

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-НАВЧАЛЬНИЙ ЦЕНТР  
ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ ТА СИСТЕМ**

**МАШКІНА ІРИНА ВІКТОРІВНА**

УДК 681.5:629.014.1

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА МЕТОДІВ І МАТЕМАТИЧНИХ  
МОДЕЛЕЙ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ  
СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РЕМОНТНО-ТЕХНІЧНОГО  
ОБСЛУГОВУВАННЯ**

05.13.06 – автоматизовані системи управління та прогресивні  
інформаційні технології

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ - 2003

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент  
**Тимашов Олександр Олександрович**,  
Інститут кібернетики ім. В.М.Глушкова НАН  
України, провідний науковий співробітник

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Козлик Григорій Олександрович**,  
Науково-виробнича корпорація „Київський ін-  
ститут автоматики”, заступник директора,  
  
кандидат фізико-математичних наук, доцент  
**Заславський Володимир Анатолійович**  
Київський національний університет  
ім. Т. Шевченка, факультет кібернетики,  
кафедра системного аналізу та теорії  
прийняття рішень

Провідна установа: Національний авіаційний університет  
Міністерства освіти і науки, м. Київ, кафедра  
комп'ютерних інформаційних технологій

Захист відбудеться "9" січня 2004 року о 14.00 годині на засіданні спеціалі-  
зованої вченої ради Д 26.171.01 в Міжнародному науково-навчальному  
центрі інформаційних технологій та систем НАН України та МОН України  
за адресою:

03680, Київ - 187 , проспект Академіка Глушкова, 40

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Інституту кібернетики  
ім. В.М. Глушкова НАН України.

Автореферат розісланий "5" грудня 2003 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради

**РЕВЕНКО В.Л.**

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Стратегією економічного та соціального розвитку України на 2000-2004 роки передбачено, що головним пріоритетом державної політики має бути структурна перебудова промисловості, розвиток інноваційної моделі економічного росту, ствердження України як високотехнологічної держави. Обраний стратегічний шлях на інноваційний розвиток ґрунтується на структурній перебудові економічних галузей, технологічному оновленні промисловості, широкому використанні досягнень науки і техніки, прогресивних інформаційних технологій. Реформування системи управління у промисловості передбачає на всіх рівнях, зокрема і на рівні підприємства, удосконалювання методів і якості управління, підвищення кваліфікації кадрів, залучення комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень.

Сьогодні Україна знаходиться на етапі перехідної економіки, що потребує реформування промислових підприємств, яке неможливо провести без використання реінжинірингу бізнес-процесів. Жодний виробничий процес не можна відокремити від промислового обладнання, а по мірі старіння встановленої раніше техніки все більш важливе значення набуває її ефективна експлуатація, яка залежить від раціональної організації ремонтно-технічного обслуговування (РТО). Динамічна рівновага між інтенсивністю витрачання ресурсів при експлуатації обладнання та інтенсивністю його поновлення і підтримування в системі РТО характеризує собою досягнутий рівень технічної готовності (ТГ) обладнання підприємства. "Утримування" складних процесів експлуатації промислового обладнання та ремонтно-технічного обслуговування в заданому цільовому напрямку для досягнення необхідного рівня ТГ обладнання і функціонування підприємства потребує та обумовлює значущість і актуальність дослідження й розробки математичних моделей і засобів інформаційної підтримки автоматизованих систем управління ремонтно-технічного обслуговування.

Використання нових інформаційних технологій в промисловості почалося досить давно, але до цього часу недостатньо опрацьованими залишаються питання підвищення ефективного управління РТО як активної ланки загальної системи управління підприємством для надійного забезпечення необхідного рівня ТГ обладнання за мінімальних витрат. Варто зазначити, що ряд задач вдосконалення управління РТО промислового обладнання потребують подальшого дослідження, хоча теоретичним та практичним аспектам по цій проблемі присвячено велику кількість робіт серед яких слід відзначити праці С.М. Драніцина, Є.М. Клімова, В.М. Мі-

хліна, В.Г. Варжапетяна, Г.І. Коршунова, В.П. Львівського, Г.Г. Бютнера та інших.

Об'єктивна потреба наукового вирішення задачі підвищення ефективності управління ремонтно-технічного поновлення та підтримування ТГ обладнання існувала й раніше, але за останні роки вона стала особливо актуальною у зв'язку з ускладненням, старінням обладнання, різким зростанням складності задач виробництва тощо.

Ефективна перебудова технології планування, управління та інформаційно-комунікаційних процесів у системі РТО, їх перевід на індустріальну інформаційно-комп'ютерну основу пов'язані з упровадженням прогресивних інформаційних технологій з використанням математичних моделей і методів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалася у відповідності з планами наукових досліджень відділу № 260 Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України в наукових темах та програмах:

ВФ.235.01 - 1997 - 1998 рр. "Корпоративні системи керування і засоби підтримки прийняття рішень у мережевому середовищі", протокол № 5 Бюро ВІ НАН України від 23.05.1998, № Держ. реєстрації 0198U003462.

ІП.235.03 - 1998-1999 рр. "Розробка методів та засобів інтелектуалізації прийняття рішень в корпоративних системах", № Держ. реєстрації 0198U005042.

ВФ 235.04 1999-2001рр. "Корпоративні системи керування і засоби підтримки прийняття рішень у мережевому середовищі"(частина II), протокол № 3 Бюро ВІ НАН України від 26.01.99, № Держ. реєстрації 0199U001029.

ВФ.260.01 - 2000-2002 рр. "Ієрархічні розподілені системи керування технологічними процесами в мережевому середовищі. Архітектура, принципи побудови цифрової структури підтримки нижнього рівня", протокол № 6 Бюро ВІ НАН України від 10.02.2000 р., № Держ. реєстрації 0100U002662.

ВФ.260.02 - 2003 - 2007рр. "Дослідження і адаптація перспективних засобів проектування реконфігурованих цифрових систем, які орієнтовані на АСУТП", протокол № 3 Бюро ВІ НАН України від 20.12.2002 р., № Держ. реєстрації 0103U003258.

Особисто автором були розроблені математичні моделі, які використовувалися при оцінці та прогнозуванні технічного стану та залишкового ресурсу елементів функціональних комплексів промислового обладнання у ієрархічних розподілених системах керування технологічними процесами. Результати дисертації мають практичну цінність, вони дозволили розроби-

ти нові науково-обґрунтовані методи, які були використані на функціонуючих АСУ та при розробці сучасних автоматизованих систем управління.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є розробка методів та засобів інформаційної підтримки автоматизованої системи управління ремонтно-технічного обслуговування в рамках АСУ всього підприємства на базі комплексу математичних моделей оцінки технічного стану та оцінки технічної готовності складних технічних систем і їх елементів.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати комплекс взаємопов'язаних задач:

здійснити аналіз функціональних підсистем підприємств в умовах існування АСУ з точки зору створення єдиного інформаційного простору підприємства;

розглянути питання РТО промислового обладнання з точки зору інформаційної підтримки математичних моделей роботи функціональних підсистем підприємств;

розробити математичні моделі оцінки технічного стану та оцінки технічної готовності складних технічних систем та їх елементів;

створити методологічні принципи побудови автоматизованої системи управління ремонтно-технічного забезпечення підприємства на базі розробленого комплексу математичних моделей;

перевірити працездатність математичних моделей та запропонованих методів інформаційної підтримки на реальних даних промислового обладнання на виробництві.

*Об'єкт дослідження* – методи та математичні моделі інформаційної підтримки автоматизованої системи управління ремонтно-технічного обслуговування з точки зору підвищення ефективності управління процесами підтримування та поновлення технічної готовності промислового обладнання підприємства

*Предмет дослідження* – загальні процеси управління підприємством та процеси експлуатації і ремонтно-технічного обслуговування складних технічних систем та їх елементів.

*Методи дослідження.* У процесі розв'язування поставлених задач застосовувалися: методологія моделювання, методологія системного підходу, принципи системного аналізу, теорії ймовірності, математичної статистики та роботи відомих учених у даній галузі, експериментальні методи досліджень.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Незважаючи на простоту досліджень у галузі вдосконалення РТО, слід констатувати, що недостатньо робіт, у яких досліджуються проблеми підвищення ефективності

управління РТО як активної ланки загальної системи управління підприємством для надійного забезпечення необхідного рівня технічної готовності обладнання за мінімальних витрат. Це і визначає наукову новизну змісту досліджуваної задачі. Ефективна перебудова технології планування, управління та інших інформаційно-комунікаційних процесів у системі РТО, їх перехід на індустріальну інформаційно-комп'ютерну основу пов'язані з появою нової наукової дисципліни – прогресивні інформаційні технології. Наукова новизна результатів, отриманих у процесі виконання роботи:

на першому етапі створення нових або при реформуванні існуючих систем запропоновано проводити реінжинірінг бізнес-процесів підприємства;

на основі аналізу функціональних підсистем підприємства виділено комплекс задач ремонтно-технічного обслуговування промислового обладнання як активної ланки всієї системи управління підприємством;

запропоновано використання методів інформаційної підтримки математичних моделей для підвищення ефективності управління процесами РТО обладнання підприємств;

здійснено систематизацію основних методологічних принципів автоматизації планування та управління діяльності системи технічного обслуговування та ремонту, що забезпечують раціональне використання ремонтних ресурсів підприємства для досягнення та підтримування заданого рівня технічної готовності обладнання з урахуванням особливостей існуючої системи управління та перспектив її вдосконалення;

розроблено комплекс взаємопов'язаних математичних моделей оцінки технічного стану, оцінки технічної готовності складних технічних систем та їх елементів, які забезпечують формування оптимальних експлуатаційно - ремонтних циклів для заданих режимів та умов їх експлуатації і ремонту;

розроблено методику створення уніфікованих систем документів в організаційно-технічних системах (стосовно АСУ РТО промислових підприємств).

**Практичне значення отриманих результатів.** Отримані в роботі результати застосовані при виконанні НДР "Ієрархічні розподілені системи керування технологічними процесами в мережевому середовищі. Архітектура, принципи побудови цифрової структури підтримки нижнього рівня", „Дослідження і адаптація перспективних засобів проектування реконфігурованих цифрових систем, які орієнтовані на АСУТП”. Практичне значення даної роботи:

упроваджено розроблені методи та математичні моделі у підсистему автоматизованої системи управління ремонтно-технічного обслуговування

на Харцизькому канатному сталє-дротяному заводі (ВАТ „Сілур”) та Маріупольському заводі важкого машинобудування (ВАТ „Азовмаш”);

розроблені математичні моделі оцінки технічного стану та технічної готовності промислового обладнання довели свою адекватність досліджуваним процесам та використовуються при складанні плану поточного та довгострокового ремонтно-технічного обслуговування;

запропоновані методи інформаційної підтримки та розроблені математичні моделі оцінки технічного стану та технічної готовності промислового обладнання можуть бути використані при роботі автоматизованих систем управління для промислових підприємств різних галузей.

Економічний ефект забезпечується зниженням витрат на проведення ремонтних заходів з використанням автоматизованої системи ремонтно-технічного обслуговування. Соціальний ефект пов'язано з автоматизацією процесу збору та обробки інформації, що знижує ризик прийняття помилкових рішень.

Документи, які підтверджують впровадження результатів дослідження, наведені у додатку А дисертаційної роботи.

**Особистий внесок здобувача.** Всі наукові результати, представлені в дисертації, отримані здобувачем самостійно. В працях, що опубліковані в співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в наступному: в роботі [3] переліку автореферату запропоновані засоби та методики підготовки користувачів автоматизованих систем управління; в [7] переліку автореферату запропонована загальна формалізована постановка задачі оцінки технічного стану в процесі управління технічною готовністю для ефективного використання ресурсно-діагностичної моделі технічного стану об'єктів та їх елементів і підсистем. Розроблені моделі зміни поточної та узагальненої технічної готовності складних технічних систем та модель оцінки технічної готовності, яка побудована на основі залишкового ресурсу.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати дисертаційного дослідження доповідалися і обговорювалися на семінарах Наукової ради НАН України з проблеми "Кібернетика" (Київ, 1998 - 2003), „Технічні засоби, системи керування та математичне моделювання в наукових дослідженнях”, „Інтегровані системи керування виробництвом” - секція при Придніпровському науковому центрі, науково-практичних конференціях Академії праці та соціальних відносин Федерації профспілок України.

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 6 наукових статей у наукових фахових журналах, затверджених ВАК України, та тези наукових конференцій.

**Структура дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, що викладені на 177 сторінках (165 сторінок друкованого тексту), списку використаних джерел (114 найменувань) та додатку. Робота містить 12 рисунків та 2 таблиці.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** до роботи проаналізовано стан проблеми, обґрунтовується актуальність обраної теми, сформульована мета роботи, її наукова новизна та практична цінність отриманих результатів, а також викладені основні результати роботи у скороченому вигляді.

У **першому** розділі „Основні задачі та напрямки інформатизації промислових підприємств на сучасному етапі” проведено аналіз сучасних підходів до впровадження інформаційних технологій на підприємствах України та напрямки, за якими вже були проведені дослідження. Перераховані задачі підвищення ефективності виробництва, зниження собівартості та підвищення якості продукції. Слід зауважити, що ці задачі можуть бути розв’язані тільки завдяки комплексній автоматизації промислового підприємства на базі впровадження прогресивних інформаційних технологій та створення єдиного інформаційного простору підприємства. Виділено основні складові управління підприємствами та розглянуті актуальні проблеми управління підприємствами України. Проаналізовано існуючі концепції MRP II, ERP та MES, на базі яких будуються сучасні корпоративні системи управління підприємствами. Особливо приділено увагу проблемі надійності промислового обладнання, виділена проблема ремонтно-технічного обслуговування та поставлені питання технічної готовності складних технічних систем (СТС) та технічного стану (ТС) промислового обладнання. Метою дослідження проблеми оцінки, аналізу та раціонального управління технічною готовністю є підвищення ефективності управління підприємством в сучасних умовах при виробництві та ремонті обладнання за критеріями підтримки заданого рівня технічної готовності, мінімальних часових, ресурсних та матеріальних витрат.

**Другий** розділ „Інформаційні та програмно-технічні засоби підтримки роботи функціональних підсистем підприємства” присвячено інформаційним та програмно-технічним засобам підтримки роботи функціональних підсистем підприємства.

Обґрунтована необхідність проведення реінжинірингу бізнес-процесів та реінжинірингу виробничих процесів підприємства на першому етапі створення нових або реформування існуючих систем. Як теоретичну базу запропоновано використання математичних моделей і методів для створення автоматизованої системи інформаційної підтримки роботи фун-



кціональних підсистем підприємств (на прикладі підсистеми ремонтно-технічного обслуговування промислового обладнання).

Запропоновані методологічні принципи розробки та створення засобів інформаційної підтримки автоматизованих систем управління ремонтно-технічного обслуговування. Сформульовані основні положення та принципи щодо використання існуючих моделей та методів систем підтримки прийняття рішень у підсистемі ремонтно-технічного обслуговування в рамках єдиного інформаційного простору підприємства.

У **третьому** розділі „Розробка економіко - математичних моделей та засобів інформаційної підтримки технічної готовності промислових підприємств” розроблено математичні моделі та засоби інформаційної підтримки технічної готовності обладнання промислових підприємств з метою підвищення ефективності управління ремонтно-технічного обслуговування.

Теоретичним та практичним аспектам удосконалювання управління експлуатацією та ремонтом промислового обладнання (будемо називати складними технічними системами ) приділяється велика увага у різних галузях промисловості країни. Разом з тим слід зазначити недостатній рівень формалізації умов та залежностей працездатності, підтримки технічного стану і технічної готовності у взаємозв'язку витрачання та відновлення ресурсів СТС. Ефективність функціонування системи багато в чому залежить від рівня формалізованих представлень, які використовуються при експлуатації та ремонтно-технічному обслуговуванні. Необхідність у розробці методологічних основ і методів, основаних на базі математичних моделей оцінки технічного стану та технічної готовності СТС, для вирішення означеної проблеми не викликає сумніву.

Підтримування встановленого рівня ТГ складних технічних систем є найважливішим моментом у безаварійній та ефективній експлуатації обладнання. Це пов'язано з витратами технічних ресурсів СТС і необхідністю їх поновлення. Часткове поновлення рівня ТГ здійснюється внаслідок проведення технічного обслуговування (ТО) експлуатаційниками та ремонтним персоналом СТС. Повні витрати ресурсу об'єкта призводять до необхідності його відновлення шляхом проведення ремонту з виводом СТС з експлуатації.

**Динамічна рівновага між процесами відновлення ТГ при технічному обслуговуванні, ремонті та процесом його зниження в умовах експлуатації відповідає рівню ТГ СТС.** В умовах сучасного розвитку та удосконалювання складних технічних об'єктів суттєво урізноманітнилися способи їх технічного обслуговування та ремонту. Система РТО представляє собою складний комплекс, функціонування якого об'єктивно пов'язано з

розв'язанням великорозмірних та важкоформалізованих задач обліку та контролю, планування і оперативного керування, координації розвитку і функціонування багаточисельних ланок системи РТО будь-якої галузі промисловості. Для підтримки технічного стану технічних складових об'єкта (ТСО) на рівні, який забезпечує ефективне виконання ряду задач та організації робіт по попередженню аварійності, необхідно знання фактичного рівня ТГ – важливішого фактора, від якого залежить ефективне керування процесом підтримки необхідної ТГ об'єктів.

Керування підтримкою необхідного рівня ТГ – це сукупність організаційних і технічних заходів, спрямованих на отримання своєчасної, повної і цілком певної інформації з метою організації робіт по підтримці технічних складових об'єкта у належному стані готовності. В дисертаційній роботі в даному розділі **введено** поняття готовності технічних засобів для виконання їх функціональних задач або технічної готовності.

Готовність визначається як стан, з якого система може з заданою ймовірністю перейти до будь-якого режиму, який належить виділеній підмножині режимів за наявності визначеної кількості ресурсів.

Приймаючи таке означення, виділено перелік характеристик, пов'язаних з підтримкою готовності:

- означення достовірності ідентифікації стану  $S_r(t)$ ;
- означення дійсного стану (ресурсу)  $V(t)$ ;
- означення досяжності  $S_r(t_p)$  з  $S_r(\Theta_p)$ ;
- розрахунок необхідних для цього ресурсів  $V(S_r(\Theta_p); S_r(t_p); |\Theta_p - t_p|)$ ;
- конструювання гіпотез про шляхи розвитку  $S_r(t)$ ,  $\Theta \leq t < T$ ;
- розробка рішень про розподіл та призначення ресурсів;
- розробка технологічного процесу реалізації розв'язків та використання ресурсів;
- керування процесом переведення із стану  $S_r(\Theta_p)$  у стан  $S_r(t_p)$ ;
- інформування керівництва про  $S_r(t)$ .

Готовність, таким чином, є функція часу, стану життєвого циклу системи (ЖЦС) та ресурсів.

Для кожного режиму функціонування системи характерно залучення конкретної множини технічних засобів, які при їх використанні забезпечують або вхід у новий (наступний) режим, або знаходження у поточному (заданому) режимі. Така множина технічних засобів складає цілісну структуру засобів з механічними, енергетичними та інформаційними зв'язками. Тоді готовність визначається знаннями про структуру технічних засобів, їх характеристики тощо, інакше кажучи, знаннями про моделі технічних засобів системи та про значення всіх атрибутів. Ці знання можуть бути зафіксовані у кваліфікації персоналу або базі знань інформаційного забезпе-

чення систем підтримки і прийняття рішень. Технічна готовність системи визначає можливість досягнення мети, для якої створювалась система, тобто для досягнення визначеного ефекту. Зниження рівня готовності знижує ефективність системи або призводить, у деяких випадках, до втрат, що перевищують не тільки вартість засобів підтримки готовності або самої системи, але й вартість об'єкта, на якому така система встановлюється.

Рівень ТГ характеризується залишковим призначенням ресурсом технічних складових об'єкта, які представляють собою установки, агрегати, механізми та інше обладнання, що забезпечують працездатність СТС у відповідності з призначенням. Важливою умовою достовірності оцінки ТГ є виявлення закономірностей інтенсивності витрат ресурсу від умов і режимів експлуатації шляхом спеціальної організації ресурсних випробувань, цілеспрямованого збору і обробки дослідних даних про результати діагностичних операцій технічного обслуговування та ремонту. Загальну формалізовану постановку задачі оцінки та прогнозування ТГ було здійснено на основі ресурсно-діагностичної моделі технічного стану (РДМ ТС).

Нехай існує функція зміни ТС об'єкта неперервного або дискретного параметра  $t$ , яка характеризується набором, або вектором ознак  $w$ , які належать деякому діагностичному простору ознак  $W$ . Припустимо, що існує деяке розв'язуюче правило екстраполяції результатів виміру  $w_1, \dots, w_k$  в моменти  $t_1, \dots, t_k$ , які утворюють множини  $T_k = \{t_1, \dots, t_k\}$ ,  $W(T_k) = \{w_1, \dots, w_k\}$ . Позначимо  $w(t/T_k)$  процес, який можна спрогнозувати на відрізку  $(t_k, t_{k+1})$ , отриманий за допомогою правила екстраполяції. Тоді за умови існування області  $\Omega_w$  у просторі  $W$ , що відповідає працездатним станам об'єкта, для всіх  $t \in (t_k, t_{k+1})$ , за яких  $w(t/T_k) \in \Omega_w$ , ТС буде також відповідати працездатності об'єкта. Для оцінки впливу умов експлуатації позначимо вектор зовнішніх впливів  $g(t)$ , а вектор параметрів об'єкта –  $a$ . Прийmemo, що при оцінці вектора ознак  $W$  стає відомим вектор помилок вимірів  $n(t)$ . Крім того, нехай існує вектор параметрів системи вимірів  $W$  та об'єкта  $b$ , який забезпечує формування деякого вектора ТС об'єкта  $u(t)$  за допомогою функції  $w = G(u, n, b)$ . Тоді зміни ТГ будуть характеризуватися диференціальним рівнянням:  $du/dt = f(u, g, a)$ , що розглядається у просторі технічних станів –  $U$ . Внаслідок цього існує область допустимих станів у просторі  $U$ , яка відповідає  $\Omega_w$ .

Таким чином можна знайти  $i \in U(T_k)$ , яке відповідає  $w(T_k)$ , та провести екстраполяцію процесу  $u(t)$  на відрізку  $(t_k, t_{k+1}]$ . Аналогічно можна стверджувати, що ТС на відрізку  $(t_k, t_{k+1}]$  не досягне граничного стану (ГС), якщо  $u(t) \in \Omega_w$  при всіх  $t \in (t_k, t_{k+1}]$ . Апостеріорна імовірність досягнення об'єктом ГС буде  $P(t/T_k) = P\{u(\tau) \in \Omega_w; \tau \in (t_k, t]/w(T_k)\}$ . Оскільки задача розгляда-

ється стосовно прогнозування працездатного ТС, межа  $\Omega_w$  має відповідати граничним станам. Апостеріорна функція розподілу імовірності досягнення ГС, яка відповідає фіксованим значенням процесу  $U(T_k)$  на множині  $T_k$ , буде  $P[t/u(T_k)] = P\{u(\tau) \in \Omega_w; \tau \in (t_k, t]/u(T_k)\}$ . Тоді

$$P(t/T_k) = \int_{\Omega_w^k} P[t/u(T_k)]P[u(T_k)/w(T_k)]du(T_k),$$

де  $k$  - число моментів часу  $t_1, \dots, t_k$ , в яких відбувалися вимірювання процесу  $w(t)$ .

При значенні допустимої імовірності досягнення об'єктом ГС -  $P_{\text{дод}}$  індивідуальний або залишковий ресурс  $t_{\text{зал}}$  буде визначатися нерівністю  $P(t_k + t_{\text{зал}}/T) \geq P_{\text{дод}}$ . Гранично допустимий фактично залишковий ресурс можна знайти з рівності  $P(t_k + t_{\text{зал}}/T) = P_{\text{дод}}$ . Інформація, необхідна для оцінки ТГ, знаходиться, головним чином, у результатах спостережень  $w(T_k)$ , за значеннями яких визначаються оцінки вектора стану  $\bar{u}(T_k) = (\bar{u}_1, \dots, \bar{u}_k)$ , параметрів об'єкта  $\bar{a}$  та системи вимірів  $\bar{b}$ . У цьому випадку ідентифікація ТС здійснюється за допомогою співвідношення  $P(t/T_k) = P[t/\bar{u}(T_k)]$ . Така оцінка є більш грубою порівняно з оцінкою, в якій використовується функція розподілу імовірностей. Функція розподілу залишкового ресурсу як показника ТС та ТГ буде мати вигляд  $F_{\text{зал}}(t_{\text{зал}}/T_k) = 1 - P(t_k + t_{\text{зал}}/T_k)$ .

Розглянуті поняття та показники відображають конструктивно-технологічні особливості системи та їх елементів як ресурсоносіїв і залежать від пристосованості системи РТО до виконання поновлювальних операцій.

При аналізі процесів експлуатації та ремонту технічних складових об'єкта були виділені поняття поточної ТГ (ПТГ) та узагальненої ТГ (УТГ).

ПТГ розглядається в межах одного експлуатаційно-ремонтного циклу (ЕРЦ) СТС – періоду, що повторюється, протягом якого здійснюється у визначеній послідовності видів технічного обслуговування та ремонту. Для проведення ремонту СТС періодично виводяться з експлуатації.

УТГ оцінюється стосовно періоду експлуатації та ремонту (період може включати в себе декілька ЕРЦ).

Взаємозв'язок введених понять ПТГ та УТГ полягає у наступному. У відповідності зі структурою ЕРЦ технічних складових об'єкта у визначені моменти часу проводиться заміна або ремонт його окремих вузлів та деталей. Таким чином, на кожному з цих інтервалів буде стрибкоподібно зростати ПТГ внаслідок відновлення ресурсів окремих елементів, але не до першопочаткового значення  $G_0$ , а до деякого значення  $G_t$ , так як частина вузлів та деталей ТСО залишилася з неповними ресурсами працездатності.

Не порушивши загальності розсудів, припустимо, що зменшення ПТГ у межах кожного стану експлуатації відбувається за експоненціальним законом з параметром  $\beta$ , тобто  $G = G_0 e^{-\beta t}$ , а відновлення відбувається до величини  $G_{wt}$ , яка характеризується ступенем відновлення  $k_b = G_{wt}/G_0$ ;  $0 < k_b < 1$ . Величина поновлення ПТГ  $\Delta G$  на кожному відрізку буде  $\Delta G = G_0(k_b - e^{-\beta t})$ . Відповідно, загальний опис процесу спадання та відновлення ПТГ можна представити у вигляді

$$G_i = G_{i-1} e^{-\beta t_i}; \Delta G_i = G_{i-1}(k_{bi} - e^{-\beta t_i}).$$

Поточна технічна готовність після  $i$ -го відновлення буде характеризуватися  $G_{wti} = G_{i-1} k_{bi}$ . У цілому ТСО як елемент системи буде функціонувати до досягнення ГС, за якого  $G_{wt} = G_{гр}$ . Узагальнений процес втрати першопочаткового рівня ТГ можна характеризувати пилоподібною залежністю  $A = F(\beta_i, \Delta G_i)$ .

Математичне сподівання часу перетину процесу  $A$  із  $G_{гр}$  буде представляти собою функцію

$$\bar{T} = \Phi(G_0, G_{гр}, A, k_{b1} \dots k_{bn}).$$

Нехай загальне зниження УТГ описується експонентою. Тоді

$$G_{гр} = G_0 e^{-\theta_n \bar{T}_{mp}}.$$

Так як  $G_{гр}/G_0 = e^{-\theta_n \bar{T}_{mp}}$ , після логарифмування отримуємо

$$\ln(G_{гр}/G_0) = -\theta_n \bar{T}_{mp}$$

Із цього співвідношення випливає, що

$$\bar{T}_{mp} = (\ln(G_0/G_{гр})) / \theta_n.$$

Оскільки процес, який розглядається вище, є багатофакторним, то можна вважати, що  $\bar{T}_{mp}$  розподіляється за нормальним законом. Враховуючи, що процес втрати першопочаткового рівня ТГ описується експоненціальними залежностями, а залежність рівня ТГ системи із врахуванням запланованих робіт по відновленню ТГ має вигляд пилоподібною функції, то за таких припущень справедливі наступні співвідношення:

$$G(t) = G_0 e^{-\beta t}, G_i(t) = G_{i-1} e^{-\alpha_i(t-t_{i-1})}, G_{i-1} = G(t_{i-1}), t_{i-1} \leq t \leq t_i,$$

$$\bar{T}_{mp} = \int_0^{t_1} G_1(t) dt + \int_{t_1}^{t_2} G_2(t) dt + \dots + \int_{t_{n-1}}^{t_n} G_n(t) dt,$$

$$\begin{aligned} \overline{T_{mp}} &= \int_0^{t_1} G_0 e^{-\beta t} dt + \int_0^{t_1} G_0 e^{-\alpha_1 t} dt + \int_{t_1}^{t_2} G_1 e^{-\alpha_2 (t-t_1)} dt + \dots + \int_{t_{n-1}}^{t_n} G_n e^{-\alpha_n (t-t_{n-1})} dt, \\ \frac{G_0}{\beta} (1 - e^{-\beta \overline{T_{mp}}}) &= \frac{G_0}{\alpha_1} (1 - e^{-\alpha_1 t_1}) + \dots + \frac{G_{n-1}}{\alpha_n} (1 - e^{-\alpha_n t_n}), \\ \frac{1}{\beta} (1 - e^{-\beta \overline{T_{mp}}}) &= \frac{1}{\alpha_1} (1 - e^{-\alpha_1 t_1}) + \frac{K_{b_2}}{\alpha_2} (1 - e^{-\alpha_2 t_2}) + \dots + \frac{K_{b_n}}{\alpha_n} (1 - e^{-\alpha_n t_n}), \\ P(\overline{T_{mp}}) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi K_t \overline{T_{mp}}}} e^{-\frac{T - \overline{T_{mp}}}{2K_t^2 \overline{T_{mp}}^2}}. \end{aligned}$$

Відомо, що в ході експлуатації об'єкта існує міжремонтний ресурс, напрацювання якого потребує ремонту для всіх його елементів. Тому УТГ буде характеризуватися періодом використання, накопиченими витратами на відновлення ПТГ, прогнозованими витратами на залишковий міжремонтний ресурс  $\overline{T_{mp}}$  або їх співвідношеннями.

Таким чином, запропоноване рішення задачі оцінки допустимого рівня технічного стану в процесі управління технічною готовністю обумовлює можливість ефективного використання ресурсно-діагностичної моделі технічного стану об'єктів та їх елементів і підсистем за наявності кількісної оцінки впливу умов та режимів експлуатації на інтенсивність витрат назначеного ресурсу і оцінки фактичних залишкових ресурсів. Використання таких формалізованих методик та моделей опису технічного стану об'єктів у створенні спеціальних комп'ютерно-орієнтованих програмових засобів дають можливість розробникам АСУ та експлуатаційному персоналу ремонтно-технічних служб проводити більш достовірну оцінку про виконання об'єктом призначених йому функцій і більш ефективно керувати процесом підтримки необхідної технічної готовності об'єкта та його підсистем.

**Четвертий** розділ „Модельовання розроблених фрагментів систем та приклади їх впровадження” присвячено модельованню запропонованих методів та моделей у підсистемах автоматизованої системи управління ремонтно-технічного обслуговування. Визначені методологічні принципи побудови автоматизованої системи управління ремонтно-технічного забезпечення підприємства, сформульовано перелік функцій автоматизованої системи управління ремонтно-технічного обслуговування.

На рисунку показано місце блоку оцінки та прогнозування технічного стану та технічної готовності промислового обладнання в структурі автоматизованої системи управління РТО.

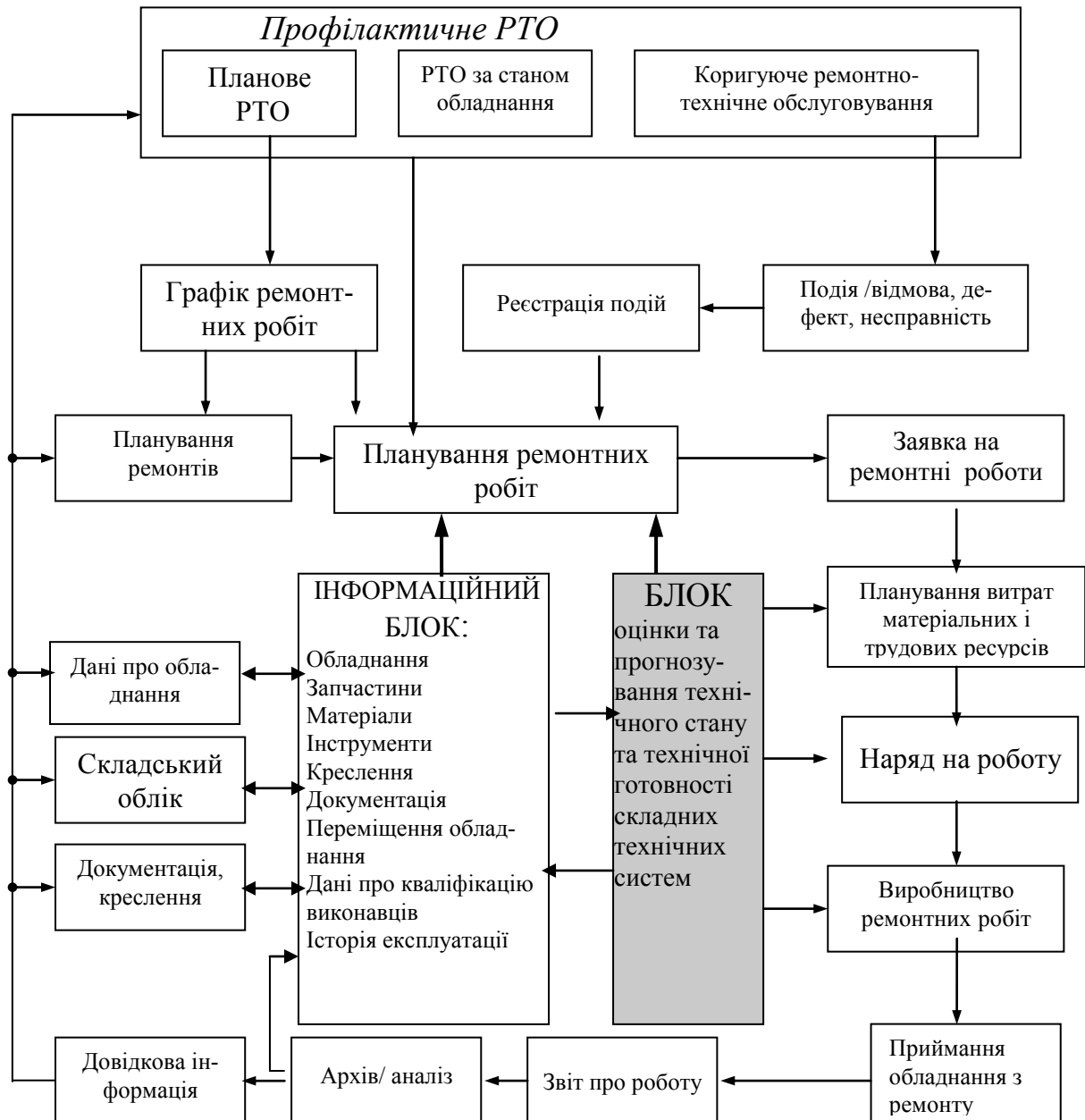


Рисунок. Структурна схема АСУ РТО

Функції блоку наступні:

оцінка технічного стану та технічної готовності одиниць обладнання;  
облік оцінки впливу умов та режимів використання обладнання на параметри витрачання ресурсів;

здійснення на основі оцінки ТС поточного контролю та аналізу стану обладнання;

прогнозування тенденції зміни ТС та ТГ;

оперативне забезпечення персоналу підприємства необхідною та точною інформацією про обладнання та його стан;

видача рекомендацій для ремонтно-технічних служб.

Розроблені алгоритми оцінки та прогнозування технічного стану та те-

хнічної готовності промислового обладнання на основі методу гарантованого результату та оцінки технічного стану на основі медіанного значення.

Наведено приклад реалізації стратегії проектування інформаційної підтримки функціональних підсистем автоматизованої системи управління. Використання прогресивних технологій стосовно контролю обладнання та управлінню виробничим процесом вельми привабливе, оскільки надає можливість віддаленого відстеження експлуатаційних ушкоджень, зменшуючи тим самим чисельність технічного персоналу та економію часу

Розроблено методику створення уніфікованих систем документів в організаційно-технічних системах (стосовно АСУ РТО промислових підприємств), яка дозволяє розглядати документ або комплект документів що супроводжують технологічні або ремонтні процеси в системі, життєвий цикл якої супроводжує прийнятий документообіг. Документообіг, в свою чергу, також можна вважати технологічним процесом.

Запропоновані формули для розрахунку деяких комплексних показників при функціонуванні системи РТО, при визначенні термінів проведення ремонтів та техніко-економічних показників роботи обладнання.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі виконане актуальне завдання дослідження та розробки методів і математичних моделей інформаційної підтримки автоматизованої системи управління ремонтно-технічного обслуговування. Результати дослідження впроваджені на Харцизькому канатному сталедротяному заводі (ВАТ „Сігур”) та Маріупольському заводі важкого машинобудування (ВАТ „Азовмаш”). Результати роботи використовувалися в наукових темах Інституту кібернетики ім. В.М Глушкова НАН України: "Ієрархічні розподілені системи керування технологічними процесами в мережевому середовищі. Архітектура, принципи побудови цифрової структури підтримки нижнього рівня", "Дослідження і адаптація перспективних засобів проектування реконфігурованих цифрових систем, які орієнтовані на АСУТП". Системний підхід до завдання дозволив сформувати комплекс задач, внаслідок якого отримані наступні результати.

1. Здійснено аналіз сучасного стану автоматизованих систем управління підприємством в країні та окреслені основні етапи розвитку наукової думки за даною проблемою. Показано необхідність удосконалення інформаційної підтримки роботи функціонування служби ремонтно-технічного обслуговування підприємства. Розв'язання задач РТО дозволить забезпечити необхідний рівень технічної готовності промислового обладнання.

2. Розглянуті сучасні підходи до вирішення комплексної проблеми ав-



томатизації вітчизняних підприємств та підхід до удосконалення інформаційного забезпечення функціонування автоматизованої системи управління підприємством. Зроблено висновок про необхідність створення єдиного інформаційного простору підприємства та обґрунтовано необхідність проведення реінжинірингу бізнес-процесів підприємства на першому етапі створення нових або реформування існуючих систем. Разом з тим запропоновано послідовність етапів проведення реінжинірингу бізнес-процесів та виробничих процесів.

3. Як теоретичну базу запропоновано використання математичних моделей і методів для створення автоматизованої інформаційної підтримки роботи підсистеми РТО промислового обладнання. Запропоновані методологічні принципи розробки та створення інформаційної підтримки автоматизованих систем управління РТО. Сформульовані основні положення та принципи щодо використання моделей та методів систем підтримки прийняття рішень (СППР) у підсистемі РТО в рамках єдиного інформаційного простору підприємства.

4. Сформульовані методичні питання управління технічною готовністю обладнання підприємств, визначено поняття ТГ складної технічної системи, яка є однією з основних складових готовності підприємства для ефективного функціонування. Технічна готовність визначена на основі аналізу та прогнозування технічного стану складної технічної системи та її складових. Запропонована загальна формалізована постановка задачі оцінки технічного стану в процесі управління технічною готовністю, що дає можливість ефективного використання ресурсно-діагностичної моделі технічного стану об'єктів, їх елементів та підсистем. Введено поняття поточної технічної готовності, яка розглядається у межах одного стану експлуатації, та узагальненої ТГ СТС, що аналізується в межах визначеної програми підтримки та поновлення працездатних станів системи. Розроблені моделі зміни поточної та узагальненої ТГ СТС та модель оцінки технічної готовності, побудованої на основі залишкового ресурсу. Запропонована комп'ютерно-орієнтована методика, що дає можливість проводити більш достовірну оцінку ТГ при виконанні об'єктом призначених йому функцій і більш ефективно керувати процесом підтримки необхідної ТГ об'єкта та його підсистем.

5. Систематизовано основні методологічні принципи автоматизації планування та управління діяльністю системи технічного обслуговування та ремонту, що забезпечує раціональне використання ремонтних ресурсів підприємства для досягнення та підтримування заданого рівня ТГ обладнання підприємства з урахуванням особливостей існуючої системи управління та перспектив її вдосконалення. Запропоновано часткові моде-

лі оцінки ТГ складних технічних систем на різних етапах їх життєвого циклу та на кожному окремому етапі життєвого циклу СТС. Розроблено алгоритм оцінки та прогнозування ТГ СТС, заснований на базі аналізу функціонування провідних технічних елементів або підсистем з урахуванням їх значущості. Розроблена методика управління технічною готовністю обладнання підприємства на етапі експлуатації та наведені основні положення по управлінню технічною готовністю обладнання підприємств на етапі ремонту.

6. Визначені методологічні принципи побудови автоматизованої системи управління ремонтно-технічного забезпечення підприємств з використанням розроблених математичних моделей та методів. Наведено приклад проектування інформаційної підтримки автоматизованої системи управління ремонтно–технічного обслуговування. Розроблено методику створення уніфікованих систем документів в організаційно-технічних системах (стосовно АСУ РТО промислових підприємств). Наведені алгоритми оцінки та прогнозування технічного стану і ТГ промислового обладнання. Запропоновані формули для розрахунку деяких комплексних показників функціонування системи РТО при визначенні термінів проведення ремонтів та техніко-економічних показників роботи обладнання.

## **ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ В ТАКИХ ПРАЦЯХ:**

1. Машкина И.В. Некоторые вопросы проектирования документальных сообщений для автоматизированных систем сбора и обработки информации на предприятиях // Новітні засоби обчислювальної техніки в системах автоматизації, контролю та керування. – К.: Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, 1998.– С.18–22.
2. Машкіна І.В. Деякі питання щодо розроблення автоматизованої інформаційної системи збору та обробки інформації в організаційних структурах // Вісн. Академії праці та соціальних відносин Федерації профспілок України. – К., 1998. – С. 111–115.
3. Набивач В.Е., Машкина И.В. Компьютерные средства обучения пользователей автоматизированных систем управления // Перспективні засоби обчислювальної техніки та інформатики. – К.: Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, 1999.– С. 69–76.
4. Машкина И.В. Информационные и программно-технические средства поддержки работы функциональных подсистем предприятия // Перспективні засоби обчислювальної техніки та інформатики. – К.: Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, 1999.– С.83–89.
5. Машкина И.В. Реинжиниринг бизнес-процессов при реорганизации автоматизированных систем управления промышленных предприятий // Технології створення перспективних комп'ютерних засобів та систем з використанням новітньої елементної бази. – К., Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, 2000. – С.103–108.
6. Машкина И.В.Разработка концепции проектирования автоматизированной системы информационной поддержки экономико-математических моделей работы функциональных подсистем предприятий // Интеллектуальные информационно-аналитические системы и комплексы. – Киев: Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова, 2000 – С.46–51.
7. Машкіна І.В., Тимашов О.О. Комп'ютерно-орієнтовані методики організації підтримки технічної готовності складних технічних систем // Комп'ютерні засоби , мережі та системи. – К., Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, 2003. – С.119–125.

Машкіна І. В. Дослідження та розробка методів і математичних моделей інформаційної підтримки автоматизованої системи управління ремонтно-технічного обслуговування. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – автоматизовані системи управління та прогрес-

сивні інформаційні технології. – Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем, НАН України та МОН України, Київ, 2003.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню проблеми підвищення ефективності РТО промислового обладнання на базі використання комплексу математичних моделей і методів при створенні автоматизованих систем управління підприємством. Проведено аналіз сучасних підходів до впровадження інформаційних технологій на підприємствах України. Запропоновано ввести до складу автоматизованої системи управління підприємством функціональну підсистему РТО промислового обладнання підприємств. Розглянуто методичні питання управління технічною готовністю обладнання: визначені поняття ТГ і проблеми підтримки технічного стану складних технічних систем. Розроблені ресурсно-діагностична модель оцінки і прогнозування технічного стану складних технічних систем, моделі оцінки зміни поточної й узагальненої ТГ та модель оцінки ТГ на базі залишкового ресурсу. Запропоновано методику управління технічною готовністю обладнання підприємства на етапах експлуатації і ремонту. Наведено приклад реалізації стратегії проектування інформаційної підтримки автоматизованої системи управління РТО на конкретному підприємстві.

Ключові слова: інформаційна підтримка, єдиний інформаційний простір підприємства, складна технічна система, функціональна підсистема, технічний стан, технічна готовність

Машкина И. В. Исследование и разработка методов и математических моделей информационной поддержки автоматизированной системы управления ремонтно-технического обслуживания. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – автоматизированные системы управления и прогрессивные информационные технологии. – Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем, НАН Украины и МОН Украины, Киев, 2003.

Диссертационная работа посвящена решению проблемы повышения эффективности ремонтно-технического обслуживания промышленного оборудования на базе использования комплекса математических моделей и методов при создании автоматизированных систем управления предприятием. Проведен анализ современных подходов к внедрению информационных технологий на предприятиях Украины. Предложено ввести в состав автоматизированной системы управления предприятием функциональную подсистему ремонтно-технического обслуживания промышленного обо-

рудования предприятий. Рассмотрены методические вопросы управления технической готовностью оборудования: определены понятие технической готовности и проблемы поддержки технического состояния сложных технических систем. Разработаны ресурсно-диагностическая модель оценки и прогнозирования технического состояния сложных технических систем, модели оценки изменения текущей и обобщенной технической готовности и модель оценки технической готовности на базе остаточного ресурса. Предложена методика управления технической готовностью оборудования предприятия на этапах эксплуатации и ремонта. Приведен пример реализации стратегии проектирования информационной поддержки автоматизированной системы управления ремонтно-технического обслуживания на конкретном предприятии.

Ключевые слова: информационная поддержка, единое информационное пространство предприятия, сложная техническая система, функциональная подсистема, техническое состояние, техническая готовность

Mashkina I.V. Investigation and working out of methods and mathematic models of informational support of automated control system of repairing - technical service. – Manuscript.

Dissertation for scientific degree of candidate of technical sciences on specialty 05.13.06. - Automated control systems and progressive information technologies.-International Research and Training Center for Informational and Technologies and Systems, National Academy of Sciences and Ministry of Science and Formations of Ukraine, Kyiv, 2003.

The dissertation is devoted to solving the problem of raising the effectiveness of repairing–technical service of industrial equipment on the basis of using the complex of mathematic models and methods at creating automated control systems of industrial enterprises. The analysis of contemporary approaches to inculcation of informational technologies at the enterprises of Ukraine was carried out. The actual problems of management of home industrial enterprises were picked out.

On the basis of analysis of functional subsystems, the functional subsystem of repairing - technical service of industrial equipment of the enterprises was offered to introduce to the composition automated control systems. For the first time a complex of tasks of repairing - technical service of compound technical systems was suggested. Informational and programme-technical means of support of functional subsystem's working of enterprises were worked out. Carrying out of Reengineering of Business Processes was suggested as the first step of projecting and making the automated control system.

Methodological basis of development and making systems of informational support of mathematic models of systems of industrial enterprise's management were pointed out.

The complex of mathematic models and means of informational support of technical readiness of industrial enterprises was worked out. Methodical questions of control of technical readiness of the equipment of enterprises were investigated; a notion of technical readiness and problems of support of technical state of compound technical systems were researched.

The resource-diagnostic model of evaluation and forecasting of technical condition of complicated technical systems the models of evaluation of changing of current and general technical readiness and the model of evaluation of technical readiness on the basis of the residual resource were investigated.

Criteria of technical readiness of compound technical systems of the equipment of enterprises at the first stages of exploitation and repairing were suggested.

Systematization of the main methodological principles of automation of planning and control of activity of the system of technical service and repairing was fulfilled, that assures rational using of repairing resources of enterprises for achieving and support of the certain level of technical readiness of the equipment taking into account peculiarities of the existing system of management and prospects of its development. Computer modeling of the researched parts for the automated control systems was done, and the example of realization of the strategy of projecting of the informational support of automated control system of repairing - technical service at the definite enterprise was proposed.

Keywords: information support, indivisible information space of an enterprise, compound technical system, functional subsystem, technical state, technical readiness.