

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**ЮДІН МАКСИМ ВАЛЕРІЙОВИЧ**

УДК 674.02

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

Удосконалення ТО та ремонту системи аспірації  
ПрАТ «Коростенський завод МДФ»

208 «Агроінженерія»

---

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр  
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на  
відповідне джерело

\_\_\_\_\_Юдін М. В.  
(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

**ГРАБАР І. Г.**

(прізвище, ім'я, по батькові)

**д.т.н., професор**

(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2022

## АНОТАЦІЯ

Юдін М. В. Удосконалення ТО та ремонту системи аспірації ПрАТ «Коростенський завод МДФ». Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2022.

Кваліфікаційна робота присвячена проблемі удосконалення технологічного обслуговування та поточного ремонту технологічного обладнання ПрАТ «Коростенський завод МДФ». Проведені дослідження причин відмов вузлів та агрегатів машин в експлуатації. Запропоновані технології відновлення працездатного стану.

**Ключові слова:** поточний ремонт, відмова, агрегат, працездатний стан.

## ANNOTATION

Yudin M. Improvement of maintenance and repair of the aspiration system of PJSC "Korostensky MDF Plant". Qualification work for obtaining a master's degree in specialty 208 - agricultural engineering. – Polis National University, Zhytomyr, 2022.

The qualification work is devoted to the problem of improving technological maintenance and ongoing repair of technological equipment of PJSC "Korostensky MDF Plant". Investigations of the causes of failures of units and units of machines in operation have been carried out. Proposed restoration technologies.

Key words: current repair, failure, unit, working condition.

## ВСТУП

На протязі всього 20-го та 21-го століття зберігається тенденція прискорення науково-технічного прогресу, котрий стимулює зростання швидкості, потужності, технологічних можливостей машин та обладнання. Підвищення показників надійності машин необхідно для зменшення витрат на ремонт від простоїв, безпеки життєдіяльності, зменшення тяжких наслідків від аварій та відмов складних технічних систем. Якість та надійність машини визначає рентабельність її експлуатації.

Теорія надійності знаходиться на перетині багатьох наук: теорії ймовірностей, математичної статистики, теоретичної механіки, опору матеріалів, механіки та фізики руйнування, матеріалознавства та інших.

Головна задача теорії надійності – вивчення закономірностей виникнення відмов та на базі результатів випробовувань розробка заходів по забезпеченню безвідмовної роботи технічної системи.

Висока надійність технологічних та транспортних машин повинна закладатись на стадії проектування, реалізовуватись при виготовленні та підтримуватись під час експлуатації.

На стадії проектування неможливо забезпечити абсолютно міцну конструкцію. Абсолютна ймовірність неруйнування конструкції в умовах експлуатації важко піддається експериментальному визначенню із-за величезної кількості високовартісних експериментальних досліджень із визначення напрацювань на відмову.

В останні 50 років з'явилися фундаментальні роботи з розробки теоретичних основ фізики руйнування конструкційних матеріалів, зокрема – металів та їх сплавів. Цьому слугували фундаментальні роботи по розробці термоактиваційних підходів в теорії надійності, здійснені в першу чергу академіком Журковим С.М. та його науковою школою. Всесвітньо відома формула Журкова дозволила поєднати в єдиному розрахунковому комплексі трьохвимірний простір – «час до руйнування – температуру експлуатації – експлуатаційні напруги». Саме термоактиваційні уявлення та моделі разом з синергетикою та потужним розвитком комп'ютерного моделювання дозволяють звести науки про міцність та надійність машин від розрізнених напівемпіричних ізольованих островків до єдиної стрункої теорії.

Покращення показників надійності технологічного обладнання, зокрема, в галузях з високими ризиками для життя та здоров'я людей, є генеральною лінією кращих світових виробників технологічного обладнання.

В роботі наведено аналіз причин відмов технологічного та аспіраційного обладнання в умовах експлуатації конкретного виробництва – ПраТ «Коростенський завод МДФ», наведені шляхи подолання причин виникнення цих відмов та запропоновані технології ліквідації наслідків відмов.

## Розділ 1. ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПЛИТ МДФ

Вимоги ринку до будівельних, меблевих, оздоблювальних матеріалів постійно зростають. Вимоги ці продиктовані екологічними, економічними та ресурсними обмеженнями. При виробництві плит деревоволкнистих середньої щільності – МДФ ( від англійської аббревіатури MDF - Medium Density Fiderboard або німецької Mittel Diche Fa-zerplatte) ці нові вимоги задовільняються якнайкраще. Адже МДФ - це плитний матеріал, виготовлений з висушених деревних волокон. Технології виготовлення плит МДФ передбачають використання для з'єднання волокон між собою в переважній більшості природню речовину, що є у складі деревини – лігнін з добавками синтетчних зв'язуючих речовин (карбаму і доформальдегідів, фенолоформальдегідів, поліізоціанатамів)

За вологостійкістю та механічними характеристиками плити МДФ переважають натуральне дерево, важкогорючі, біо-, атмосферостійкі, економічно доцільніші від цільних масивів дерева. Слід зазначити, що **плити МДФ є найбільш екологічно чистими серед подібних матеріалів**. МДФ мають високі естетичні можливості - лицеві панелі з них можуть мати практично будь-яке забарвлення, різноманітну фактуру поверхні, форму довільної конфігурації. Це суттєво підвищує можливості самовираження дизайнера, і, відповідно, індивідуальність меблів з цього матеріалу.

Вперше плити МДФ були виготовлені в США, на заводі фірми "Allied Chemical Corporations Barret Division" у 1966 році. Виробники меблів у США, і не тільки, досить швидко оцінили переваги нової продукції. У США в період з 1972 по 1996 роки щорічний приріст виробничих потужностей складав 30-36 %. Перший завод в Європі з виробництва МДФ був введений в експлуатацію аж в 1978 році, в Німеччині (м. Рибниц, тоді НДР). На кінець 1990 року в світі вже працювали 74 заводи з загальною потужністю виробництва 6,8 млн. м<sup>3</sup>. Зі створенням систем безперервного пресування, підвищенням ефективності розмелювального, клеєдозу-вального та формувального устаткування почався процес швидкого зростання об'ємів виробництва МДФ в усьому світі. Так, якщо об'єм виробництва ДСП в останні роки стабілізувався на рівні 54-56 млн. м<sup>3</sup>, то щорічний приріст об'ємів виробництва МДФ складав 15-20% і в 2002 році перевищив 26 млн. м<sup>3</sup>. Слід зазначити, що вдосконалення виробництва плит нерозривно пов'язане з іменем фірми "Sunds Defibrator".

Сучасні високопродуктивні екобезпечні технології виробництва плит МДФ включають наступні операції:

1. Подрібнення деревини. Як правила, на подрібнення подається кругла деревина від 80 до 300 мм в діаметрі, що подрібнюється на початковій стадії до фракції 25x15x10 мм. Системою транспортерів деревина позбавляється кори та потрапляє в рубальну машину, де фрагментується до щепи, котра направляється в два бункери-накопичувачі по 4300 м<sup>3</sup> кожен.

2. Виготовлення волокон. Із бункерів-накопичувачів щєпа через магнітний сепаратор та установку для просіювання. Після просіювання слідує процеси промивання та пропарювання, після чого щєпа подається в дефібратор для подрібнення (дефібрації) до стану волокон.
3. Сушка волокон. Волокна разом з клеєм піддається сушінню до залишкової вологи не більше 10%, після чого транспортується до накопичувача формовочної машини.
4. Формування та пресування. Волокно з клеєм подається в формовочну машину. Де з нього формується в килим, що переміщується транспортером, піддаючись холодному пресуванню пресом-катком неперервної дії. Наступним етапом є пресування при підвищеній температурі при 280 °С . Після цього етапу відбувається розкроювання килиму на прямокутні плити розміром 2790x5600 мм, після чого охолоджується та складається в стоси висотою до 3900 мм.
5. Полімеризація. Для повної полімеризації в'язучих плити МДФ зберігаються в стосах протягом 72 годин.
6. Шліфування. Плити, отримані після пресування та полімеризації, мають шорховату поверхню, що може впливати на якість ламіювання. Для усунення та вирівнювання шорховатостей плити проходять етап шліфування в плоско-шліфувальних машинах. Шліфовані плити розкроюються в стандартизовані розміри 830x2790, 1830x2440, 2135x2790, 2135x2440мм з подальшим штабельюванням висотою до 800 мм та з подальшою подачею у дільницю упаковки готової продукції.

На рис.1 наведено схему технологічної лінії виробництва плит МДФ. Дана лінія повністю автоматизована, все обладнання керується контролерами Siemens Step7. Оператор задає лише технологічні параметри та веде візуальний контроль за допомогою підсистем візуалізації (рис.2). Завод оснащено всіма необхідними всіма необхідними системами автоматизації, енергозабезпечення та приводами : для груп 1100-2300 – група 9000М, для груп 2400-7000, група 9000S.

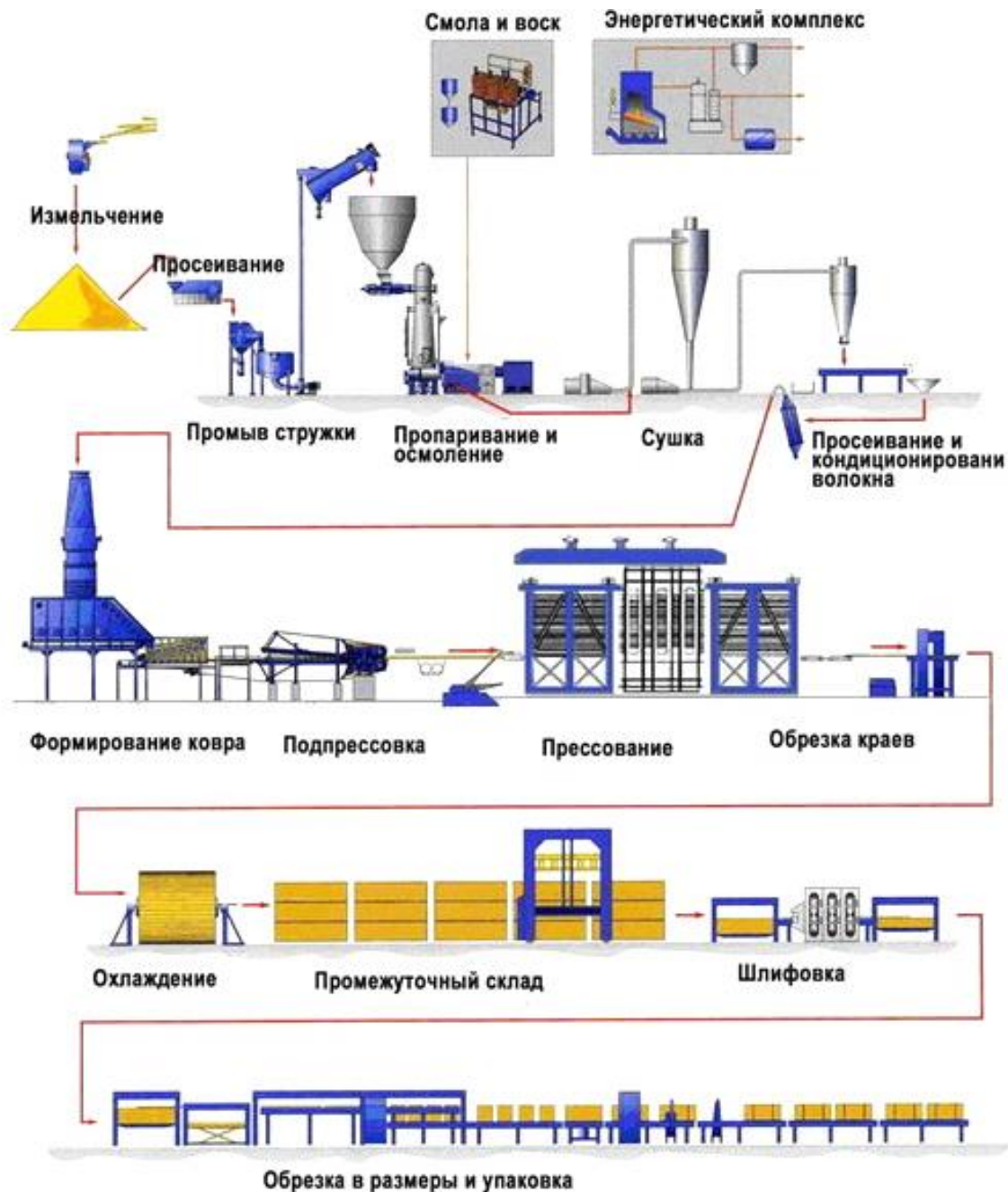


Рис.1.1. Технологічна лінія виробництва плит МДФ. Склад обладнання: 1 - окорівка, виготовлення тріски. ; 2 - сховище тріски ; 3 - промивання тріски; 4 - підготовка волокна; 5 - сушіння; 6- просіювання; 7 - підготовка та дозування клею; 8 - лінія формування та пресування; 9 - механічні та пневматичні транспортери; 10 - охолодження та штабелювання; 11 - система зберігання у штабелях; 12 - лінія обробки поверхні; 13 - пакувальна лінія; 14 - пневматичні засоби транспортування; 15 - енергетична установка; 16 - допоміжне обладнання (скроміння і вибухозахист); 17 - система контролю якості (лабораторне обладнання); 18 - верстати для заточування ножів та пилок; 19 - технічні засоби автоматизації, приводу та управління

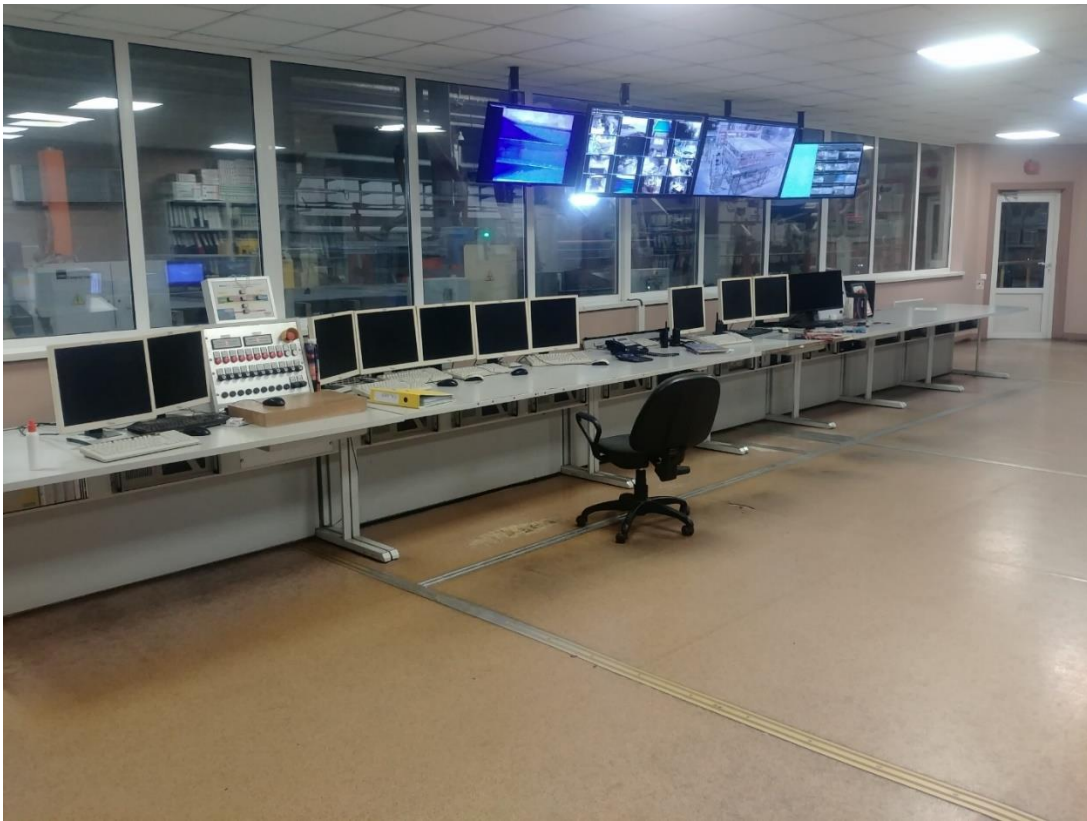


Рис.1.2. Центр управління виробництвом. Система візуалізації технологічного процесу

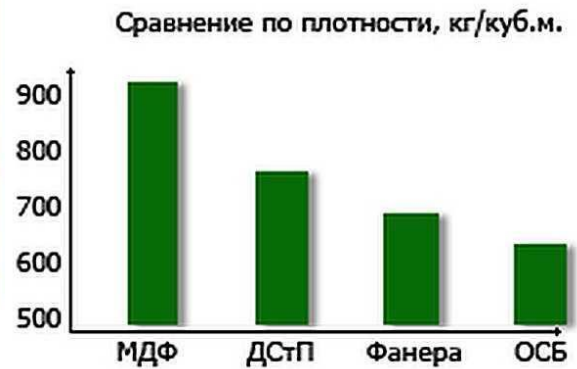


Рис.1.3. Порівняння щільності МДФ з аналогами

### Властивості MDF і стружкових плит

Показник	Плита	
	MDF	СП
Щільність, кг/м <sup>3</sup>	600...850	550...700
Межа міцності при згині, МПа	20...40	18...25
Межа міцності при розтягу перпендикулярно до площини, МПа	0,4...1,0	0,35...0,7



Здатність втримувати шурупи, МПа:

- перпендикулярно до площини
- паралельно до площини

4,5...11,0    4,0...9,0  
4,0...6,5    3,0...5,0

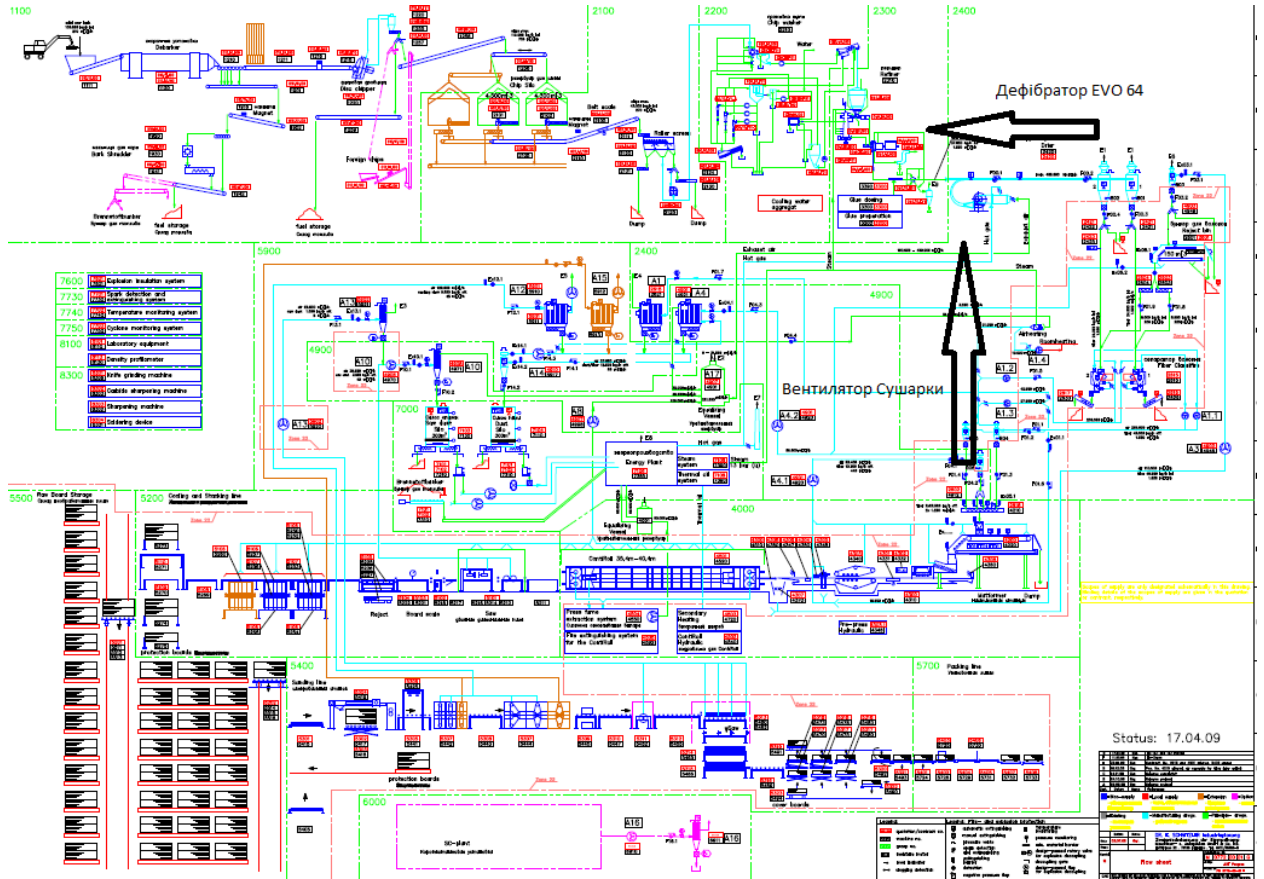


Рис.1.4. Технологічна схема заводу Коростенський ПРАТ МДФ





Рис.1.5. Системи транспортерів



Рис.1.6. Склад готової продукції



Рис.1.7. Технологічна лінія





Рис.1.8. Сушіння готової продукції



Рис.1.9.

## Розділ 2. Удосконалення ТО та ремонту системи аспірації ПрАТ«Коростенський завод МДФ»

Враховуючи об'єми робіт з подрібнення, дефібрації, пресування та шліфування волокон деревини, задача очищення повітря в заводських цехах є такою ж актуальною, як і виконання виробничих задач. А за впливом на еколого-соціальними наслідками – її можна класифікувати на найперше місце.

В роботі наведено аналіз параметрів відновлення та підтримання працездатного стану основних вузлів та агрегатів технологічних ліній з виробництва

Наведені дані відмов обладнання аспірації за останні 5 років та визначено кількісний вплив якості технічного обслуговування та планово-попереджувальних ремонтів на підвищення показників надійності.

Визначені інтенсивності відмов основних вузлів системи аспірації та показано їх тісна кореляція з відомими літературними даними.

На рис.1. наведено типову технологічну схему виробництва плит МДФ, та показано роль системи аспірації даного типу виробництв.

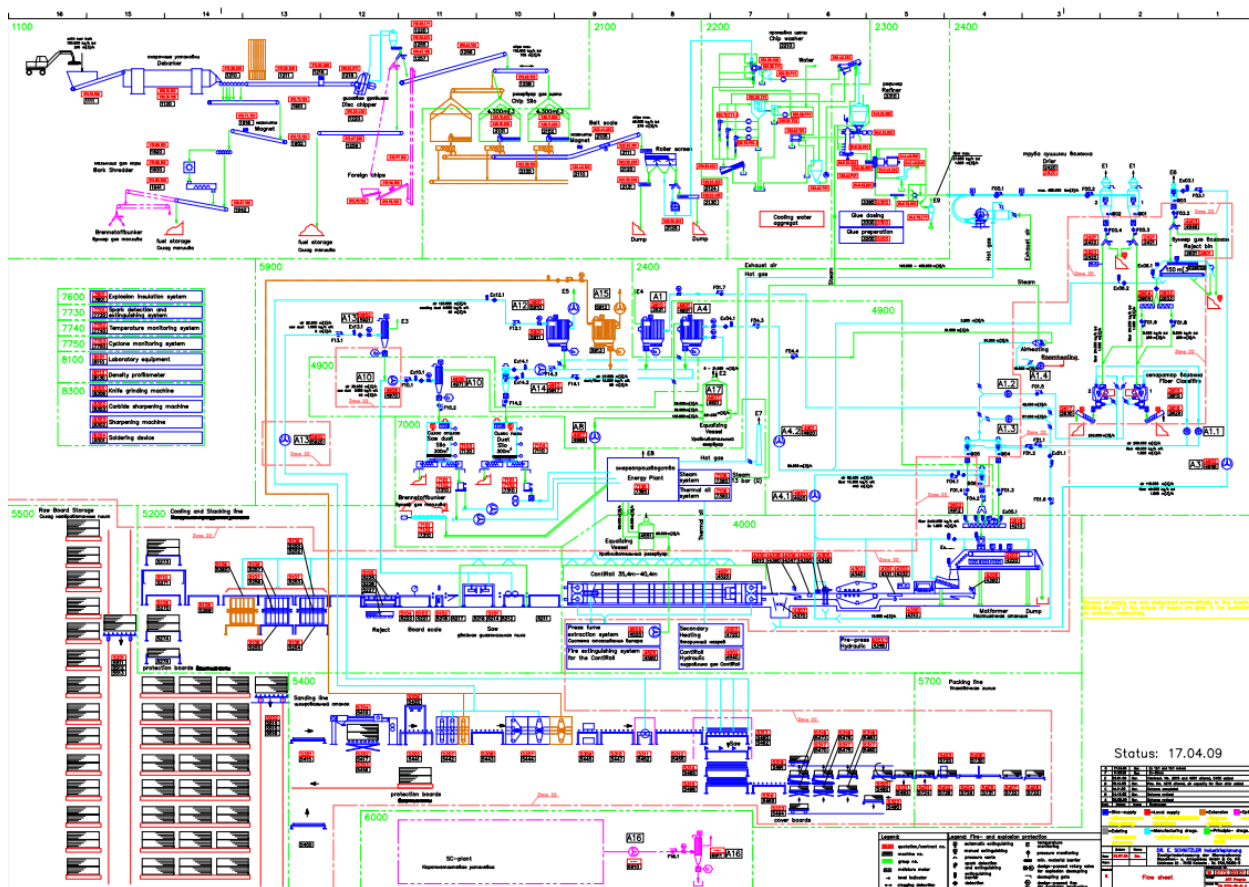


Рис.2.1. Технологічна схема виробництва МДФ-плит та роль системи аспірації в ній

В технологіях обробки та переробки деревини будь-яка технологічна операція розпилювання, подрібнення, шліфування чи полірування

супроводжується виділенням малих та субмалих мікрочастинок деревини та деревинного пилу, що дуже швидко розповсюджуються в повітрі та становлять серйозну загрозу дихальним шляхам працюючих в даному виробництві. Сам термін **аспірація** не випадково походить від латинського *aspiratio* — видихання. Дуже дрібний деревинний пил дуже шкідливий для дихальних шляхів, осідаючи в бронхах та легенях.

Надійно працююча система аспірації дозволяє видалити з повітря значну частину цих шкідливих забруднювачів.

Аспіраційні системи є силосного типу, модульні для зовнішньої установки, з імпульсною продувкою, витяжні вентилятори, циклони та інші [1-3].

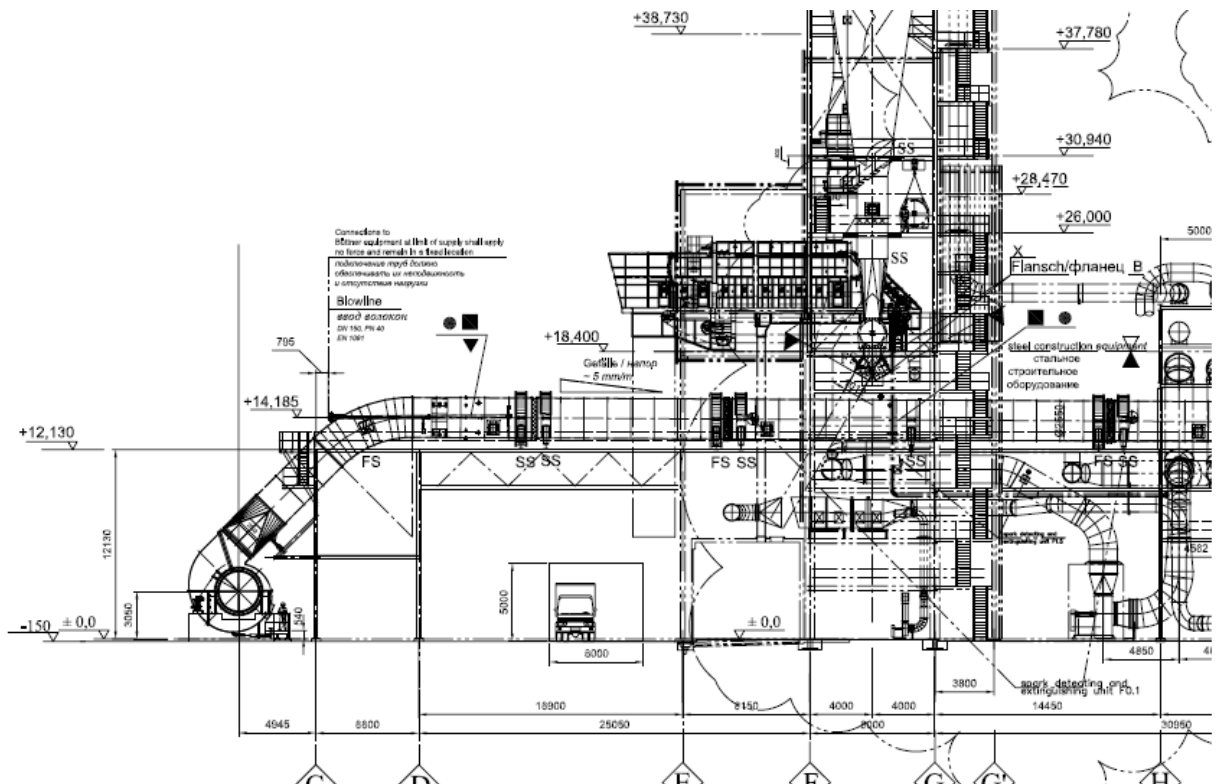


Рис.2.2.



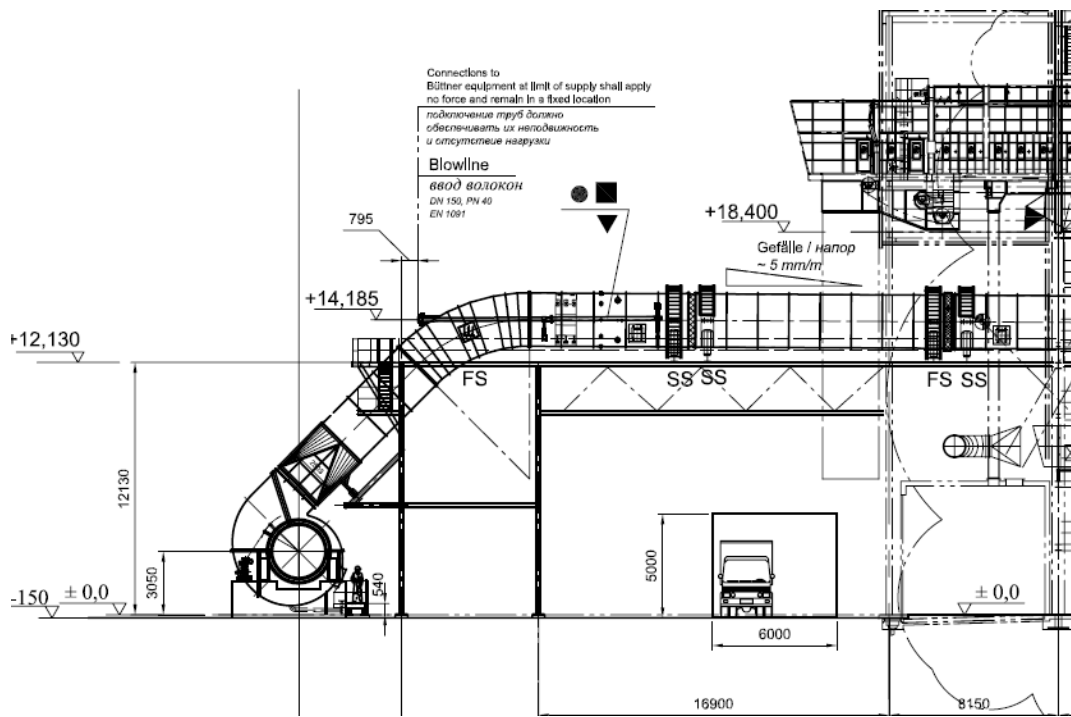


Рис.2.3.

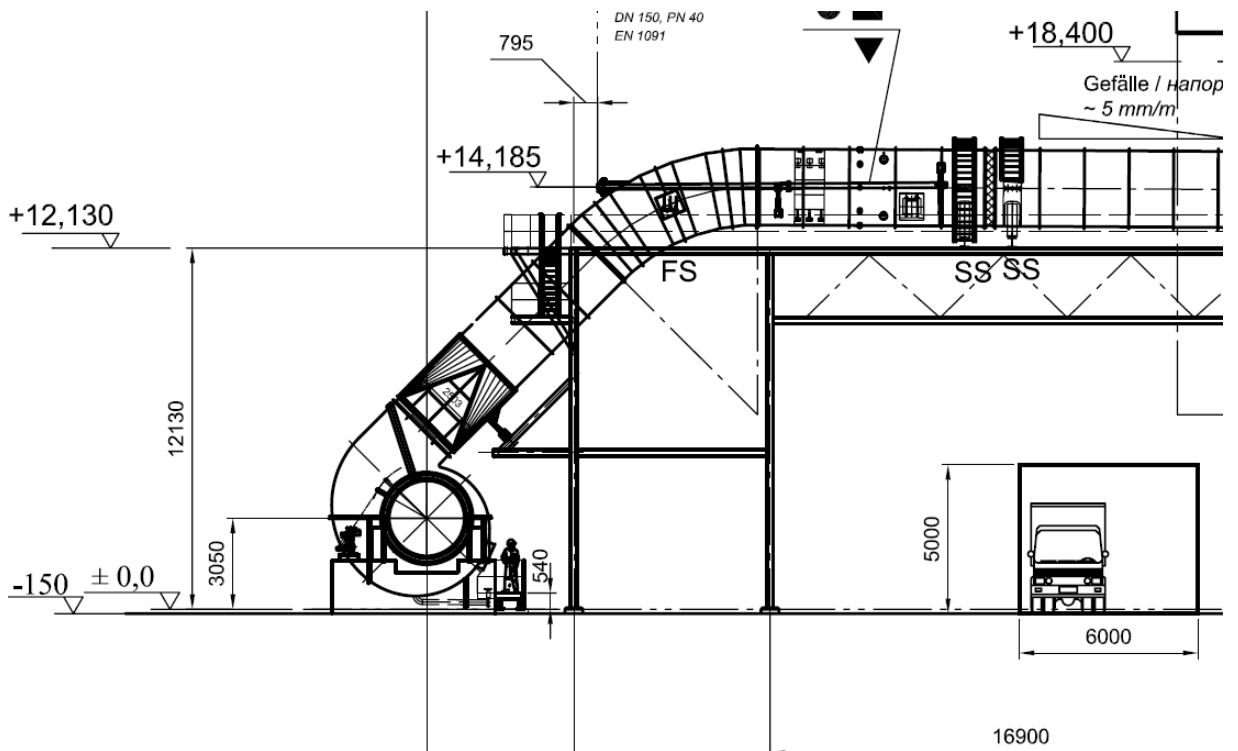


Рис.2.4

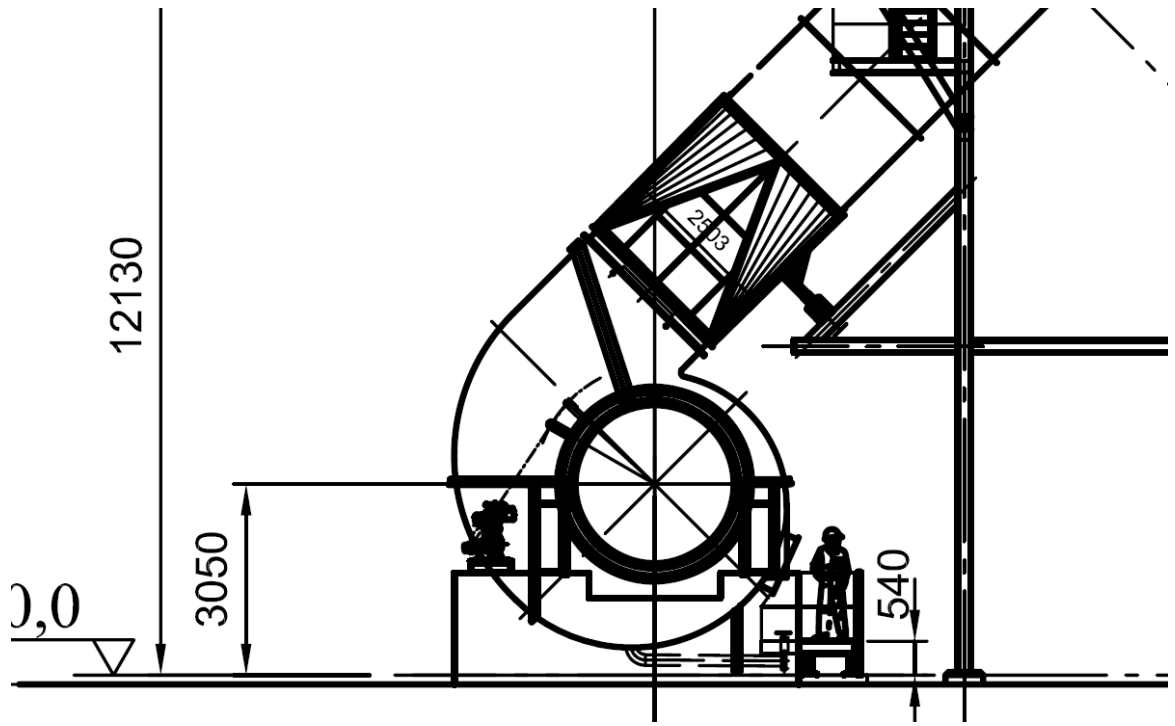


Рис.2.5.



Рис.2.6





Рис.2.7.



Рис.2.8

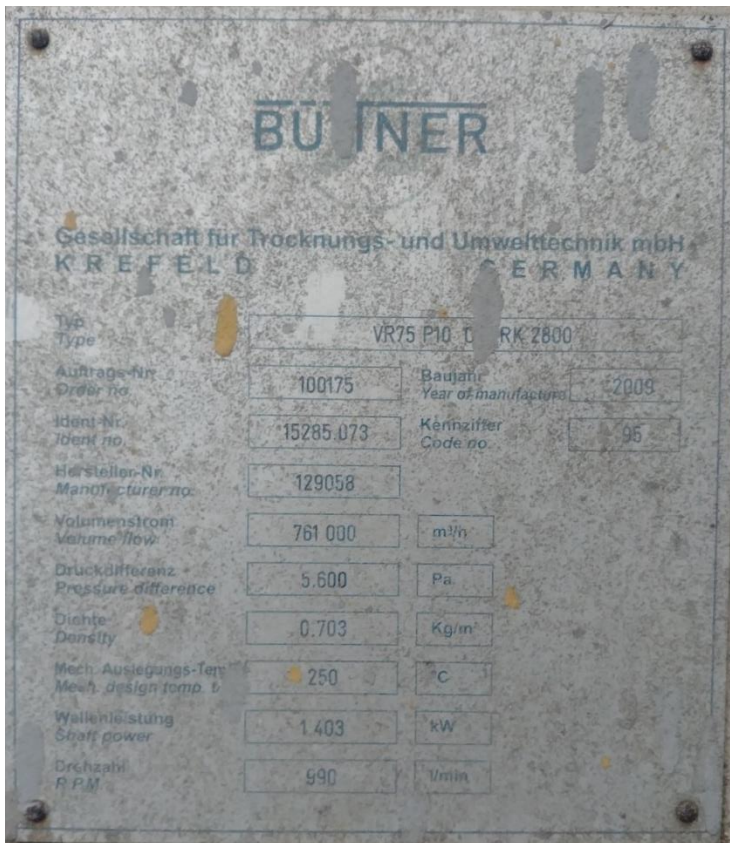


Рис.2.9.



Рис.2.10





Рис.2.11

На рис.12 наведено характерну відмову лопаток вентилятора аспіраційної системи при засмоктуванні в циклон абразивних мікрочастинок підвищеної концентрації



a)



б)

Рис.2.12.

На рис.13 продемонстровано технологію відновлення працездатного стану вентилятора в результаті ремонтно-відновлювальних робіт.



Актив а)



Актив б)

Рис.2.13.



Рис.2.14. Загальний вигляд вентилятора аспіраційної системи

### **Висновки до розділу 2:**

1. Наведено аналіз аспіраційних систем в технологіях обробки і переробки деревини та доведено важливість підвищення їх надійності.
2. Виявлено типові відмови лопаток роторів вентиляторів аспіраційних систем внаслідок потрапляння в циклон абразивних мікрочастинок підвищеної концентрації та запропоновано технологію відновлення пошкоджених лопаток роторів.

### **Література до розділу 2:**

1. <https://kma.ua/uk/promislovi-sistemi-aspiraciyi>
2. <https://aton-service.com.ua/product-category/systemy-aspiratsiyi/>
3. *Алиев Г.М. Эксплуатация газоочистного оборудования промышленных предприятий. — М., 1990*



### Розділ 3. Аналіз причин руйнування валу ротора високопродуктивного дефібратора-подрібнювача

В багатьох сучасних технологіях переробних галузей (будівельних матеріалів – ДСП, ДВП, МДФ плит, целюлозно-паперової промисловості тощо) виникає необхідність особливо тонкого подрібнення сировини аж до фракцій окремих волокон [1-2]. При цьому, як правило, вимагається висока продуктивність процесу, екологічна безпека та високі економічні показники. При подрібненні деревини перед дефібратором сировина проходить високотемпературну обробку, як правило, в водному середовищі. Високі температури та наявність води сприяють швидкому розчиненню лігнінів та полегшують процес механічного відділення волокон деревини одне від одного. Обидві технологічні операції – волого-температурна обробка та механічне подрібнення в камері дефібратора – мають вирішальний вплив на якість волокон.

На рис.1 наведено одну із таких машин, що відповідає всім вказаним критеріям.

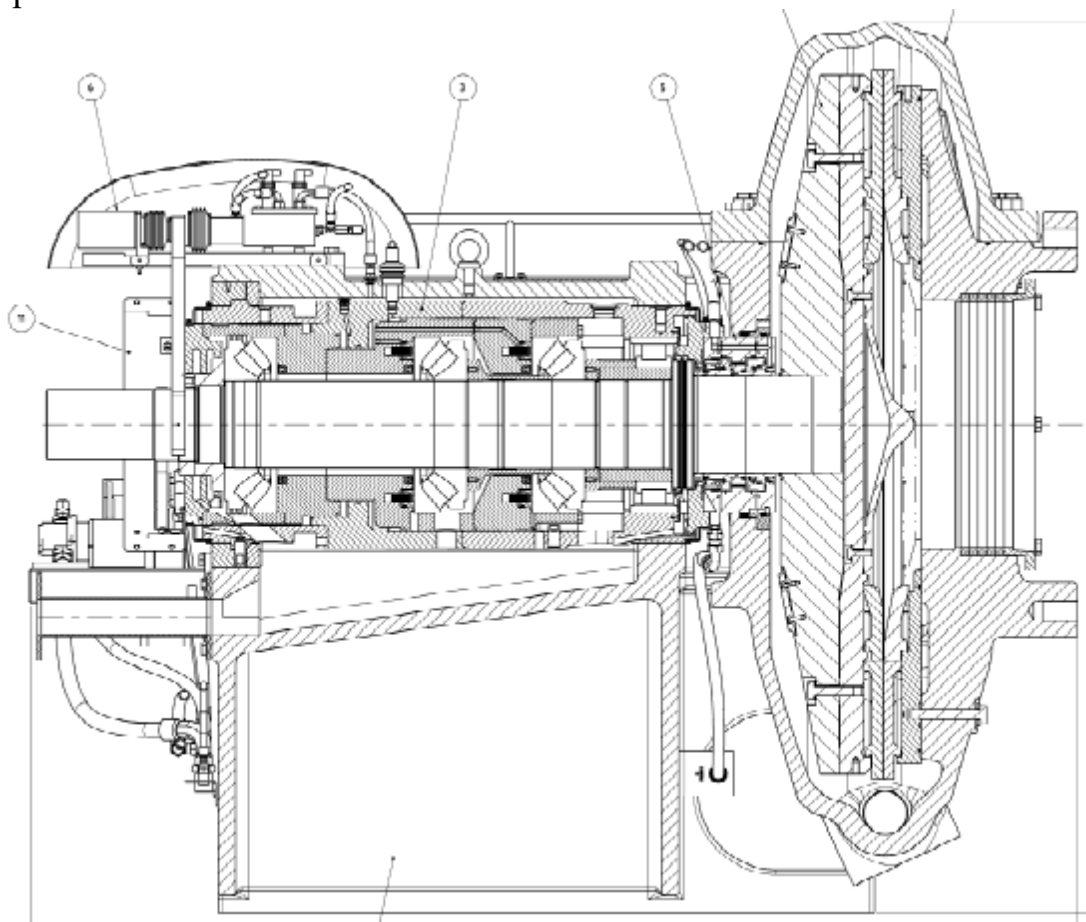


Рис.3.1. Дефібратор-подрібнювач (збірне креслення). Габарити : довжина – 2400 мм, висота – 2043 мм. Загальна маса 15 500 кг.

Рухомий диск дефібратора-подрібнювача діаметром 1700 мм посаджено з натягом на консоль несучого валу по гладкій циліндричній поверхні діаметром 215 мм.

В роботі показано, що в процесі експлуатації високопродуктивного роторного подрібнювача деревини (рис.3.1) серед можливих відмов є втомне руйнування валу ротора.

На рис.3.2 показано збірне креслення валу дефібратора разом з підшипниками та складною системою стаканів і втулок, що забезпечують вимоги монтажу та дають широкі можливості регулювань при налаштуванні машини. Цей же вузол після демонтажу наведено на фото рис.3.3.

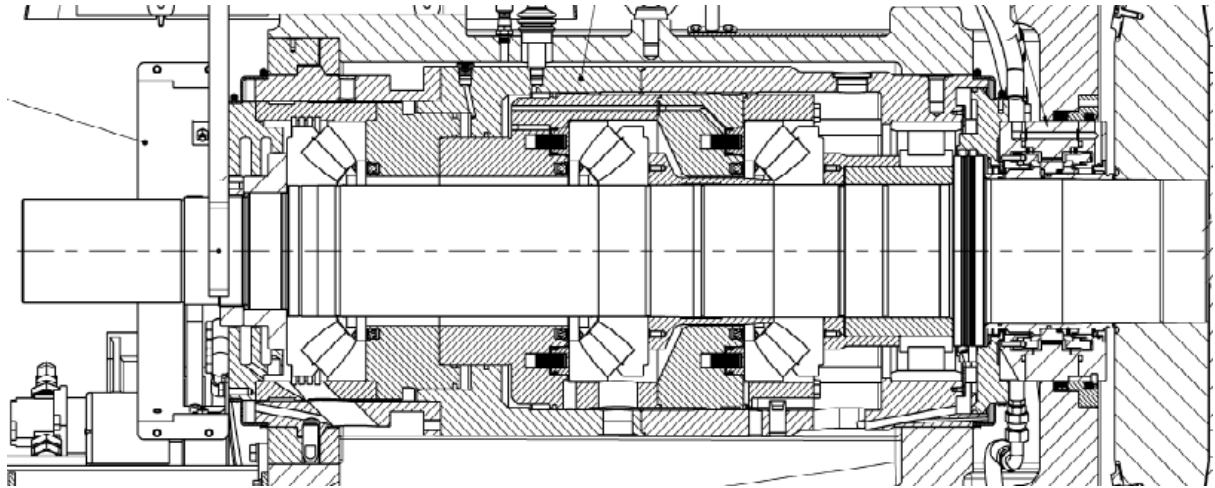


Рис.3.2.



Рис.3.3

На рис.3.4 показано зону руйнування валу (вигляд збоку), а на рис.3.5 та рис.6 зображено зону руйнування з торця валу. Рис.3.3-3.4 вказують на зону руйнування – це вихідна консоль діаметром 160 мм в зоні з'єднання з валом електродвигуна приводу. В даній зоні, як слідує з рис.3.1-3.2, вал має найменший діаметр, а також отримує додаткове згинаюче навантаження, що з'являється внаслідок похибок монтажу двох валів, що обертаються. Серед

найбільш впливових похибок монтажу, яких на жаль, не вдається позбавитись, є радіальне неспівпадіння осей валів та кутова похибка (нерапалельність осей валів)



Рис.3.4.

Кількісний аналіз характеру зломів рис.3.5-3.6 свідчить, що 90,7% поверхні злому перпендикулярна до осі валу, що характерно для крихкого руйнування, що в умовах циклічного навантаження деталей великих розмірів приводить до тривалого розвитку втомної тріщини. Даний дефект не завжди може бути виявлено до настання катастрофічного руйнування. В нашому випадку зона в'язкого долому сягає лише 9,3% від загальної площі поверхні руйнування.

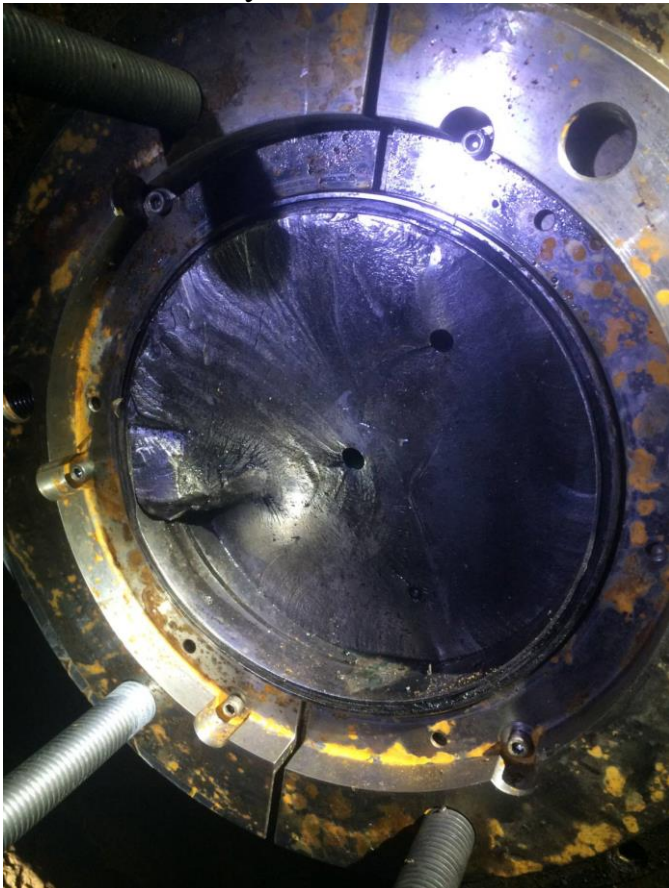


Рис.3.5



Рис.3.6.

Кількісний фрактографічний аналіз зони руйнування (рис.3.5-3.6) свідчить про провідним механізмом руйнування була багатоциклова втома.

#### **Висновки до розділу 3.**

1. Наведено результати експертизи руйнування валу високопродуктивного дефібратора-подрібнювача в умовах експлуатації.

2. На основі аналізу макро- та мікрофрактографії виявлено всі ознаки багатоциклового руйнування з розповсюдженням тріщини в межах 90,7% поверхні руйнування. При цьому зона повільного розвитку тріщини сягає біля 45% поверхні руйнування.

3. Однією із можливих причин такого характеру руйнування могли бути похибки монтажу, зокрема, радіальне неспівпадіння осей валів електродвигуна та дефібратора, а також кутова похибка, тобто їх непаралельність.

#### **Література до розділу 3:**

1. Грабар І.Г. Термоактиваційний аналіз та синергетика руйнування. – Житомир. – ЖІТІ. – 2002. – 312 с.

2. [https://wtp.hoechsmann.com/ru/lexikon/49708/mdf\\_zwischen\\_zerkleinerung\\_und\\_trocknung](https://wtp.hoechsmann.com/ru/lexikon/49708/mdf_zwischen_zerkleinerung_und_trocknung)

## Розділ 4. Кількісні оцінки впливу похибки монтажу валів на додаткові циклічні навантаження та показники надійності роторних машин

Оціним вплив похибок монтажу на величину додаткових циклічних навантажень, що виникають в валах під час експлуатації.

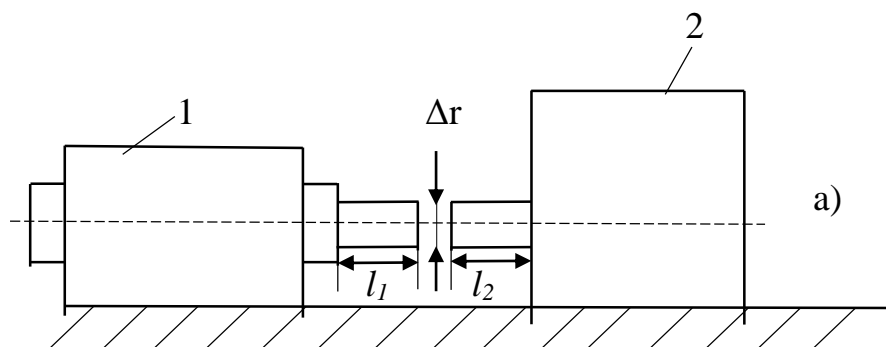


Рис.4.1. Схема монтажу валу двигуна приводу та валу технологічної машини

Похибки неспівпадіння валів, що виникають при монтажі технологічних та транспортних машин, можуть приводити до значних додаткових циклічних навантажень. Похибки монтажу, наприклад, валів приводу та ротора технологічної машини можуть привести до катастрофічних руйнувань з великими фінансовими та соціальними наслідками.

В роботі отримані кількісні оцінки впливу похибки монтажу на величину додаткових циклічних напруг, спровокованих цими похибками.

На рис.1 наведені схеми можливих похибок монтажу валів

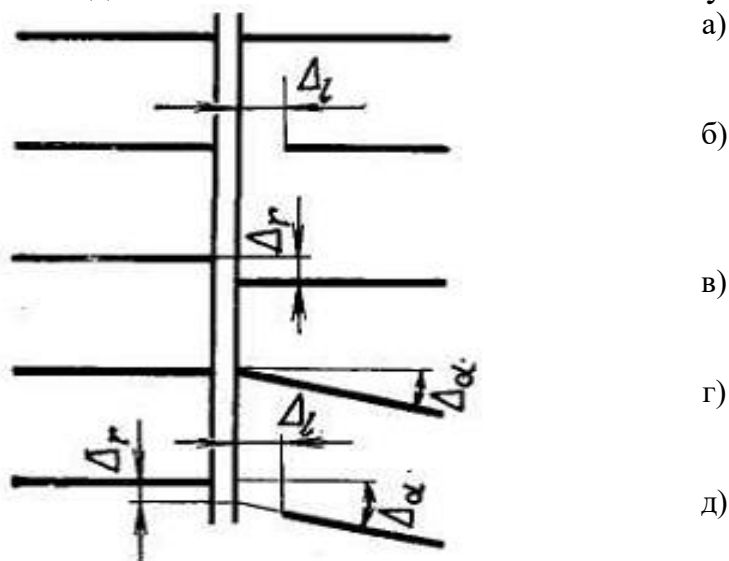




Рис.4.2. Можливі схеми похибки монтажу валів в машинах: а) – ідеальний монтаж; б) осьова похибка; в) радіальна похибка; г) кутова похибка; д) одночасний прояв осьової, радіальної та кутової похибки.

В роботі показано, що найбільший вплив на зменшення показників надійності таких з'єднань мають радіальні та кутові похибки монтажу.

Нехай вихідний вал електродвигуна (1) діаметром  $d_1$ , та довжиною консолі  $l_1$ , та вхідний вал технологічної машини (2) діаметром  $d_2$  та довжиною консолі  $l_2$  необхідно з'єднати жорсткою втулково-штифтовою муфтою.

Електродвигун 1 та технологічна машина 2 встановлені на спільному абсолютно жорсткому фундаменті та мають радіальне неспівпадіння валів  $\Delta r$  (рис.4.2,в).

### Задача 1.

Визначити величину додаткових циклічних напруг, спровокованих радіальною похибкою монтажу  $\Delta r$ .

### Розв'язок

Для з'єднання валів жорсткою муфтою необхідно прикласти додаткове радіальне зусилля  $P$ , яке знайдемо з умови сумісності деформацій:

$$\frac{Pl_1^3}{3E_1I_{x1}} + \frac{Pl_2^3}{3E_2I_{x2}} = \Delta r \quad (4.1)$$

звідки:

$$P = \frac{\Delta r}{\frac{l_1^3}{3E_1I_{x1}} + \frac{l_2^3}{3E_2I_{x2}}} \quad (4.2)$$

де  $l_1$ ;  $I_{x1}$ ;  $E_1$ - довжина консолі валу електродвигуна, його осьовий момент інерції та модуль пружності матеріалу, з якого виготовлено даний вал;  $l_2$ ;  $I_{x2}$ ;  $E_2$ - відповідні параметри вихідного валу технологічної машини 2.

Для суцільних циліндричних валів

$$I_x = \frac{\pi d^4}{64} \quad (4.3)$$

Максимальні напруги від консольного згину валу

$$\sigma_{зг}^{max} = \frac{Pl}{W_x} \quad (4.4)$$

де  $W_x = \frac{\pi d^3}{32}$  – осьовий момент опору для циліндричного суцільного валу.

Тоді максимальні додаткові циклічні напруги, що виникають у вхідному валу технологічної машини



$$\sigma_{зг2}^{max} = \frac{\Delta r}{\frac{l_1^3}{3E_1I_{x1}} + \frac{l_2^3}{3E_2I_{x2}}} \cdot \frac{l_2}{W_{x2}} \quad (4.5)$$

Для симетричної задачі, якщо

$$l_1 = l_2; d_1 = d_2; E_1 = E_2 \quad (4.6)$$

(5) суттєво спрощується до виду, враховуючи, що  $\frac{y_x}{W_x} = \frac{d}{2}$ . Тоді:

$$\sigma_{зг2}^{max} = \frac{3}{4} E \cdot \frac{\Delta r \cdot d}{l^2} \quad (4.7)$$

Нехай довжина консолі валу  $l$  та його діаметр  $d$

$$\frac{l}{d} = K \quad (4.8)$$

Тоді:

$$\sigma_{зг}^{max} = \frac{3}{4} E \cdot \frac{\Delta r}{K^2 d} \quad (4.9)$$

Формули (7) та (9) дозволяють оцінити величину додаткових циклічних напруг, що виникають в валах приводу та технологічної машини, внаслідок похибки монтажу  $\Delta r$ .

Завдавшись відношенням  $\frac{d}{\Delta r} = n$  легко отримати розв'язок у відносних координатах

$$\frac{\sigma_{зг}^{max}}{E} = \frac{3}{4K^2 n} \quad (4.10)$$

Для сталевих валів приймаємо  $E=2 \cdot 10^{11}$  МПа, звідки значення отримуємо таблицю 4.1:

Таблиця 4.1. Значення  $\sigma_{зг}^{max}$  кг/мм<sup>2</sup>, для сталевих валів.

$n = \frac{d}{\Delta r}$ $K = \frac{l}{d}$	200	100	50	25	12,5	6,25
1	75	150	300	600	1200	2400
2	18,75	37,5	75	150	300	600
3	8,33	16,7	33,3	66,7	133,3	266,7
4	4,68	9,38	18,75	37,5	75	150

Співставлення даних таблиці 1 з кривими втоми (рис. 4.3 та 4.4)

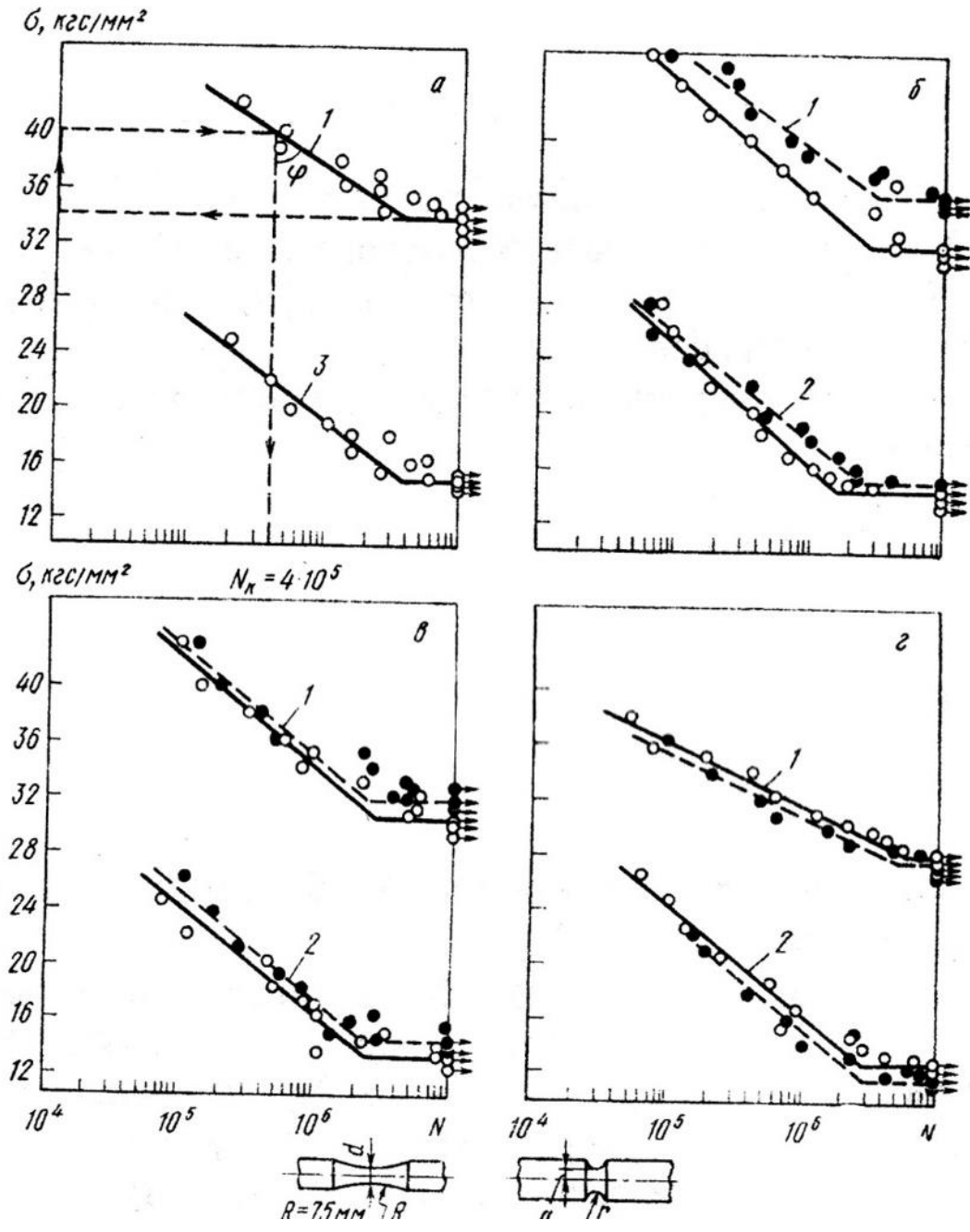


Рис.4.3. Криві багаточислової втоми сталей : а) – 12ХГН; б) – 15ГС; в) – 14Г2; г) – 19Г ( верхні – для гладких зразків, нижні – при наявності концентраторів напруг [3].

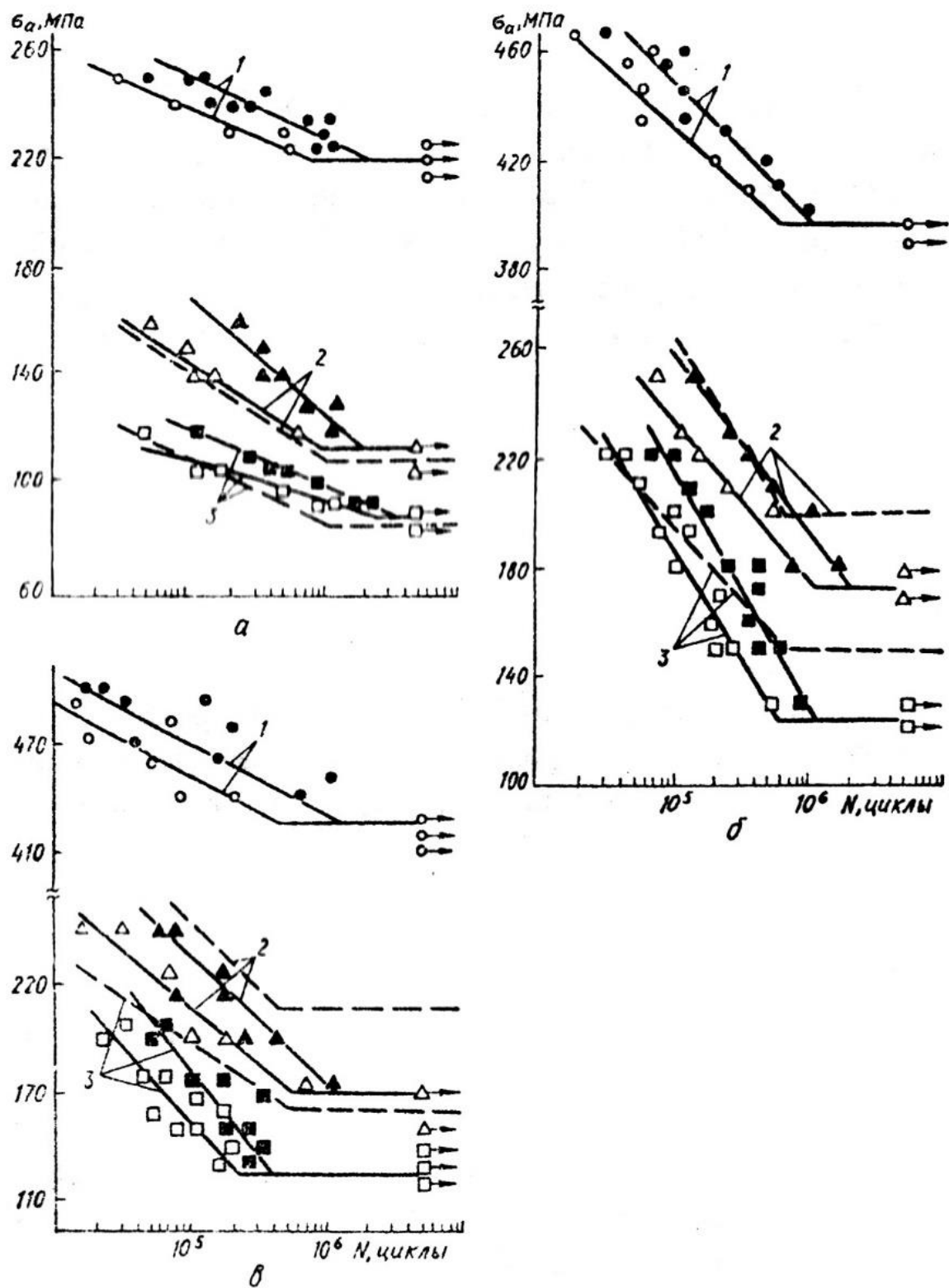


Рис.4.4. Криві багатоциклової втоми сталей : а) – 45; б) – 12ХНЗЛ; в) – 40Х; ( верхні – для гладких зразків, нижні – при наявності концентраторів напруг [3].

Аналіз кривих втоми даних сталей показує, що лише для  $n > 100$  та  $k \geq 3$  в умовах абсолютного жорсткого закріплення корпусів приводу та технологічної машини значення додаткових циклічних напруг можуть бути реалізовані на практиці, забезпечуючи ресурс бодай  $\sim 10^6$  циклів.

Наприклад, для діаметра валу  $d=50$  мм при довжині консолі валу  $l=3 \cdot 50=150$  мм значення похибки монтажу

$$\Delta r = \frac{1}{200} \cdot 50 = 0,25 \text{ мм} \quad (4.11)$$

створює додаткові циклічні напруги 8,3 кг/мм або 83 МПа.

Звичайно, зменшення похибки монтажу  $\Delta r < 0,25$  мм дозволить знизити ці напруги. Однак похибка  $\Delta r < 0,25$  є досить невеликою в даній задачі.

### **Задача 2.** Фундамент не абсолютно жорсткий.

Нехай монтаж приводу та технологічної машини здійснюється на не абсолютно пружному (податливому) фундаменті чи рамі.

Розглянемо, як і в попередньому випадку, симетричну постановку задачі

$$l_1 = l_2 = l; d_1 = d_2 = d; E_1 = E_2 = E$$

Нехай

$$\begin{cases} \frac{\Delta r}{2} = \frac{Pl^3}{3EI_x} + \theta \cdot l \\ \theta = M \cdot c = Pl \cdot c \end{cases} \quad (4.12)$$

де  $\theta$  – кут повороту консолі валу, викликаного податливістю фундаменту (рамі),  $c$  – кутова податливість фундаменту

Тоді

$$P = \frac{\Delta r}{2 \left( \frac{l^3}{3EI_x} + lc \right)} \quad (4.13)$$

Кутову податливість фундаменту задаємо як функцію податливості консолі валу:

$$c = \alpha \frac{l^2}{3EI_x} \quad (4.14)$$

Тоді

$$\sigma_{зг}^{max} = \frac{M_{зг}}{W_x} = \frac{3}{4} E \frac{\Delta r \cdot d}{l^2(1 + \alpha)} \quad (4.15)$$

Або, враховуючи введені раніше заміни  $l=kd$ ;  $n = \frac{d}{\Delta r}$ , маємо

$$\sigma_{3г}^{max} = \frac{3}{4} E \frac{1}{\kappa^2 n (1 + \alpha)} \quad (4.16)$$

(16) показує, що для  $\alpha \rightarrow 0$  (абсолютно жорсткий фундамент) отримуємо рішення (10).

Для  $\alpha \cong 1$  додаткові циклічні напруги зменшуються вдвічі в порівнянні з (10).

А для  $\alpha = 4$  маємо зменшення  $\sigma_{3г}^{max}$  в 5 разів в порівнянні з (10). У випадку  $\alpha \rightarrow \infty$  (незакріплені привод та технологічна машина, або встановлені на віброопорах)

$$\sigma_{3г}^{max} \rightarrow \theta$$

Для зменшення впливу похибки монтажу на додаткові циклічні напруги в валах бажано застосовувати компенсуючі муфти (Рис.4.5):

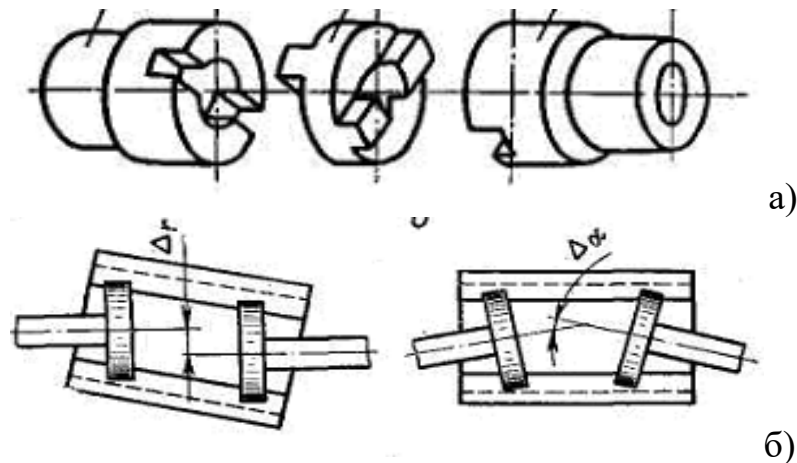


Рис.4.5. Компенсація похибки монтажу застосуванням кулачковою-дисковою (а) та зубчастої (б) муфт

#### Висновки по розділу 4:

1. Здійснена в загальному вигляді постановка задачі про вплив похибки монтажу валів на додаткові циклічні напруги, що виникають в валах.
2. Для умов симетричної задачі та абсолютно жорсткого закріплення приводу та технологічної машини на спільному фундаменті чи рамі отримано узагальнену формулу для кількісної оцінки  $\sigma_{3г}^{max}$ :

$$\sigma_{3г}^{max} = \frac{3}{4} E \cdot \frac{\Delta r}{\kappa^2 \cdot d}$$

3. На прикладі сталюго валу діаметром 50 мм та довжиною консолі  $l=150$ мм похибка монтажу 0,25 мм приводить до додаткових циклічних напруг 82 МПа.
4. Показано, що введення додаткової компоненти податливості фундаменту дозволяє суттєво зменшити вплив похибки монтажу валів на додаткові циклічні напруги.

5. В загальному вигляді отримано

$$\sigma_{зг}^{max} = \frac{3}{4} E \cdot \frac{\Delta r}{k^2 \cdot d(1 + \alpha)}$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт податливості фундаменту (рами).

6. Показано, що похибки монтажу валів приводів та валів роторних машин можуть приводити до значних додаткових циклічних навантажень та, відповідно, до суттєвого зменшення ресурсу.

7. Показано шляхи подолання даної похибки: за рахунок підвищення точності монтажу, використання компенсуючих муфт та управлінням податливістю (адаптацією) фундаменту, анкерних болтів та корпусів приводу та технологічної машини

Література до розділу 4:

1. Грабар І.Г. Основи надійності машин. – Житомир: ЖІТІ. – 1999. – 298 с.
2. Грабар І.Г. Термоактиваційний аналіз та синергетика руйнування. – Житомир: ЖІТІ. – 2002. – 312 с.
3. Іванова В.С., Терентьев В.Ф. Природа втоми металів. – М.:Металургія. – 1975. – 456 с.



## ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ:

1. Наведено аналіз аспіраційних систем в технологіях обробки і переробки деревини та доведено важливість підвищення їх надійності.

2. Виявлено типові відмови лопаток роторів вентиляторів аспіраційних систем внаслідок потрапляння в циклон абразивних мікрочастинок підвищеної концентрації та запропоновано технологію відновлення пошкоджених лопаток роторів.

3. Наведено результати експертизи руйнування валу високопродуктивного дефібратора-подрібнювача в умовах експлуатації. На основі аналізу макро- та мікрофрактографії виявлено всі ознаки багатоциклового руйнування з розповсюдженням тріщини в межах 90,7% поверхні руйнування. При цьому зона повільного розвитку тріщини сягає біля 45% поверхні руйнування.

4. Однією із можливих причин такого характеру руйнування могли бути похибки монтажу, зокрема, радіальне неспівпадіння осей валів електродвигуна та дефібратора, а також кутова похибка, тобто їх непаралельність. Здійснена в загальному вигляді постановка задачі про вплив похибки монтажу валів на додаткові циклічні напруги, що виникають в валах.

5. Для умов симетричної задачі та абсолютно жорсткого закріплення приводу та технологічної машини на спільному фундаменті чи рамі отримано узагальнену формулу для кількісної оцінки  $\sigma_{зг}^{max}$ :

$$\sigma_{зг}^{max} = \frac{3}{4} E \cdot \frac{\Delta r}{\kappa^2 \cdot d}$$

На прикладі сталюого валу діаметром 50 мм та довжиною консолі  $l=150$ мм похибка монтажу 0,25 мм приводить до додаткових циклічних напруг 82 МПа.

6. Показано, що введення додаткової компоненти податливості фундаменту дозволяє суттєво зменшити вплив похибки монтажу валів на додаткові циклічні напруги.

7. В загальному вигляді отримано

$$\sigma_{зг}^{max} = \frac{3}{4} E \cdot \frac{\Delta r}{\kappa^2 \cdot d(1 + \alpha)}$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт податливості фундаменту (рами).

8. Показано, що похибки монтажу валів приводів та валів роторних машин можуть приводити до значних додаткових циклічних навантажень та, відповідно, до суттєвого зменшення ресурсу.

9. Показано шляхи подолання даної похибки: за рахунок підвищення точності монтажу, використання компенсуючих муфт та управлінням податливістю (адаптацією) фундаменту, анкерних болтів та корпусів приводу та технологічної машини

### СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ АВТОРА:

1. Грабар І.Г., Жуковський О.Є., Юдін М.В. Аналіз причин руйнування валу ротора високопродуктивного дефібратора-подрібнювача. – В кн. Доповіді Міжнародної конференції «Біоенергетичні систем». – Житомир. – 2022. – 5 с.
2. Грабар І.Г., Юдін М.В. Удосконалення ТО та ремонту системи аспірації ПрАТ«Коростенський завод МДФ» - Тези доповідей конференції «Наукові ситання -2022». – 4 с.
3. Грабар І.Г., Жуковський О.Є., Юдін М.В. Кількісні оцінки впливу похибки монтажу валів на додаткові циклічні напруги та показники надійності роторних машин. - Тези доповідей конференції «Наукові ситання -2022»- 4 с.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. <http://kmm.ua/tekhnologii/etapy-proizvodstva>
2. Грабар І.Г. Основи надійності машин. – Житомир: ЖІТІ. – 1999. – 298 с.
3. Грабар І.Г. Термоактиваційнтий аналіз та синергетика руйнування. – Житомир: ЖІТІ. – 2002. – 312 с.
4. Грабар І.Г., Лещенко М.І., Малиновський А.С., Ходаківський Є.І. Наукові парки інноваційного підприємництва. Технопарк. –Житомир: ЖНАЕУ. – 2009. – 348 с.
5. Грабар І.Г., Лімонт А.С. Параметричне забруднення довкілля та оцінка технічного стану машин. – Житомир: ЖДТУ. – 2004. – 180 с.
6. *Гупало Олег Петрович* Хімія деревини: підручник / О. П. Гупало, О. П. Тушницький ; Національний лісотехнічний ун-т України. — 2-ге вид., виправ. і доп. — К. : Знання, 2008. — 276 с. — Бібліогр.: с. 274—276 .
7. *Ємельянов Володимир Гнатович* Переробка деревини: навч. посібник для студ. спец. 30401 «Лісове господарство» / В. Г. Ємельянов ; Харківський національний аграрний ун-т ім. В. В. Докучаєва. — Х. : [б.в.], 2007 . — 342 с.: рис., табл. — Бібліогр.: с. 326—328 .
8. ДСТУ EN 460:2003 Стійкість деревини та виробів з деревини. Природна стійкість суцільної деревини. — К. : Держспоживстандарт України, 2004. — (Національний стандарт України).
9. *Козак Руслан Олегович* Технологія деревинної маси: навч. посіб. / Р. О. Козак, П. А. Козакевич ; Український держ. лісотехнічний ун-т. — К. : Основа, 2004 . — 348 с.: рис. — Бібліогр.: с. 338—339 .
10. *Бехта Павло Антонович* Комплексна хімічна переробка деревини / П. А. Бехта [та ін.] ; Український держ. лісотехнічний ун-т. — К. : Основа, 2004 . — 176 с.: рис. — Бібліогр.: с. 168 .

11. *Бехта Павло* Клімат і деревина / П. Бехта, Козакєвіч Павел. — Warszawa: Wydawnictwo SGGW, 2001 . — 202 с.: рис. — Бібліогр.: С.193-202 .
12. Військовий довідник NOT MEASUREMENT SENSITIVE 1 MIL-HDBK-217F 2 DECEMBER 1991 SUPERSEDING MIL-HDBK-217E, Notice 1 2 January 1990 MILITARY HANDBOOK RELIABILITY PREDICTION OF ELECTRONIC EQUIPMENT THIS HANDBOOK IS FOR GUIDANCE ONLY - DO NOT CITE THIS DOCUMENT AS A REQUIREMENT
13. Неелектрична надійність NONELECTRONIC PARTS RELIABILITY DATA 1991 632 с.
14. <https://areliability.com/intensivnost-otkazov-elementov-spravochnik/>