

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
"ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ"

**ЧЕНЦОВ МИКОЛА ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

**УДК 669.02.004.5: 658.58**

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ І ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ  
ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТІВ МЕХАНІЧНОГО  
ОБЛАДНАННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ЦЕХІВ**

Спеціальність 05.05.08 - Машини для металургійного виробництва

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Донецьк 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному вищому навчальному закладі "Донецький національний технічний університет" (м.Донецьк) Міністерства освіти і науки України.

**Науковий консультант** - доктор технічних наук, професор  
СЄДУШ Віктор Якович,  
Державний вищий навчальний заклад "Донецький національний технічний університет", професор кафедри  
"Механічне обладнання заводів чорної металургії".

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
БІЛОДЕДЕНКО Сергій Валентинович,  
Державний вищий навчальний заклад "Національна металургійна академія України" МОН України  
(м.Дніпропетровськ), завідувач кафедри "Машини і агрегати металургійного виробництва";

доктор технічних наук, старший науковий співробітник  
БОГДАН Кім Степанович,  
Фізико - технологічний інститут металів і сплавів  
НАН України (м.Київ), старший науковий співробітник  
відділу автоматизації;


доктор технічних наук, старший науковий співробітник  
ВЕРЕНЬОВ Валентин Володимирович,  
Інститут чорної металургії ім. З.І.Некрасова  
НАН України (м. Дніпропетровськ), старший науковий  
співробітник відділу технологічного обладнання і систем управління.

Захист відбудеться 14 листопада 2013 р. о 12 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 11.052.01 Державного вищого навчального закладу "Донецький національний технічний університет" за адресою: 83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, I навчальний корпус, малий актовий зал.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Державного вищого навчального закладу "Донецький національний технічний університет" за адресою: 83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, II навчальний корпус.

Автореферат розісланий 11 жовтня 2013 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
Д 11.052.01, д.т.н., проф.



Яковченко О.В.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

### **Актуальність теми.**

В даний час, у зв'язку з переходом до ресурсозберігаючих методів розв'язання задач прогнозування відмов, планування ремонтів, моніторингу їх підготовки та описів після виконання в рамках системи технічного обслуговування і ремонтів (ТОіР) механічного устаткування металургійних цехів, спостерігається зміна вимог до ремонтної документації. Вони включають зниження тривалості підготовки ремонтної документації при зростанні її обсягів, у зв'язку з деталізацією опису обладнання, ремонтних операцій і ресурсів, що вимагає збільшення чисельності ремонтного персоналу і призводить до зниження ефективності металургійного підприємства.

Для усунення цієї проблеми, починаючи з 70х років минулого століття, різними організаціями розробляються автоматизовані системи ТОіР, в основу яких закладаються приватні підходи до вирішення її завдань на основі нормативних ресурсів устаткування. У відомих системах не враховується специфіка роботи металургійних машин, яка характеризується значним розмахом навантажень на робочі органи, і специфіка системи ТОіР металургійного підприємства, що включає використання значних обсягів власних трудових і матеріальних ресурсів, розбіжність у методах підготовки технічного обслуговування, капітальних і поточних ремонтів. Відомі підходи до оцінки функціонування та утримання системи ТОіР включають використання різних наборів критеріїв, що не дозволяє отримати повноцінну оцінку її якості та обґрунтувати напрямки розвитку.

У зв'язку з цим існує наукова проблема розробки формалізованих методів вирішення завдань ТОіР, спрямованих на обробку значних обсягів складноорганізованих даних в рамках автоматизованої системи ТОіР механічного устаткування металургійного цеху з метою формування ремонтної документації при вирішенні завдань прогнозування відмов, планування ремонтів, моніторингу їх підготовки та описи виконаних ремонтів. Реалізація такого підходу в металургійному цеху вимагає коректування організаційної структури системи ТОіР, перерозподілу завдань планування та підготовки ремонтів з метою їх концентрації у спеціалізованого персоналу. Для оцінки ефективності системи ТОіР необхідно розробити інтегральний критерій, який складається з сукупності приватних показників, що характеризують різні сторони системи ТОіР.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Робота виконана згідно з науковим напрямком кафедри «Механічне обладнання заводів чорної металургії» ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» - «Розвиток завдань ремонтного виробництва металургійного підприємства». Базовими для дисертації стали науково - дослідні роботи в яких автор був керівником: "Розробка і впровадження теоретичних основ побудови експертно-діагностичних систем, що підвищують надійність металургійних машин" (№ держреєстрації 0195U009193); «Розробка методів проектування і технічного обслуговування металургійного устаткування» (№ реєстрації Н-16-99); «Розробка методики забезпечення працездатного стану механічного обладнання металургійного підприємства» (№ держреєстрації 01090002195) та роботи «Дослідження завдань ремонтної

служби металургійного підприємства» (№ реєстрації Н-7-08) в якій автор був відповідальним виконавцем.

**Мета і завдання дослідження.**

Метою дисертаційної роботи є розвиток наукових основ побудови системи ТОiP металургійного цеху на базі формалізованого вирішення проблеми підготовки ремонтів та їх опису після виконання, а також створення методів і комп'ютерної програми автоматизованих розрахунків і на цій основі вдосконалення системи технічного обслуговування і ремонтів металургійних цехів

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані завдання:

- формалізувати подання даних про обладнання, що використовуються при вирішенні завдань системи ТОiP;
- розробити базові прогнозні моделі для визначення стохастичних дат відмови деталей обладнання;
- розробити метод формалізованого опису змісту ремонту, що забезпечує автоматичну генерацію групи близьких ремонтних документів;
- розробити методику визначення попереджуючої і цільової потреби в запчастинах, матеріалах і формування документального забезпечення їх руху в системі логістики;
- розробити теоретичні основи інтегрального показника якості системи ТОiP;
- виділити робочі місця системи ТОiP, правила їх взаємодії і використовувати їх при побудові її структури;
- реалізувати запропоновані рішення у вигляді програмного продукту, що забезпечує вдосконалення системи ТОiP металургійних цехів, та розробити рекомендації щодо модифікації системи ТОiP заданого цеху при переході до автоматизованого рішенням її завдань.

*Об'єкт дослідження.* Процеси прогнозування стохастичних дат відмов деталей обладнання, планування, підготовки та описи виконаних ремонтних робіт з відновлення працездатного стану механічного обладнання металургійних цехів та їх забезпечення матеріальними ресурсами у системі ТОiP.

*Предмет дослідження.* Методи комплексного вирішення завдань прогнозування дат відмов елементів обладнання, підготовка та опис ремонтних робіт і матеріальних ресурсів, підходи до оцінки якості системи ТОiP та створення її досконалого автоматизованого рішення.

**Методи дослідження.** Теоретичні дослідження ґрунтуються на: методах математичної статистики і теорії ймовірностей, що використовуються для визначення надійності металургійного обладнання при прогнозуванні відмов; методах теорії обслуговування, що використовуються при плануванні технічного обслуговування та ремонтів, їх забезпечення ресурсами; теорії відновлення та експлуатації, застосовуваних для оцінки своєчасності та ефективності виконання ремонтних впливів; моделях і методах теорії логістики для матеріального забезпечення. Експериментальні дослідження включають числові експерименти з використанням обчислювальної техніки для оцінки розроблених методів вирішення завдань системи ТОiP і натурні експерименти з використанням автоматизованих робочих місць в умовах реального виробництва.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Наукову новизну дисертації представляють наступні її положення:

**1. Вперше запропонована математична модель прогнозування дат відмови елемента металургійного обладнання, що включає розділені параметризуючу і прогнозуючу частини, забезпечуючі єдиний підхід до визначення дати відмови незалежно від виду початкових даних.**

Прогнозуюча частина представлена моделлю відмов і використовує: дату  $T_Y$  початку попередження прогнозу; вид  $Z$  закону розподілу залишкового ресурсу; значення  $PM$ -параметру масштабу; значення  $PF$ -параметру форми. Використовуючи необхідне значення вірогідності безвідмовної роботи ВБР, визначається прогнозна дата відмови  $T_{OTK} = T_Y + f(Z, PM, PF, ВБР)$ .

Параметризуюча частина прогновної моделі використовує історію експлуатації елемента обладнання за  $N$  реалізаціям. Залежно від виду даних застосовуються такі види базових прогнозних моделей: ресурсна - використовує статистику  $R = [T_1, \dots, T_i, \dots, T_N]$ , де  $T_i$  - дата  $i$ -го ремонтного впливу; експертна - використовує оцінки експертів про мінімальний  $t_{MIN}$  і максимальний  $t_{MAX}$  ресурси елемента обладнання; характеристика міцності - враховує властивості міцності деталі і, через реалізовану виробничу програму, навантаження  $P = [P_1, \dots, P_i, \dots, P_N]$ , що діють на неї під час експлуатації; діагностична - використовує результати діагностування  $D_j = [T_1/Y_1, \dots, T_i/Y_i, \dots, T_D/Y_D]$ , представлені оцінками  $Y_i$  технічного стану (ТС) елемента устаткування, отриманими в моменти часу  $T_i$  по  $j$ -й реалізації. Історія включає сукупність результатів діагностування за всіма  $j = 1 \dots N$  реалізаціями деталі.

**2. Вперше запропоновано інформаційну модель обладнання, яка включає: постійні дані, що формуються з креслень; змінювані дані, представлені параметрами до прогнозування дати відмови; економічні показники і паспортні характеристики елементів обладнання; дерево обладнання, що відбиває його структуру.**

Дерево обладнання представлено місцями, на яких розміщуються елементи обладнання, і має п'ять рівнів (деталей, вузлів, машин, дільниць, агрегатів). Постійні дані елементів обладнання з єдиним номером креслення представлені прототипом, що містить дані про найменування та номер креслення елемента, його масу, матеріал, з якого він виготовлений та інше. Прототип може багаторазово підключатися до різних місць дерева обладнання, що знижує трудомісткість його формування. Змінні дані  $Z$ ,  $PM$ ,  $PF$ ,  $T_Y$  є індивідуальними для елемента на дереві обладнання і використовуються при прогнозуванні дати його відмови. Економічні дані, як правило, формуються за елементами дерева на рівні машин і представлені даними про обладнання як частини основних фондів підприємства (інвентарний номер, балансова вартість, інше) Паспортні дані обладнання представлені технічними характеристиками (продуктивність, швидкість, інше), які використовуються при виборі аналогів.

**3. Вперше запропоновано інформаційну модель даних про детальний зміст ремонту, що представлена розміткою ремонту, яка використовується при генерації ремонтної документації, моніторингу ходу підготовки та виконання ремонту.**

Зміст розмітки формується на кожен ремонт незалежно, має деревоподібну структуру, на чолі якої знаходиться агрегат. На другому рівні знаходяться машини, а

на третьому - вузли. Ці три рівні формуються як фрагмент дерева обладнання. На четвертому рівні розміщуються ремонтні роботи, по кожній з яких вказується її обсяг, необхідні трудові та часові ресурси. На п'ятому рівні наводяться дані про матеріальні ресурси, необхідні для виконання ремонтної роботи із зазначенням їх виду (матеріали або запасні частини), обсягу та ідентифікатора документа на їх закупівлю. По ремонтних роботах і матеріальним ресурсам також вказуються прогнозна вартість, що дозволяє узгодити технічні та економічні показники запланованого ремонту.

Формування розмітки здійснюється з використанням тільки довідників: машин як фрагмента дерева обладнання; вузлів і ремонтних робіт обраної машини; матеріальних ресурсів для ремонтних робіт по вузлу як фільтрованого переліку його деталей на дереві обладнання; ремонтних бригад; переліку документів на закупівлю матеріальних ресурсів, переданого з комплексу матеріального забезпечення (логістики). Після остаточного формування розмітки з обумовленого переліку вибирається вид необхідного ремонтного документа і здійснюється генерація його змісту з наступним друком або передачею в електронному вигляді.

**4. Отримала подальший розвиток математична модель для визначення обсягу незнижуваного запасу матеріальних ресурсів з урахуванням структури та відповідальності обладнання, ресурсів його елементів, що відрізняється можливістю використання незниженого запасу запчастин і матеріалів замість резервного обладнання.**

При визначенні незниженого запасу  $Z_N = V * K_y * D * K_d * t_z / t_{pec.n}$  враховується кількість однотипних вузлів  $V$  і деталей  $D$ , що працюють в подібних умовах і мають повний ресурс  $t_{pec.n}$ , час їх поставки  $t_z$ .

При обґрунтуванні переліку резервного обладнання враховується його відповідальність, питомі втрати  $s_{ПOT}$  від простою в ремонті, термін  $t_3$  закупівлі і вартість  $S_M$ , що дозволяє визначити витрати  $F_{ZM} = t_3 * s_{ПOT} + S_M$  на нього (економічний критерій). У рамках моделі альтернативним до резервного обладнання є використання матеріальних ресурсів з незнижуваного запасу  $F_{ZD} = S_{DH} + s_X * t_X$ , де  $S_{DH}$  - вартість нової деталі, а  $s_X$ ,  $t_X$  питома вартість і тривалість зберігання на складі, або термінове замовлення базових деталей  $F_{CD} = (t_3 + t_P) * s_{ПOT} + \Sigma(S_D)$ , де  $t_P$  - тривалість робіт по збірці машини під час ремонту. Обґрунтування раціонального співвідношення незнижуваного запасу і резервного устаткування виконується шляхом вибору варіанту з мінімальним значенням економічного критерію  $F$ .

**5. Вперше запропоновано математичну модель прогнозування залишків матеріального ресурсу в системі ТОіР на заданий період, що враховує фактичний залишок поточного місяця, прогнозні дати відмови елементів обладнання, тривалість і обсяги виконання заявок на постачання.**

Дані останнього  $i-1$  місяця періоду використовуються при визначенні обсягу  $P_i = R_i + Z_N - O_{i-1}$  замовлення на поточні ремонти  $i$ -го місяця де враховується прогнозований обсяг  $R_i$  використання матеріального ресурсу на ремонти, отриманий з прогнозованих дат відмови деталей, нормативний обсяг  $Z_N$  незнижуваного запасу і прогнозований складський залишок  $O_{i-1}$  матеріального ресурсу в попередньому місяці.

**6. Удосконалено критерій питомої вартості експлуатації обладнання шляхом включення до нього втрат виробництва і умовно постійних витрат, величи-**

**на яких обумовлена тривалістю простою обладнання в ремонті і неможливістю випуску продукції.**

Критерій питомої вартості експлуатації  $S_{\Sigma}$  елементу обладнання враховує вартість  $\Pi$  прогнозування терміну відмови, матеріальні  $D$  і трудові  $B$  витрати на виконання ремонтного впливу, віднесені до розрахункового ресурсу  $t_{PEC}$  деталі. Розвинений критерій  $S_{\Sigma} = (1 + K_E) * (D + B + \Pi) / t_{PEC}$  відрізняється за рахунок включення в нього коефіцієнта  $K_E$ , що характеризує втрату прибутку, обумовлену припиненням випуску продукції під час простою обладнання в ремонті.

**7. Отримав подальший розвиток інтегральний показник якості системи ТОіР, який використовується для оцінки її досконалості, що відрізняється комплексним урахуванням відносних оцінок елементарних показників, які характеризують сторони її предметної області.**

Інтегральний показник якості  $P$  системи ТОіР є усередненою сумою відносних оцінок елементарних показників, що характеризують технічні, економічні, трудові та інші сторони предметної області системи ТОіР. Для відображення ступеня досягнення мети розвитку системи ТОіР по кожному елементарному показнику наводяться значення: теоретично досягне  $P_M = 10$ , яке приймається нормою; планове значення  $P_{\Pi}$ , прийняте метою поставленої керівництвом підприємства; фактичне значення  $P_{\Phi}$ , досягнуте системою ТОіР на поточний момент часу. Графічне подання якості системи ТОіР реалізовано у вигляді пелюсткової діаграми, осями якої є елементарні показники з вказаними значеннями  $P_M$ ,  $P_{\Pi}$ ,  $P_{\Phi}$ , що дозволяє виділити три області, відповідних: ідеальній системі ТОіР; формованій на основі вказівок керівництва підприємства; існуючої в поточний момент часу.

**Практичне значення отриманих результатів** підтверджено підвищенням ефективності роботи системи ТОіР як наслідок збільшення ступеня використання ресурсу елементів обладнання при заданій ВБР, зменшенням обсягів використання трудових і матеріальних ресурсів, у тому числі на стадії планування і підготовки ремонтів і полягає в наступному.

**1.** Методи і моделі системи ТОіР, отримані при виконанні дисертаційної роботи, в повному обсязі використовувалися при розробці автоматизованої системи ремонтної служби цеху, виконаної науково - виробничим об'єднанням «ДОНІКС». Розроблена «Комп'ютеризована система технічного обслуговування та ремонтів» включає модулі: образу обладнання; формування та аналізу історії ремонтів, представленої агрегатним журналом; планування, підготовки і моніторингу ремонтних робіт; планування, закупівлі, зберігання, використання і списання матеріалів і запчастин. Вона є типовим рішенням завдань системи ТОіР, призначеним для експлуатації в рамках системи ТОіР металургійного цеху. Автоматизована система забезпечена інструкціями, що описують правила її формування на підприємстві і вирішення завдань у цехі.

**2.** Модулі автоматизованої системи використовувалися при розробці робочих місць системи ТОіР, що включає поділ її персоналу на технічний, який безпосередньо працює з обладнанням, і планувальників, що забезпечують планування і підготовку ТОіР. У рамках автоматизованої системи технічний персонал оцінює ТС елементів обладнання, прогнозує дати і види ремонтних впливів, дані про яких передаються плановикам. У процесі ремонту технічний персонал управляє ходом його ви-

конання, веде облік використання трудових і матеріальних ресурсів, що забезпечує моніторинг виконання ремонту. Після завершення ремонту формують історію виконаних ремонтних впливів, представлену агрегатним журналом. Плановики, на основі прогнозів технічного персоналу, здійснюють планування змісту ремонтів та переліку ресурсів, необхідних для їх виконання, здійснюють заявку ресурсів та моніторинг їх постачання в систему ТОiP.

**3.** Розроблена і впроваджена в умовах Макіївського металургійного заводу підсистема «Технічне обслуговування та ремонт» як складова частина системи оперативного управління виробництвом сортового стану 390 гарячої прокатки. Вона реалізована на основі «Комп'ютеризовані системи технічного обслуговування і ремонтів», розробленої в НВО «ДОНІКС. При формуванні підсистеми теоретичні положення дисертаційної роботи використані для розробки математичних моделей, алгоритмів і блок - схем (образ обладнання, розмітка змісту ремонтів, руху матеріальних ресурсів та історії ремонтів, генерування ремонтної документації Автоматизована система представлена локальною мережею, що включає автоматизовані робочі місця (АРМи), адаптовані під завдання конкретного користувача (майстра-механіка, гідравліка, енергетика, механіка стана та інше.) Враховуючи сферу інтересів кожного представника системи ТОiP, йому дано права на доступ до інформації системи і рішенням її завдань. Використання автоматизованої системи забезпечило отримання реалізованого економічного ефекту в сумі 1433,95 тис.грн. за 19 місяців експлуатації.

**4.** Результати досліджень, отримані при виконанні дисертаційної роботи, використовувалися при розробці алгоритмів і блок-схем (опис обладнання, опис ремонтів, планування і управління рухом запчастин і матеріалів, агрегатний журнал) модуля «Технічне обслуговування і ремонт обладнання (ТОРО)» у системі ERP mySAP ремонтної служби 5 цехів ЗАТ «ММЗ «Істіл (Україна)». Річний реалізований економічний ефект від використання модуля ТОРО, склав 833,78 тис.грн.

**5.** Результати досліджень, отримані при виконанні дисертаційної роботи, використовувалися при розробці концепт - проекту автоматизованої системи ТОiP виробничого цеху металургійного підприємства. У рамках концепт - проекту описано структуру функціональних задач і бізнес процеси що реалізуються. Автоматизована система ТОiP, описана в концепт - проект, включає повний набір типових модулів і прийнята до впровадження власними силами в ПрАТ «Донецьксталь» - МЗ»Філія «Металургійний комплекс» (2 цехи) і групою компаній «АСКОН» (15 цехів), результатом чого є очікуваний економічний ефект 1032, 70 тис.грн і 5865,39 тис. грн. відповідно.

**6.** Результати досліджень використовуються в навчальному процесі ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» при навчанні студентів за фахом «Металургійне обладнання», для чого написаний підручник: Ченцов Н, А. Організація, управління та автоматизація ремонтної служби: Підручник. - / Під. ред. д-ра техн. наук, проф. В.Я. Седуш, Донецький національний технічний університет. - Донецьк: Норд - Прес - УНІТЕХ 2007 року. - 258с. (Допущено МОН України, лист № 1.4/18Г-1301 від 01.12.2006). Матеріали підручника використовуються при вивченні ряду курсів. У курсі «Менеджмент ремонтної служби» викладаються теоретичні основи експлуатаційної надійності, орієнтовані на прогнозування відмов механічного обладнання металургійного цеху, планування ремонтів на підставі цих відмов, забезпе-



чення їх необхідними ресурсами та формування історії виконаних ремонтів. Додатково розглядаються теоретичні основи розробки ремонтної документації та її угруповування по робочих місцях персоналу системи ТОіР. Курс «Ремонтна документація» має більшу практичну спрямованість і забезпечує освоєння автоматизованих засобів і методів їх використання в умовах автоматизованої системи ТОіР металургійного цеху. Курс «Системи обслуговування обладнання» розглядає комплекс завдань обслуговування обладнання в масштабі металургійного підприємства, у якому виділені завдання ремонтної служби металургійного цеху; завдання відділу головного механіка, його ремонтних і машинобудівних цехів; зв'язку з підрозділами металургійного підприємства афілійованими з ремонтною службою. Курс «Автоматизація ремонтної служби» включає виклад основ побудови автоматизованих систем в умовах системи ТОіР металургійного цеху. У навчальному процесі виконується курсова робота «Автоматизована розробка ремонтної документації», що включає використання модулів «Образ устаткування» та «Планування ремонтів» з автоматизованої системи ТОіР.

**Особистий внесок здобувача.** Основні ідеї досліджень належать автору дисертації. Автор виконав розробку нових моделей і формалізованих методів вирішення задач системи ТОіР, здійснив керівництво розробкою нормативно - технічної документації до автоматизації та впровадженням автоматизованої системи ТОіР на виробництві.

У розробці ряду технічних рішень та їх реалізації брали участь співробітники ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», НВО «Донікс», ММЗ «Істіл (Україна)», ПрАТ «Донецьксталь»-МЗ «Філія» Металургійний комплекс », Макіївського металургійного заводу та інших підприємств, що знайшло відображення в загальних статтях.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертації доповідалися та обговорювалися на: III Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми машинобудування і технічний прогрес» (м. Севастополь, 1996 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Вопросы проектирования, эксплуатации технических систем в металлургии, машиностроении» (м. Старий Оскол, 1999 р.); науково-практичній конференції «Стратегія управління соціально-економічним розвитком регіону на період до 2010 року (Донецька область - 2010)» (м. Донецьк, 2000 р.); міжнародній конференції «Оцінка та обґрунтування продовження ресурсу елементів конструкцій» - (м. Київ, 2000 р.); науково-практичній конференції «Донбас 2020» (м. Донецьк, 2002 р.); науково-практичної конференції - «Технология ремонта, восстановления, упрочнения и обновления машин, механизмов, оборудования и металлоконструкций» (м. Санкт-Петербург, 2004 р.), II Міжнародній науково-технічній конференції "Вібрація машин: (м. Донецьк, 2004 р.) вимірювання, зниження, захист "; Другому всеукраїнському форумі головних механіків «Стратегія оптимізації ТОіР механічного устаткування в ГМК: ідеологія, практика підвищення ефективності, інструменти» (м. Ялта, 2008 р.); 10 міжнародному науково - практичному семінарі «Практика та перспективи розвитку партнерства у сфері вищої школи» (м. Донецьк, 2009 р.); Другій Російській міжгалузевій конференції «Опыт создания и использования электронных баз данных оборудования» (м. Москва, 2010 р.); Першій Всеукраїнської науково-технічної конференції "Механічне і мехатронне обладнання заводів

чорної металургії», (м. Донецьк, 2011 р.); семінарі корпорації «Галактика» «Сучасний підхід до управління виробничими активами та процесами ТОiP» (м. Донецьк, 2012 р.); другій Всеукраїнській науково-технічній конференції "Механічне і мехатронне обладнання заводів чорної металургії» (м. Краматорськ, 2012 р.); науково-практичної конференції « ДОНБАС-2020: перспективи розвитку очима молодих вчених»(м. Донецьк, 2012 р.); щорічних науково-практичних семінарах "Теорія і практика ремонтного виробництва промислового підприємства", що проводяться на факультеті інженерної механіки та машинобудування; на науково-технічних семінарах кафедр ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (м. Донецьк 2000 - 2012 р.р.).

**Публікації.** За матеріалами дисертації опубліковано 50 наукових робіт. Основні наукові результати дисертаційної роботи освітлені в 46 публікаціях. Додаткові наукові результати викладені у 4 публікаціях

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, восьми розділів та додатків. Повний обсяг дисертації становить 489 сторінок, на яких приведені 81 рисунок, 26 таблиць та 13 додатків. Список використаних джерел включає 300 найменувань.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

*У першому розділі «Стан науково-технічної проблеми формалізації методів вирішення завдань системи технічного обслуговування і ремонтів обладнання з метою їх автоматизації»* розглянуто сучасний стан підходів до вирішення завдань забезпечення працездатного стану обладнання на стадії експлуатації в його життєвому циклі. На цій стадії протікає два протилежних процеси: погіршення ТС обладнання, як результат його використання за призначенням, і відновлення працездатного стану, як результат виконання ремонтних впливів у рамках системи ТОiP металургійного підприємства. Важливими факторами, що впливають на методи вирішення завдань системи ТОiP, є особливості металургійного устаткування: унікальність, висока матеріаломісткість і відповідальність.

В системі ТОiP серед інших виділяють задачі обробки інформації та формування ремонтної документації, які вирішуються на етапах підготовки та опису виконаних ремонтних впливів. Сучасним напрямком підвищення ефективності таких завдань є розробка досконалих методів, реалізованих у вигляді комп'ютерних програм автоматизованої системи ТОiP. В даний час відома значна кількість автоматизованих систем ТОiP. У кожній з них пропонується власний підхід до вирішення функціональних завдань, сукупність яких можна об'єднати в три модулі: дані про обладнання; характеристика ремонтів; забезпечення матеріальними ресурсами. Для оцінки ефективності системи ТОiP в цілому використовуються технічні, економічні та інші показники.

До основних факторів, що впливають на побудову системи ТОiP і методи вирішення її задач відноситься стратегія ремонтів, обумовлена підходом до прогнозування дат відмов елементів обладнання. Відомі рішення прогнозних моделей базуються на різних початкових даних: історії ремонтних впливів; характеристиках міцності деталі і виробленої продукції; результатах діагностування. Опис обладнання,

що використовується при вирішенні задач системи ТОіР, включає параметри прогнозних моделей і дані креслень його елементів, економічні та паспортні дані, представлення структури комплексу устаткування.

Підходи до планування та підготовки розрізняються для випадків поточних і капітальних ремонтів, що визначається співвідношенням термінів формування змісту ремонту та заявки ресурсів, необхідних для їх виконання. Історія виконання ремонтів фіксується в агрегатних журналах і надалі використовується при їх плануванні. Забезпечення матеріальними ресурсами в разі капітального ремонту виконується після визначення його змісту. У разі поточного ремонту здійснюється упереджувальне постачання матеріальних ресурсів, коли зміст ремонту невідомо. Це призводить до використання різного математичного апарату при плануванні матеріальних ресурсів.

На основі проведеного аналізу сформульована мета та шляхи досліджень методів автоматизованого вирішення завдань планування, підготовки та опису ремонтів механічного обладнання металургійних цехів.

У другому розділі «Розвиток методологічних основ інноваційного управління системою технічного обслуговування і ремонтів механічного устаткування металургійних цехів» показано, основу методологічного підходу, що отримав подальший розвиток, покладено послідовність вирішення завдань системи ТОіР, об'єднана у типові етапи. Використання типових етапів забезпечує виконання адекватного порівняння подібних задач, розробку шляхів їх вдосконалення. Особливо підкреслюється, що виділення типових етапів дозволяє сформулювати єдині підходи при вирішенні задач і в подальшому використовувати їх при побудові досконалої системи ТОіР.

У цілому завдання системи ТОіР об'єднані в три модулі, що розрізняються метою їх вирішення (рисунок 1).

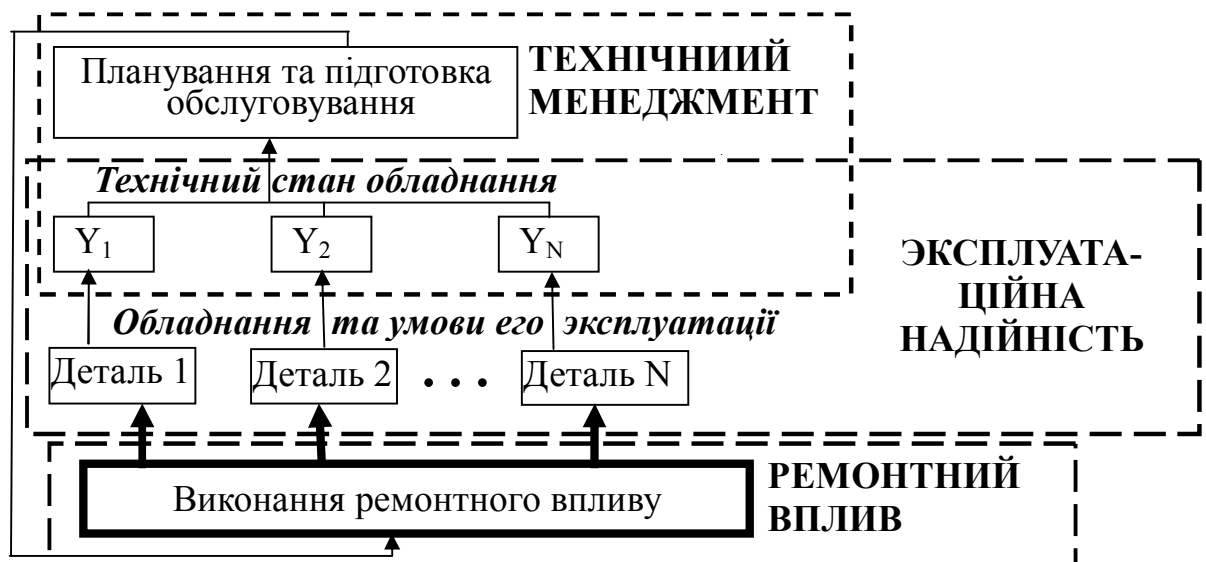


Рисунок 1. Предметна область системи ТОіР цеха

У рамках модуля «РЕМОНТНИЙ ВПЛИВ» виконується фізичний вплив на обладнання, результатом якого є відновлений його працездатний стан. У рамках модуля «ЕКСПЛУАТАЦІЙНА НАДІЙНІСТЬ» формується комплекс даних про обладнання, в тому числі, які використовуються при прогнозуванні стохастичної дати відмови його елементів. У модулі «ТЕХНІЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ» вирішуються задачі плануван-

ня, підготовки та опису виконаних ремонтних впливів, в рамках яких виконується розробка та обмін ремонтною документацією між персоналом системи ТОіР.

Визначальними, у діяльності системи ТОіР, є функціональні задачі (рисунок 2).

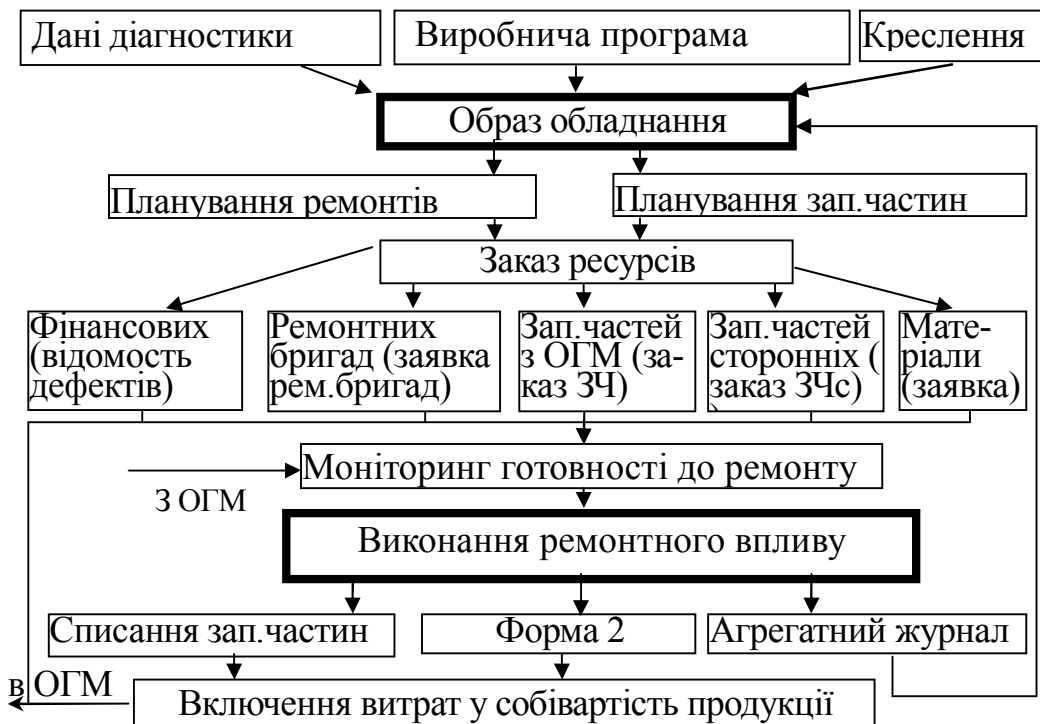


Рисунок 2. Схема функціональних задач системи ТОіР

Найбільш складним з них є бізнес - процес підготовки поточного ремонту, що

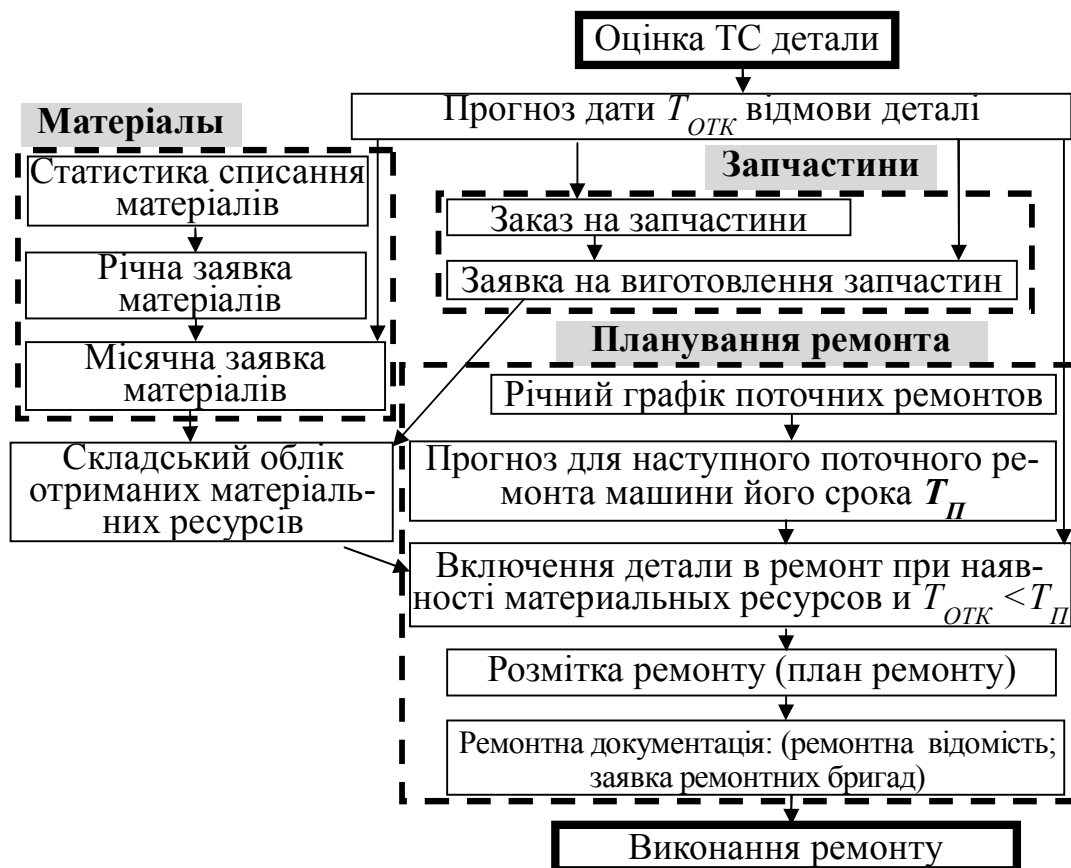


Рисунок 3. Бізнес - процес підготовки поточного ремонту

Серед них виділені ремонтні впливи і образ обладнання, через які задачі технічного менеджменту контактують з іншими модулями предметної області системи ТОіР. У процесі підготовки технічного обслуговування, капітального або поточного ремонту вирішується власний набір задач у певній послідовності, представлений бізнес - процесом.

обумовлено попереджувальною поставкою матеріальних ресурсів (рисунок 3). Зі схеми бізнес - процесу видно, що вирішення завдань постачання матеріальних ресурсів (запчастин, матеріалів), передую розробці плану ремонту. При цьому підходи до заявки матеріалів і запчастин вирішуються різними методами, що ускладнює реалізацію бізнес - процесу.

Реалізація бізнес процесів технічного менеджменту здійснюється персоналом системи ТОіР, завдання якого об'єднані в робочі місця. Кожне робоче місце включає групу завдань, які розв'язуються для досягнення спільної мети (рисунок 4).

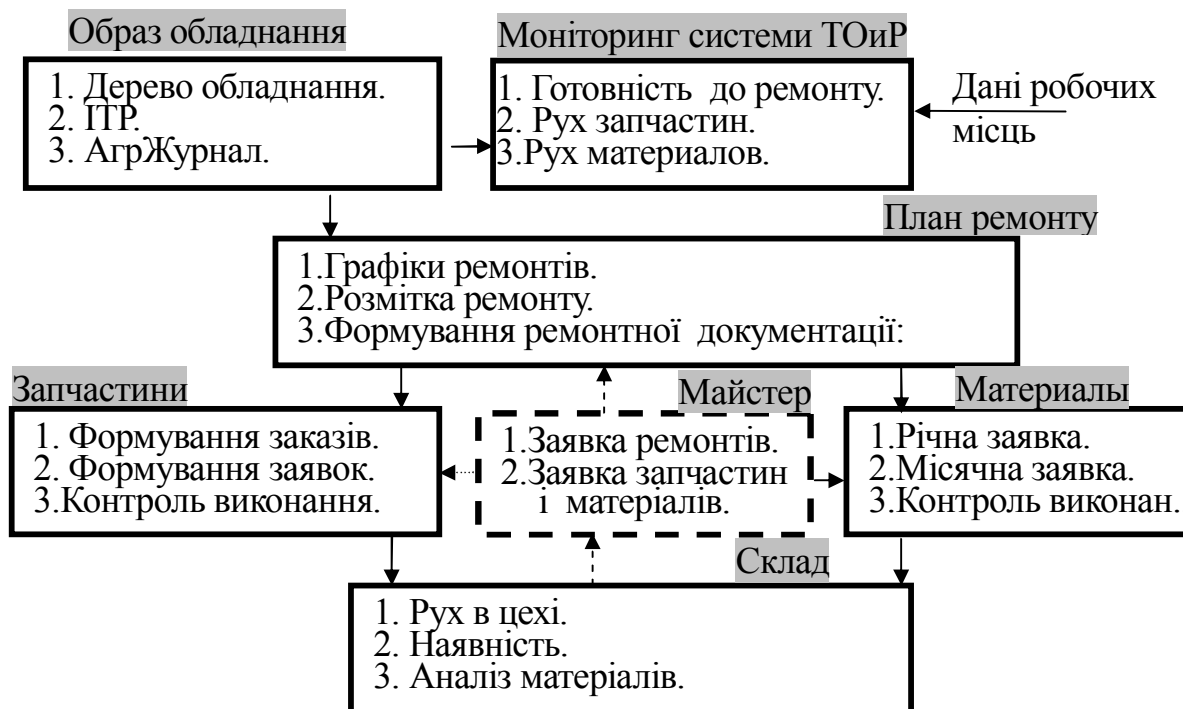


Рисунок 4. Схема робочих місць системи ТОіР

У процесі роботи системи ТОіР в робочих місцях розробляються ремонтні документи, що забезпечують обмін інформацією в модулі технічного менеджменту.

Сучасний підхід до вирішення завдань технічного менеджменту включає використання обчислювальної техніки та спеціального програмного забезпечення. Таке забезпечення розробляється на основі формалізованого опису методу розв'язання задачі, що забезпечує отримання будь-яким користувачем єдиних результатів при використанні єдиних початкових даних. Таке уявлення передбачає формування типового набору початкових даних із зазначенням обмежень на їх значення. Відповідно, послідовність рішення задачі і використання математичних моделей повинна бути представлена алгоритмом, який може мати вигляд блок - схеми. Другою стороною формалізації є побудова бази знань, що містить інформацію, яка використовується при вирішенні задач.

*У третьому розділі «Формалізація даних про обладнання, що використовуються в різних задачах системи технічного обслуговування і ремонтів і представлення їх у вигляді образу обладнання» розглянуті питання побудови та подання комплексу даних про деталь як елемент обладнання, в процесі її експлуатації та відновлення працездатного стану. Результатом експлуатації деталі є зміна її ТС, зумовленого дією навантажень, що визначаються виконуваною виробничою програмою. У загальному випадку зміна ТС описується типовою кривою зносу.*

Аналіз сукупності (історії) реалізацій таких кривих по одній або декількох подібних деталях дозволяє виділити чотири характерні функції, які відповідають різним умовам експлуатації деталі (рисунок 5).

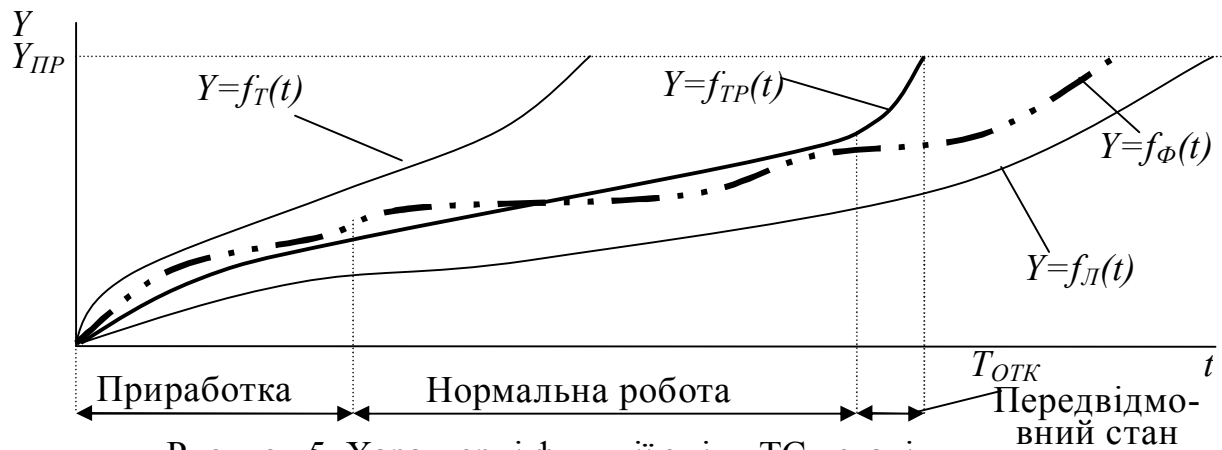


Рисунок 5. Характерні функції зміну ТС деталі

Важким умовам відповідає функція  $f_T(t)$ , легким -  $f_L(t)$ , тренду зміни (при середніх умовах) -  $f_{TP}(t)$ , і реальна функція -  $f_\Phi(t)$ . Наявність цих функцій обумовлено стохастичним характером зміни ТЗ деталі.

Використовуючи функції важких і легких умов експлуатації з історії реалізацій деталі вибираються ті, які відповідають поступовим відмовам. Для цього, приймаючи, що ресурс деталі  $t$  описується нормальним законом розподілу із значенням коефіцієнту варіації  $\nu=1/3$  і відповідає важким умовам експлуатації при  $BBP_T=0,95$ , а легким  $BBP_L=1-BBP_T=1-0,95=0,05$  визначається розмах ресурсу

$$R_t = t(BBP_L) / t(BBP_T) = PM * (1 + U * PF) / PM * (1 - U * PF) = 3,423,$$

де  $PM$  - математичне сподівання ресурсу;

$U=1,645$  - квантиль нормального закону розподілу відповідний заданому значенню  $BBP=0,95$ ;

$PF = \nu = 1/3$  - коефіцієнт варіації ресурсу.

Приймаючи, що в історії даних про зміну ТС реалізація з максимальним ресурсом відповідає легким умовам експлуатації деталі, визначається її ресурс у разі тяжких умов

$$t_T = t_L / R_t = t_L / 3,423 \text{ доби.}$$

В результаті вважається, що в історії реалізацій нагоди поступових відмов відповідають реалізації що мають ресурс, який задовольняє умові  $t_\Phi > t_T$ .

До істотних факторів, що призводить до високої стохастичності процесу зміни ТС деталі, відноситься зміна математичного сподівання діючих на неї навантажень. Специфічною особливістю металургійного устаткування є відмінність за характером впливу сукупності сортаментів  $S$  продукції, що виготовляється на розмах  $R$  навантажень для різних переділів. Це дозволило виділити три види технологічних процесів: варіативний при  $R > 1$ ; стаціонарний при  $R = 1$ ; випадковий, де  $S$  і обсяг виробництва  $Q$  не впливають на робочі навантаження (таблиця 1).

Для визначення прогнозної дати досягнення граничного ТС деталі і її відмови  $T_{OTK}$  запропоновано використовувати прогнозні моделі, в яких виділені прогнозуюча і параметризуюча частини. Прогнозуюча частина, єдина для будь-якої прогнозної моделі, побудована на основі моделі відмов і забезпечує визначення стохастичною дати відмови деталі  $T_{OTK} = T_y + t_{OCT}$ , де  $t_{OCT} = f(Z, PM, PF, BBP)$ .

Таблиця 1

## Види технологічних процесів

N п/п	Машина	Сортамент		Навантаження		R	Вид процесу
		Легкий	Важкий	$P_L, \text{кН}$	$P_T, \text{кН}$		
<b>Листопрокатний стан 2300</b>							
1	Дискові ножиці	ВСтЗсп, (5x1800)мм	Сталь 65, (20x1100)мм	24,69	313,01	12,68	Варіативний
<b>МНЛЗ сортова бти струмкова</b>							
2	Кристалізатор	(100x100)мм	(180x180)мм	28,47	51,25	1,8	Варіативний
<b>Доменная піч 1033м<sup>3</sup></b>							
3	Гармата забивання чавунної льотки	Будь-який чавун		2400	2400	1	Стационарний
4	Повітряно розвантажуючий клапан	Будь-який чавун		1,3	1,3	1	Випадковий

Її параметрами є:  $T_Y$  - термін початку попередження прогнозу;  $t_{ост}$  - залишковий ресурс деталі,  $Z$  - вид закону розподілу залишкового ресурсу деталі;  $PM$ ,  $PF$  - параметри масштабу і форми закону розподілу;  $ВБР$  - задана ймовірність безвідмовної роботи. Параметризуюча частина забезпечує отримання параметрів  $T_{отк}$ ,  $T_Y$ ,  $Z$ ,  $PM$ ,  $PF$  на основі різних видів початкових даних.

Правила планування та підготовки ремонтних робіт значною мірою визначаються стратегією ремонтів, прийнятої на підприємстві. В основу класифікації стратегій ремонтів покладено підхід до використання характерних функцій при визначенні  $T_{отк}$ . Стратегія аварійних ремонтів базується на реальній функції  $f_{\phi}(t)$  і реалізується без рішення задачі прогнозування (рисунок 6).

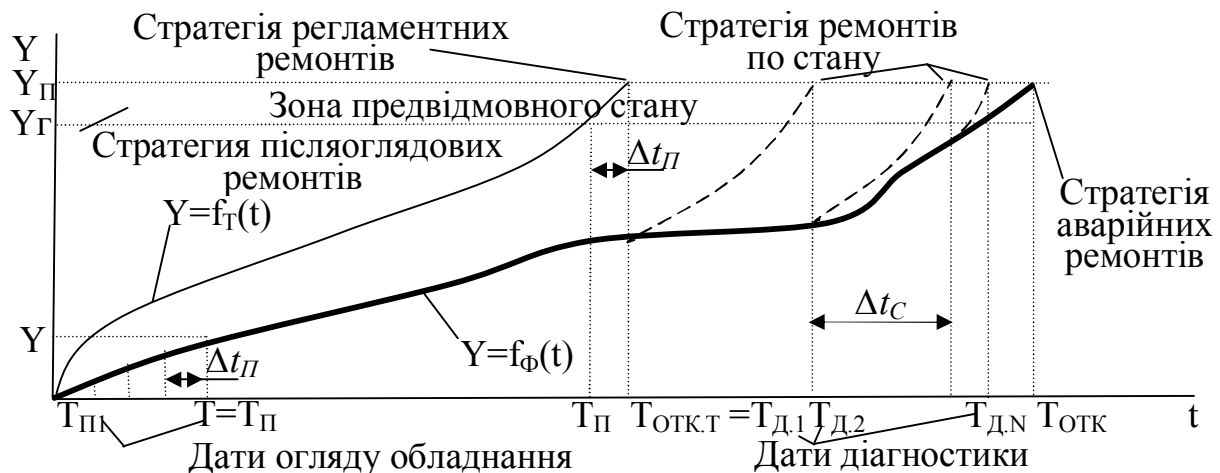


Рисунок 6. Графічна інтерпретація стратегій ремонтів

Стратегія регламентних ремонтів передбачає використання нормативного ресурсу, що визначається з важких умов експлуатації  $f_T(t)$ . Стратегія післяоглядових ремонтів передбачає, що з постійною періодичністю  $\Delta t_{\Pi}$ , рівної періодичності поточних ремонтів, виконується порівняння поточного ТС  $Y$  деталі з граничним  $Y_{Г}$ . При виконанні умови  $Y > Y_{Г}$  призначається заміна деталі. У рамках стратегії значення  $Y_{Г}$  визначається з важких умов експлуатації для заданого  $\Delta t_{\Pi}$ . Стратегія ремонтів за станом припускає, що через розрахункові періоди  $\Delta t_{С} = f(Y)$  виконується діагностування чергового значення ТС деталі  $Y$ , яке порівнюється з граничним  $Y_{Г}$ . При виконанні умови  $Y_{Г} > Y_{Г}$  призначається заміна деталі.

Використання кожної стратегії передбачає виконання однієї або декількох ітерацій наближення з точністю  $t_{MIN}$  до дати відмови  $T_{OTK}$  і заміни деталі. Найбільш складно це завдання вирішується у разі стратегії ремонтів станом, де розрахована кількість ітерацій  $N$  знаходиться з урахуванням заданої  $VBP$  деталі, що визначає коефіцієнт використання  $K_{II}$  решти її ресурсу на кожній ітерації. Розрахована кількість ітерацій визначається для тренду зміни ТС деталі з ресурсом  $t_M$  з виразу  $N=(Ln(t_{MIN} / K_{II})-Ln(t_M))/Ln(1- K_{II})$ .

Таблиця 2  
Групування даних про обладнання

Група задач	Задача	Групи даних про обладнання				
		Структура	Креслення	Відмова	Економічні	Паспорт
Ремонти	Рем. документація	✓	✓	✓		
	Агрегатний журнал	✓				
Матеріальні ресурси	Закупівля матеріалів	✓	✓	✓		✓
	Закупівля запчастин	✓	✓	✓		
	Складський облік	✓	✓		✓	

Пасивний експеримент, що включає аналіз змісту документації системи ТОiP, дозволив об'єднати дані про обладнання, близькі за характером і змістом, в ряд груп наведених у таблиці 2.

Комплекс даних про обладнання, що використовуються при вирішенні задач системи ТОiP, об'єднаний в образ обладнання, що включає технічні, економічні та інші характеристики його елементів (рисунок 7).

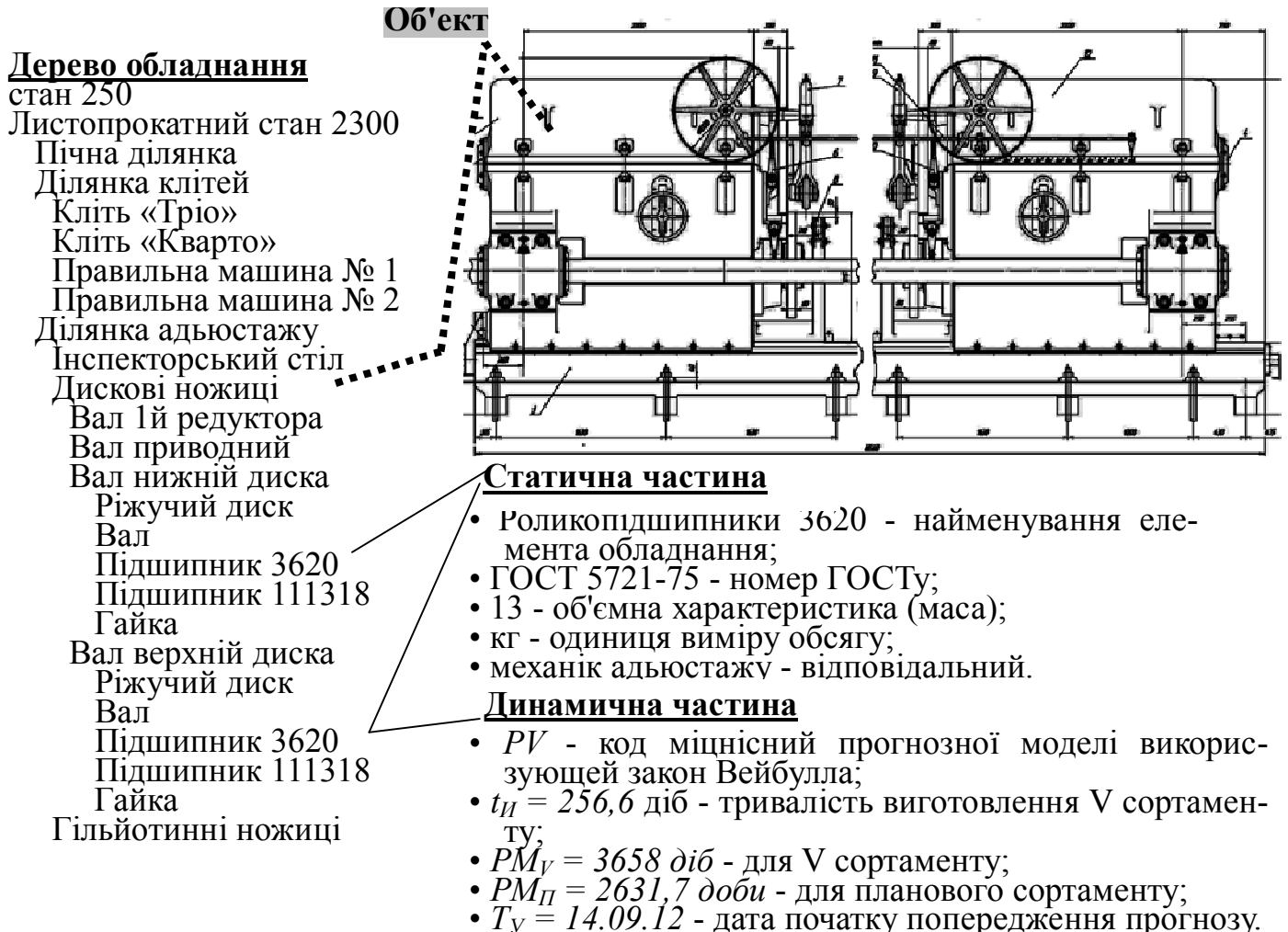


Рисунок 7. Фрагмент образу обладнання



В образі устаткування його структура представлена деревом, що має п'ять рівнів (від агрегату до деталі), елементи на яких мають подібні властивості. Статичні дані про елемент обладнання формується з його креслення і не змінюється в процесі експлуатації. Динамічні дані представлені параметрами прогнозу моделі і коригуються після виконання ремонтних впливів, проведення діагностувань елемента обладнання та інше. Економічні дані формуються для елементів обладнання, які є об'єктами основних фондів підприємства. Паспорт елемента включає дані, необхідні для пошуку аналогічного елемента устаткування. При формуванні статичної частини і паспорта використовується прототип елемента устаткування, який є віртуальним поняттям, що забезпечує разове введення даних креслення в статичну частину і їх багаторазове використання при побудові образу обладнання.

Формальне представлення образу обладнання містить ряд взаємопов'язаних таблиць, сукупність яких складає його базу даних (рисунком 8). Деревоподібна структура

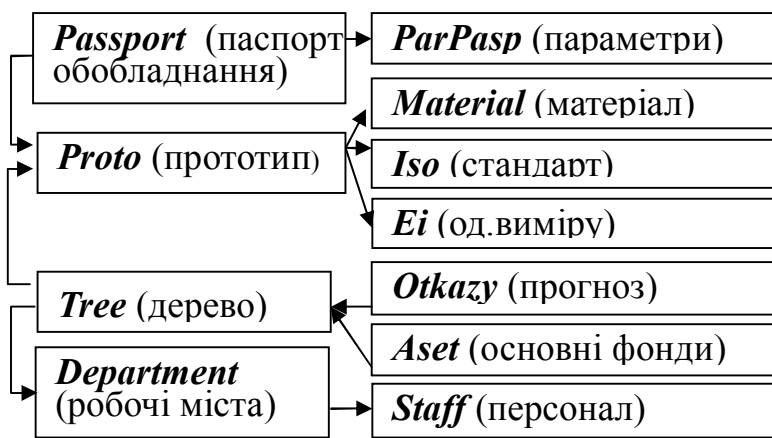


Рисунок 8. База даних образу обладнання

комплексу обладнання представлена його елементами, зведеними в таблицю дерева, дані креслень представлені прототипами в таблиці *Proto*. Параметри прогнозних моделей за елементами обладнання наведені в таблиці *Otkazy*. Таблиця з активами включає дані, що характеризують економічні показники обладнання як об'єктів основних фондів підприємства. Зв'язок обладнання з обслуговуючим його пер-персоналом реалізована через таблиці та *Department* і *Staff*.

При формуванні та коригуванні змісту таблиці *Otkazy* можуть використовуватися дані агрегатного журналу, які характеризують історію оглядів устаткування і ремонтних впливів (таблиця 3). Розроблено формалізований підхід формування да-

Таблиця 3

#### Угрупування полів агрегатного журналу

Оборудование	Зауваження	Ремонт	Мат.ресурси
Ножиці №51, 1й вал, підш.ХС	12.05.11 Темп.72град.	15.05.11. Заміна детали. Іванов	Підшипник 3620
Ножиці №51, 1й вал, підш.ХС	18.05.11 Темп.42град.		

них агрегатного журналу у вигляді розмітки, в записях якої виділені чотири типи полів. У полі "Обладнання" вказується ідентифікатор елемента устаткування, який формується на

основі образу обладнання. Поле "Зауваження" формується довільним чином. При заповненні поля "Ремонт" використовуються спеціальні довідники, що забезпечує формалізований підхід до формування початкових даних до визначення закону розподілу повного ресурсу деталі. У полі "Мат.ресурси" вказується найменування матеріального ресурсу, використаний при виконанні ремонту, яке береться з образу обладнання. На основі даних розмітки агрегатного журналу вирішуються задачі: формування агрегатного журналу; визначення закону розподілу ресурсу деталі; виявлення "вузьких" місць обладнання та інше.

При вирішенні завдань ТОiP запропоновано використовувати формалізований опис структури і складу комплексу обладнання, у вигляді його образу, що забезпечує зниження трудомісткості пошуку даних про нього.

У четвертому розділі «Розвиток теоретичних основ побудови базових моделей прогнозування стохастичної дати відмови» на основі відмінності у вигляді вихідних даних, використовуваних для параметризації, виконана класифікація, що дозволила виділити прогнозні моделі: міцнісні; діагностичні; ресурсні; експертні.

Параметризація міцнісної прогнозної моделі виконується на основі даних про вироблені сортаменти  $S$ , по кожному з яких з конструкторського розрахунку визнача-

Таблиця 4

## Виробнича програма стану 2300

$i$ , № сортаменту	Виробнича програма			
	Сортамент	$T$ , дата	$Q_p$ , тис.т	Вид
1	2й рядовой - (18x1500), Сталь 65Г	20.11.11	10,8	$P_p$
10	Легкий - (5x1800), Ст ВСтЗкп	10.08.12	42	$P_p$
11	Важкий - (20x1100), Сталь 65Г	04.09.12	15	$P_p$
12	7й рядовой - (17x1800), Сталь 65Г	14.09.12		$P_{II}$

ється ресурс  $Q_{PEC.S}$  у виробничій програмі, представленою сортаментами  $i$ , обсягами  $Q_i$  і датами виготовлення сортаментів  $T_i$ , приклад якої наведено в таблиці 4. У рамках моделі виробнича програма роздвоюється на

реалізовану частину, де всі виготовлені сортаменти  $P_p$  замінюються одним віртуальним сортаментом  $V$ , і прогнозу  $P_{II}$ , де приймається, що до відмови деталі вона буде використовуватися для виробництва сортаменту  $P_{II}$ . Датою  $T_v$  початку попередження прогнозу приймається дата початку виготовлення планового сортаменту  $P_{II}$ .

У результаті проведених чисельних експериментів, що враховують стохастичний характер зміни ТС розроблені версії міцнісної прогнозної моделі для 3 видів деталей. У рамках моделі для заданої ВБР, визначальною значення квантиля нормального закону розподілу  $U_{ВБР}$ , з урахуванням використаної частини ресурсу  $t_{II}$  деталі при виготовленні віртуального сортаменту  $V$ , вираховується залишковий ресурс для: валу  $t_{OCT.ВБР} = (1 - t_{II} / (PM_V * (1 - PF * U_{ВБР}))) * PM_{II} * (1 - PF * U_{ВБР})$ ; роликотідшипника  $t_{OCT.ВБР} = (1 - t_{II} / (PM_V * \sqrt[1,487]{-\ln(BBP)})) * PM_{II} * \sqrt[1,487]{-\ln(BBP)} * PM_{II}$ ; шарикотідшипника  $t_{OCT.ВБР} = (1 - t_{II} / (PM_V * \sqrt[1,481]{-\ln(BBP)})) * \sqrt[1,481]{-\ln(BBP)} * PM_{II}$ . Використовуючи оцінку залишкового ресурсу,  $T_{OТK.V.ВБР} = T_v + t_{OCT.V.ВБР}$ .

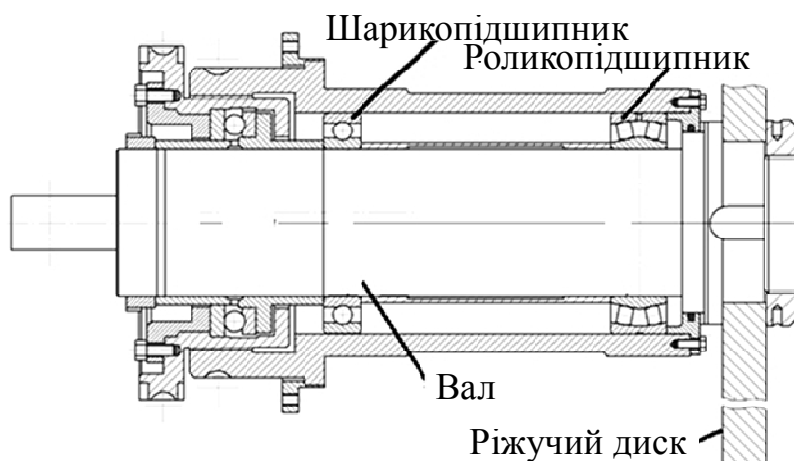


Рисунок 9. Вузол ріжучого диску

Чисельний експеримент з прогнозування дат відмов виконаний для валу і підшипників вузла ріжучого диска дискових ножиць стану 2300 (рисунок 9). Умови роботи ріжучих дисків:  $P_{PE3.L} = 24,8 \text{ кН}$  - сила різання легкого сортаменту (ВСтЗсп, (5x1800) мм);  $P_{PE3.T} = 313,01 \text{ кН}$  - сила різання важкого сортаменту (Сталь 65, (20x1100) мм);  $Q_{СТАН} = 1,704 \text{ тыс.т}$  - добова продуктив-

ність стана;  $N_L = 72000$  об, добове число обертів при різанні легкого сортаменту;  $N_T = 2936$  об - добове число обертів для важкого сортаменту.

Проведений експеримент показав чутливість міцнісної моделі що, використовує віртуальний сортамент  $V$  до зміни переліку та обсягу вироблених і планових сортаментів при визначенні використаної частини ресурсу деталі, що оцінюється коефіцієнтом  $K_{ИР}$  (рисунок 10а) і прогнозною датою відмови  $T_{ОТК}$  (рисунок 10б).

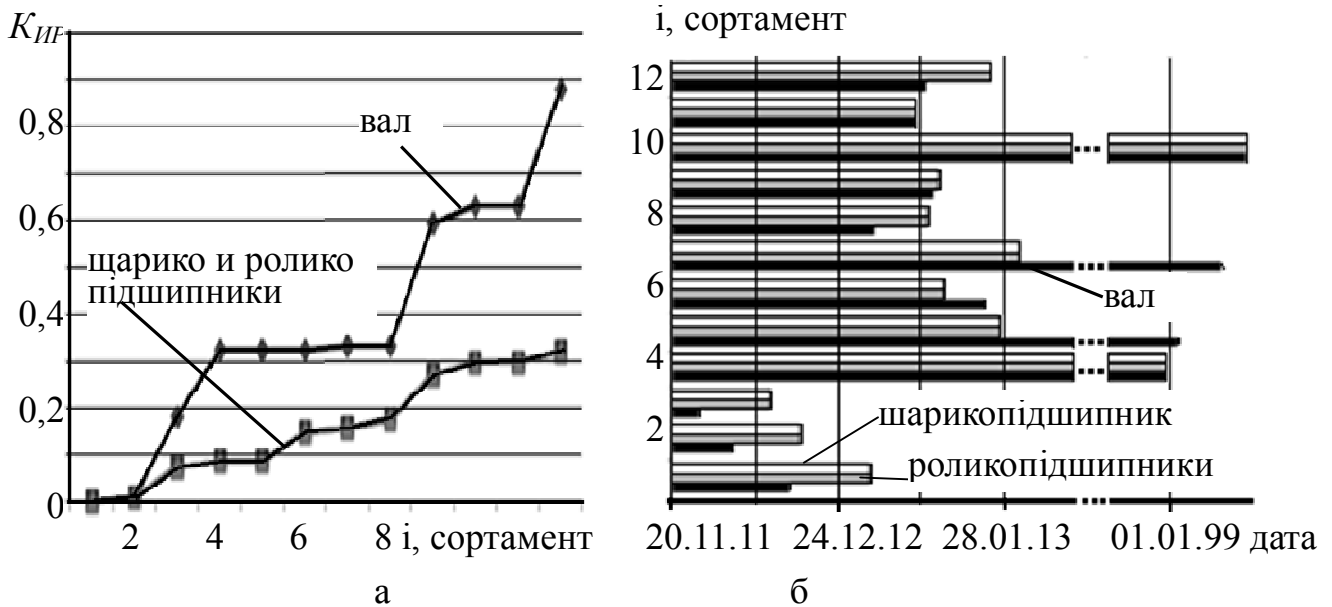


Рисунок 10. Результати використання міцнісної прогнозної  $V$  сортаменту на початок виготовлення  $i$ -го сортаменту виробничої програми:

а) коефіцієнт  $K_{ИР}$  використання ресурсу деталі; б) прогнозні дати відмови деталі

Параметризація діагностичної прогнозної моделі виконується на основі історії зміни ТС деталі за  $N$  реалізаціями, представлені результатами діагностування  $Y$  та напрацюваннями  $t$  на їх виконання, приклад яких наведено в таблиці 5 за вкладишами універсальних шпинделів стана 2500 гарячої прокатки (публікація Л.В.Коновалова, С.М.Луцьковий). У загальному випадку історії можна виділити три види реалізацій. Остання  $N$ -на реалізація є поточною (незакінченою), за якою і виконується прогнозування  $T_{ОТК}$ . Враховуючи практику роботи системи ТОiP металургійного підприємства, можна бачити, що серед інших  $j=1..(N-1)$  реалізацій одна частина відповідає рап-товим відмовам, а інша - випадку поступових відмов, за якими і може виконуватися прогнозування  $T_{ОТК}$ .

Таблиця 5

**Результати діагностування**

Номер реалізації	Напрацювання $t$ на діагностування, дб									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	0	1	1	2	3	9				
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
21	3	3	4	6	9					
22	0	2	3	3	4	4	6	7	8	
23	0	1	1	2	2	5	5	7	8	
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
31	0	1	1	1	3	3	4	6	6	9
32	1	2	3	4	5	6	7	9		
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..

Для виділення  $B$  реалізацій, що відповідають поступовим відмовам, з історії вибирається реалізація з мінімальною швидкістю  $V_{MIN}$  зміни ТС деталі, яка приймається відповідною легким умовам експлуатації  $V_L = V_{MIN}$ . Звідки, використовуючи розмах швидкостей  $K_P = 3,423$ , визначається швидкість  $V_T = K_P * V_L$  відповідна важким умовам експлуатації. Безліч  $B$  реалізацій, що

мають швидкість, яка задовольняє умові  $V < V_T$ , вважаються відповідними випадкам поступової відмови і приймаються до подальшого аналізу.

Нормування  $B$  реалізацій включає розрахунок залишкового ресурсу деталі від заданих  $g=1...K$  рівнів її ТС та визначення законів розподілу залишкового ресурсу на кожному рівні  $t_{OCT,g}=f(Z_g, PM_g, PF_g)$ . Враховуючи кінцеву мету використання діагностичної прогнозної моделі - визначення дати відмови, закон розподілу  $Z_{K-1}$  та параметр  $PF_{K-1}$  приймаються для рівня, що передує граничному стану, діючими на всіх рівнях. Апроксимуючи значення параметра масштабу  $PM_g$  на кожному  $g=1...K$  рівні якому відповідає  $Y_g$ , отримуємо безперервну функцію  $PM = f(Y)$ . Використовуючи дату  $T$ ,  $Y$  і ТС останнього діагностування за поточною  $N$ -й реалізації визначають параметри діагностичної прогнозної моделі: дату початку попередження прогнозу  $T_Y = T$ ; вид закону розподілу залишкового ресурсу деталі  $Z = Z_{K-1}$ ; параметр масштабу  $PM = f(Y)$ ; параметр форми  $PF = PF_{K-1}$ .

Прогнозування включає визначення прогнозної дати відмови  $T_{OTK} = T_Y + f(Z, PM, PF, VBR)$ , звідки залишковий ресурс складе  $t_{OCT} = T_{OTK} - T_Y$ . Критерієм припинення діагностування і прийняття  $T_{OTK}$  датою ремонту є виконання умови  $t_{OCT} < t_{MIN}$ , де  $t_{MIN}$  - період між плановими ремонтами. Якщо умова не виконується, тоді в дату  $T_{OTK}$  проводиться чергове діагностування та визначення подальшого значення  $T_{OTK}$ . Таким чином, в процесі прогнозування виконується кілька діагностувань, кількість яких визначається умовами поточної реалізації і заданим значенням  $VBR$ .

Апробація моделі виконана на експериментальних даних за вкладишами універсальних шпинделів стана 2500 гарячої прокатки, отриманими з публікації в журналі «Сталь». Результати апробації для різних значень  $VBR$  при прогнозуванні дати ремонту для характерних умов експлуатації (легких, важких, середніх, нестационарних) які показані на рисунку 11.

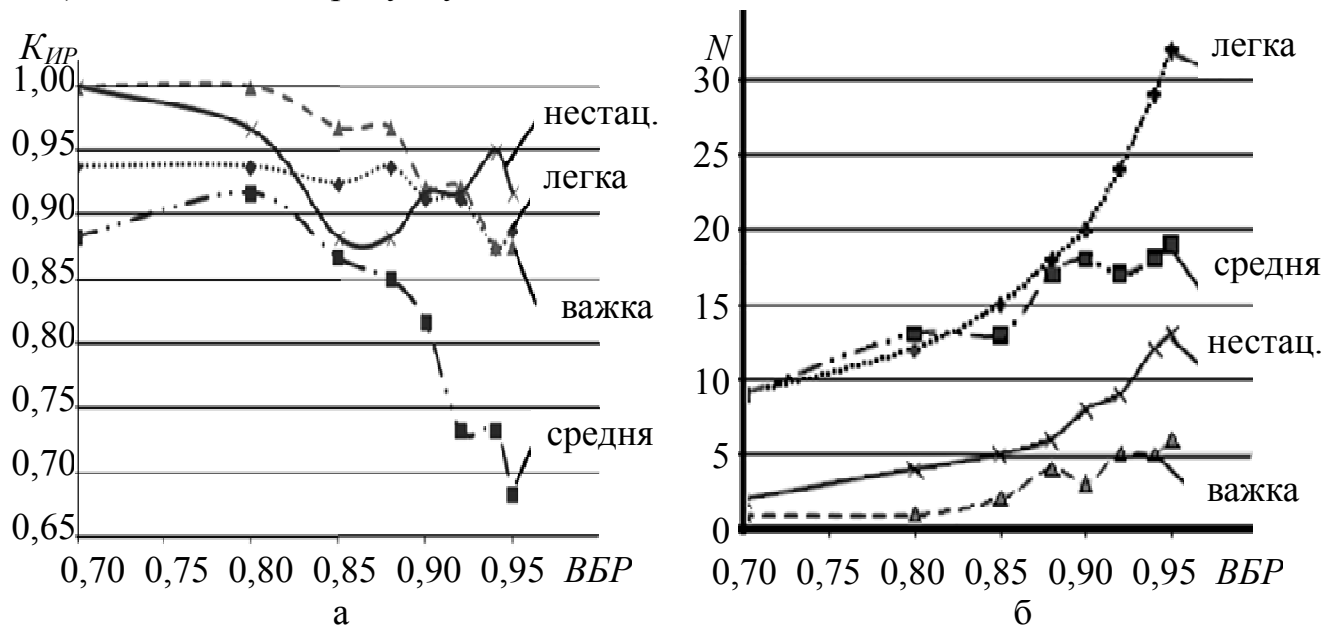


Рисунок 11. Вплив  $VBR$  на результат діагностичної прогнозної моделі:  
а) коефіцієнт  $K_{ИР}$  використання ресурсу деталі; б) кількість діагностувань  $N$

З рисунка 11а можна бачити вплив  $VBR$  на коефіцієнт використання ресурсу  $K_{ИР}$  і тісний зв'язок між кількістю діагностувань  $N$  та умовами експлуатації деталі: легкі, важкі, середні; нестационарні наведені на рисунку 11б.

Параметризація ресурсної прогнозної моделі виконується на основі формалізованої історії виконаних ремонтів, представленої в агрегатних журналах. З неї формується матриця  $T=[T_1, \dots, T_{i+1}, \dots, T_N]$  дат  $N$  виконаних ремонтів. Аналіз даних матриці з використанням математичної статистики дозволив отримати параметри закону розподілу ресурсу  $Z$ ,  $PM$ ,  $PF$ , для якого дата початку попередження прогнозу складе  $T_y = T_N$ . Прогнозування дати відмови виконується з використанням моделі відмов  $T_{OTK} = T_y + f(Z, PM, PF, ВБР)$ .

Параметризація експертної прогнозної моделі виконується на основі оцінок експертів (наприклад, майстрів) мінімального  $t_{MIN}$ , максимального  $t_{MAX}$  ресурсів деталі та дати  $T$  початку поточного реалізації. Використовуючи ці дані, апарат математичної статистики, визначаються параметри  $Z$ ,  $PM$ ,  $PF$ , а терміном початку попередження прогнозу приймається  $T_y = T$ . Прогнозування дати відмови також виконується з використанням моделі відмов  $T_{OTK} = T_y + f(Z, PM, PF, ВБР)$ .

За підходом до визначення  $T_{OTK}$  ресурсна та експертна прогнозні моделі подібні. Відмінність у вигляді та джерелі вихідних даних призводить до різної достовірності параметрів моделі відмов. У зв'язку з цим моделі забезпечують різну точність прогнозування, що характеризується ступенем  $K_{ИР}$  використання ресурсу деталі.

Чисельний експеримент був проведений на основі даних по ресурсах вкладишів універсальних шпинделів стану 2500 гарячої прокатки (таблиця 5), що мають розмах ресурсів який не перевищує 3,423. Він показав, з аналізу всіх 35 реалізацій при  $ВБР = 0,95$ , значення коефіцієнта використання ресурсу  $K_{ИР} = 0,43$  для ресурсної моделі і  $K_{ИР} = 0,34$  для експертної моделі. З іншого боку за 25 реалізаціями, відповідними випадкам поступової відмови, при  $ВБР = 0,7$  маємо 13 аварійних відмов при нормативному ресурсі 53 доби у разі ресурсної прогнозної моделі і 2 аварійних відмови у разі експертної моделі при нормативному ресурсі 36 діб. Це показує неприйнятність використання таких моделей при низьких значеннях  $ВБР$  у зв'язку з великою кількістю аварійних відмов.

Незалежно від виду вихідних даних прогнозування виконується з використанням єдиної моделі відмов  $T_{OTK} = T_y + f(Z, PM, PF, ВБР)$ .

**У п'ятому розділі** «Розробка теоретичних основ формалізованого подання змісту ремонту і його використання при формуванні ремонтної документації» розглянуті питання формального представлення даних про заплановані ремонти та використання їх при формуванні ремонтної документації, моніторингу підготовки ремонту та його виконання.

Як відомо, при визначенні змісту майбутніх ремонтних впливів використовуються два підходи (аварійний та попереджувальний), що відрізняються співвідношенням термінів зупинки обладнання в ремонт  $T_{OTK}$  і планування його змісту. Показано, що технічне обслуговування, поточні, капітальні та аварійні ремонти розрізняються співвідношенням термінів вирішення задач забезпечення системи ТОіР матеріальними ресурсами і визначення змісту планованих ремонтних впливів (таблиця 6).

У часовому розрізі виділено етапи підготовки до ремонтів: розробка річних графіків поточних і капітальних ремонтів, що містять опис ремонту з деталізацією до машини, агрегату і точністю до місяця, тижня; розробка місячних графіків ремонтів з точністю до доби і годин, яка розглядається як заявка часових ресурсів (часу

Таблиця 6  
Характеристика підходів до планування ТОіР

№ пп	Вид ремонту, технічного обслуговування	Стратегія що реалізується	Зміст ремонту визначається до зупинки обладнання	Поставка матеріальних ресурсів до планування ремонту
1	Аварійний	Аварійна	ні	так
2	Капітальний	За станом	так	ні
3	Поточний	Посляоглядова	так	так
4	Технічне обслуговування	Регламентна	так	ні

(простою в ремонтах), узгоджених з технологічним персоналом; розробка розгорнутого змісту (детальний опис) ремонтних робіт і ресурсів, необхідних для їх виконання; і формування ремонтної документації.

Річний графік поточних ремонтів (графік) можна розглядати як укрупнений прогноз використання трудових ресурсів протягом року який, наприклад, включає 24 етапи планування (рисунок 12). Для забезпечення постійного завантаження ремонтних цехів графік повинен мати нерівномірність трудомісткості  $P_G$  ремонтів по етапах планування нижче  $P_{MIN}$ . Значення нерівномірності становить  $P_G = (Q_{max} - Q_{min}) / (Q_{max} + Q_{min}) < P_{MIN}$ , де  $Q_{MAX}$ ,  $Q_{MIN}$  - максимальна і мінімальна

### РІЧНИЙ ГРАФІК ПОТОЧНИХ РЕМОНТІВ

Найменування машини	Січень		Лютий		Березень		...		Грудень	
	Тривалість ремонту (год)									
	16	16	24	8	16	16	...	16	16	
Кліть 950	8/5			8/5			...			
Ножиці N 2	16/10		24/5		16/10		...	4/5		
Кліть 900		8/5				8/5	...			
Пила N2	8/5	4/5	8/5	4/5	8/5	4/5	...	8/5	4/5	

Рисунок 12. Фрагмент річного графіка поточних ремонтів

трудомісткості на етапах планування повинна відповідно корегуватися з урахуванням тривалості ремонтів. Для зниження нерівномірності графіка вирішується завдання його балансування. У процесі балансування переміщуються всі ремонти обраної машини по всіх етапах планування та положення ремонтів при якому  $P_G$  має мінімальне значення. Аналогічне переміщення виконується по всіх машинах графіка, поки задовольняється умова  $P_G > P_{MIN}$ .

Детальний зміст запланованого ремонту розкривається у різних ремонтних документах: відомості дефектів капітального ремонту; замовленнях запчастин; цільових заявках матеріалів; ремонтних відомостях поточного ремонту; заявках на ремонтні бригади для поточного ремонту; лінійних графіках ремонту та інше. Аналіз змісту ремонтних документів дозволив виявити їх подібність і відмінність, що забезпечило розробку теоретичних основ формалізованого опису, запланованого ремонту у вигляді його розмітки, що має деревоподібну структуру (таблиця 7).

Таблиця 7

### Розмітка ремонту

Уровень	Наименование	пОб'єм	ОВ	Креслення	Бригада	пПочаток	пТрив	фОб'єм
1	Ділянка адьюстажу	1	шт					
2	Дискові ножиці	1	шт	AR113				
3	Вал стац. диска	1	шт	AR113-1				1
4	Замінити	1	шт	AR113-1	Сл.с35	04.12.12	1:30	1
5	Вал	1	шт	AR113-1-1				
5	Підш.3620	2	шт	Г 5721-75				1

Три верхніх рівні розмітки є фрагментом дерева обладнання. Вони служать для вказівки місця виконання ремонтних робіт. Кожному вузлу (рівень 3) ставляться у відповідність ремонтні роботи заплановані до виконання (рівень 4). По роботах вказуються, час початку та тривалість, необхідні трудові ресурси. У разі необхідності ремонтної роботі ставляться у відповідність потрібні матеріальні ресурси (рівень 5), які обираються з дерева обладнання. У записах розмітки вказуються й кількісні характеристики об'єктів і необхідних ресурсів.

Для зниження трудомісткості формування розмітки та зменшення кількості помилок будь-який її запис створюється з використанням відповідних довідників. Дані розмітки і використовувані довідники складають її базу даних (рисунок 13). У

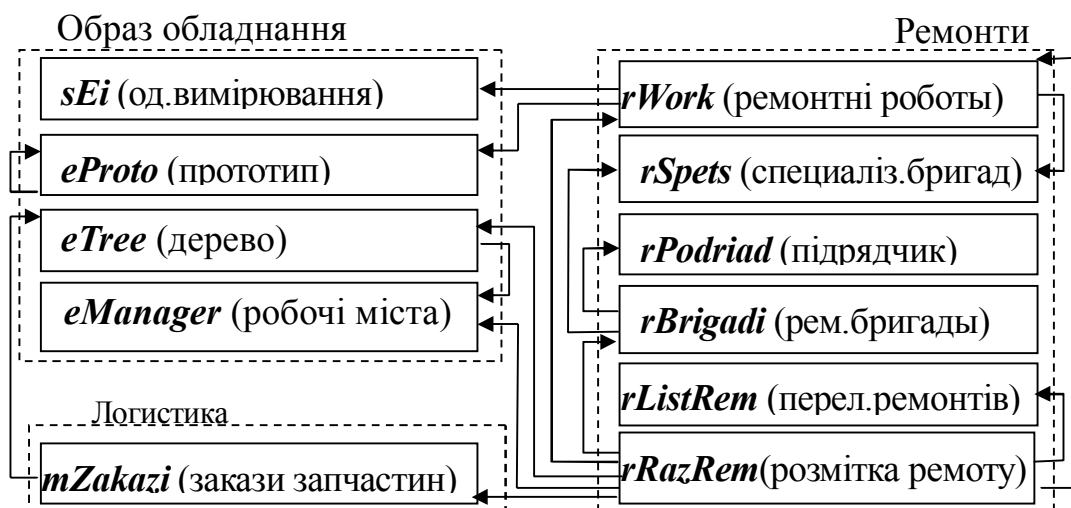


Рисунок 13. База даних розмітки ремонтів

ній можна виділити групи таблиць: Ремонти - включає дані, які безпосередньо характеризують зміст запланованого ремонту; Образ обладнання - містить дані про обладнання цеху; Логістика - надає дані про

матеріальні ресурси, необхідні для виконання ремонтних робіт.

Кожен ремонтний документ має власну структуру і використовує різні дані з розмітки ремонту. Для перетворення даних розмітки в процесі генерації змісту конкретного ремонтного документа використовується власний алгоритм. Наприклад, алгоритм формування відомості дефектів представлений чотирма блоками, орієнтованими на генерацію різних видів записів документа. Блок «Елемент дерева обладнання» формує записи, відповідні вузлам і машинам. Блок «Ремонтна робота» формує записи з найменуваннями ремонтних робіт, в яких вказуються необхідні трудові та часові ресурси. Блок «Запчастина» формує дані про матеріальні ресурси, що виготовляються за прикладним кресленнями. Блок «Матеріал» забезпечує формування даних про матеріальні ресурси, які замовляються за ДЕСТ, довідників та інше. Аналогічні алгоритми розроблено для формування кожного ремонтного документа.

Формалізоване подання даних про зміст запланованого ремонту у вигляді його розмітки використовується при генеруванні різних ремонтних документів, що знижує трудомісткість їх розробки.

**У шостому розділі** «Формалізація задач прогнозування потреби у матеріальних ресурсах, планування, моніторингу та управління їх рухом у комплексі логістики системи ТООР» розглядається сукупність питань логістики, спрямованих на забезпечення ремонтів матеріальними ресурсами. Синонімом терміна «Матеріальні ресурси» є термін «Товарно-матеріальні цінності» (ТМЦ), вживаному в логістичній системі ТООР металургійного підприємства. ТМЦ включають запасні частини і матеріали,

які використовуються при виконанні ремонту для заміни несправних деталей машин. Кожен ТМЦ має технічний ідентифікатор - номер креслення у разі запчастин або умовне позначення у разі матеріалу, який використовує ремонтний персонал, і бухгалтерський ідентифікатор - номенклатурний номер, який використовують економічні служби цеху і підприємства.

Класифікація ТМЦ, прийнята в системі ТОіР, виконана з різних напрямків. Наприклад, вид ТМЦ визначається підходом до формування та змісту документів на постачання і представлений запчастинами, що замовляються за кресленнями, і матеріалами, що заявляються за довідниками. За місцем установки розрізняють ТМЦ індивідуальні, для яких відомо місце установки в обладнанні і час використання в ремонті, та групові, для яких ці дані не відомі. По виду запасу виділяють ТМЦ, що розрізняються допустимим терміном зберігання на складі. Поточний запас має термін зберігання кілька місяців і призначений для звичайного забезпечення ремонтів індивідуальними та груповими ТМЦ. Незнижуваний запас і резервне обладнання мають необмежений термін зберігання і призначені для забезпечення ремонту у разі форс-мажорних ситуацій. По виду прогнозування потреби в ТМЦ, що має на меті визначення дат і обсягів закупівлі, виділяють прогнозування з дат відмови елементів обладнання, що застосовано як для індивідуальних, так і для групових ТМЦ, або з місячної статистики використання ТМЦ, що стосується тільки для групових ТМЦ. У тимчасовому розрізі виділяють прогноз споживання (річна заявка на матеріали та замовлення на запчастини) і заявку на постачання матеріалів або запчастин в рамках раніше виданого прогнозу. Розглянуті фактори дозволяють говорити про високу ступінь складності комплексу логістики в системі ТОіР металургійного цеху. Серед перерахованих завдань виділені деякі, за якими розроблені досконалі рішення.

Розрахунок незнижуваного запасу виконується з урахуванням структури комплексу обладнання і прогнозного ресурсу його елементів з виразу  $Z_N = U * K_y * D * K_d * t_z / \text{трес.н}$ , де  $U$  і  $K_y$  - кількість однотипних вузлів і їх коефіцієнт,  $D$  і  $K_d$  - кількість однотипних деталей у вузлі і їх коефіцієнт,  $t_z$  - термін поставки ТМЦ,  $\text{трес.н}$  - нормативний ресурс елемента устаткування.

Перелік резервного устаткування формується з машин кандидатів, визначених з урахуванням їх впливу на технологічний процес: не впливає; звужує сортамент продукції; призводить до зупинки процесу. По кожному кандидату знаходять значення фінансового критерію при варіантах матеріального забезпечення:  $F_{CD}$  - витрати при терміновій поставці ТМЦ;  $F_{CM}$  - витрати при терміновій поставці машини;  $F_{ZD}$  - витрати при використанні незнижуваного запасу;  $F_{ZM}$  - витрати при використанні резервного устаткування. У резервне обладнання зараховуються машини, що задовольняють умові  $F_{ZM} < (F_{CD}, F_{CM}, F_{ZD})$ .

Прогнозний залишок ТМЦ визначається для  $i=1..K$  місяців подальших від поточного місяця (пот.) з вираження  $O_i = O_{i-1} + P_i - R_i \geq Z_N$ , де  $O_{i-1}$  - прогнозний залишок ТМЦ в попередньому місяці;  $P_i$  - обсяг розміщеної заявки на поставку ТМЦ;  $R_i$  - стохастична прогнозна потреба ТМЦ на ремонті. Використовуючи дані прогнозних залишків, визначається обсяг заявки для чергового  $K+1$  місяці за розглянутим періодом  $P_{K+1} = R_{K+1} + Z_N - O_K$ . У таблиці 8 наведено прогноз залишку підшипника 6220 для чотирьох місяців ( $K=4$ ).



Таблиця 8  
Прогнозний залишок ТМЦ

Найменування ТМЦ	Місяць				
	тек.	1	2	3	4
Підшипник 6220	2	4	3	2	1

бою і значною мірою повторюються.

У блоці поставки ТМЦ виділені етапи руху (прогноз, постачання, коригування при виконанні поставки), документи яких розрізняються для матеріалів і запчастин, поточних і капітальних ремонтів (таблиця 9). Аналіз змісту документів і підходів до

Таблиця 9  
Найменування документів на поставку ТМЦ

Вид ТМЦ	Вид ремонту	Етапи постачання ТМЦ		
		прогноз	поставка	коригування
Матеріали	Поточний	Річна заявка	Місячна і поточна заявки	Коригувальна заявка
	Капітальний	Перелік матеріалів	Цільова заявка	Коригувальна - заявка
Запчастини	Текущий	Заказ на ЗЧ	Заявка на ЗЧ	
	Капітальний	Заказ на ЗЧ		

їх формування по етапах руху показав, що загальним випадком поставки ТМЦ можна вважати забезпечення матеріальними ресурсами поточних ремонтів. Враховуючи подібність да-

них, в таблицях розроблена єдина розмітка для перерахованих документів.

У блоці складського обліку ТМЦ формуються документи, що мають єдиний вид для запчастин і матеріалів, для поточних і капітальних ремонтів. Дані про рух ТМЦ по складу відображаються в документах (накладна, вимога, повернення з виробництва, списання), Аналіз змісту цих документів дозволяє сформулювати картку складського обліку та образ ТМЦ, що включає дані про їх наявність в системі ТОіР і характеризують можливість їх використання при обслуговуванні обладнання.

Аналіз змісту документів логістики привів до розробки окремих баз даних для блоків поставки ТМЦ та складського обліку, пов'язаних між собою. Для зниження трудомісткості формування документів логістики їх дані формуються у вигляді розміток, що мають різний вигляд в блоках поставки та складського обліку. На основі розмітки автоматично формуються необхідні документи

*У сьомому розділі «Підходи до вдосконалення функціональної та організаційної структур системи технічного обслуговування і ремонтів цеху металургійного підприємства на основі використання автоматизованого рішення її задач» розглядаються підходи до побудови структури ТОіР та оцінки її якості. Для оцінки якості*

Таблиця 10

**Групування показників якості у системі ТОіР**

Модулі предметної області	Показники якості обладнання	Показники якості вирішення задач
Експлуатаційна надійність (обладнання)	Продуктивність і коефіцієнт готовності, якість продукції.	—
Технології ремонтного впливу	Зазор, соосність валів, рівень вібрації.	Кваліфікація ремонтного персоналу, вартість ремонту
Система технічного менеджменту	—	Точність прогнозу дати відмови, витрати.

використовуються показники, що характеризують обладнання та результати вирішення завдань, які об'єднані в групи, наведені в таблиці 10.

Для комплексної оцінки системи ТО-

іР запропоновано інтегральний показник  $P$ , що характеризує систему ТОіР в цілому,

і елементарних, які дозволяють оцінити її сторони або окремі задачі. Сторони системи ТОіР відображають напрями її діяльності та включають: *O* - обладнання, що характеризує його ТС і можливість використання для реалізації технологічного процесу; *B* - ремонтні впливи, реалізовані для перевodu обладнання в працездатний стан; *B* - трудові ресурси, представлені ремонтними бригадами, що залучаються до виконання ремонтних впливів; *M* - система менеджменту, що забезпечує планування, підготовку та опис ремонту; *П* - готовність до ремонту, характеризує наявність запланованих ресурсів до початку ремонту; *Л* - система логістики, що реалізує рух матеріальних ресурсів; *Ф* - фінансова сторона, що характеризує ефективність використання фінансів.

Враховуючи відмінність у семантичній сутності показників якості сторін системи ТОіР, значення інтегрального показника визначається із суми нормованих відносних оцінок  $P = (O + B + B + M + П + Л + Ф) / 7$ . Для розгорнутої характеристики якості сторін системи ТОіР використовується три значення оцінки: максимальне значення  $P_M = 10$  у всіх сторін;  $P_\Phi$  - фактичне значення, досягнуте системою ТОіР на поточний момент часу;  $P_\Pi$  - планове значення, яке відповідає мети поставленій керівництвом підприємства. Підсумовування значень цих показників за видами оцінки дозволяє отримати три оцінки показника якості системи ТОіР в цілому, візуальне подання може мати вигляд пелюсткової діаграми (рисунок 14).

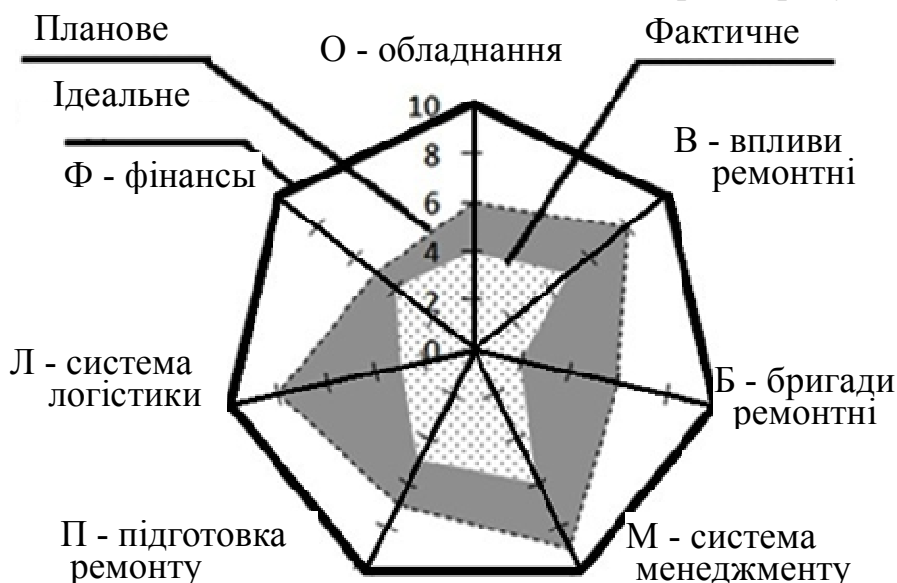


Рисунок 14. Пелюсткова діаграма якості системи ТОіР

Використовуючи значення показника якості системи ТОіР, можна оцінити результати її розвитку: ступінь досягнення мети, поставленої керівництвом  $S_{Ц} = P_\Phi / P_\Pi$ ; ступінь досконалості  $S_C = P_\Phi / P_M$ . Використовуючи значення показників для сторін системи ТОіР, можна визначити ступінь досягнення мети по кожній з них. Наприклад, для показника, що характеризує якість системи менеджменту, маємо  $S_{МЦ} = M_\Phi / M_\Pi$ . Визначивши таку ступінь по всіх сторонах, можна знайти сторону, якій відповідає мінімальне значення і яку можна вважати «вузьким» місцем системи ТОіР.

Для показників якості сторін системи ТОіР, використовуваних на діаграмі, можлива декомпозиція. Результатом декомпозиції є пелюсткова діаграма нижнього рівня, представлена набором приватних показників обраної сторони. Кількість таких декомпозицій може бути довільною. При цьому пелюстковій діаграмі можна ставити у відповідність обладнання, підрозділам або представникам системи ТОіР. На нижньому рівні декомпозиції розміщені елементарні показники, що характеризують результат вирішення конкретної задачі. Середнє значення від суми нормованих елементарних показників одного рівня приймається зведеним показником рівня.

В якості елементарного показника, наприклад, розглянуто питому вартість експлуатації обладнання  $S_{\Sigma} = (1 + K_E) * (D + B + \Pi) / t_{PEC}$  де  $D$  - вартість запасної частини, використовуваної під час ремонтного впливу;  $B$  - витрати на ремонтну бригаду, яка виконує заміну деталі;  $\Pi$  - вартість прогнозування дати відмови;  $t_{PEC}$  - прогнозний (гамма - відсотковий) ресурс деталі, що визначається з урахуванням заданої ВБР;  $K_E$  - коефіцієнт економічних втрат від простою обладнання в ремонті, що припадають на деталь. Значення цих показників визначаються з урахуванням заданого значення ВБР. Наприклад, у разі витрат на запасну частину  $D = D_{II} [ВБР + A_D (1 - ВБР)]$ , де  $D_{II}$  - вартість виготовлення запасної частини;  $A_D$  - коефіцієнт збільшення вартості запасної частини (витрат на виготовлення) у разі аварійного ремонту.

Таблиця 11

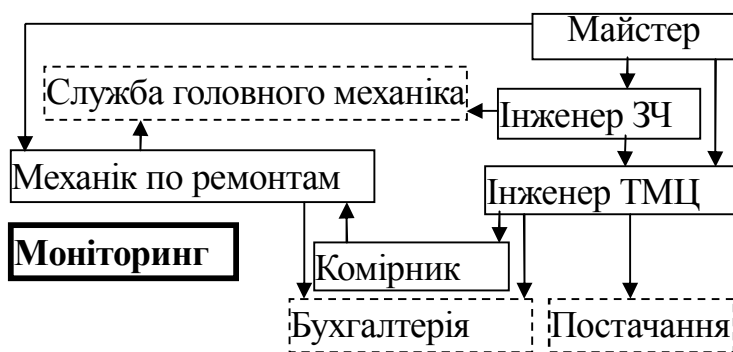
## Питома вартість експлуатації деталі

Вид моделі	$t_M$ , год.	$t_D$ , год.	$t_{\Pi}$ , год.	$N$	$K_{IP}$	$\Pi$ , грн.	$D_{II}$ , грн. (детали)			
							1	10	100	1000
Ресурсна	0	0	0,1	1	0,51	1	<b>0,071</b>	0,125	0,661	6,028
Міцнісна	1,3	0	0,1	1	0,8	14	0,090	<b>0,124</b>	0,466	3,887
Діагностична	1,1	0,2	0,1	8	0,95	35	0,136	0,165	<b>0,453</b>	<b>3,334</b>

Критерій  $S_{\Sigma}$  може бути використаний при виборі виду прогнозної моделі для деталей з різною вартістю (таблиця 11). Підкреслені значення

показують, що ресурсні моделі ефективні в разі деталей з низькою вартістю, діагностичні - у разі дорогих деталей.

Функціонування системи ТОіР передбачає, що кожному представнику її персоналу відповідає робоче місце, в рамках якого реалізується деякий набір завдань. Сукупність робочих місць і зв'язків між ними складають схему робочих місць (рисунок 15).



На схемі показані робочі місця зі штрихованою рамкою, які входять до підрозділів підприємства, афілірованих до системи ТОіР цеху. Кожному робочому місцю ставиться у відповідність власний набір задач, що вирішуються у строки та обсягах, які визначаються бізнес-процесами, які реалізуються. Найбільша кількість робочих місць належить

Рисунок 15. Схема робочих місць системи ТОіР

плановикам (механік з ремонтів, інженер ЗЧ, інженер ТМЦ, комірник), що визначається різноманітністю вирішуваних завдань. Кожен майстер має доступ до даних та документів, що характеризує обладнання яке входить у зону його відповідальності.



Рисунок 16. Підпорядкованість персоналу

Для делегування керівнику прав його підлеглому на доступ до даних по обладнанню та документів застосовується деревоподібна структура підпорядкованості персоналу (рисунок 16). Використання наведеної структури забезпечує реалізацію формалізованого підходу до визначення прав керівника на доступ до

даних системи ТОіР як суми прав його підлеглих. Крім цього, при делегуванні прав враховується вид служби (механоремонтна, електроремонтна) і вид обладнання (механічне, гідравлічне, енергетичне).

У восьмому розділі «Промислова реалізація автоматизованої системи технічного обслуговування і ремонтів механічного устаткування металургійного цеху» показано використання результатів дисертаційної роботи у вигляді: концепт - проекту автоматизації ремонтної служби цеху, застосовуваного незалежно від виду використовуваного програмно - технічного комплексу; підсистеми "Технічне обслуговування та ремонт" розробленої в науково - виробничому об'єднанні «Донікс»; групі навчальних курсів використовуються в навчальному процесі.

Автоматизована підсистема "Технічне обслуговування та ремонт", розроблена у науково - виробничому об'єднанні «Донікс» і впроваджена в ремонтній службі прокатного стану 390 цеху прокатного виробництва ЗАТ «Макиївський металургійний завод». Вона представлена локальною інформаційно-обчислювальною мережею автоматизованих робочих місць (АРМ) із загальним сервером баз даних, що забезпечує зберігання всіх даних системи. Запроваджена система включає 8 АРМів, починаючи від начальника цеху і закінчуючи майстрами - механіками, сформованих на основі єдиної програми. Програмна реалізація АРМів, має єдиний набір режимів роботи, наведених в меню клієнтської частини. Дані про обладнання представлені його образом (рисунок 17.а) і розміткою історії ремонтів (рисунок 17.б).

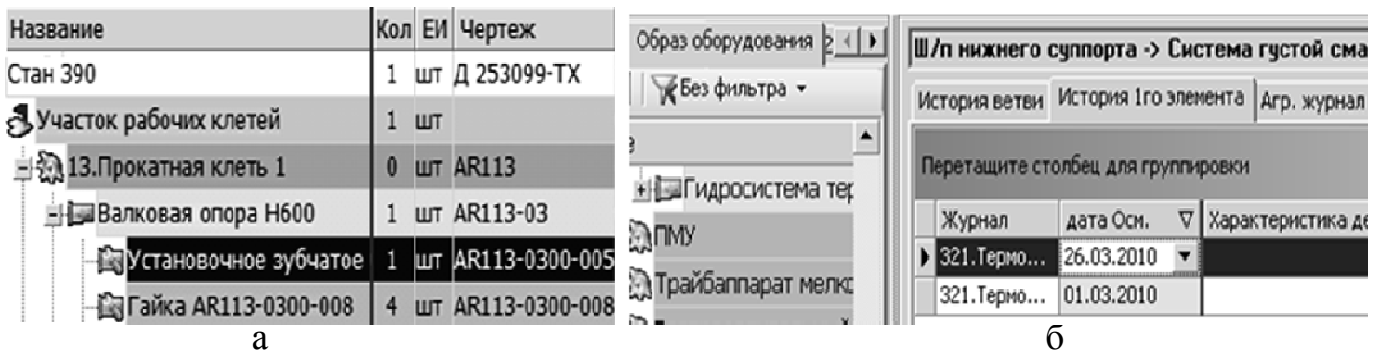


Рисунок 17. Дані про обладнання:  
а) образ обладнання; б) розмітка історії ремонтних впливів

Дані про заплановані в системі ТОіР ремонтні впливи і потреби в матеріальних ресурсах представлені спеціальними розмітками (рисунок 18).

Название	пОбъем	ЕМ	Описание	Бригада	пСмена
Печной участок	2	шт			
2.Подводящий рольганг	1	шт			
Ролик 2й	1	шт			
Ремонт ролика	1	кг	4сл	спес №91 (ЦРКС) 1	
Шарикоподшипник ..	4	шт			

Номер ...	Прототип	Чертеж	Кол-во
Изготовить			
1	Набивка для высокого давл...	PRFL.1799-...	1,00
Изготовить и собрать			
1	Ролик ПН	AR002-01	1,00
1	Корпус подшипника AR011-01...	AR011-010...	2,00

Рисунок 18. Формалізоване представлення плану у системі ТОіР:  
а) розмітка (план) ремонту; б) розмітка (план) заявки на виготовлення запчастин

Використання автоматизованої підсистеми "Технічне обслуговування та ремонт" в умовах ремонтної служби прокатного стана 390 в цеху прокатного виробництва ЗАТ «Макіївський металургійний завод» забезпечило отримання підтвердженого технічного ефекту за рахунок зниження:

- трудомісткості формування та обробки даних на 0,8 чол / рік;
- обсягу використання матеріальних ресурсів на 3,1 тону / рік;
- трудомісткості ремонтів на 2561 чол \* год / рік.

Це дозволило визначити реалізований економічний ефект від використання АС РСЦ у продовж 19 місяців експлуатації, який склав 1 433,95 тис. грн.

Результати досліджень застосовувалися при побудові модуля РМ (ТОРО) автоматизованої системи ERP ЗАТ "ММЗ" Істіл (Україна), впровадженого в 5 цехах, що дозволило отримати реалізований річний економічний ефект у сумі 833 780 тис.грн.

Концепт - проект побудови автоматизованої системи ТОіР прийнятий до використання при автоматизації ремонтної служби двох цехів металургійного заводу ЗАТ «Донецьксталь» - МЗ » та ремонтної служби 15 цехів групою компаній« АСКОН», що дозволить отримати очікуваний економічний ефект 1032, 7тис.грн. та 5 332,39 тис. грн. відповідно.

На основі результатів дослідження завдань і принципів побудови системи ТОіР металургійного підприємства написаний і опублікований підручник «Організація, управління та автоматизація ремонтної служби». Він використовується в навчальному процесі кафедри "Механічне обладнання заводів чорної металургії" в ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» при читанні курсів: «Менеджмент в ремонтному виробництві»; «Ремонтна документація»; «Автоматизація ремонтного виробництва»; «Системи обслуговування обладнання». За матеріалами курсу «Ремонтна документація» виконується курсова робота «Автоматизована розробка ремонтної документації» з використанням локальної комп'ютерної мережі на основі демонстраційної версії АРМів, розроблених у НВО «ДОНІКС».

## ВИСНОВКИ

*У дисертації вирішена важлива науково-технічна проблема розвитку наукових основ побудови системи технічного обслуговування і ремонтів металургійних цехів на базі розроблених моделей: опису обладнання та історії ремонтних впливів, планування ремонтів та підготовки ремонтної документації, прогнозування потреби в матеріальних ресурсах, моніторингу та управління їх рухом, а також створення методів і комп'ютерної програми автоматизованих розрахунків і на цій основі вдосконалення системи технічного обслуговування і ремонтів механічного обладнання металургійних цехів.*

**1.** Аналіз літературних джерел показав, що одним з напрямків підвищення ефективності системи ТОіР механічного устаткування металургійного цеху є більш повне використання ресурсу деталей, що призводить до зниження потреби в матеріальних, трудових та інших ресурсах, необхідних для підтримки обладнання в працездатному стані. Реалізація цього напрямку також вимагає підвищення деталізації опису ремонтів при їх планування, що призводить до зростання трудомісткості рішення.

Встановлено напрямок зниження трудомісткості вирішення задач шляхом їх автоматизації. Традиційний підхід до автоматизації передбачає використання методів, прийнятих при «ручному» рішенні, в рамках незмінною структури системи ТОiP. Побудова ефективної системи ТОiP вимагає коректування її організаційної структури та використання вдосконалених методів автоматизованого вирішення задач.

2. Запропоновано застосування виду вихідних даних у якості класифікаційної ознаки прогнозних моделей: ресурсні - використовують статистику ремонтів; експертні - використовують експертні оцінки ресурсів деталі; міцнісні - використовують виробничу програму та характеристики міцності деталі; діагностичні - використовують результати діагностування. Використання виду вихідних даних забезпечує однозначне визначення виду прогнозної моделі та математичного апарату її параметризації частини.

3. Встановлено, що будь-яка прогнозна модель визначення стохастичною дати відмови  $T_{OTK}$  деталі механічного обладнання металургійних цехів має єдину прогнозуючу частину  $T_{OTK} = T_y + t_{OCT}$ , де  $t_{OCT} = f(Z, PM, PF, ВБР)$ . Її параметрами є:  $T_y$  - термін початку попередження прогнозу;  $t_{OCT}$  - залишковий ресурс деталі;  $Z$  - вид закону розподілу залишкового ресурсу деталі;  $PM, PF$  - параметри масштабу і форми закону розподілу;  $ВБР$  - задана вірогідність безвідмовної роботи. Структура і математичний апарат параметризованої частини прогнозної моделі визначається видом первинних даних, які прийняті класифікаційною ознакою: експертні оцінки ресурсів; статистика ремонтів; результати діагностування, виробничі програми та характеристики міцності деталі. За інших рівних умов вони забезпечують різну ступінь використання ресурсу деталі  $K_{ИР}$ . Наприклад, для розглянутого вкладиша отримано  $K_{ИР}$ : 0,92 - діагностичної моделі; 0,47 - ресурсної; 0,37 - експертною. Виділення прогнозуючої частини забезпечує використання єдиного математичного апарату при прогнозуванні дати відмови незалежно від виду вихідних даних, який впливає на точність прогнозування.

4. Розвиток методологічного підходу до формалізованого поданням даних про обладнання, призвело до їх об'єднання в образ обладнання. Його складовими частинами є: п'ятирівневе дерево обладнання, що відбиває його структуру; статична сторона, яка формується на підставі даних креслень; динамічна сторона, представлена параметрами до прогнозування стохастичною дати відмови; економічна сторона, що характеризує елемент обладнання як частина основних фондів підприємства; паспорт, що містить дані необхідні для вибору подібного елемента устаткування. Використання образу обладнання забезпечує єдиний результат при описі обладнання будь-яким представником системи ТОiP, що знижує трудомісткість пошуку необхідних даних при формуванні ремонтної документації.

5. Розроблено формалізоване представлення розгорнутого змісту ремонту, що має вигляд 5-ти рівневої деревовидної розмітки ремонту. У ній виділені: три верхніх рівні що вказують місце в обладнанні, де буде виконуватися ремонтна робота; четвертий - характеризує зміст ремонтної роботи, необхідні трудові та часові ресурси; п'ятий - необхідні матеріальні ресурси. На основі розмітки здійснюється автоматичне генерування ремонтного документа (відомість дефектів, ремонтна відомість, перелік матеріалів тощо), обраного користувачем. Додатково розмітка ремонту використовується при формалізованому моніторингу ходу підготовки або виконання ремонту, що забезпечує його якісне виконання. Аналогічний підхід, на основі власної розмітки,

використаний при формуванні документів агрегатного журналу, заявки матеріальних ресурсів та їх складського обліку. Використання розмітки та автоматизованого генерування документів з її даних забезпечує зниження трудомісткості формування ремонтної документації.

**6.** Запропоновано рішення до визначення обсягу незнижуваного запасу матеріального ресурсу  $Z_N$  у разі нового обладнання, що забезпечує врахування: структури комплексу обладнання; ресурсу його елементів; терміну поставки матеріального ресурсу. Наприклад, у разі розглянутих роликів рольгангів, що включають 264 шарико-підшипника  $6220 Z_N = 2шт$ . Значення  $Z_N$  використовується при формуванні переліку резервного обладнання для важливих машин цеху, по кожній з яких розраховується ряд фінансових показників. Вони визначаються джерелом матеріальних ресурсів для ремонту, відображають витрати і представлені показниками:  $F_{CM}$  - у разі термінової поставки машини;  $F_{CD}$  - при терміновій поставці базових деталей;  $F_{ЦД}$  - якщо використовується цеховий незнижуваний запас  $Z_N$ ;  $F_{ЦМ}$  - в разі використання цехового резервного устаткування. При виконанні умови  $F_{ЦМ} < (F_{CM}, F_{CD}, F_{ЦД})$  розглянута машина включається до переліку резервного устаткування. Запропонований підхід забезпечує обґрунтоване формування обсягу незнижуваного запасу та переліку резервного устаткування.

**7.** Розроблено метод прогнозування наявності (залишків) матеріальних ресурсів  $O_i = O_{i-1} + P_i - R_i \geq Z_N$  в поточному місяці  $i=0$  і в  $m$  наступних на періоді попередження прогнозу  $i=0..m$ , який досягає 4х і більше місяців. Параметри моделі до визначення  $O_i$  включають: прогнозу потребу матеріального ресурсу  $R_i$  на ремонті обладнання; залишки  $O_{i-1}$  на складах у попередньому місяці; заявлені обсяги поставки  $P_i$ . Ця модель додатково використовується для визначення обсягу заявки на постачання матеріального ресурсу в черговому  $i=m+1$  місяці  $P_i = R_i + Z_N - O_{i-1}$ . Використання методу забезпечує визначення науково - обґрунтованого обсягу потреби матеріальних ресурсів та їх своєчасну поставку до початку ремонтів. Наприклад, у разі розглянутого прикладу розрахунковий обсяг місячної заявки склав  $P_i = 10 шт$  при обсязі незнижуваного запасу  $Z_N = 2 шт$ . Використання методу забезпечує визначення науково - обґрунтованого обсягу потреби матеріальних ресурсів та їх своєчасну поставку до початку ремонтів.

**8.** Запропонований показник питомої вартості експлуатації  $S_{\text{Э}}$  елемента обладнання враховує технічну характеристику, представлену прогнозними стохастичним ресурсом деталі  $t_{PEC}$ , і економічні, представлені вартістю:  $D$  - запасної частини;  $B$  - ремонтної бригади;  $\Pi$  - прогнозування дати відмови;  $K_E$  - питомих втрат підприємства від простою обладнання в ремонті. Значення показника визначається з моделі  $S_{\text{Э}} = (1 + K_E) * (D + B + \Pi) / t_{PEC}$  і може бути використано при обґрунтуванні оптимальної прогнозної моделі і  $ВВР$  елемента обладнання, виборі стратегії ремонтів та інше. Наприклад, за інших рівних умов для деталі вартістю 1000 грн. значення показника  $S_{\text{Э}}$  становить грн / добу: 6,0 - для ресурсної прогнозної моделі; 3,9 - для міцнісної; 3,3 - для діагностичної. Значення 3,3 грн/добу дозволяє обґрунтовано вибрати діагностичну прогнозну модель для визначення дати відмови деталі. Використання показника  $S_{\text{Э}}$  дозволяє отримати об'єктивну оцінку ефективності нових методів вирішення завдань системи ТОіР і обґрунтувати їх вибір.

**9.** Запропоновано інтегральний критерій  $P$  оцінки ефективності системи ТОіР, що включає комплексний облік значень відносних оцінок елементарних критеріїв що відображають технічні, економічні, трудові та інші сторони її функціонування. По кожному елементарному критерію наводяться значення: теоретично досягне  $P_M$ , яке приймається нормою; планове значення  $P_{П}$ , прийняте метою, поставленою керівництвом підприємства; фактичне значення  $P_{Ф}$ , досягнуте системою ТОіР на поточний момент часу. Графічне подання якості системи ТОіР реалізовано у вигляді пелюсткової діаграми, що включає три області її стану: ідеального; заданого керівництвом підприємства; існуючої в поточний момент часу. Використання критерію забезпечує отримання об'єктивної оцінки якості системи ТОіР. У наведеному прикладі ступінь досягнення мети, поставленої керівництвом склала  $S_{Ц} = P_{Ф} / P_{П} = 0,59$ , при цьому найгірше становище у використанні ремонтних бригад, де  $S_{ЦБ} = 0,33$ . Використання критерію забезпечує отримання об'єктивної оцінки якості системи ТОіР.

**10.** У максимальному обсязі результати даної роботи використані в науково - виробничому об'єднанні «ДОНІКС» при розробці та впровадженні на стані 390 Макіївського металургійного заводу автоматизованої системи ТОіР. До результатів також відносяться: модуль «Технічне обслуговування та ремонти обладнання (ТОРО)» у системі ERP mySAP, який використовується в 5ти цехах ЗАТ «ММЗ «Істіл (Україна)» та концепт проект автоматизованої системи ремонтної служби виробничого цеху металургійного підприємства, прийнятий до використання в: двох цехах ПрАТ «Донецьксталь» - металургійний завод «філія» Металургійний комплекс»; 15 цехах групою компаній «АСКОН». При автоматизації завдань автор розробляв методи їх вирішення і виконував апробацію.

У роботі отримано реалізований економічний ефект 2267,73 тис.грн. і очікуваний - 6363,09 тис.грн. які повністю належать автору. Ці ефекти отримані за рахунок зниження трудомісткості підготовки ремонтів, зменшення витрат матеріальних і трудових ресурсів на виконання ремонтів.

**11.** Результати досліджень використовуються в навчальному процесі ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» при навчанні студентів за фахом «Металургійне обладнання», для чого написаний підручник: Ченцов Н.А. Организация, управление и автоматизация ремонтной службы: Учебник. - /Под. ред. д-ра техн. наук, проф. В.Я. Седуша, Донецкий национальный технический университет. – Донецк: Норд - Прес – УНИТЕХ, 2007. – 258с. (Допущено МОН України, письмо №1.4/18Г-1301 от 01.12.2006). Матеріали підручника використовується при читанні курсів: «Менеджмент ремонтної служби»; «Ремонтна документація»; «Системи обслуговування обладнання», «Автоматизація ремонтної служби». У навчальному процесі виконується курсова робота «Автоматизована розробка ремонтної документації», що включає використання модулів «Образ устаткування» та «Планування ремонтів» автоматизованої системи ТОіР, наданої науково - виробничим об'єднанням «ДОНІКС».



## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

**Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації.**

1. Ченцов Н.А. Прогнозирование сроков ремонта с использованием данных диагностики / Н.А.Ченцов, В.Я.Седуш, С.А.Колочко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. - 1991. - № 4. - С. 71-74.
2. Принципы построения интегральной модели прогноза остаточного ресурса объекта / Н.А.Ченцов, В.Я.Седуш, С.А.Колочко, И.В.Кирютенко // *Известия вузов. Черная металлургия*, - 1991. - №9. - С. 71-75.
3. Ченцов Н.А. Прогнозирование сроков отказа металлургического оборудования / Н.А.Ченцов, В.Я.Седуш, Н.С.Ченцова // *Металлургическая и горнорудная*. -1994. - №3. - С. 75-77.
4. Сопилкин Г.В. Модели экспертно-диагностической системы технического обслуживания оборудования / Г.В.Сопилкин, Н.А.Ченцов, Е.В.Ошовская, //“*Прогрессивные технологии и системы машиностроения*“ Международный сб. научных трудов – Донецк: ДонГТУ, 1995. - Вып.№2. - С.73 - 82.
5. Разработка экспертной системы технической диагностики / Г.В.Сопилкин, Н.А.Ченцов, Е.В.Ошовская, // *Сборник трудов 2 съезда Магдебургских машиностроителей* - Магдебург, 1995г. - ч.2. - №29. – С.1-2.
6. Принципы построения экспертной системы обслуживания оборудования / Г.В.Сопилкин, Н.А.Ченцов, В.А.Сидоров, Е.В.Ошовская, //“*Прогрессивные технологии и системы машиностроения*“ Международный сб. научных трудов – Донецк: ДонГТУ, 1996. - Вып.№3. - С.125-135.
7. Ченцов Н.А. Модели планирования и организации диагностических работ / Н.А.Ченцов // *Сталь*. – 1996. - № 3. – С.125-135.
8. Сопилкин Г.В. Совершенствование системы технического обслуживания металлургического предприятия / Г.В.Сопилкин, Н.А.Ченцов, В.Я.Седуш, Е.В.Ошовская, Н.Л.Чекунова // *Металл и литье Украины*. - 1997. - №5. - С.28-30.
9. Ченцов Н.А. Оценка состояния трубопроводов промышленных предприятий с использованием средств технической диагностики / Н.А.Ченцов, В.А.Сидоров //“*Прогрессивные технологии и системы машиностроения*“ Международный сб. научных трудов – Донецк: ДонГТУ, 1997. - Вып.№ 4. - С.155-159.
10. Ченцов Н.А. Моделирование изменения технического состояния деталей механического оборудования / Н.А.Ченцов, В.Н.Ручко //“*Прогрессивные технологии и системы машиностроения*“ Международный сб. научных трудов – Донецк: ДонГТУ, 1998. - Вып.№ 5. - С. 218-221.
11. Ченцов Н.А. Загальний вид моделі прогнозування терміну відмови деталей машин на стадії експлуатації / Н.А.Ченцов, В.Н.Ручко //“*Прогрессивные технологии и системы машиностроения*“ Международный сб. научных трудов – Донецк: ДонГТУ, 1998. - Вып.№ 5. - С. 221 - 224.
12. Ченцов Н.А. Оценка состояния механической системы по току двигателя / Н.А.Ченцов, В.А.Сидоров, Н.В.Дорофейская //“*Прогрессивные технологии и системы машиностроения*“ Международный сб. научных трудов – Донецк: ДонГТУ, 1998. - Вып.№ 5. - С. 224 - 227.

13. Ченцов Н.А. Критерии качества в ремонтной службе / Н.А.Ченцов, В.Н.Ручко, С.Л.Сулейманов //“Прогрессивные технологии и системы машиностроения“ Международный сб. научных трудов – Донецк: ДонГТУ, 1998г. Вып.№ 5. - С. 227 - 231.
14. Ченцов Н.А. Задачи и структура ремонтной службы металлургического предприятия / Н.А.Ченцов // “Защита металлургических машин от поломок“ Межвузовский тематический сб. научных трудов – Мариуполь: ПГТУ, 1998. - Вып.№ 3.-С.7-14.
15. Ченцов Н.А. Оценка использованной части ресурса деталей металлургического оборудования по усталостной прочности / Н.А.Ченцов, В.Н.Ручко // “Защита металлургических машин от поломок“ Межвузовский тематический сб. научных трудов – Мариуполь: ПГТУ, 1998. - Вып.№ 3. - С. 47-50.
16. Выбор диагностических параметров механизма длительного режима работы / Н.А.Ченцов, В.А.Сидоров, С.И.Аввакумов, Н.В.Дорофейская // “Защита металлургических машин от поломок“ Межвузовский тематический сб. научных трудов – Мариуполь: ПГТУ, 1998. - Вып.№ 3. - С. 51-54.
17. Седуш В.Я. Прогнозирование сроков отказа детали с учетом производственной программы металлургического предприятия / В.Я.Седуш, Н.А.Ченцов, В.Н.Ручко // Теория и практика металлургии. - 1998. - №3. - С.51-54.
18. Ченцов Н.А. Оценка модели прогнозирования отказов оборудования / Н.А.Ченцов // Сталь. - 1998. - № 3. – С.70-72.
19. Ченцов Н.А. Параметризація статистичної моделі до прогнозування дат відмов деталей металургійного обладнання / Н.А.Ченцов, В.Н.Ручко //Металлургическая и горнорудная промышленность. - 1999. - №1. - С.69- 72.
20. Ченцов Н.А. Использование данных диагностики при прогнозировании срока отказа деталей металлургического оборудования / Н.А.Ченцов, С.Л.Сулейманов, В.Н.Ручко //“Прогрессивные технологии и системы машиностроения“ Международный сб. научных трудов – Донецк: ДонГТУ, 1999. - Вып.№ 7. – С.121 - 124.
21. Ченцов Н.А. Использование модели роста для аппроксимации функции скорости износа деталей механического оборудования / Н.А.Ченцов, С.Л.Сулейманов, В.Н.Ручко //“Прогрессивные технологии и системы машиностроения“ Международный сб. научных трудов – Донецк: ДонГТУ, 1999. - Вып.№ 7. – С.124 - 127.
22. Ченцов Н.А. Объект ремонтной службы металлургического предприятия / Н.А.Ченцов //Металлургическая и горнорудная промышленность. - 1999. - №12. - С. 73-75 .
23. Ченцов Н.А. Компоненты системы технического обслуживания металлургического оборудования / Н.А.Ченцов, В.Н.Ручко, С.Л.Сулейманов// “Защита металлургических машин от поломок“ Межвузовский тематический сб. научных трудов – Мариуполь: ПГТУ, 2000. - Вып.№ 5. – С.20-26.
24. Ченцов Н.А. Эмулятор эксплуатируемой детали / Н.А.Ченцов, В.Н.Ручко, С.Л.Сулейманов //“Прогрессивные технологии и системы машиностроения“ Международный сб. научн. трудов – Донецк: ДонГТУ, 2000.- Вып. № 10.– С.257-263.
25. Ченцов Н.А. Менеджмент ремонтной службы производственного цеха / Н.А.Ченцов, А.Р.Дойнов, В.Я.Седуш//“Прогрессивные технологии и системы машиностроения“ - Международный сб. научных трудов – Донецк: ДонГТУ, 2001. - Вып.№ 18. – С.262-266.

26. Ченцов Н.А. Планирование сроков и объемов заказа запасных частей / Н.А.Ченцов, С.Л.Сулейманов, Е.А.Пашенко //“Прогрессивные технологии и системы машиностроения“ Международный сб. научных трудов – Донецк: ДонГТУ, 2002. - Вып.№19. – С.75-79.
27. Ченцов Н.А. Автоматизация ремонтов оборудования производственного цеха / Н.А.Ченцов, В.Я.Седуш, С.Л.Сулейманов //Металлургическая и горнорудная. - 2002. - №2. - С. 77-80
28. Ченцов Н.А. Автоматизация разработки ремонтной документации / Н.А.Ченцов // Сталь. -2002. - № 1. – С.65-68.
29. Ченцов Н.А. Техническое состояние подшипников качения и виды изнашивания / Н.А.Ченцов, В.А. Сидоров, С.В.Проскуряков // “Защита металлургических машин от поломок“ Межвузовский тематический сб. научных трудов – Мариуполь: ПГТ, 2003. - Вып.№ 7. – С.28-32.
30. Ченцов Н.А. Анализ и развитие математических методов решения задачи обеспечения надежности металлургического оборудования при его проектировании и эксплуатации / Н.А.Ченцов, В.Н. Ручко // Сборник научных трудов НГУ – Днепропетровск: НГУ, – 2004. - Вып. № 19. - Т.5. - С. 47–54.
31. Ручко В.Н. Особенности приведения нагрузок к деталям металлургического оборудования при моделировании их повреждений / В.Н.Ручко, Н.А.Ченцов // “Защита металлургических машин от поломок“ Сборник научных трудов – Мариуполь: - 2005. - №8.- С. 8 - 12 .
32. Ченцов Н.А. Система запчастей Донецкого металлургического завода / Н.А.Ченцов, В.И.Бобровицкий // Сталь. - 2006. - № 4. – С.73-76.
33. Ченцов Н.А. Прогнозирование срока отказа механического оборудования / Н.А.Ченцов, В.А. Сидоров // Сталь. -2006. - № 1. – С.62-64.
34. Ченцов Н.А. Планирование материалов для текущих и внезапных ремонтов / Н.А.Ченцов // Сталь. -2006. - № 1. – С.62-65.
35. Ченцов Н.А. Прогнозирование срока отказа металлургического оборудования / Н.А.Ченцов // Металлургические процессы и оборудование. -2007. - № 4. – С.39-43.
36. Ченцов Н.А. Вопросы автоматизации ремонтной службы / Н.А.Ченцов // Металлургические процессы и оборудование. -2007. - № 4. – С.39-43.
37. Ченцов Н.А. Планирование и подготовка ремонтов / Н.А.Ченцов, В.И.Бобровицкий // Металлургические процессы и оборудование. -2009. - № 1. – С.48-57.
38. Ченцов Н.А. Прочностная прогнозная модель / Н.А.Ченцов, С.Л.Сулейманов // Металлургические процессы и оборудование. -2009. - № 2. – С.39-43.
39. Ченцов Н.А. Планирование материалов для текущих и капитальных ремонтов / Н.А.Ченцов // Сталь. -2011. - № 1. – С.62-65.
40. Ченцов Н.А. Модули автоматизированной системы ремонтной службы цеха металлургического предприятия / Н.А.Ченцов, В.И.Бобровицкий // Металлургическая и горнорудная промышленность. -2011. - № 3. – С.110-114.
41. Ченцов Н.А. Формализация разработки ремонтной документации / Н.А.Ченцов // Металлургические процессы и оборудование. -2011. - № 3. – С.40-45.
42. Ченцов Н.А. Место диагностики в стратегиях ремонтов механического оборудования / Н.А.Ченцов, В.А. Сидоров // Техническое обслуживание и ремонт. -2011.- № 2. С.10-17.

43. Ченцов Н.А. Образ оборудования в ремонтной службе цеха / Н.А.Ченцов // Сталь. -2011. - № 9. – С.49-51.

44. Кравченко В.М. Оценка экономической эффективности ремонтов на основе данных диагностики / В.М.Кравченко, Н.А.Ченцов, В.А. Сидоров // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Економічні науки. Вип. 21 2011р. С. 142- 149.

45. Ченцов Н.А. Агрегатный журнал металлургического оборудования / Н.А.Ченцов, И.М.Фонотов. А.М.Мезга // Сталь - 2012. - № 6. - С. 48-52.

46. Ченцов Н.А. Использование стратегий обслуживания оборудования в бизнес – процессе подготовки ремонта / Н.А.Ченцов, А.А.Бургард // Главный механик. - 2013. - № 1. – С.45-54.

**Опубликованные работы, которые дополнительно отражают научные результаты диссертации.**

47. Ченцов Н.А. Классификация задач автоматизированной системы «Ремонт» / Н.А.Ченцов, С.П.Еронец, Н.С.Ченцова // “Новые технологии и системы обработки в машиностроении. Тезисы докладов научно-технической конференции. 20-23 сентября 1994г.-Донецк: ДонГТУ. - 1994. - С.134- 135.

48. Система прогнозирования сроков отказа деталей механического оборудования / В.Я.Седуш, Н.А.Ченцов, В.Н.Ручко, С.Л.Сулейманов // Оценка и обоснование продления ресурса элементов конструкций: Тез.докл. международной конференции «Оценка и обоснование продления ресурса элементов конструкций2 / Отв.ред. В.Т.Троценко: В 2 т. – Киев, 2000. - Т.1. - С. 203-205.

49. Ручко В.Н. Использование модели оценки меры повреждения деталей металлургического Использование модели оценки меры повреждения / В.Н.Ручко, Н.А.Ченцов // Материалы II-й Международной научно-технической конференции "Вибрация машин: Измерение, снижение, защита", 25-26 мая 2004 года. - Донецк: ДонНТУ, - 2004. – С. 128 – 134.

50. Ручко В.Н. Математическое моделирование, как способ оценки меры повреждения деталей прокатного оборудования, и метод решения задач планирования в ремонтной службе / В.Н.Ручко, Н.А.Ченцов // Материалы 6-й Международной практической конференции-выставки "Технология ремонта, восстановления, упрочнения и обновления машин, механизмов, оборудования и металлоконструкций", 13-16 апреля 2004 г. - Санкт-Петербург: Из-во СПбГПУ, 2004. – С. 552 – 559.

**Особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих у співавторстві:**

[1, 2, 4-6, 11] - узагальнено досвід прогнозування дат відмови деталей обладнання та виділено компоненти прогнозної моделі; [3, 15, 17, 19, 21, 30, 37, 38] - розроблено структуру прогнозної моделі та математичний апарат її параметризації на основі первинних даних; [10, 24, 50] - розроблено математичний апарат моделювання зміни технічного стану деталі; [9, 12, 16, 20, 29, 31, 45] - розроблено подання первинних даних для моделі прогнозування дат відмови деталей обладнання; [8, 23] - розроблено представлення структури системи ТОіР; [ 25, 37, 42, 46, 48] - показані структура і задачі менеджменту в системі ТОіР; [26, 32] - розроблено математичний апарат до планування дат та обсягів матеріального забезпечення; [ 27, 40, 47] - виконано опис структури і компонентів автоматизованої системи ТОіР; [13, 44] - розроблено математичний апарат до визначення критерію якості в системі ТОіР.

## АНОТАЦІЯ

**Ченцов М.О. Розвиток наукових основ і реалізація принципів побудови системи технічного обслуговування і ремонтів механічного устаткування металургійного цеху. - На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.08 Машини для металургійного виробництва. - Державний вищий навчальний заклад "Донецький національний технічний університет", Донецьк, 2013.

У дисертації розв'язана важлива науково-технічна проблема розвитку наукових основ побудови системи технічного обслуговування і ремонтів металургійних цехів на базі розроблених моделей: опису обладнання та історії ремонтних впливів, планування ремонтів та підготовки ремонтної документації, прогнозування потреби в матеріальних ресурсах, моніторингу та управління їх рухом, а також створення методів і комп'ютерної програми автоматизованих розрахунків і на цій основі удосконалення системи технічного обслуговування і ремонтів металургійних цехів.

Результати досліджень покладено в основу автоматизованих систем технічного обслуговування та ремонтів, прийнятих до використання в 23 цехах металургійних підприємств. Вони вивчаються студентами спеціальності «Металургійне обладнання» в рамках 4х курсів і виконанні курсової роботи «Автоматизована розробка ремонтної документації».

**Ключові слова:** опис устаткування, прогноз відмов, підготовка та історія ремонтів, логістика запчастин, автоматизація та якість системи ТОiP.

## АННОТАЦИЯ

**Ченцов Н.А. Развитие научных основ и совершенствование системы технического обслуживания и ремонтов механического оборудования металлургических цехов. - На правах рукописи.**

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.05.08 Машини для металлургического производства. - Государственное высшее учебное заведение "Донецкий национальный технический университет", Донецк, 2013.

В диссертации решена важная научно-техническая проблема развития научных основ построения системы технического обслуживания и ремонтов металлургических цехов на базе разработанных моделей: описания оборудования и истории ремонтных воздействий, планирование ремонтов и подготовки ремонтной документации, прогнозирования потребности в материальных ресурсах, мониторинга и управления их движением, а также создания методов и компьютерной программы автоматизированных расчетов и на этой основе совершенствования системы технического обслуживания и ремонтов механического оборудования металлургических цехов.

Впервые введена и научно обоснована структура прогнозной модели для определения стохастической даты отказа детали, включающая параметризующую и прогнозирующую части. Единая прогнозирующая часть включает дату начала упреждения прогноза и стохастическую оценку остаточного ресурса детали. Исходные данные к параметризации (экспертные оценки, статистика ремонтов, результаты диагностирования, производственная программа и прочностные характеристики дета-

ли) определяются видом прогнозной модели: экспертной; ресурсной; диагностической; прочностной.

Впервые введено и научно обосновано представление совокупности данных об оборудовании, используемых при формировании ремонтной документации, виде образа оборудования. Его составными частями являются: пятиуровневое дерево оборудования, отражающее его структуру; статическая сторона, формируемая на основании данных; динамическая сторона, представленная параметрами модели прогнозирования даты; экономическая сторона, характеризующая элемент оборудования как часть основных фондов предприятия; паспорт.

Впервые введено и научно обосновано формализованное представление совокупности данных, характеризующих развернутое содержание запланированного ремонта, реализованное в виде 5-ти уровневой древовидной разметки ремонта. Три верхних уровня указывают место ремонтной работы, четвертый - характеризует ремонтную работу, пятый – необходимые материальные ресурсы. На основе разметки осуществляется автоматическое генерирование ремонтного документа, указанного пользователем (ведомость дефектов, ремонтная ведомость, перечень материалов и другое). Дополнительно разметка ремонта используется при мониторинге и управлении ходом подготовки и выполнения ремонтов.

Предложена усовершенствованная модель определения объема неснижаемого запаса материального ресурса учитывающая структуру комплекса оборудования, ресурс его элементов; сроки поставки. Данные о неснижаемом запасе используются при определении перечня резервного оборудования, как альтернативном источнике материальных ресурсов для ремонта.

Впервые введена и научно обоснована структура модели прогнозирования остатков материального ресурса в системе ТОиР на  $m$  месяцев упреждения от текущего месяца. Для заданного месяца на периоде упреждения по указанному материальному ресурсу она учитывает такие факторы, как: потребность на обслуживание оборудования; остатки на складах в предыдущем месяце; заявленные объемы поставки. Эта модель также используется для определения объема заявки на поставку материального ресурса в очередном месяце.

Разработан частный показатель удельной стоимости эксплуатации элемента оборудования, учитывающий: прогнозный стохастический ресурс детали; потери производства от простоя оборудования в ремонте; стоимость ресурсов и затраты на прогнозирование даты отказа. Этот показатель используется при обосновании оптимальной прогнозной модели, оценке системы ТОиР и другое.

Впервые введен и научно обоснован интегральный критерий оценки эффективности системы ТОиР определяемый как сумма относительных значений частных критериев, отражающих: использование ресурса оборудования; качество ремонтных воздействий; квалификацию ремонтных бригад и другое. По каждому частному критерию указываются значения: нормы; плана; фактическое. Графическое представление качества системы ТОиР реализовано в виде лепестковой диаграммы, на которой выделены области системы: идеальной; заданной руководством предприятия; существующей в текущий момент времени.

Результаты исследований положены в основу: автоматизированной системы ТОиР разработанной НПО «Доникс» и внедренной на стане 390 Макеевского метал-

лургического завода; модуля «Техническое обслуживание и ремонты оборудования (ТОРО)» системы mySAP ERP внедренной в пяти цехах ЗАО «ММЗ «Истил (Украина)»; концепт – проекта «Автоматизированная система ремонтной службы производственного цеха металлургического предприятия» используемого при автоматизации системы ТОиР двух цехов ПрАО «Донецксталь»-МЗ» филиал «Металлургический комплекс» и группы компаний «АСКОН». В результате получен экономический эффект 9 165,82 тыс.грн.

По материалам исследований в 2007 году автором написан учебник «Организация, управление и автоматизация ремонтной службы» объемом 258с. (Допущено МОН Украины, письмо № 1.4/18Г-1301 от 01.12.2006). Он используется в учебном процессе ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» студентами по специальности «Металлургическое оборудование» при изучении курсов: «Менеджмент ремонтной службы»; «Ремонтная документация»; «Системы обслуживания оборудования»; «Автоматизация ремонтной службы». Выполняется курсовая работа «Автоматизированная разработка ремонтной документации» с использованием демонстрационной версии автоматизированной системы ТОиР разработанной в НПО «Доникс».

**Ключевые слова:** описание оборудования, прогноз отказов, подготовка и история ремонтов, логистика запчастей, автоматизация и качество системы ТОиР.

#### ABSTRACT

**Chentsov, N.A. Development of scientific bases and improvement of the maintenance system of mechanical equipment of the metallurgical workshops. -As the manuscript.**

The doctor of thesis by specialty 05.05.08 Machines for a metallurgical production. The State higher educational institution "Donetsk national technical university", Donetsk, 2013.

The scientific and technical issue of creation and development of formal approaches and methods of tasks' decision of planning, preparation and description of repair works and resources within the framework of maintenance system are decided in dissertation. Their realization as automated system with describing the methods of its using are offered for perfection of maintenance system in the conditions of production.

Job performances are used for development of the automated decision of maintenance system including the modules: image of equipment; planning and preparation of repairs; logistic. The integral criterion of quality estimation of system's maintenance is applicable at the real production and proposed to use for automation of maintenance on the basis of offered decision.

**Keywords:** description of equipment, prognosis of failures, preparation and repair history, logistic repair parts, automation and quality of maintenance system.