «e-learning» навчання);
- Постійний зворотній зв'язок надавача освітніх послуг (факультету), отримувача освітніх послуг (студента, аспіранта) та інших стейкхолдерів;
- Консенсус та компроміси як основні провідники фінальних рішень на всіх ієрархічних рівнях прийняття управлінських рішень.



Рисунок 1.3 – Принципи розвитку університету [8]

1.2 Висновок

Таким чином, відповідна тема кваліфікаційної роботи дозволяє посилити виконанням Сумським НАУ своєї Стратегії та Місії та надати можливість вітчизняним підприємствам проєктувати та виготовляти валкові млини відповідно до вимог ДСТУ EN 14958.

РОЗДІЛ 2

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВАЛКОВИХ МЛИНІВ

2.1 Призначення валкових млинів

Валкові млини є ключовим обладнанням у багатьох галузях промисловості, зокрема в харчовій, хімічній, металургійній та енергетичній. Їхнє призначення полягає в подрібненні, розплющуванні або змішуванні різноманітних матеріалів шляхом пропускання їх між обертовими валками. Цей процес забезпечує ефективне зменшення розміру частинок, що є критично важливим для подальших технологічних операцій [9].

Основне призначення валкових млинів полягає в подрібненні матеріалів до необхідного розміру для подальшого використання або обробки [10]. Це досягається шляхом пропускання матеріалу між двома або більше обертовими валками, які стискають і розплющують його [11]. Валкові млини забезпечують:

- Високу ефективність подрібнення. Завдяки постійному тиску між валками досягається рівномірне та контрольоване подрібнення. [12]
- Мінімальне тепловиділення. На відміну від інших методів подрібнення, валкові млини генерують менше тепла, що важливо для термочутливих матеріалів. [12]
- Гнучкість у налаштуваннях. Можливість регулювання відстані між валками дозволяє адаптувати млин до різних типів матеріалів та бажаного ступеня подрібнення. [12]

2.2 Історія виникнення та удосконалення

Перші спроби механічного подрібнення матеріалів датуються античними часами, коли використовувалися прості пристрої, такі як жорна. Однак справжній прорив у технології подрібнення стався в XIX столітті з винаходом валкових млинів.



Рисунок 2.1 – Вітряні млини (вітряки) [13]

У 1822 році Марк Міллер запропонував концепцію вальцьового верстата, а в 1829 році отримав «привілегію» на нову машину. Перший млин, повністю обладнаний вальцьовими верстатами, був побудований у Казані в 1858 році. [14]

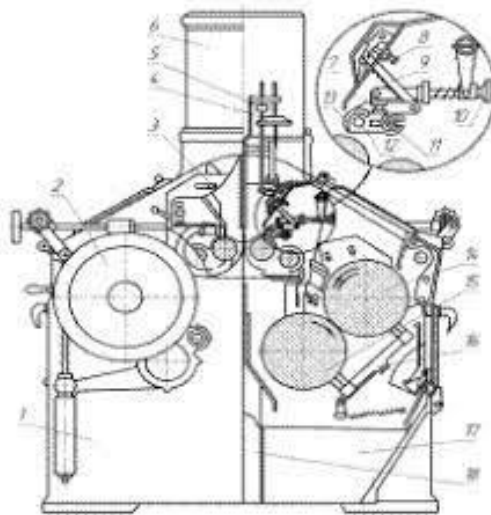


Рисунок 2.2 – Верстат вальцьовий [15]

Ці млини дозволяли досягти більш тонкого та рівномірного помелу порівняно з традиційними кам'яними млинами, що сприяло підвищенню якості продукції. [14]

З часом валкові млини зазнали численних удосконалень, включаючи впровадження автоматизованих систем керування, використання новітніх матеріалів для виготовлення валків та оптимізацію конструкцій для підвищення енергоефективності.

2.3 Застосування в різних галузях економіки

Валкові млини знайшли широке застосування в багатьох галузях промисловості:

Харчова промисловість.

Використовуються для подрібнення зерна, цукру, спецій та інших інгредієнтів. Забезпечують отримання дрібнодисперсних продуктів з певною текстурою та консистенцією. [16]





Рисунок 2.3 – Вальцьові верстати

Хімічна та фармацевтична промисловість.

Застосовуються для подрібнення та змішування хімічних та фармацевтичних продуктів, дозволяючи досягти необхідної фіненсу та рівномірності сумішей.

Металургійна промисловість.

Використовуються для обробки металевих матеріалів, таких як залізо, алюміній та мідь, перед подальшою обробкою або одержанням кінцевого продукту.

Будівельна промисловість. Застосовуються для подрібнення каменю, гравію, піску та інших будівельних матеріалів.

Енергетика. Використовуються для підготовки біомаси та інших матеріалів до спалювання або подальшої обробки.

2.4 Основні елементи та технічні характеристики

Типовий валковий млин складається з наступних основних елементів:

1. Валкі – це головні робочі елементи млина, які здійснюють подрібнення матеріалу. Вони можуть бути виготовлені з різних матеріалів, таких як чавун, сталь або кераміка, залежно від призначення млина.

2. Приводного механізму – забезпечує обертання валків з необхідною швидкістю та напрямком.

3. Системи подачі матеріалу – забезпечує рівномірне надходження матеріалу між валками для ефективного подрібнення.

4. Системи регулювання зазору між валками – дозволяє налаштовувати ступінь подрібнення матеріалу.

5. Системи охолодження – запобігає перегріванню валків та оброблюваного матеріалу.

6. Системи збору та виводу подрібненого матеріалу – забезпечує ефективне видалення готового продукту з млина.

Технічні характеристики валкових млинів можуть значно варіюватися залежно від моделі та призначення.

2.5 Статистичні дані щодо ефективності використання

Валкові млини демонструють високу ефективність у порівнянні з іншими типами подрібнювального обладнання. Наприклад, в деяких випадках валкові млини використовують на 85 % менше енергії для обробки зерна, ніж молоткові млини. Однак у найпоширеніших ситуаціях обробки економія енергії становить 30–50 % [17].

Крім того, валкові млини забезпечують більш однорідний розмір частинок, що сприяє підвищенню якості кінцевого продукту та зменшенню втрат при подальшій обробці.

2.6 Найближчі конкуренти валкових млинів

Основними конкурентами валкових млинів є:

Молоткові млини. Використовують удари молотків для подрібнення матеріалу. Хоча вони можуть бути ефективними для деяких застосувань, вони зазвичай споживають більше енергії та можуть генерувати більше тепла, що не завжди бажано. [18]

Кульові млини. Застосовуються для подрібнення матеріалів шляхом обертання барабана з кульками. Вони ефективні для дуже тонкого

подрібнення, але мають вищі енергетичні витрати та складніші в обслуговуванні. [19]

Конусні та дискові млини. Забезпечують подрібнення матеріалу між конічними або дисковими поверхнями. Можуть бути ефективними для специфічних застосувань, але зазвичай мають меншу продуктивність порівняно з валковими млинами. [20, 21]

2.7 Висновок

Таким чином, валкові млини залишаються незамінним обладнанням у багатьох галузях промисловості завдяки своїй ефективності, гнучкості та здатності забезпечувати високоякісне подрібнення матеріалів. Їхнє постійне удосконалення та адаптація до сучасних вимог виробництва робить їх ключовим елементом у технологічних процесах.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ВИМОГ ДСТУ EN 14958

ЩОДО ПРОЄКТУВАННЯ ВАЛКОВИХ МЛИНІВ

3.1 Вступ

Валкові млини відіграють критичну роль у системах подрібнення в агропромисловому виробництві, хімічній промисловості, біоенергетиці та переробній галузі. Забезпечення їх безпечної та ефективної експлуатації вимагає відповідності сучасним стандартам, серед яких ДСТУ EN 14958:2014 «Кормова техніка. Валкові млини. Вимоги щодо безпечності» є ключовим документом у національному правовому полі України. Цей стандарт є адаптованою версією європейського EN 14958:2006 і встановлює обов'язкові вимоги до проєктування, виготовлення, монтажу, введення в експлуатацію та утилізації валкових млинів.

3.2 Об'єкт та сфера застосування стандарту

Стандарт ДСТУ EN 14958 поширюється на машини, призначені для подрібнення сухої кормової сировини або аграрної продукції, включаючи зернові культури, боби, комбікорми та інші компоненти. Особливу увагу приділено машинам, які використовуються в сільськогосподарському виробництві, на комбікормових заводах та в переробній промисловості.

Об'єктом регламентації є валкові млини з механічним або електричним приводом, незалежно від типу подачі та конфігурації робочих валків (гладкі, гофровані, прорізні тощо).

3.3 Вимоги до безпечності конструкції

3.3.1 Захисні кожухи та огороження

Однією з базових вимог є наявність статичних або динамічних захисних елементів, які запобігають доступу оператора до зон підвищеної небезпеки, зокрема до валків та елементів приводу. Вони мають бути

міцними, надійно закріпленими, мати конструкцію, що не допускає демонтажу без спеціального інструмента.

3.3.2 Пристрої аварійної зупинки

Млин повинен бути обладнаний системами екстреного зупинення, які забезпечують зупинку приводу за максимально короткий час (відповідно до категорії безпеки згідно з EN ISO 13849-1). Кнопки аварійної зупинки повинні бути розміщені у легкодоступних місцях.

3.3.3 Безпечне обслуговування

Проектування має передбачати мінімізацію ризиків під час технічного обслуговування. Це включає можливість блокування приводів, легкий доступ до вузлів, наявність схем змащування та систем діагностики.

3.4 Ергономічні та функціональні вимоги

3.4.1 Робоча висота

Стандарт визначає допустимі межі висоти для завантаження та вивантаження матеріалів, з урахуванням безпечного доступу працівника без потреби у підйомних платформах чи драбинах.

3.4.2 Система подачі сировини

Млин має бути обладнаний системою контролю подачі, яка унеможливує перевантаження або заклинювання валків. Це може включати регульовані живильники або частотні перетворювачі.

3.5 Енергетична ефективність та охорона довкілля

EN 14958 вимагає врахування енергоспоживання при виборі приводів та конструкції редукторів. Млини повинні проектуватися з урахуванням мінімальних втрат енергії (енергоефективність не нижче IE2/IE3 для двигунів) та низького рівня шуму та вібрацій (відповідно до EN ISO 11201).

Також передбачена герметичність конструкції для запобігання утворенню пилу, що знижує ризики вибухонебезпечності (відповідність до ATEX 2014/34/EU) та забезпечує санітарну безпеку.

3.6 Ідентифікація, маркування та технічна документація

Стандарт вимагає наявності паспортної таблички, що містить такі відомості:

- назва виробника та рік випуску;
- тип млина та серійний номер;
- технічні характеристики (потужність, напруга, оберти, продуктивність);
- рівень шуму;
- позначення про відповідність СЕ та номер застосованого стандарту.

До млина обов'язково додається інструкція з експлуатації, що включає розділи з безпеки, обслуговування, списки запчастин та схеми електрообладнання.

3.7 Методи оцінювання відповідності

ДСТУ EN 14958 передбачає обов'язкову процедуру оцінки відповідності, яка включає:

- перевірку конструкторської документації;
- випробування функціональної безпеки;
- аналіз ризиків (відповідно до EN ISO 12100);
- документальне підтвердження виконання всіх вимог директиви 2006/42/ЕС (Машинна директива).

Можливе залучення незалежного органу оцінки відповідності у разі проєктування нестандартного або експериментального млина.

3.8 Впровадження у вітчизняне машинобудування

Використання положень ДСТУ EN 14958 у проєктуванні та модернізації валкових млинів сприятиме:

- підвищенню конкурентоспроможності українських підприємств на міжнародному ринку;
- зменшенню виробничих витрат за рахунок підвищення енергоефективності;
- зниженню ризиків травматизму на виробництві;
- забезпеченню стійкого розвитку аграрного сектору.

3.9 Висновок

ДСТУ EN 14958 є критично важливим регуляторним документом у сфері проєктування валкових млинів. Його впровадження забезпечує високий рівень безпеки, продуктивності та відповідності вимогам сталого виробництва. Для вітчизняних інженерів та науковців ознайомлення з цим стандартом є обов'язковим кроком до інтеграції в європейський інженерний простір та вдосконалення машинобудівної культури в аграрному секторі України.

РОЗДІЛ 4

УДОСКОНАЛЕННЯ УСТАТКУВАННЯ

4.1 Опис базової моделі валкового млина

Для грубого подрібнення насіння соняшнику застосовується двопарний вальцьовий верстат із рівною частотою обертання валків (рис. 4.1). Сировина надходить у зону подрібнення через завантажувальний отвір 8, обмежений знизу напрямною поверхнею 7, а зверху – решіткою 9. Захоплення продукту здійснюється за допомогою зубчастих виступів 2, закріплених на обертових валках 6 і 11.

Робочі валки формуються зі збірних дисків, які насаджені на вали 3 і 12 та скріплені між собою стяжками 4. Привід нижнього валка забезпечується мотор-редуктором 15 через зубчасті передачі 16 і 14. Верхній валок 11 отримує обертання шляхом механічного зв'язку із нижнім валком через відповідну зубчасту передачу.

Під час проходження через зазор між валками, зерна соняшнику піддаються механічному руйнуванню зубцями дисків і подрібнюються на частки різної величини. Далі подрібнений матеріал спрямовується вниз до шнека 1, який транспортує готовий продукт за межі робочої зони млина. Привід шнека також здійснюється від мотор-редуктора 15 за допомогою ланцюгової передачі 17.

Для забезпечення необхідної якості подрібнення в процесі експлуатації регулюється зазор між валками шляхом переміщення верхнього валка 11 із використанням регулювального механізму 10. Перед початком роботи важливо переконатися у правильному розташуванні та надійній фіксації очищувальних гребінок 5 і 13, призначених для очищення зубчастих дисків.

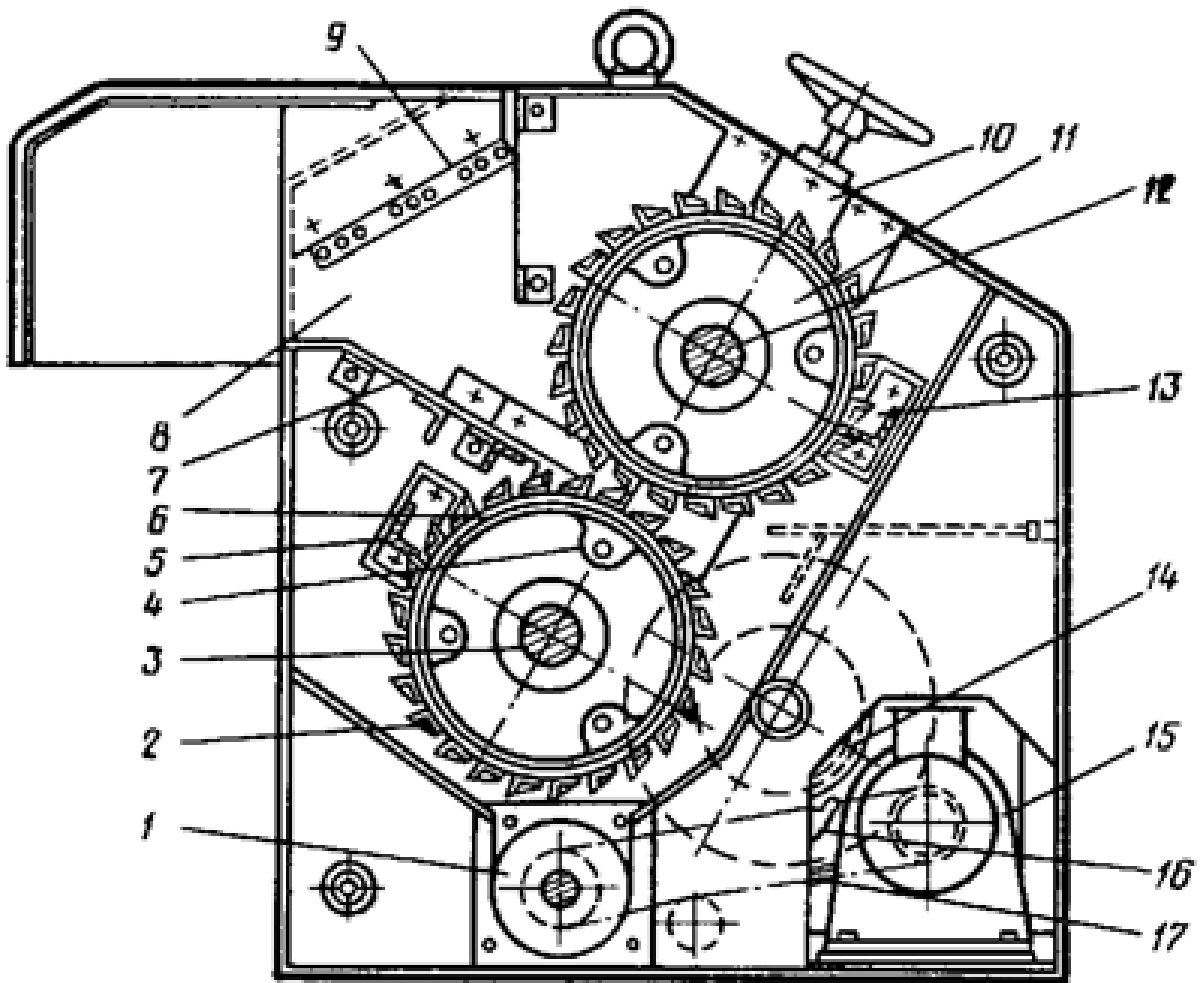


Рисунок 4.1 – Двовалковий млин для грубого подрібнення соняшнику:
 1 – шнек; 2 – зуби; 3 – вал; 4 – стяжки; 5 – гребінка;
 6 – обертовий валик; 7 – поверхня; 8 – отвір; 9 – решітка; 10 – регулятор;
 11 – обертовий валик; 12 – вал; 13 – гребінка; 14 – зубчаста передача;
 15 – мотор-редуктор; 16 – зубчаста передача; 17 – ланцюгова передача

4.2 Модернізація млина: кінематичний розрахунок головного приводу

Вхідні данні для розрахунку:

$$Z = 24; \phi = 1,26; Z_{\min} = 12,5 \text{ хв}^{-1}$$

4.2.1 Вибір структурної формули привода

За відомими числом $Z = 24$ ступенів обертів будує структурну формулу в нерозгорнутому вигляді.

$$Z = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot \dots \cdot p_n$$

де p_1, p_2, p_3, p_n – число ступенів обертів в кожній групі передач між валами.

$$1. Z = 2 \cdot 2 \cdot 2[1 + 2]$$

$$2. Z = 4 \cdot 2[1 + 2]$$

$$3. Z = 2 \cdot 4[1 + 2]$$

В коробці 8 швидкостей без перебору і 16 за допомогою перебору.

Тому

$$Z = 8 + 16 = 24$$

Для подальшого розрахунку приймаю структурну формулу за № 1, в ній три блока, кожний на два переключення.

4.2.2 Розробка кінематичної схеми приводу головного руху

Кінематичної схеми приводу головного руху представлено на рис.

2.2).

4.2.3 Варіанти структурних формул коробки швидкостей

Структурна формула в розвернутому вигляді має вид:

$$Z = p_1(x_1) \cdot p_2(x_2) \cdot p_3(x_3) \cdot \dots \cdot p_n(x_n)$$

де $x_1; x_2; x_3; x_n$ - характеристика груп, яка вказує кількість частот обертів групи передач в залежності від знаходження її в приводі і розходження променів на діаграмі при графічній побудові структури приводу.

$$z=2(1) \cdot 2(2) \cdot 2(4) \cdot [1+2(8)]$$

$$z=2(1) \cdot 2(4) \cdot 2(2) \cdot [1+2(8)]$$

$$z=2(2) \cdot 2(4) \cdot 2(1) \cdot [1+2(8)]$$

$$z=2(2) \cdot 2(1) \cdot 2(4) \cdot [1+2(8)]$$

$$z=2(4) \cdot 2(2) \cdot 2(1) \cdot [1+2(8)]$$

$$z=2(4) \cdot 2(1) \cdot 2(2) \cdot [1+2(8)]$$

4.2.4 Побудова структурних сіток

Структурні сітки представлено на рис. 4.3, 4.4, 4.5.

4.2.5 Аналіз структурних сіток

На структурних сітках лінії, що з'єднують вали, умовно відображають передаточні відношення між ними. Промені, спрямовані ліворуч від нульової позначки, вказують на зниження частоти обертання, праворуч — на її збільшення, а вертикальні лінії позначають валові пари з однаковою частотою обертання, тобто з передаточним числом $i=1$.

Найбільш оптимальною вважається така конфігурація структурної сітки, яка забезпечує рівномірний розподіл знижувальних та пришвидшуючих передач, що сприяє зменшенню габаритів механізму та покращенню його кінематичних і динамічних характеристик. У цій схемі редукція основного передаточного числа реалізується на останній ступені, що дозволяє залучити більшу кількість швидкообертючих шестерень, які за однакової потужності мають менші розміри завдяки передачі зниженої величини крутного моменту.

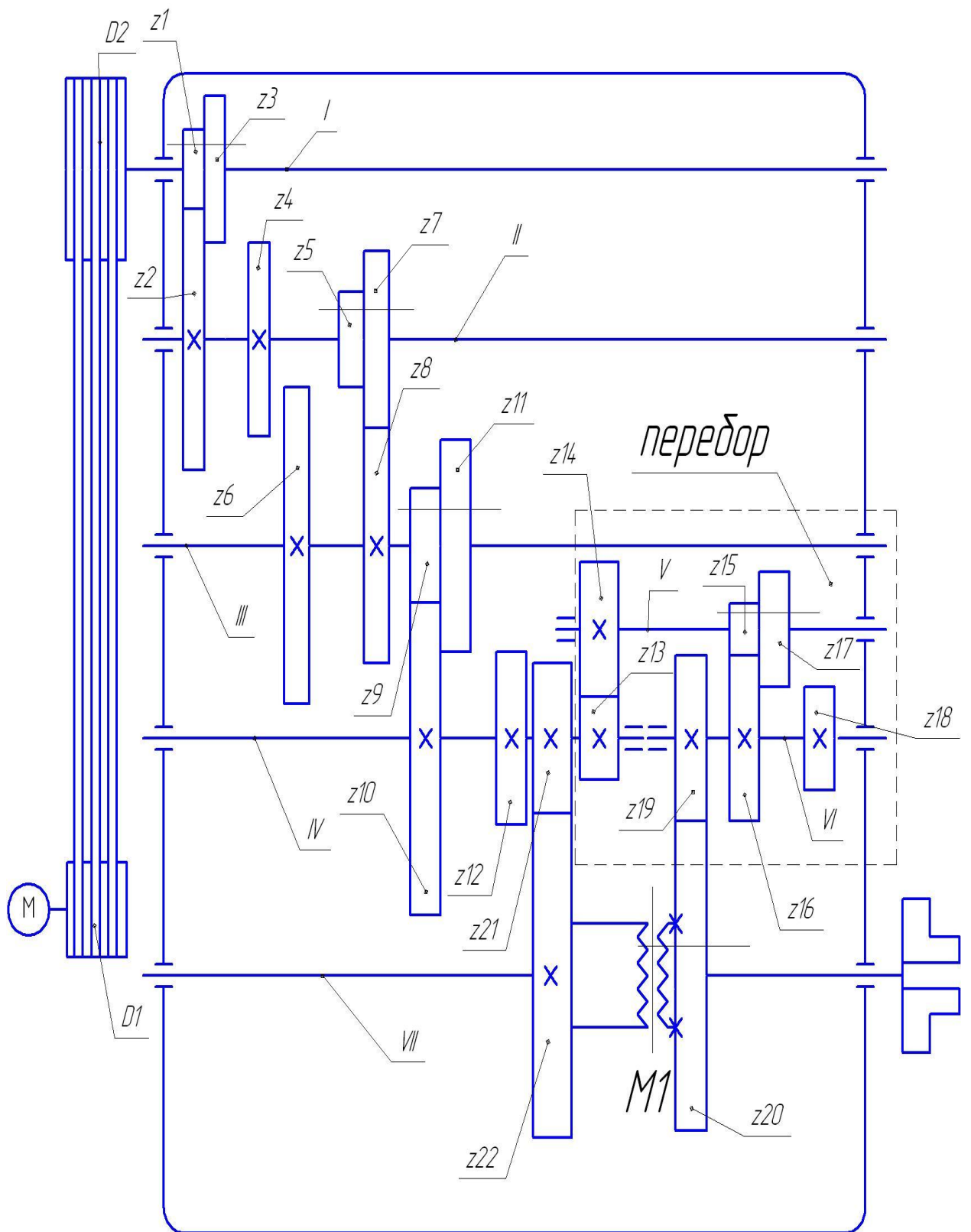


Рисунок 4.2 – Кінематична схема коробки швидкостей з передбором

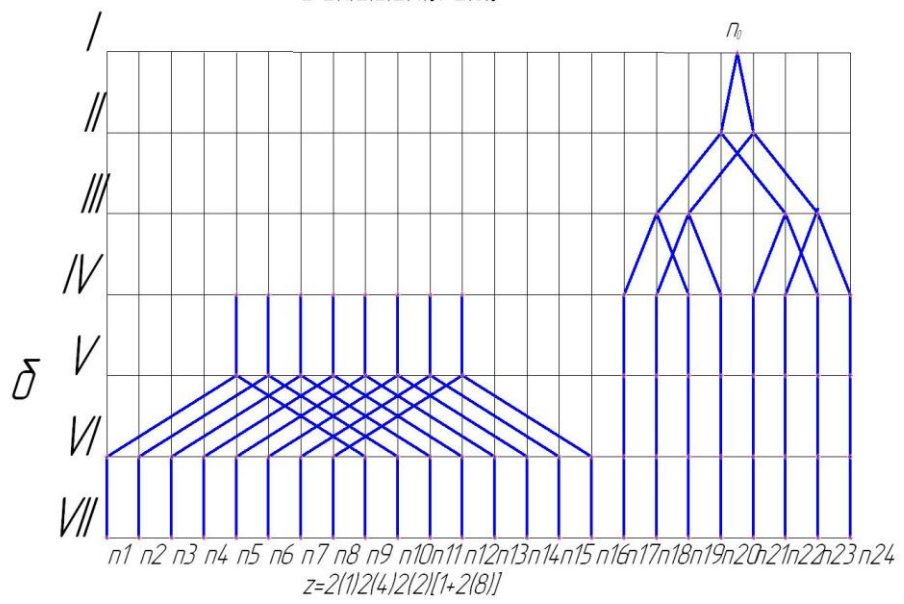
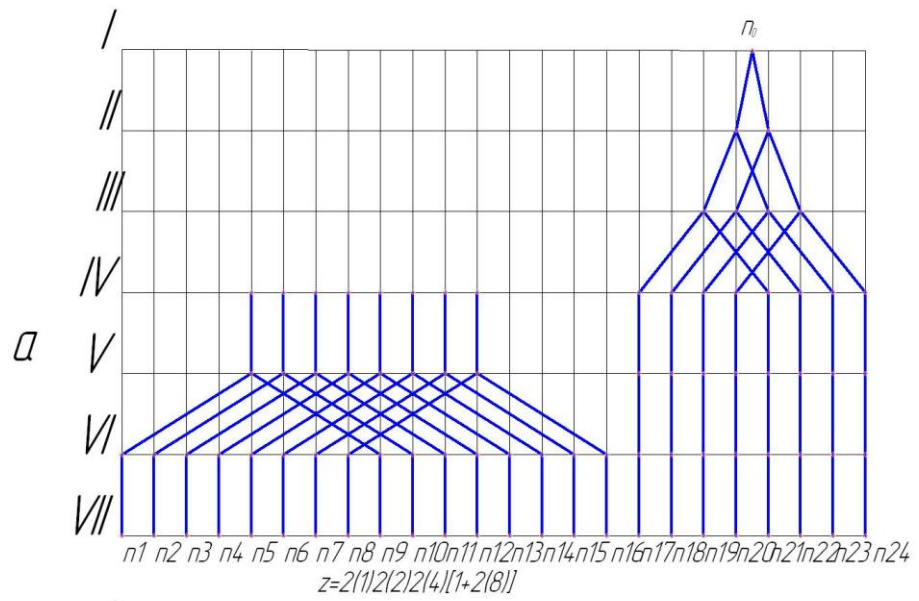


Рисунок 4.3 – Структурна сітки №1

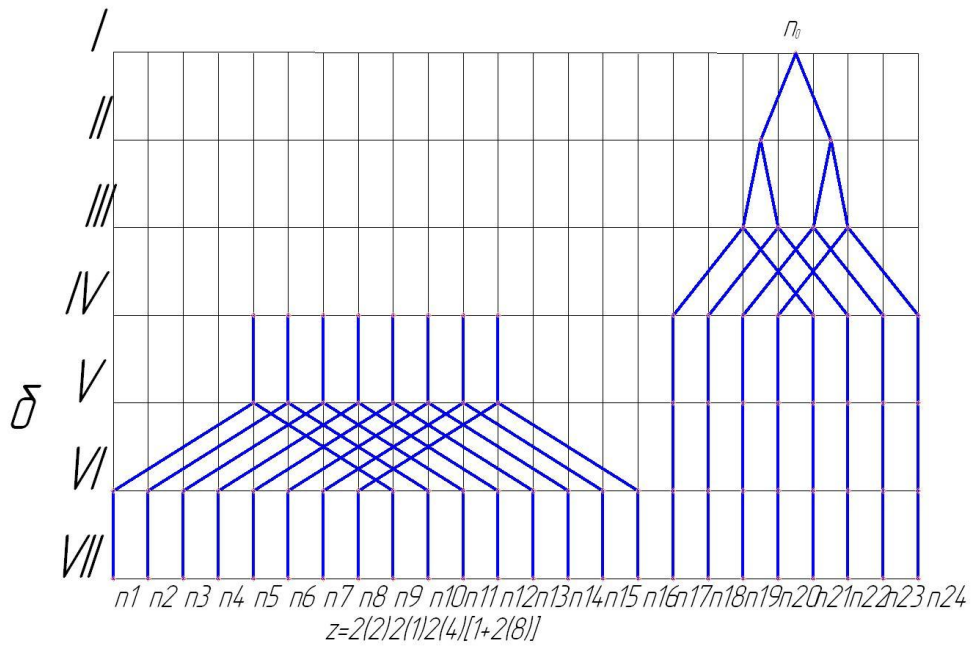
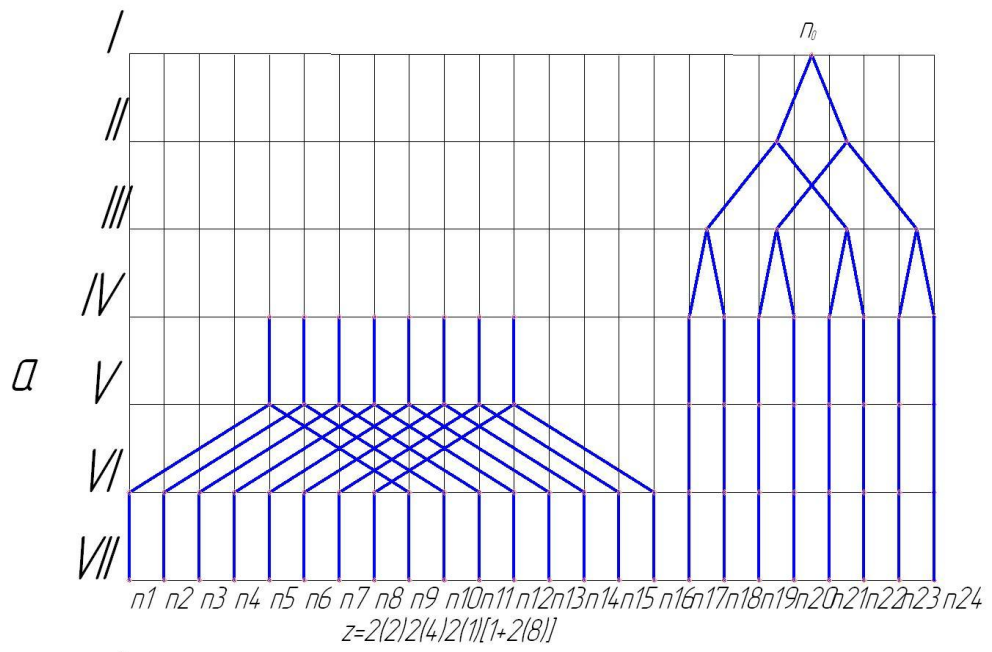


Рисунок 4.4 – Структурна сітка №2

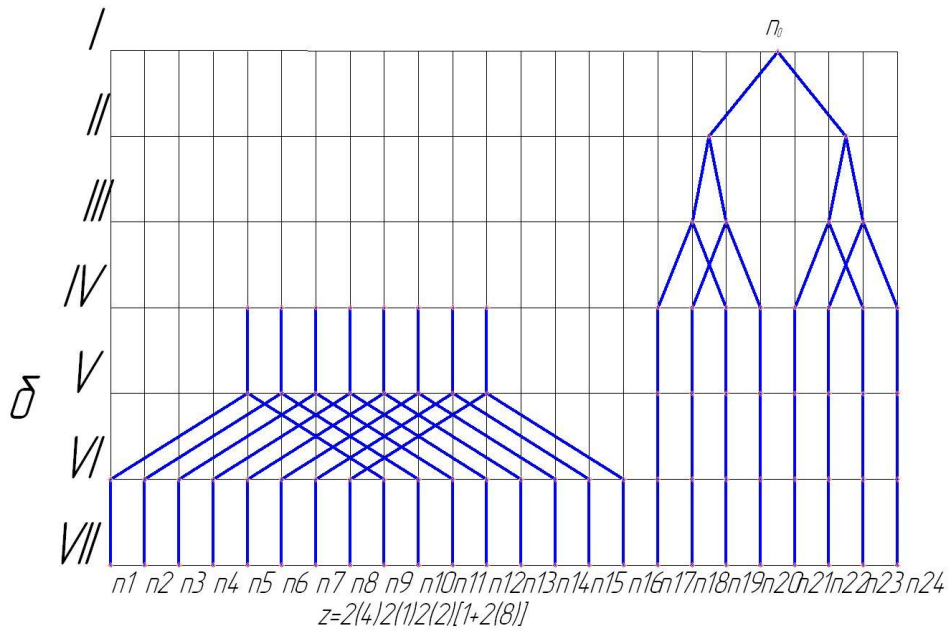
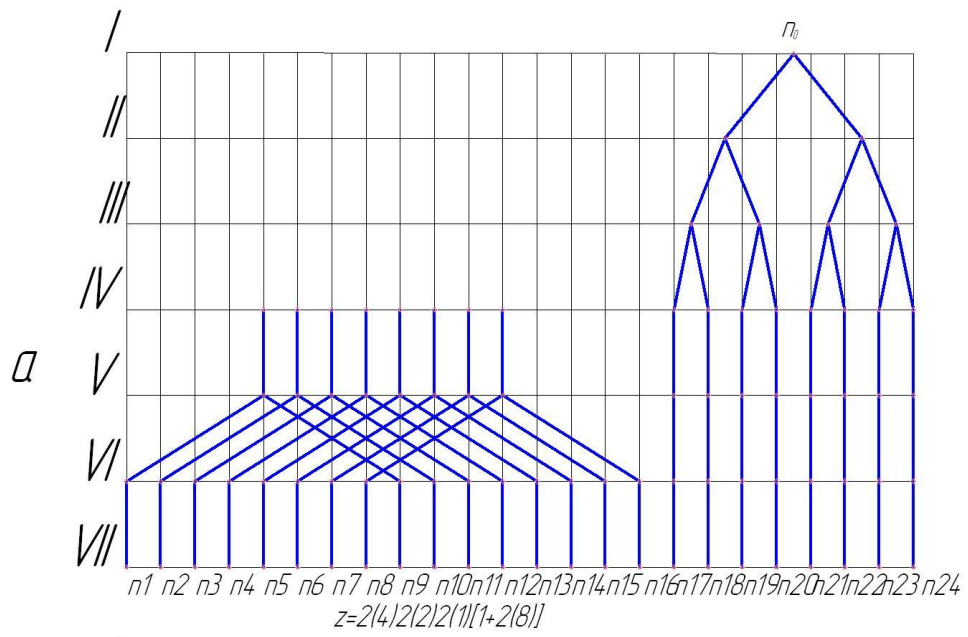


Рисунок 4.5 – Структурна сітка №3

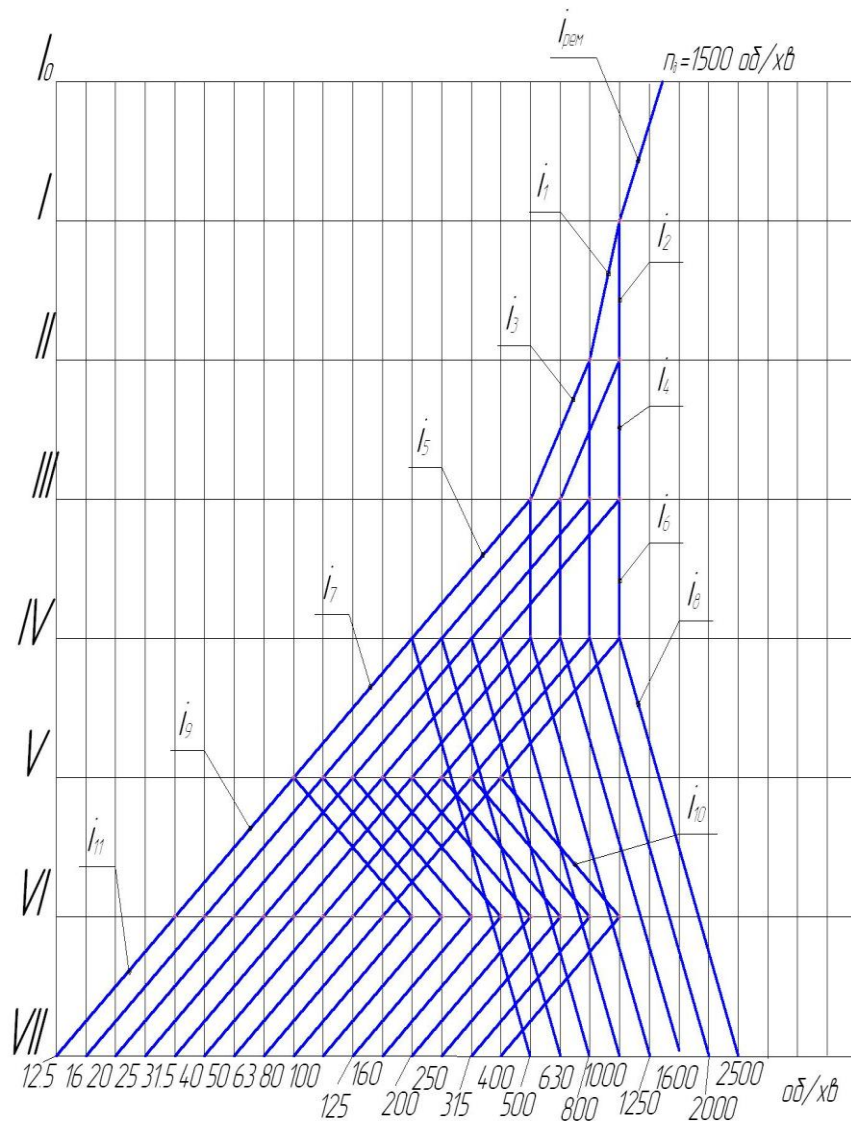


Рисунок 4.6 – Графік частот обертання коробки швидкостей з перебором

Крім того, використання найбільших передаточних чисел саме в зоні високих частот обертання забезпечує сприятливі умови для функціонування зубчастих з'єднань, зменшуючи навантаження на елементи передачі та підвищуючи їхню надійність. За таких умов структурна сітка, наведена на рисунку 4.3(а), є найбільш ефективною з точки зору технічного виконання та експлуатаційних характеристик.

4.2.6 Побудова графіка частот обертання основного валу

При побудові графіка (рис. 3.6) враховують, що зменшуючи передачі працюють краще пришвидчуючись, також приймають до відома відношення

$$\frac{1}{4} \leq i \leq \frac{2}{1}.$$

На відміну від структурної сітки, графік частот обертів представляє собою одне ціле де всі групи не роздільні між собою. Графік частот обертів відображає абсолютні значення передаточних відношень всіх елементів в коробці швидкостей. На графіку частот на відміну від структурної сітки необхідно провести сім вертикальних ліній – відповідно числу валів коробки плюс один вал електродвигуна – та двадцять чотири горизонтальних – відповідно числу ступенів чисел обертів. При необхідності одиничні змешуючі передачі можуть мати граничне передаточне відношення $i = 1/5$.

4.2.7 Розрахунок кількості зубів шестерень коробки швидкостей

Для забезпечення нормальних умов роботи зубчатих коліс потрібно по можливості брати $z \geq 20$.

При кінематичному розрахунку кількості зубів зубчастих коліс потрібно витримувати отримані передатні відношення:

$$i_1 = \frac{1}{\phi} = \frac{z1}{z2}; \quad i_2 = 1 = \frac{z3}{z4}; \quad i_3 = \frac{1}{\phi^2} = \frac{z5}{z6}; \quad i_4 = 1 = \frac{z7}{z8}; \quad i_5 = \frac{1}{\phi^4} = \frac{z9}{z10};$$

$$i_6 = 1 = \frac{z11}{z12}; \quad i_7 = \frac{1}{\phi^4} = \frac{z13}{z14}; \quad i_8 = \frac{1}{\phi^4} = \frac{z22}{z21}; \quad i_9 = \frac{1}{\phi^4} = \frac{z15}{z16}; \quad i_{10} = \phi^4 = \frac{z17}{z18};$$

$$i_{11} = \frac{1}{\phi^4} = \frac{z19}{z20}.$$

Необхідно не тільки отримати ці передатні відношення, але й забезпечити постійну суму зубів в межах двохвальної передачі

$$\sum z_{II-III} = z_1 + z_2 = z_3 + z_4 = \mathit{const} \quad (4.1)$$

Вирішуючи систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} z_{1,3} + z_{2,4} &= \sum z \\ \frac{z_{1,3}}{z_{2,4}} &= i \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

отримаємо

$$z_{1,3} = \frac{i \sum z}{i+1} \quad (4.3)$$

$$z_{2,4} = \frac{\sum z}{i+1} \quad (4.4)$$

За [22] знаходимо таке значення $\sum z$, яке забезпечить кількість зубів найменшого колеса $z_{min} \geq 22$, це значення $\sum z = 50$ при $i_1 = \frac{z_1}{z_2} = 0,79$,

$$i_2 = \frac{z_3}{z_4} = 1$$

За формулами (4.1) та (4.2) знаходимо:

$$z_1 = \frac{0,79 \cdot 50}{0,79+1} = 22$$

$$z_2 = \frac{50}{0,79+1} = 28$$

$$z_3 = \frac{1 \cdot 50}{1+1} = 25$$

$$z_4 = \frac{50}{1+1} = 25$$

Знаходимо значення $\Sigma z=50$, і $z_{min} = 20$ при $i_3 = \frac{z5}{z6} = 0,63$ та

$$i_4 = \frac{z7}{z8} = 1$$

За формулами (4.1) та (4.2) знаходимо:

$$z_5 = \frac{0,63 \cdot 50}{0,63+1} = 20$$

$$z_6 = \frac{50}{0,63+1} = 30$$

$$z_7 = \frac{1 \cdot 50}{1+1} = 25$$

$$z_8 = \frac{50}{1+1} = 25$$

Знаходимо значення $\Sigma z=70$, $z_{min} = 20$ при $i_5 = \frac{z9}{z10} = 0,4$ та

$$i_6 = \frac{z11}{z12} = 1$$

За формулами (4.1) та (4.2) знаходимо:

$$z_9 = \frac{0,4 \cdot 70}{0,4+1} = 20$$

$$z_{10} = \frac{70}{0,4+1} = 50$$

$$z_{11} = \frac{1 \cdot 70}{1+1} = 35$$

$$z_{12} = \frac{50}{1+1} = 35$$

Знаходимо значення $\Sigma z = 70$ і $z_{min} = 35$ при $i_7 = \frac{z_{13}}{z_{14}} = 0,4$

За формулами (4.1) та (4.2) знаходимо:

$$z_{13} = \frac{0,4 \cdot 70}{0,4+1} = 20$$

$$z_{14} = \frac{70}{0,4+1} = 50$$

Знаходимо значення $\Sigma z = 70$, $z_{min} = 20$ при $i_9 = \frac{z_{15}}{z_{16}} = 0,4$ і $i_{10} = \frac{z_{17}}{z_{18}} = 2,52$

За формулами (3,1) та (3,2) знаходимо:

$$z_{15} = \frac{0,4 \cdot 70}{0,4+1} = 20$$

$$z_{16} = \frac{70}{0,4+1} = 50$$

$$z_{17} = \frac{2,52 \cdot 70}{2,52+1} = 50$$

$$z_{18} = \frac{70}{2,52+1} = 20$$

Знаходимо значення $\Sigma z = 70$, і $z_{min} = 20$ при $i_{11} = \frac{z_{19}}{z_{20}} = 0,4$

За формулами (4.1) та (4.2) знаходимо:

$$z_{19} = \frac{0,4 \cdot 70}{0,4 + 1} = 20$$

$$z_{20} = \frac{70}{0,4 + 1} = 50$$

Знаходимо значення $\Sigma z = 70$, і $z_{min} = 20$ при $i_s = \frac{z_{13}}{z_{21}} = 2,52$

За формулами (4.1) та (4.2) знаходимо:

$$z_{21} = \frac{2,52 \cdot 70}{2,52 + 1} = 50$$

$$z_{22} = \frac{70}{2,52 + 1} = 20$$

4.2.8 Перевірка фактичних частот обертання шпинделя

Результати розрахунків в табл. 4.1.

$$n1 = 1000 \cdot \frac{z1}{z2} \cdot \frac{z5}{z6} \cdot \frac{z9}{z10} \cdot \frac{z13}{z14} \cdot \frac{z15}{z16} \cdot \frac{z19}{z20} = 1000 \cdot \frac{22}{28} \cdot \frac{20}{30} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} = 13,4 \text{об} / \text{хв}$$

$$n2 = 1000 \cdot \frac{z3}{z4} \cdot \frac{z5}{z6} \cdot \frac{z9}{z10} \cdot \frac{z13}{z14} \cdot \frac{z15}{z16} \cdot \frac{z19}{z20} = 1000 \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{20}{30} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} = 17,5 \text{об} / \text{хв}$$

$$n3 = 1000 \cdot \frac{z1}{z2} \cdot \frac{z7}{z8} \cdot \frac{z9}{z10} \cdot \frac{z13}{z14} \cdot \frac{z15}{z16} \cdot \frac{z19}{z20} = 1000 \cdot \frac{22}{28} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} = 20,1 \text{об} / \text{хв}$$

$$n4 = 1000 \cdot \frac{z3}{z4} \cdot \frac{z7}{z8} \cdot \frac{z9}{z10} \cdot \frac{z13}{z14} \cdot \frac{z15}{z16} \cdot \frac{z19}{z20} = 1000 \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} = 25,6 \text{об} / \text{хв}$$

$$n5 = 1000 \cdot \frac{z1}{z2} \cdot \frac{z5}{z6} \cdot \frac{z11}{z12} \cdot \frac{z13}{z14} \cdot \frac{z15}{z16} \cdot \frac{z19}{z20} = 1000 \cdot \frac{22}{28} \cdot \frac{20}{30} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} = 33.52об / xв$$

$$n6 = 1000 \cdot \frac{z3}{z4} \cdot \frac{z5}{z6} \cdot \frac{z11}{z12} \cdot \frac{z13}{z14} \cdot \frac{z15}{z16} \cdot \frac{z19}{z20} = 1000 \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{20}{30} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} = 42.67об / xв$$

$$n7 = 1000 \cdot \frac{z1}{z2} \cdot \frac{z7}{z8} \cdot \frac{z11}{z12} \cdot \frac{z13}{z14} \cdot \frac{z15}{z16} \cdot \frac{z19}{z20} = 1000 \cdot \frac{22}{28} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} = 50.29об / xв$$

$$n8 = 1000 \cdot \frac{z3}{z4} \cdot \frac{z7}{z8} \cdot \frac{z11}{z12} \cdot \frac{z13}{z14} \cdot \frac{z15}{z16} \cdot \frac{z19}{z20} = 1000 \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} = 64об / xв$$

$$n9 = 1000 \cdot \frac{z1}{z2} \cdot \frac{z5}{z6} \cdot \frac{z9}{z10} \cdot \frac{z13}{z14} \cdot \frac{z17}{z18} \cdot \frac{z19}{z20} = 1000 \cdot \frac{22}{28} \cdot \frac{20}{30} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{50}{20} \cdot \frac{20}{50} = 83.81об / xв$$

$$n10 = 1000 \cdot \frac{z3}{z4} \cdot \frac{z5}{z6} \cdot \frac{z9}{z10} \cdot \frac{z13}{z14} \cdot \frac{z17}{z18} \cdot \frac{z19}{z20} = 1000 \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{20}{30} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{50}{20} \cdot \frac{20}{50} = 106.67об / xв$$

$$n11 = 1000 \cdot \frac{z1}{z2} \cdot \frac{z7}{z8} \cdot \frac{z9}{z10} \cdot \frac{z13}{z14} \cdot \frac{z17}{z18} \cdot \frac{z19}{z20} = 1000 \cdot \frac{22}{28} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{50}{20} \cdot \frac{20}{50} = 125.71об / xв$$

$$n12 = 1000 \cdot \frac{z3}{z4} \cdot \frac{z7}{z8} \cdot \frac{z9}{z10} \cdot \frac{z13}{z14} \cdot \frac{z17}{z18} \cdot \frac{z19}{z20} = 1000 \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{50}{20} \cdot \frac{20}{50} = 160об / xв$$

$$n13 = 1000 \cdot \frac{z1}{z2} \cdot \frac{z5}{z6} \cdot \frac{z11}{z12} \cdot \frac{z13}{z14} \cdot \frac{z17}{z18} \cdot \frac{z19}{z20} = 1000 \cdot \frac{22}{28} \cdot \frac{20}{30} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{50}{20} \cdot \frac{20}{50} = 209.52об / xв$$

$$n14 = 1000 \cdot \frac{z3}{z4} \cdot \frac{z5}{z6} \cdot \frac{z11}{z12} \cdot \frac{z13}{z14} \cdot \frac{z17}{z18} \cdot \frac{z19}{z20} = 1000 \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{20}{30} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{50}{20} \cdot \frac{20}{50} = 266.67об / xв$$

$$n15 = 1000 \cdot \frac{z1}{z2} \cdot \frac{z7}{z8} \cdot \frac{z11}{z12} \cdot \frac{z13}{z14} \cdot \frac{z17}{z18} \cdot \frac{z19}{z20} = 1000 \cdot \frac{22}{28} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{50}{20} \cdot \frac{20}{50} = 314.29об / xв$$

$$n16 = 1000 \cdot \frac{z3}{z4} \cdot \frac{z7}{z8} \cdot \frac{z11}{z12} \cdot \frac{z13}{z14} \cdot \frac{z17}{z18} \cdot \frac{z19}{z20} = 1000 \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{50}{20} \cdot \frac{20}{50} = 400об / xв$$

$$n_{17} = 1000 \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} \cdot \frac{z_{21}}{z_{22}} = 1000 \cdot \frac{22}{28} \cdot \frac{20}{30} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{50}{20} = 523,81 \text{об} / \text{хв}$$

$$n_{18} = 1000 \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} \cdot \frac{z_{21}}{z_{22}} = 1000 \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{20}{30} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{50}{20} = 666,67 \text{об} / \text{хв}$$

$$n_{19} = 1000 \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_7}{z_8} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} \cdot \frac{z_{21}}{z_{22}} = 1000 \cdot \frac{22}{28} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{50}{20} = 785,71 \text{об} / \text{хв}$$

$$n_{20} = 1000 \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_7}{z_8} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} \cdot \frac{z_{21}}{z_{22}} = 1000 \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{50}{20} = 1000 \text{об} / \text{хв}$$

$$n_{21} = 1000 \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_{11}}{z_{12}} \cdot \frac{z_{21}}{z_{22}} = 1000 \cdot \frac{22}{28} \cdot \frac{20}{30} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{50}{20} = 1309,52 \text{об} / \text{хв}$$

$$n_{22} = 1000 \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_{11}}{z_{12}} \cdot \frac{z_{21}}{z_{22}} = 1000 \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{20}{30} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{50}{20} = 1666,67 \text{об} / \text{хв}$$

$$n_{23} = 1000 \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_7}{z_8} \cdot \frac{z_{11}}{z_{12}} \cdot \frac{z_{21}}{z_{22}} = 1000 \cdot \frac{22}{28} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{50}{20} = 1964,29 \text{об} / \text{хв}$$

$$n_{24} = 1000 \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_7}{z_8} \cdot \frac{z_{11}}{z_{12}} \cdot \frac{z_{21}}{z_{22}} = 1000 \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{50}{20} = 2500 \text{об} / \text{хв}$$

Визначимо допустиме значення відхилень частот обертів

$$\pm 10 \cdot (\phi - 1) = \pm 10 \cdot (1,26 - 1) = 2,6 (\%) \quad (4.6)$$

На число обертів $n_1, n_2, n_4, n_5, n_6, n_9, n_{10}, n_{13}, n_{14}, n_{17}, n_{18}, n_{21}, n_{22}$ відхилення перевищує допустиме значення, це значення більше ніж 2,6%. Значить необхідно провести перерахунок і підібрати числа зубів з меншим округленням.

Випишемо всі значення $1 + i$ (або $1 + 1 / i$, якщо $i < 1$):

$$1 + i_1 = 1 + \frac{1}{\frac{1}{1}} = 1 + 1,26 = 2,26;$$

$$1 + i_2 = 1 + 1 = 2;$$

$$1 + i_3 = 1 + \frac{1}{\frac{1}{1^2}} = 1 + 1,26^2 = 2,59;$$

$$1 + i_4 = 1 + 1 = 2;$$

$$1 + i_5 = 1 + \frac{1}{\frac{1}{1^4}} = 1 + 1,26^4 = 3,52;$$

$$1 + i_6 = 1 + 1 = 2;$$

$$1 + i_7 = 1 + \frac{1}{\frac{1}{1^4}} = 1 + 1,26^4 = 3,52;$$

$$1 + i_8 = 1 + \frac{1}{\frac{1}{1^4}} = 1 + 1,26^4 = 3,52;$$

$$1 + i_9 = 1 + \frac{1}{\frac{1}{1^4}} = 1 + 1,26^4 = 3,52;$$

$$1 + i_{10} = 1 + \varphi^4 = 1 + 1,26^4 = 3,52;$$

$$1 + i_{11} = 1 + \frac{1}{\frac{1}{1^4}} = 1 + 1,26^4 = 3,52;$$

Таблиця 4.1

Результати обчислення модернізованого приводу

№ ступенів	Фактичне число обертів	Нормальне число обертів	Відхилення, %	Фактичне число обертів	Відхилення після коректування, %
n1	13,4	12.5	+7,2	12.33	-1.37
n2	17,5	16	+9,375	15.55	-2.34
n3	20,1	20	+0,5	20,1	+0,5
n4	25,6	25	+2,4	25,6	+2,4
n5	33,52	31.5	+6,41	31.42	-0.25
n6	42,67	40	+6,68	39.62	-0.95
n7	50,29	50	+0,58	50,29	+0,58
n8	64	63	+1,59	64	+1,59

n9	83,81	80	+4,76	78.56	-1.8
n10	106,67	100	+6,67	99.07	-0.93
n11	125,71	125	+0,568	125,71	+0,568
n12	160	160	0	160	0
n13	209,52	200	+4,76	198.28	-0.86
n14	266,67	250	+6,668	250	0
n15	314,29	315	-0,225	314,29	-0,225
n16	400	400	0	400	0
n17	523,81	500	+4,76	491.01	-1.79
n18	666,67	630	+10,58	619.1	-1.73
n19	785,71	800	-1,79	785,71	-1,79
n20	1000	1000	0	1000	0
n21	1309,52	1250	+4,76	1239.22	-0.86
n22	1666,67	1600	+4,17	1562.5	-2.34
n23	1964,29	2000	+1,79	1964,29	+1,79
n24	2500	2500	0	2500	0

Знаходимо найменше кратне всіх цілих значень $1+i$.

Воно буде рівним 2.

Знайдемо яке із чисел, кратні 2 діляться майже без остатку на дрібне

значення $1+i$, для значення 2,26 – число 52, $\frac{52}{2,26} = 23,008$.

Тому:

$$z_2 = \frac{52}{1+i_1} = \frac{52}{1+0.79} = 29; \quad z_1 = 52 - 29 = 23; \quad z_3=z_4=26$$

Знайдемо яке із чисел, кратні 2 діляться майже без залишку на дрібне

значення $1+i$, для значення 2,59 – число 52, $\frac{52}{2,59} = 20,07$.

Тому:

$$z_6 = \frac{52}{1+i_3} = \frac{52}{1+0.63} = 32; \quad z_5 = 52 - 32 = 20; \quad z_7=z_8=26$$

Знайдемо яке із чисел, кратні 2 діляться майже без залишку на дрібне значення $1+i$, для значення 3,52 – число 74, $\frac{74}{3,52} = 20,08$.

Тому:

$$z_{10} = \frac{74}{1+i_5} = \frac{74}{1+0.4} = 53; \quad z_9 = 74 - 53 = 21; \quad z_{11}=z_{12}=37;$$

$$z_{21} = \frac{74}{1+i_8} = \frac{74}{1+0.4} = 53; \quad z_{22} = 74 - 53 = 21;$$

$$z_{16} = \frac{74}{1+i_9} = \frac{74}{1+0.4} = 53; \quad z_{15} = 74 - 53 = 21; \quad z_{17}=53; \quad z_{18}=21;$$

$$z_{20} = \frac{74}{1+i_8} = \frac{74}{1+0.4} = 53; \quad z_{19} = 74 - 53 = 21.$$

Перевірка фактичних чисел обертів і відхилень їх від нормальних після коректувань зубчастих коліс

$$n_1 = 1000 \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} \cdot \frac{z_{13}}{z_{14}} \cdot \frac{z_{15}}{z_{16}} \cdot \frac{z_{19}}{z_{20}} = 1000 \cdot \frac{23}{29} \cdot \frac{20}{32} \cdot \frac{21}{53} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{21}{53} \cdot \frac{21}{53} = 12,33 \text{об} / \text{хв}$$

$$n_2 = 1000 \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} \cdot \frac{z_{13}}{z_{14}} \cdot \frac{z_{15}}{z_{16}} \cdot \frac{z_{19}}{z_{20}} = 1000 \cdot \frac{26}{26} \cdot \frac{20}{32} \cdot \frac{21}{53} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{21}{53} \cdot \frac{21}{53} = 15,55 \text{об} / \text{хв}$$

$$n_5 = 1000 \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_{11}}{z_{12}} \cdot \frac{z_{13}}{z_{14}} \cdot \frac{z_{15}}{z_{16}} \cdot \frac{z_{19}}{z_{20}} = 1000 \cdot \frac{23}{29} \cdot \frac{20}{32} \cdot \frac{37}{37} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{21}{53} = 31,42 \text{об} / \text{хв}$$

$$n_6 = 1000 \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_{11}}{z_{12}} \cdot \frac{z_{13}}{z_{14}} \cdot \frac{z_{15}}{z_{16}} \cdot \frac{z_{19}}{z_{20}} = 1000 \cdot \frac{26}{26} \cdot \frac{20}{32} \cdot \frac{37}{37} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{21}{53} = 39,62 \text{об} / \text{хв}$$

$$n_9 = 1000 \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} \cdot \frac{z_{13}}{z_{14}} \cdot \frac{z_{17}}{z_{18}} \cdot \frac{z_{19}}{z_{20}} = 1000 \cdot \frac{23}{29} \cdot \frac{20}{32} \cdot \frac{21}{53} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{53}{21} \cdot \frac{21}{53} = 78,56 \text{ об/хв}$$

$$n_{10} = 1000 \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} \cdot \frac{z_{13}}{z_{14}} \cdot \frac{z_{17}}{z_{18}} \cdot \frac{z_{19}}{z_{20}} = 1000 \cdot \frac{26}{26} \cdot \frac{20}{32} \cdot \frac{21}{53} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{53}{21} \cdot \frac{21}{53} = 99,07 \text{ об/хв}$$

$$n_{13} = 1000 \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_{11}}{z_{12}} \cdot \frac{z_{13}}{z_{14}} \cdot \frac{z_{17}}{z_{18}} \cdot \frac{z_{19}}{z_{20}} = 1000 \cdot \frac{23}{29} \cdot \frac{20}{32} \cdot \frac{37}{37} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{53}{21} \cdot \frac{21}{53} = 198,28 \text{ об/хв}$$

$$n_{14} = 1000 \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_{11}}{z_{12}} \cdot \frac{z_{13}}{z_{14}} \cdot \frac{z_{17}}{z_{18}} \cdot \frac{z_{19}}{z_{20}} = 1000 \cdot \frac{26}{26} \cdot \frac{20}{32} \cdot \frac{37}{37} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{53}{21} \cdot \frac{21}{53} = 250 \text{ об/хв}$$

$$n_{17} = 1000 \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} \cdot \frac{z_{21}}{z_{22}} = 1000 \cdot \frac{23}{29} \cdot \frac{20}{32} \cdot \frac{21}{53} \cdot \frac{50}{20} = 491,01 \text{ об/хв}$$

$$n_{18} = 1000 \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} \cdot \frac{z_{21}}{z_{22}} = 1000 \cdot \frac{26}{26} \cdot \frac{20}{32} \cdot \frac{21}{53} \cdot \frac{50}{20} = 619,1 \text{ об/хв}$$

$$n_{21} = 1000 \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_{11}}{z_{12}} \cdot \frac{z_{21}}{z_{22}} = 1000 \cdot \frac{23}{29} \cdot \frac{20}{32} \cdot \frac{37}{37} \cdot \frac{50}{20} = 1239,22 \text{ об/хв}$$

$$n_{22} = 1000 \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_{11}}{z_{12}} \cdot \frac{z_{21}}{z_{22}} = 1000 \cdot \frac{26}{26} \cdot \frac{20}{32} \cdot \frac{37}{37} \cdot \frac{50}{20} = 1562,5 \text{ об/хв}$$

4.2.9 Розрахунок пасової передачі

Дано:

$$N_{\text{об}} = 11 \text{ кВт},$$

$$n_1 = 1477 \text{ об/хв},$$

$$n_2 = 1000 \text{ об/хв},$$

$$a_p = 1500 \text{ мм}.$$

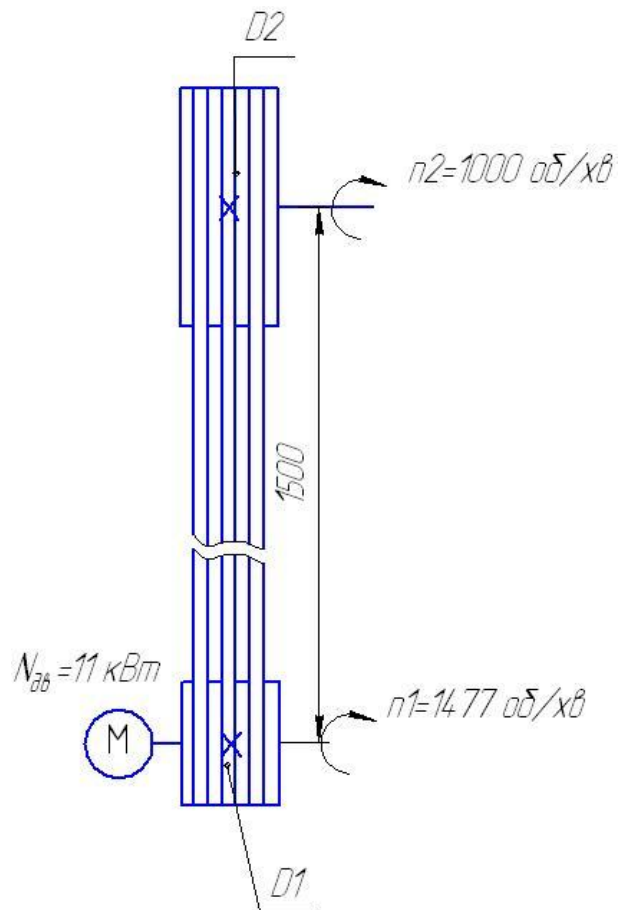


Рисунок 4.7 – Ремінна передача

В залежності від частоти обертання меншого шківa

$$n_0 = n_{\text{об}} - E \quad (4.7)$$

де $E=2,3\%$ - ковзання, $n_{\text{об}}=1500$ об/хв.

Тоді $n_0=1500-23=1477$ об/хв; потужності двигуна $N_{\text{дв}}=11$ кВт, приймаю розріз клинового ремня **Б**.

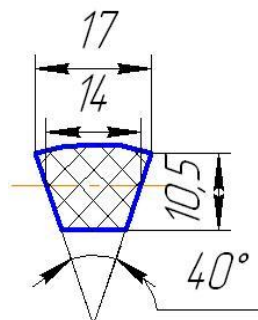


Рисунок 4.8 – Розріз ремня

Крутний момент

$$T = \frac{P}{\omega_{\partial\partial}} \quad (4.8)$$

де P – потужність електро двигуна;

$\omega_{\partial\partial}$ – кутова швидкість.

$$\omega_{\partial\partial} = \frac{\pi \cdot n_{\partial\partial}}{30} \quad (4.9)$$

$$\omega_{\partial\partial} = \frac{3,14 \cdot 1477}{30} = 154,6 \text{ (рад / с)}$$

Тоді:

$$T = \frac{11 \cdot 10^3}{154,6} = 71,1 \text{ (Н} \cdot \text{м)} = 71,1 \cdot 10^3 \text{ (Н} \cdot \text{мм)}$$

Діаметр меншого шківa.

$$d_1 = (3 \div 4) \sqrt[3]{T} \quad (4.10)$$

$$d_1 = (3 \div 4) \sqrt[3]{71,1 \cdot 10^3} \approx 124 \div 167$$

Приймаємо $d_1 = 140$ мм.

Визначимо діаметр більшого шківa

$$d_2 = i_{\text{рем}} \cdot d_1 (1 - \varepsilon) \quad (4.11)$$

де $i_{рем}$ – передаточне відношення ремінної передачі;
 $\varepsilon = 0.015$ – коефіцієнт ковзання ременя.

$$i_{рем} = n_0/n_1 = 1477 / 1000 = 1,477$$

$$d_2 = 1,477 \cdot 140(1 - 0,015) = 203,68 \text{ (мм)}$$

Приймаємо $d_2 = 200 \text{ (мм)}$

Робимо уточнення передаточного відношення.

$$i_{рем} = \frac{d_2}{d_1(1 - \varepsilon)} \quad (4.12)$$

$$i_{рем} = \frac{200}{140 \cdot (1 - 0,015)} = 1,45$$

Кутова швидкість другого шківа

$$n = \frac{n_{дв}}{i_{рем}} \quad (4.13)$$

$$n_1 = \frac{1477}{1,45} = 1018,6 \text{ (об / хв)}$$

Розходження фактичної частоти з нормальною частотою другого шківа.

$$\frac{1018 - 1000}{1018} \cdot 100\% = 1,77\%$$

Це менше ніж максимально допустиме $\pm 3\%$. Відповідно приймаємо діаметри шківів $d_1 = 140 \text{ мм}$ і $d_2 = 200 \text{ мм}$.

Розрахунок між осевої відстані a_p - мінімальна

$$a_p = 0,55(d_1 + d_2) + T_0 \quad (4.14)$$

де $T_0 = 14$ мм – висота розрізу реміння.

$$a_p = 0,55(140 + 200) + 14 = 201 \text{ (мм)}$$

Приймаємо $a_p = 1500$ мм

Обчислення довжини реміння за формулою:

$$L = 2 \cdot a_p + 0,5 \cdot \pi(d_1 + d_2) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4 \cdot a_p} \quad (4.15)$$

$$L = 2 \cdot 1500 + 0,5 \cdot 3,14 \cdot (140 + 200) + \frac{(200 - 140)^2}{4 \cdot 1500} = 3534,4 \text{ (мм)}$$

Приймаємо стандартне значення $L = 3550$ мм.

Проводимо уточнення між осевої відстані

$$a_p = 0,25 \left[(L - w) + \sqrt{(L - w)^2 - 2 \cdot y} \right] \quad (4.16)$$

де $w = 0,5 \cdot \pi(d_1 + d_2) = 0,5 \cdot 3,14(140 + 200) = 533,8$ (мм)

$$y = (d_2 - d_1)^2 = (200 - 140)^2 = 3,6 \cdot 10^3.$$

Відповідно:

$$a_p = 0,25 \left[(3550 - 533,8) + \sqrt{(3550 - 533,8)^2 - 2 \cdot 3,6 \cdot 10^3} \right] = 1507 \text{ (мм)}$$

При монтажі передачі потрібно забезпечити можливого зменшення між осевої відстані на $0,01 \cdot L = 0,01 \cdot 1400 = 14$ мм, для легкого надівання ременя на шківів і можливого збільшення його на $0,025 \cdot L = 0,025 \cdot 1400 = 35$ мм, для натягування ременя.

Кут обгинання меншого шківів:

$$\alpha_1 = 180^\circ - 57 \frac{d_2 - d_1}{a_p} \quad (4.17)$$

$$\alpha_1 = 180^\circ - 57 \frac{200 - 140}{1507} = 177,7^\circ$$

Коефіцієнт режиму роботи, враховуючий умови експлуатації передачі
 $C_p = 1,0$

Коефіцієнт, враховуючий вплив довжини ременя для ременя розрізу **Б** при довжині $L = 1400$ мм $C_L = 0,97$

Коефіцієнт, враховуючий вплив кута обгинання
 при $\alpha_1 = 172^\circ$ $C_\alpha = 1,0$

Коефіцієнт, враховуючий число ременів в передачі.

Приймаємо кількість ременів в передачі від 4 до 6, тоді коефіцієнт
 $C_z = 0,90$

Розрахунок кількості ременів.

$$z = \frac{P C_p}{P_0 C_L C_\alpha C_z} \quad (4.18)$$

де P_0 - потужність, що передається одним ременем, кВт.

Для ременя розрізу **Б** при довжині $L = 3550$ мм, роботі на шківів $d_1 = 140$ мм і $i = 1,45$ потужність $P_0 = 2,53$ кВт

$$z = \frac{11 \cdot 1}{2,53 \cdot 0,97 \cdot 1 \cdot 0,9} = 4,98$$

Приймаю $z = 5$

Натяг клинового ремня

$$F_0 = \frac{850 P C_p C_L}{z \vartheta C_\alpha} + \theta \vartheta^2 \quad (4.19)$$

де ϑ - швидкість;

$\theta = 0,18 \frac{H \cdot c^2}{m^2}$ - коефіцієнт, враховуючий вплив відцентрової сили.

$$\vartheta = 0,5 \cdot \omega_{об} \cdot d_1 = 0,5 \cdot 154,6 \cdot 140 \cdot 10^{-3} = 10,822 \text{ (м/с)}$$

Відповідно:

$$F_0 = \frac{850 \cdot 11 \cdot 1 \cdot 0,97}{5 \cdot 10,822 \cdot 1} = 167,6 \text{ (Н)}$$

Тиск на вали

$$F_\epsilon = 2 \cdot F_0 \cdot z \cdot \sin \frac{\alpha_1}{2}$$

$$F_\epsilon = 2 \cdot 167,6 \cdot 5 \cdot \sin \frac{172}{2} = 1671,9 \text{ (Н)}$$

Ширина шківів

$$B_{ш} = (z-1)e + 2f \quad (4.20)$$

де $e = 19 \text{ мм}$ $f = 12,5 \text{ мм}$

$$B_{ui} = (5 - 1) \cdot 19 + 2 \cdot 12,5 = 101 \text{ (мм)}$$

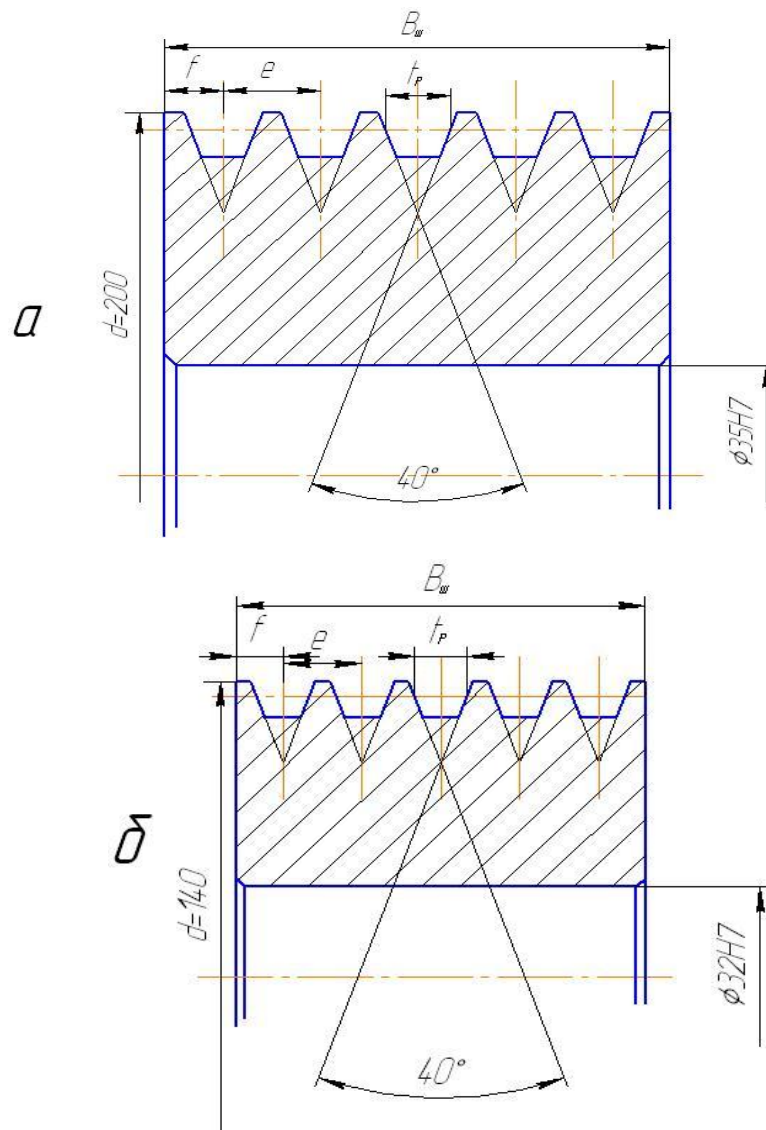


Рисунок 4.9 – Конструктивні параметри шківів:

а) - більший шків;

б) - менший шків.

4.2.10 Розрахунок вихідного валу

Приймаємо, що нормальні напруги від згину по симетричному циклу, а дотичні від кручення по віднулевому.

Розрахунок складається з розрахунку коефіцієнтів запасу міцності s для небезпечних розрізів і зрівнюємо їх з допустимими значеннями $[s]$. Міцність витримана при $s \geq [s]$.

Матеріал валу Сталь 40Х, термічна обробка закалка при температурі 800 °С, відпуск при температурі 200 °С, вода, $\sigma_{\text{в}} = 1760$ МПа.

Грань витривалості при симетричному циклі згину обчислюється за виразом:

$$\sigma_{-1} \approx 0,43 \cdot \sigma_{\text{в}} \quad (4.21)$$

$$\sigma_{-1} \approx 0,43 \cdot 1760 = 756,8 \text{ (МПа)}$$

Грань витривалості при симетричному циклі дотичних напружень:

$$\tau_{-1} \approx 0,58 \cdot \sigma_{-1} \quad (4.22)$$

$$\tau_{-1} \approx 0,58 \cdot 756,8 = 438,9 \text{ (МПа)} \quad (4.22)$$

В розрізі А-А концентрацію напружень визивають шліци.

Будуємо епюри напружень див. рис. 4.10)

Знайдемо сили які діють в зацепленні зубчастого колеса 1.

Кільцева сила

$$F_{t1} = 2M / d_1 \quad (4.23)$$

де $M = 733 \cdot 10^3$ Н·мм – крутний момент;

d_1 – діаметр зубчастого колеса.

$$d_1 = z_1 \cdot m_1 \quad (4.24)$$

де $z = 66$ – кількість зубів на зубчастому колесі;

$m = 2,25$ – модуль.

$$d_1 = 66 \cdot 2,25 = 148,5 \text{ (мм)}$$

$$F_{t1} = 2 \cdot 733 \cdot 10^3 / 148,5 = 9872 \text{ (Н)}$$

Радіальна сила

$$F_{r1} = F_{t1} \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (4.25)$$

де $\alpha = 20^\circ$ - кут зачеплення

$$F_{r1} = 9872 \cdot \operatorname{tg} 20 = 3593 \text{ (H)}$$

Знайдемо сили які діють в зацепленні зубчастого колеса 2

Кільцева сила

$$F_{t2} = 2M / d_2$$

де $M = 733 \cdot 10^3$ (Нмм) - крутний момент;

d_2 – діаметр зубчастого колеса.

$$d_2 = z_2 \cdot m_2$$

де $z = 65$ – кількість зубів на зубчастому колесі;

$m = 2$ – модуль.

$$D_2 = 65 \cdot 2 = 130 \text{ (мм)}$$

$$F_{t2} = 2 \cdot 733 \cdot 10^3 / 130 = 11276,9 \text{ (H)}$$

Радіальна сила

$$F_{r2} = F_{t2} \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

де $\alpha = 20^\circ$ - кут зачеплення

$$F_{r2} = 11276,9 \cdot \operatorname{tg} 20 = 4104,5 \text{ (H)}$$

Знайдемо сили діючі в опорах

В площині xz

$$\sum M(R_{x1}) = Ft_1 \cdot l_1 - R_{x2} \cdot (l_1 + l_2) + Ft_2 \cdot (l_1 + l_2 + l_3) = 0 \quad (4.26)$$

$$\begin{aligned} R_{x2} &= (Ft_1 \cdot l_1 + Ft_2 \cdot (l_1 + l_2 + l_3)) / (l_1 + l_2) = \\ &= (9872 \cdot 55 + 11276,9 \cdot (55 + 135 + 30)) / (55 + 135) = 15915 \text{ (H)} \end{aligned}$$

$$\sum M(R_{x2}) = -R_{x1} \cdot (l_1 + l_2) + Ft_1 \cdot l_2 - Ft_2 \cdot l_3 = 0 \quad (4.27)$$

$$R_{x1} = (Ft_1 \cdot l_2 - Ft_2 \cdot l_3) / (l_1 + l_2) = (9872 \cdot 135 - 11276,9 \cdot 30) / (55 + 135) = 5233,8 \text{ (H)}$$

Перевірка:

$$R_{x1} - Ft_1 + R_{x2} - Ft_2 = 0 \quad (4.28)$$

$$5233,8 - 9872 + 15915 - 11276,9 \approx 0$$

В площині yz

$$\sum M(R_{y1}) = -Fr_1 \cdot l_1 + R_{y2} \cdot (l_1 + l_2) - Fr_2 \cdot (l_1 + l_2 + l_3) = 0 \quad (4.29)$$

$$\begin{aligned} R_{y2} &= (Fr_1 \cdot l_1 + Fr_2 \cdot (l_1 + l_2 + l_3)) / (l_1 + l_2) = \\ &= (3593 \cdot 55 + 4104,5 \cdot (55 + 135 + 30)) / (55 + 135) = 5792,7 \text{ H} \end{aligned}$$

$$\sum M(R_2) = -R_{y1} \cdot (l_1 + l_2) + Fr_1 \cdot l_2 - Fr_2 \cdot l_3 = 0 \quad (4.30)$$

$$R_{y1} = (Fr_1 \cdot l_2 - Fr_2 \cdot l_3) / (l_1 + l_2) = 1904,8 \text{ H}$$

Перевірка:

$$Ry1 - Fr1 + Ry2 - Fr2 = 0 \quad (4.31)$$

$$1904,8 - 3593 + 5233,8 - 4104,5 \approx 0$$

Згинаючий момент у горизонтальній площині

$$M1 = Rx1 \cdot l1 \quad (4.32)$$

$$M1 = 5233,8 \cdot 55 = 28736,5 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Згинаючий момент у вертикальній площині

$$M2 = Ry1 \cdot l1 \quad (4.33)$$

$$M2 = 1904,8 \cdot 55 = 104772 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Сумарний згинаючий момент в розрізі А-А

$$M_{A-A} = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} \quad (4.34)$$

$$M_{A-A} = \sqrt{28736,5^2 + 104772^2} = 108641 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

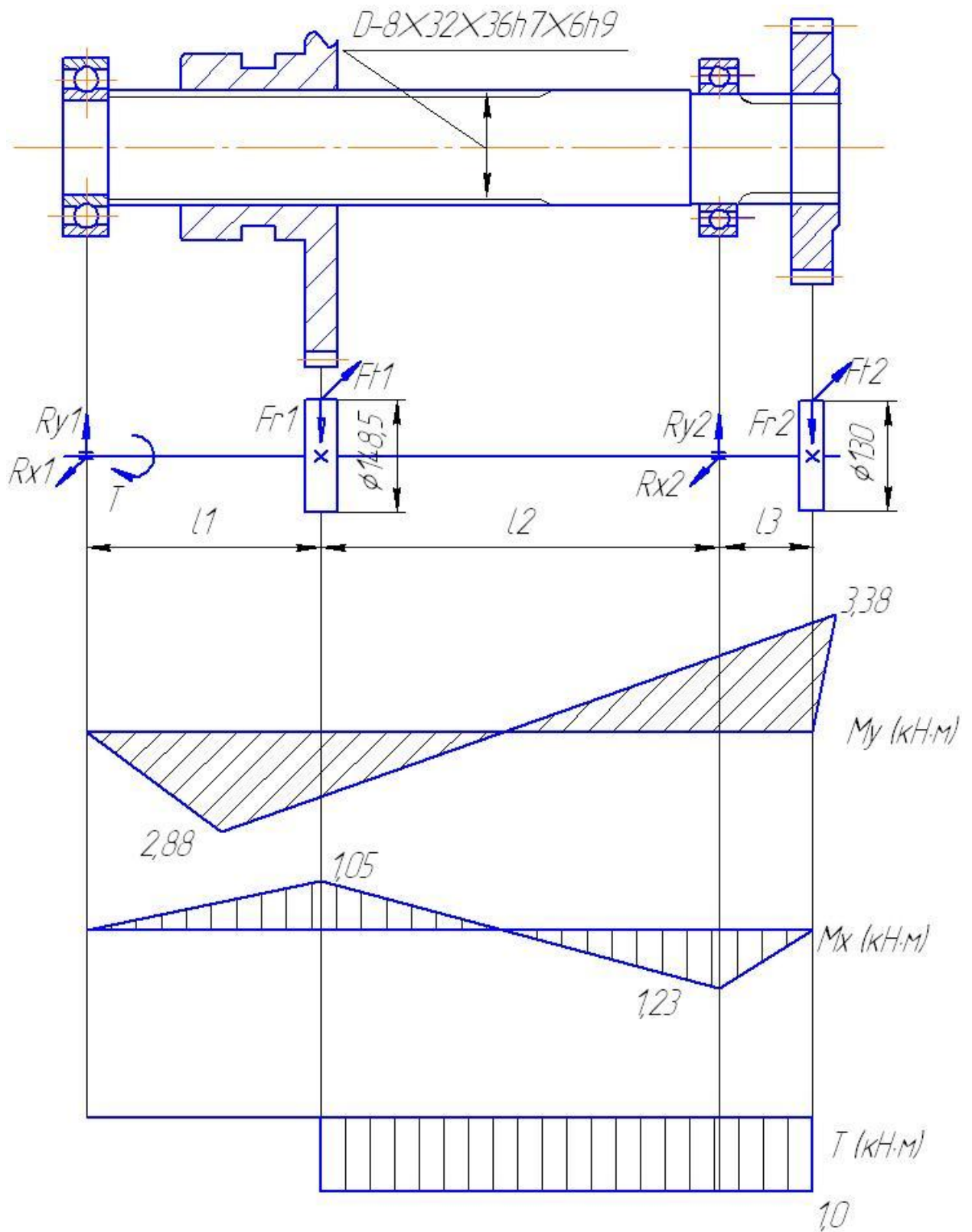


Рисунок 4.10 – Епюри діючих сил та моментів

Момент опору кручення

$$W_{k \text{ нетто}} = \frac{\pi d^3}{16} + \frac{z \cdot b \cdot \frac{D-d}{2} \cdot (D - \frac{D-d}{2})}{2 \cdot D} \quad (4.25)$$

де $D = 38$ мм – діаметр валу;

$d = 32$ мм – діаметр западин шліців;

$b = 6$ мм – ширина шліців;

$z = 8$ – число шліців.

$$\begin{aligned} W_{k \text{ нетто}} &= \frac{3,14 \cdot 32^3}{16} + \frac{8 \cdot 6 \cdot \frac{38-32}{2} \cdot (38 - \frac{38-32}{2})}{2 \cdot 38} = \\ &= 6430,7 + 66 = 6497 \text{ (мм}^3\text{)} \end{aligned}$$

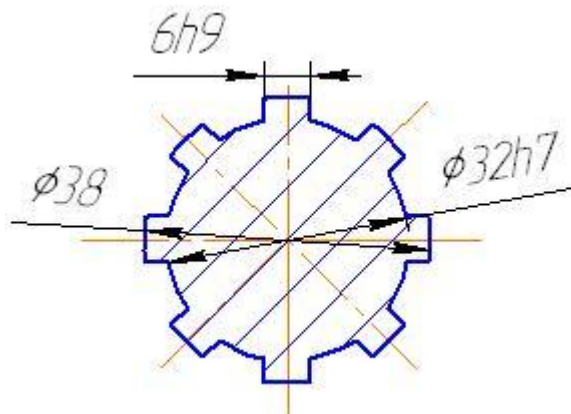


Рисунок 4.11 – Вал шлицьовий

Момент опору згину

$$W_{\text{нетто}} = \frac{\pi d^3}{32} + \frac{z \cdot b \cdot \frac{D-d}{2} \cdot (D - \frac{D-d}{2})}{2 \cdot D} \quad (4.26)$$

$$W_{\text{нетто}} = \frac{3,14 \cdot 32^3}{32} + \frac{8 \cdot 6 \cdot \frac{38-32}{2} \cdot (38 - \frac{38-32}{2})}{2 \cdot 38} = 3215,4 + 66 = 3281,4 \text{ (мм}^3\text{)}$$

Амплітуда і середня напруга цикла дотичних напруг

$$\tau_v = \tau_m = M/2 \cdot W_{k \text{ нетто}} \quad (4.27)$$

$$\tau_v = \tau_m = 666,7 \cdot 10^3 / 2 \cdot 6497 = 51,3 \text{ МПа}$$

Амплітуда нормальних напруг згину

$$\sigma_v = M / W_{\text{нетто}} \quad (4.28)$$

$$\sigma_v = 666,7 \cdot 10^3 / 1497 = 445,3 \text{ (Мпа)}$$

$\sigma_m = 0$ – середня напруга

Коефіцієнт запаса міцності за нормальними напругами

$$S\sigma = \sigma_{-1} / ((K\sigma / E_v) \cdot \sigma_v + \psi\sigma \cdot \sigma_m) \quad (4.29)$$

де $K\sigma = 1,7$;
 $E_v = 0,85$;
 $\psi\sigma = 0,27$.

$$S\sigma = 756,8 / ((1,6 / 0,85) \cdot 445,3 + 0,27 \cdot 0) = 756,8 / 244,1 = 3,1$$

Коефіцієнт запаса міцності за дотичними напругами

$$S\tau = \tau_{-1} / ((K_\tau / E_\tau) \cdot \tau_v + \psi_\tau \cdot \tau_m) \quad (4.30)$$

де $K\tau = 2,65$;
 $E_\tau = 0,73$;
 $\psi_\tau = 0,1$

$$S\tau = 438,9 / ((2,65 / 0,73) \cdot 51,3) + 0,1 \cdot 51,3 = 2,6$$

Результуюча коефіцієнту запасу міцності для розрізу А-А

$$S = S_{\sigma} \cdot S_{\tau} / \sqrt{S_{\sigma}^2 + S_{\tau}^2} \quad (4.31)$$

$$S = \frac{3,1 \cdot 2,6}{\sqrt{3,1^2 + 2,6^2}} = 1,99.$$

Розраховане значення S повинно бути не менше допустимого $[S] = 1,7$

$$S \geq [S]$$

$1,99 \geq 1,7$ – умова виконується.

ВИСНОВКИ

В роботі на основі теоретичного аналізу, моделювання та нормативних вимог проаналізовано конструкцію валкового млина, придатного для подрібнення рослинної біомаси та зернової сировини, відповідно до вимог ДСТУ EN 14958, з подальшим використанням у сферах харчової промисловості, біоенергетики та локального виробництва.

Для цього було проаналізовані валкові млини та встановлено, що вони є ключовим устаткуванням у багатьох галузях промисловості, зокрема в харчовій, хімічній, металургійній та енергетичній. Їхнє призначення полягає в подрібненні, розплющуванні або змішуванні різноманітних матеріалів шляхом пропускання їх між обертовими валками. Цей процес забезпечує ефективне зменшення розміру частинок, що є критично важливим для подальших технологічних операцій.

В роботі запропонована модернізація головного приводу головного руху двовалкового млина, що дозволяє забезпечити 24 швидкості обертання валків млина. Це дозволяє використовувати один двовалковий млин для різних технологічних операцій в сільському господарстві від грубого помолу насіння соняшника до отримання складових біопалива.

Таким чином швидкість обертання робочих валів може бути відрегульована в діапазоні від 10 до 2500 об/хв, та забезпечується 24 скорості зміни обертів робочих органів млину.

В додатку А представлено розділ з охорони праці.

В додатку Б представлено розділ з економічної оцінки проєкту.

В додатку В представлені креслення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1 Martin R., Siliveru K., Watt J., Blodgett P., Alavi S. Pilot Scale Roller Milling of Chickpeas into a De-Hulled Coarse Meal and Fine Flour // Processes. 2022. Vol. 10, Issue 11, Article No. 2328. DOI:10.3390/pr10112328

2 Tian W., Tong J., Zhu X., Fritschi M.P., Li Y., He Z., Zhang Y. Effects of Different Pilot-Scale Milling Methods on Bioactive Components and End-Use Properties of Whole Wheat Flour // Foods. 2021. Vol. 10, Issue 11, Art. 2857. DOI:10.3390/foods10112857

3 ДСТУ EN 14958:2014 Обладнання для харчової промисловості. Машина для перероблення на борошно та крупку. Вимоги щодо безпеки та гігієни (EN 14958:2006 + A1:2009, IDT).

4 Yang F., Li R., Wang X., Cheng B., Gu R. Optimization of Working Parameters of High-Pressure Roller Mill Based on Entropy Weight Method and Response Surface Method // Scientific Reports. 2024. Vol. 14, Art. 28238. DOI:10.1038/s41598-024-79691-7

5 Белінська С., Орлова Н., Мотузка Ю. Концептуальні засади гарантій безпеки харчових продуктів // Міжнародний науково-практичний журнал «Товари і ринки». — 2011, № 1(11)

6 СНАУ [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.google.com/maps/place/%D0%A1%D0%9D%D0%90%D0%A3/@50.8808451,34.7756666,15z/data=!4m6!3m5!1s0x412901c87e8fd3fb:0xb535c55b6be731d8!8m2!3d50.8816948!4d34.7778118!16s%2Fm%2F0nd58b3!5m1!1e2?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDUyOC4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D , вільний. – Назва з екрана.

7 ЦККНО «ЛАБОРАТОРІЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://science.snau.edu.ua/cckno-ecolab/> вільний. – Назва з екрана.

8 Стратегія Сумського національного аграрного університету [Електронний ресурс] – Режим доступу:

https://drive.google.com/file/d/1kmqNXTUZ5kZPXtw54ac_ogtR6yjExQ88/view , вільний. – Назва з екрана.

9 Tanner N.K., Van der Kamp J., Block M. Size Reduction in Feed Technology and Methods for Determining, Expressing and Predicting Particle Size: A Review // *Animal Feed Science and Technology*. 2020. Vol.261, Art. 114347. DOI:10.1016/j.anifeedsci.2019.114347

10 Walker C.E., Eustace E.L. Chapter 7. Roller Milling of Wheat // *Encyclopaedia of Grain Science*. 2004.

11 Di Stasio M., Vacca P., Picocchi N., Meccariello C., Volpe M.G. Stone Milling versus Roller Milling: A Systematic Review of the Effects on Wheat Flour Quality, Dough Rheology, and Bread Characteristics // *Trends in Food Science & Technology*. 2020. Vol. 97, P. 147–155

12 Млини від вирощування пшениці до мистецтва та науки млинарства [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://kingsunmachining.com/uk/blog/milling-farming/?utm_source=chatgpt.com , вільний. – Назва з екрана.

13 Млини [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BB%D0%B8%D0%BD>, вільний. – Назва з екрана.

14 Млини [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://studopedia.com.ua/1_7929_IstorIya-rozvitku-boroshnomelnoyi-promislovosti-ukrayini.html?utm_source=chatgpt.com , вільний. – Назва з екрана.

15 Вальцьові верстати ЗМ-2, БВ-2 [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv_27/page10.html, вільний. – Назва з екрана.

16 Подрібнювачі, які ми виготовляємо, обслуговуємо, проводимо ремонт та відновлення [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://bioekoprom.com.ua/ua/novini/izmelchiteli_kotoryie_myi_proizvodim_ob

slujivaem_proizvodim_remont_i_vosstanovlenie/?utm_source=chatgpt.com/ ,
вільний. – Назва з екрана.

17 Переваги вальцьового млина [Електронний ресурс] – Режим
доступу: https://ua.fine-mill.com/roller-mill/?utm_source=chatgpt.com,
вільний. – Назва з екрана.

18 Молоткасті млини [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://analit-pribor.com.ua/uk/catalog/molotkovye-melniczy-uk/>. – Назва з
екрана.

19 Кульовий млин з центральним розвантаженням [Електронний
ресурс] – Режим доступу:
https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%83%D0%BB%D1%8C%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9_%D0%BC%D0%BB%D0%B8%D0%BD_%D0%B7_%D1%86%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%BC_%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%D0%BC. – Назва з екрана.

20 Конусні млини [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://studfile.net/preview/8377598/page:4/>. – Назва з екрана.

21 Механічні процеси. Подрібнення твердих матеріалів [Електронний
ресурс] – Режим доступу: <https://kc.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/11/2021/02/Processes-and-apparatus-of-chemical-productionLecture12.pdf>. – Назва з екрана.

22 Основи конструювання машин: Підручник для студентів
інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид.,
переробл. - Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.