

Міністерство освіти і науки України  
Донбаська державна машинобудівна академія

**СУКОВА ТЕТЯНА ОЛЕКСАНДРІВНА**



УДК 621.91.01

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВАЖКОГО ОБЛАДНАННЯ НА  
ОСНОВІ ВИЗНАЧЕННЯ ЙОГО РАЦІОНАЛЬНИХ ТЕХНІЧНИХ ТА  
КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ**

Спеціальність 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та  
інструменти

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Краматорськ 2019

Дисертацією є рукопис.

Дисертація виконана на кафедрі «Комп'ютеризовані мехатронні системи, інструмент і технології» Донбаської державної машинобудівної академії (ДДМА) Міністерства освіти і науки України, м. Краматорськ.

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент  
**Васильченко Яна Василівна**,  
Донбаська державна машинобудівна академія,  
м. Краматорськ, завідувач кафедри  
комп'ютеризованих мехатронних систем,  
інструментів і технологій

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент  
**Воронцов Борис Сергійович**,  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені  
Ігоря Сікорського», заступник завідувача  
кафедри з навчально-виховної роботи,  
професор кафедри технологій  
машинобудування

кандидат технічних наук, доцент  
**Сапон Сергій Петрович**,  
Чернігівський національний технологічний  
університет, доцент кафедри технологій  
машинобудування та деревообробки.

Захист відбудеться 23 грудня 2019 року о 15<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 12.105.02 Донбаської державної машинобудівної академії за адресою: м. Краматорськ, проспект Машинобудівників, 37, корпус №3, ауд. №3308.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Донбаської державної машинобудівної академії за адресою: м. Краматорськ, вулиця Академічна, 72, корпус №1 або web-адресою: <http://dgma.donetsk.ua/spetsializovana-vchena-rada-d12.105.02.html>

Автореферат розісланий 22 листопаду 2019 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 12.105.02  
кандидат технічних наук, доцент



С.Л. Міранцов

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Виробництво важкого енергетичного, металургійного, транспортного обладнання є основою машинобудування України та важливою складовою частиною її експорту. Можливість виготовлення важких машин, конкурентоспроможних на світовому ринку, забезпечується оснащенням машинобудівних підприємств сучасним верстатним обладнанням. Зараз виробники металорізальних верстатів не мають чіткої картини про вимоги споживачів до характеристик верстатів, а споживачі відчувають труднощі з вибором раціональних металорізальних верстатів для своїх виробничих умов.

Складність завдання обґрунтування характеристик нових верстатів або вибору раціональних верстатів обумовлена великою кількістю факторів, що впливають на рішення зазначеного завдання. До таких факторів належить різноманіття схем побудови технологічних операцій і багато характеристик деталей, що підлягають обробленню: конструктивно-геометрична форма, габаритні розміри, матеріал і метод отримання заготовки, точність і шорсткість поверхонь, маса, термооброблення, трудомісткість, програма випуску й ін.

Вибір обладнання на підприємствах на основі розрахунків економічної ефективності здійснюється вкрай рідко внаслідок високої трудомісткості розрахунків і можливості порівняння одночасно тільки двох варіантів, тому є актуальним розроблення методів оперативного вибору раціональних металорізальних верстатів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана у відповідності з науковою тематикою кафедри «Комп'ютеризовані мехатронні системи, інструменти та технології» Донбаської державної машинобудівної академії Дк-03-2001 «Підвищення якості та ефективності верстатного обладнання та різального інструменту для важкого машинобудування» (№0102U001664); Д-04-2004 «Розробка системи управління якістю роботи важких верстатів та інструментів» (№0104U004038); Д-06-07 «Розробка інтегрального комплексу оптимального управління адаптивною технологічною системою важких верстатів» (№0107U001306); Дк-08-04 «Удосконалювання технологічного середовища для автоматизованого виробництва продукції важкого машинобудування» (№0105U002445); Д-06-2007 «Розробка інтегрального комплексу оптимального управління адаптивною технологічною системою важких верстатів» (0107U001306); Д-05-2009 «Розробка інформаційних технологій для систем адаптивного управління процесом механічної обробки деталей на важких верстатах» (0109U002669); Д-03-2011 «Оперативна оптимізація процесів різання для систем адаптивного управління важкими верстатами нового покоління» (0111U000884); Д-03-2013 «Розробка технологічних систем для екологічно ефективної обробки деталей енергетики на базі адаптивних багатоцільових важких верстатів» (0113U000607); Дк-01-2014 «Підвищення надійності та продуктивності комп'ютеризованих мехатронних верстатів інструментальних систем

важкого машинобудування» (0114U002757); Д-03-2015 «Управління процесами механічної обробки деталей вітроенергетики з нових важкооброблюваних матеріалів на важких верстатах» (0115U003124); Д-03-2017 «Підвищення ефективності виготовлення виробів оборонного та енергетичного призначення шляхом створення високотехнологічних мехатронних верстатоінструментальних систем» (0117U001165)

**Мета і задачі досліджень.** Підвищення ефективності важких металорізальних верстатів на основі визначення їх раціональних технічних і конструктивних параметрів. Під ефективністю важких верстатів розуміється підвищення їх продуктивності, точності, зниження собівартості процесу оброблення деталей. Для досягнення зазначеної мети необхідно було вирішити такі **основні задачі**:

- провести статистичні дослідження умов оброблення великогабаритних деталей на підприємствах важкого машинобудування;
- розробити і впровадити базу знань про верстати, умови оброблення і оброблювані деталі;
- експериментально дослідити вплив конструктивних параметрів металорізальних верстатів на точність, якість і продуктивність оброблення;
- провести теоретичні дослідження залежностей показників механічного оброблення від конструктивних характеристик важких верстатів;
- розробити практичні рекомендації з проектування важких верстатів для підприємств важкого машинобудування.

**Об'єкт дослідження** – процес оброблення на важких токарних верстатах.

**Предмет дослідження** – раціональні конструктивні параметри важкого токарного верстата.

**Методи досліджень.** Методологічною основою роботи є комплексний підхід до вивчення процесу проектування та експлуатації важких верстатів, оброблення деталей на важких верстатах, їх умов і особливостей, закономірностей процесів проектування верстатів. В основу роботи покладено єдиний підхід щодо проведення теоретичних і експериментальних досліджень, що базується на фундаментальних положеннях теорій проектування верстатів.

Теоретичні дослідження базуються на основних положеннях теорії проектування важких металорізальних верстатів, теорій надійності, дослідження операцій, прийняття рішень, теорії ймовірностей та математичної статистики.

Експериментальні дослідження проводилися у виробничих умовах на реальному технологічному обладнанні. Вони базуються на теоріях регресійного та кореляційного аналізів, математичної статистики з використанням методик форсованих, прискорених, тривалих випробувань, моментних спостережень, інформаційної бази знань, евристичних методів. Робота виконувалася за допомогою сучасних засобів обчислювальної техніки.

### **Наукова новизна одержаних результатів**

1. Вперше одержані математичні моделі граничних значень конструктивно-технологічної складності деталі для виготовлення на важкому верстаті з ЧПК, які дозволяють встановити функціональні залежності між складністю оброблюваних деталей, функціями верстатів та функціональними блоками.

2. Удосконалено метод групування деталей важкого машинобудування на основі дослідження бази знань про роботу важких верстатів. Одержано результати класифікації та комплексні деталі-представники.

3. Вперше розроблено функціонально-структурні моделі нового важкого металорізального верстату з програмним керуванням для виготовлення виявлених груп деталей. Виявлено уніфікований склад функціональних блоків для побудови нових верстатів за блочно-модульним принципом.

4. Розроблено метод ранжування параметрів верстатів і оперативного вибору раціональної конструкції металорізальних верстатів з гами верстатів, що існує.

### **Практичне значення одержаних результатів**

1. Вдосконалена база знань з прецедентів параметрів механічного оброблення на підприємствах важкого машинобудування.

2. Розроблено методики оперативного вибору ефективного варіанту конструкції з їх типажу, і вибору нового металорізального верстату з ЧПК в залежності від номенклатури деталей, що виготовляються на підприємстві важкого машинобудування.

3. Розроблено методику відбору раціональних груп великогабаритних деталей для оброблення на металорізальних верстатах з ЧПК, що діє на підприємстві.

4. Розроблено рекомендації з проектування нового важкого металорізального верстату з ЧПК, а також методики відбору раціональних груп деталей для виготовлення їх на верстатах, що діють на виробництві.

5. Проаналізовано типові деталі, які оброблюються в умовах підприємств важкого машинобудування. Так, для ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод» сформовано три групи деталей-представників на основі кластерного аналізу габаритних розмірів і кількості необхідних формотвірних рухів. У результаті аналізу деталей-представників виявлені вимоги до конструкції металорізальних верстатів для конкретних умов підприємства, визначені параметри найбільш раціональних конструкцій важких токарних верстатів.

6. Розроблено функціонально-структурні моделі та компонування нового важкого токарного верстата з ЧПК, у тому числі багатocільового, технологічні можливості якого спеціалізовані на обробленні груп великогабаритних деталей, виявлених на основі бази знань.

7. Впроваджено технічні пропозиції для створення гами нових токарних верстатів на ПрАТ «Краматорський завод важкого машинобудування».

**Особистий внесок здобувача.** Всі наукові результати отримані здобувачем самостійно. Здобувач здійснила наукове обґрунтування розробок у галузі машинобудування, що забезпечує вирішення важливої прикладної задачі: підвищення ефективності важких верстатів на основі визначення їх раціональних технічних і конструктивних параметрів.

Постановка задач і аналіз наукових результатів виконані разом з науковим керівником і частково зі співавторами публікацій.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати роботи доповідалися та обговорювалися на понад 20 наукових конференціях і семінарах, у тому числі на міжнародних: X Всеукраїнській молодіжній науково-технічній конференції «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» (м. Суми, 2010 р.), IX Міжнародній науково-технічній конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку». (м. Краматорськ, 2011 р.), XII Всеукраїнській молодіжній науково-технічній конференції «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» (м. Київ, 2012 р.), XI Міжнародній науково-технічній конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» (м. Краматорськ, 2013 р.), XIV Всеукраїнській молодіжній науково-технічній конференції «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» (м. Суми, 2014 р.), XII Міжнародній науково-технічній конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» (м. Краматорськ, 2014 р.), XIII Міжнародній науково-технічній конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» (м. Краматорськ, 2015 р.), XIV Міжнародній науково-технічній конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» (м. Краматорськ, 2016 р.), VI Міжнародній науково-технічній конференції «Прогресивні технології у машинобудуванні» (м. Львів, 2017 р.), XV Міжнародній науково-технічній конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку». (м. Краматорськ, 2017 р.), XVI Міжнародній науково-технічній конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» (м. Краматорськ, 2018 р.); XVIII Всеукраїнській молодіжній науково-технічній конференції «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» (м. Краматорськ, 2018 р.), VIII Міжнародній науково-технічній конференції «Прогресивні технології у машинобудуванні РТМЕ – 2019» (м. Івано-Франківськ – Яремче, 2019 р.), XVII Міжнародній науково-технічній конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» (м. Краматорськ, 2019 р.).

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 34 наукові праці, у тому числі 1 монографія, 9 статей у наукових фахових виданнях (з них 1 стаття у міжнародних науко-метричних базах, 1 стаття у закордонних виданнях, 7 статей у вітчизняних виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз даних), 25 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел – 150 найменувань (16 с.) і 6 додатків. Основний текст роботи містить 121 сторінку, 65 рисунків, 21 таблицю. Загальний обсяг роботи становить 193 сторінок.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** розкрито суть і стан наукової задачі, обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і задачі досліджень, викладено наукові положення, які виносяться на захист, наведено дані щодо наукової новизни, обґрунтовано достовірність і показано практичну цінність отриманих наукових результатів, наведено дані про публікації й апробацію роботи.

**У першому розділі** здійснено аналіз сучасного стану проблеми вдосконалення використання сучасних верстатів. Проаналізовано умови оброблення великогабаритних деталей на підприємствах важкого машинобудування, дослідженні технологічні параметри та технологічні можливості важких верстатів, що мають першорядне значення.

Відзначено, що найбільш перспективними шляхами підвищення ефективності оброблення великогабаритних деталей є проектування нового металорізального верстату з ЧПК, спеціалізованого на груповому обробленні заготовок, а також оперативного вибору раціонального обладнання з типуажу верстатів, що існує. У цьому напрямку виконували роботи Б.С. Балакшин, В. В. Бушуєв, Я. В. Васильченко, Ю. М. Данильченко, В. В. Єпіфанов, В. В. Камінська, О. О. Ключко, В. Д. Ковальов, В. О. Кудінов, Ю. М. Кузнєцов, І. В. Луців, А. Д. Макаров, О. Б. Приходько, О. С. Проніков, В. Е. Пуш, Д. Н. Решетов, В. Б. Струтинський і багато інших вчених.

Значний внесок у вирішення актуальних проблем процесів токарного оброблення та підвищення його ефективності внесли вітчизняні вчені: Ю. М. Внуков, Б. С. Воронцов, А. І. Грабченко, В. О. Залого, В. С. Майборода, В. О. Остаф'єв, Ю. В. Петраков, Н. С. Равська, П. Р. Родін, Г. П. Клименко, С. А. Клименко, Є. В. Мироненко, Г. Л. Хаєт й інші.

Проаналізовано умови оброблення великогабаритних деталей (приклад деталей наведено на рис. 1) на підприємствах важкого машинобудування з охопленням близько 100 заводів і 439 одиниць верстатів. Структура інформаційної бази знань оброблення на важких верстатах показана на рис. 2. Розподіл деталей бази знань за призначенням показано на рис. 3. У таблиці 1 наведена номенклатура оброблюваних валків на ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод».



Рис. 1. Деталі-представники важкого машинобудування

Режими різання на виготовлення деталей з таблиці 1 представлені у таблиці 2.

Аналіз літературних джерел довів, що в сучасних дослідженнях недостатня кількість науково обґрунтованих системних методів технологічного проектування металообробних верстатів з ЧПК, рівень спеціалізації яких відповідає вимогам більшості механообробних виробництв важкого машинобудування. Інформаційно-технологічною основою спеціалізації нових металообробних верстатів з ЧПК є дослідження широкої номенклатури оброблюваних деталей важкого машинобудування.

Таблиця 1 – Номенклатура оброблюваних валків на ПрАТ «НКМЗ»

Габаритні розміри валів Ø бочки / L бочки / L деталі	Маса оброблюваних валків, т	Матеріал оброблюваних валків	Твердість бочки і шийок	Точність оброблюваних валків	Шорсткість поверхонь
1600 x 2700 x 6700 1500 x 2500 x 6300 1400 x 2000 x 5500 1200 x 1200 x 5000 1100 x 1500 x 4800	від 12–60 т	Ст50, 60ХН, 50ХН, 60Х2СМФ, 75ХМФ 75Х2МФ, 60Х2С2МФ,	Бочки і шийок до 320НВ. Бочки від 60 до 85 HRA Шийок 30 до 55HRA	Биття бочки та шийок від 0,05мм до 0,005мм	від Ra3,2
1000 x 2500 x 5700 900 x 2000 x 4800 600 x 1800 x 4600 500 x 1700 x 4300 450 x 1500 x 3700	від 1,8–12 т	90ХФ, 80Х3МФ, 80Х5МФ, 70Х3ГНМФ	Бочки і шийок до 320НВ. Бочки від 60 до 100 HRA Шийок від 30 до 55HRA	Биття бочки та шийок від 0,02мм до 0,005мм	до Ra0,4

Передумовою проектування і створення спеціалізованих металообробних верстатів з ЧПК є наявність наукового і технологічного забезпечення, що дозволило б всебічно оцінювати вплив різних чинників на його технологічні можливості та споживчі властивості.



Таблиця 2 – Режими різання при обробленні деталей важкого машинобудування

Найменування деталі	Діаметр, мм	Вид точіння	$t$ , мм	$S$ , мм/об	$V$ , мм/хв	$n$ , хв <sup>-1</sup>	$P_z$ , Н	$P_y$ , Н	$P_x$ , Н	$N_э$ , кВт
Ротор	492.6	чорнове	10	0.6	23.5	15	13244.2	5728.6	7720.9	5.1
		чистове	0.5	1.3	28.1	18	1151.3	582.5	529	0.5
	1640	чорнове	10	1.2	18.5	4	23099.6	9338.5	12031.7	7
		чистове	0.5	1.5	26.8	5	1291.4	644.4	579.8	0.6
Валок	500	чорнове	10	1.1	19	12	21541.6	8782.8	11380	6.7
		чистове	0.4	1.3	29.1	19	916.4	471.8	417.6	0.4
	1400	чорнове	10	1.4	17.5	4	26141.4	10410.5	13279.2	7.5
		чистове	0.3	1.8	27.1	6	886.7	452.2	379.1	0.4
Вал	310	чорнове	10	0.8	21.3	22	16683.6	7016.7	9281.7	5.8
		чистове	0.5	1.1	29.8	31	1006.9	517.8	475.4	0.5
	430	чорнове	10	0.8	21.3	22	16683.6	7016.7	9281.7	5.8
		чистове	0.5	1.3	28.1	21	1151.3	582.5	529	0.5

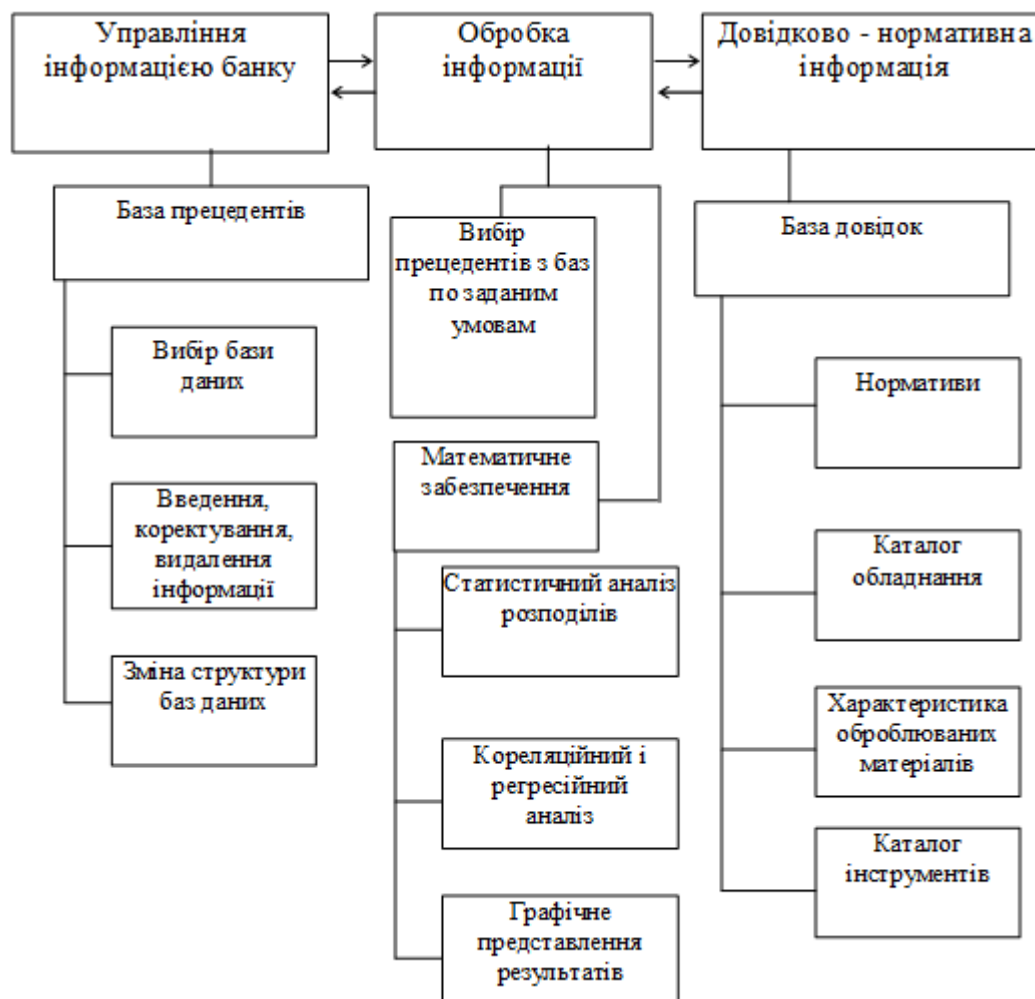


Рис. 2. Структура інформаційної бази знань оброблення деталей на важких верстатах



Рис. 3. Розподіл деталей бази знань за призначенням

У другому розділі наведено методи дослідження і проектування важких металорізальних верстатів.

На етапі технологічного проектування металорізальних верстатів розроблена його функціонально-структурна модель, яка встановлює комплекс необхідних і достатніх функцій, що реалізуються верстатом, і матеріальних носіїв (агрегатів, вузлів і т. д.), які їх забезпечують. Побудовано алгоритм проектування важких верстатів, визначені входи і виходи процесу (рис. 4). Для розгляду внутрішньої структури процесу проектування з використанням механізму декомпозиції побудована діаграма, у якій представлені всі процеси, що входять в основний процес, і взаємозв'язки між ними (рис. 5).

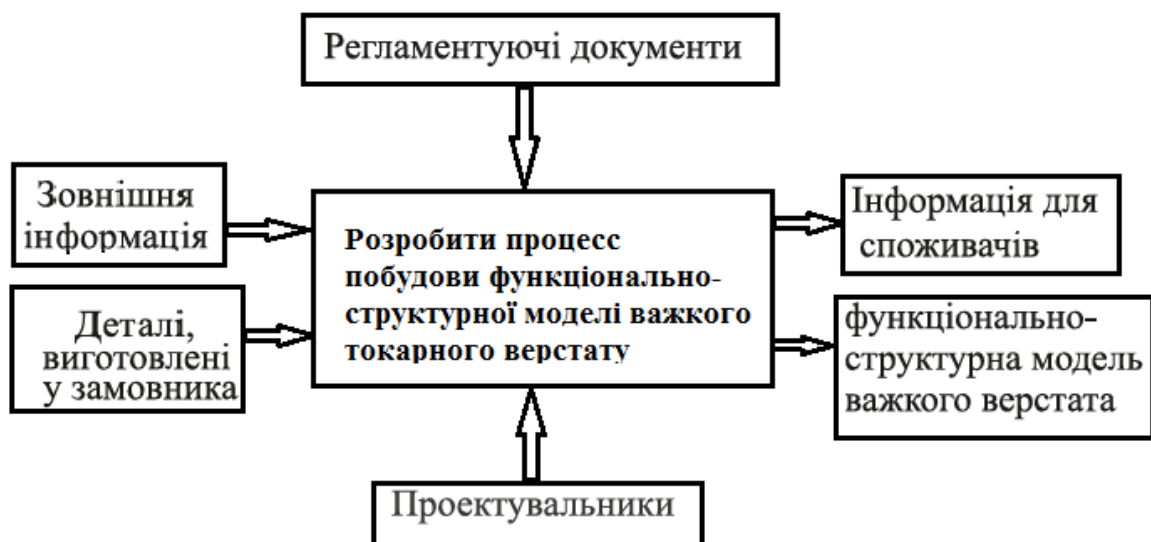


Рис. 4. Алгоритм проектування важкого верстата

Наступним процесом є розробка технологічних процесів і операцій, що також є складним багатоальтернативним завданням (блок 4). Структура

побудови технологічних операцій істотно впливає на формування функціонально-структурної моделі верстату. Та ж сама комплексна деталь може бути оброблена за послідовною, паралельною і послідовно-паралельною схемою, що потребують вибору верстатів з різними функціями і функціональними блоками. Входом блоку 4 є комплексні деталі-представники, а виходом – раціональні структури технологічних операцій оброблення деталей.

Входом верстатної системи є комплексна деталь певної складності  $S_i$ , і раціональна схема оброблення  $T_i$  цієї комплексної деталі. Від складності комплексної деталі  $S_i$  і схеми її оброблення  $T_i$  залежать склад функцій  $F_i$  та структура верстату і перш за все склад і кількість функціональних блоків  $B_i$ , обладнання (станина, шпиндельні бабки, супорта й ін.), які прийняті у якості виходу верстатної системи.

Функції  $F_i$  верстатної системи визначаються шляхом багатозначного відображення множин комплексної деталі складністю  $S_i$  і структур технологічних  $T_i$  у множині функцій  $F_i$  верстату:

$$r: S * T \rightarrow F, \quad (1)$$

де  $r$  – відображення множин;

$S = \{S_i\}$  – множина комплексної деталі складністю  $S_i$ ;

$T = \{T_i\}$  – множина структур технологічних операцій, що реалізуються верстатною системою;

$F = \{F_i\}$  – множина функцій верстатної системи.

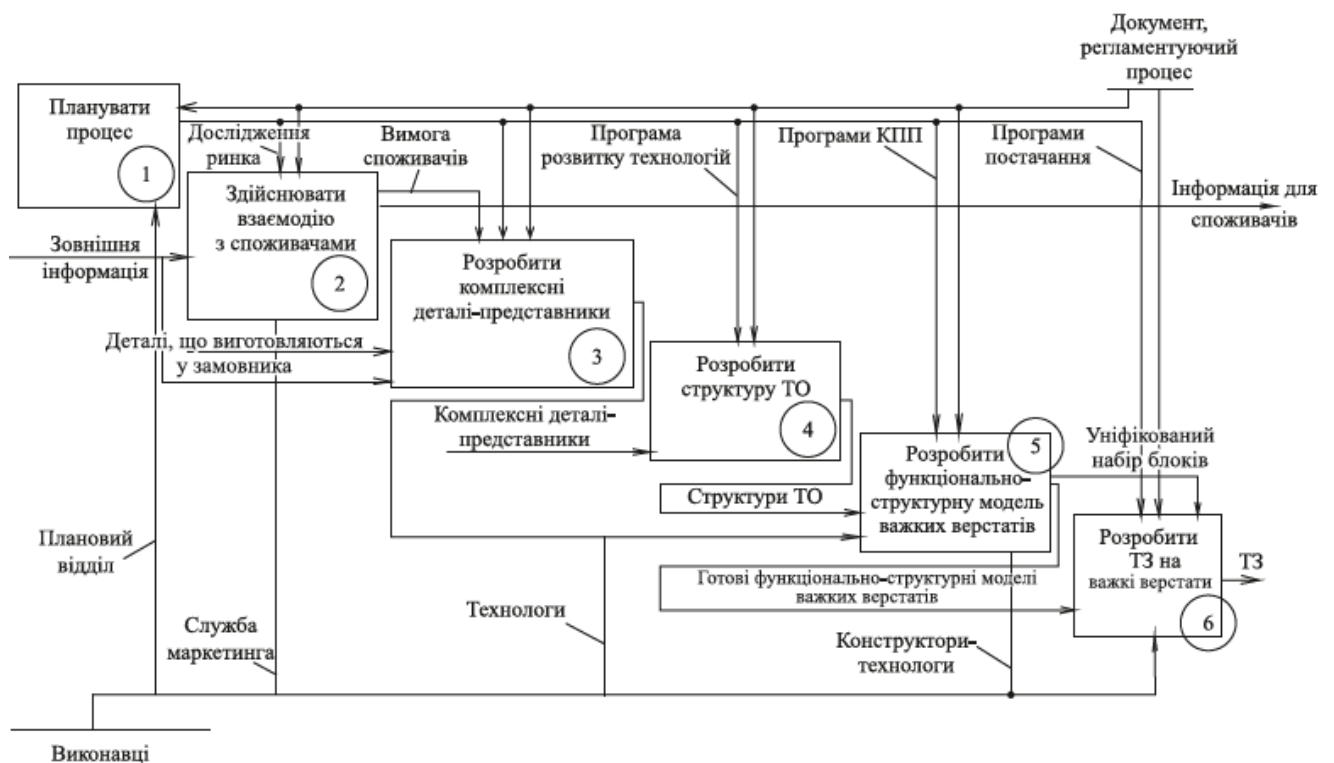


Рис. 5. Схема процесу побудови функціонально-структурної моделі важких верстатів

Таким чином, кожна множина елементів  $S_i T_i \in S * T$  по множині  $F$  буде підмножина функцій  $F_i$  верстатної системи, зіставлених при відображенні  $r$  елементами  $S_i * T_i$ :

$$r(S_i * T_i) = \{F_i : (\cup S_i * T_i)(S_i * T_i; F_i) \in r\}, \quad (2)$$

процес побудови функціонально-структурної моделі забезпечує підбір функціональних блоків для реалізації функцій верстата шляхом відображення  $d$  множини функцій  $F$  верстата у множину  $B$  функціональних блоків:

$$d: F \rightarrow B. \quad (3)$$

Тоді способом для кожної функції  $d(F_i)$ , яку необхідно реалізувати верстату, буде один або кілька функціональних блоків  $B_i$ , що забезпечують цю функцію:

$$d(F_i) = (\{B_i\} : (\exists F_i)(F_i; B_i) \in d). \quad (4)$$

Уніфікований склад функціональних блоків  $B_i$  для побудови нового верстату за блочно-модульним принципом визначимо шляхом знаходження області значень відображення  $d$  за допомогою об'єднання образів функцій  $F$ :

$$B_i = [\cup (\cup d(F_i)) \in B \vee (F_i) \in F]. \quad (5)$$

Функціонально-структурне дослідження верстатної системи виконано на основі функціонально-вартісного аналізу, для реалізації якого запропонований ряд взаємопов'язаних етапів, у тому числі інформаційний етап (обґрунтування вихідних даних), аналітичний етап (функціональне моделювання верстатів з ЧПК), творчий етап (функціонально-структурне моделювання верстатів з ЧПК), дослідницький етап (визначення значимості функцій і витрат на їх реалізацію), рекомендаційний етап (вибір оптимального варіанта компоновки верстатів з ЧПК).

Головна функція  $F_0$ , що характеризує верстат з ЧПК як відокремлену систему, сформульована таким чином: "обробити групу заготовок у межах технічних параметрів і технологічних можливостей верстата".

Основні функції забезпечують виконання головної ролі та визначають технологічні можливості верстата. Реалізація головної функції у першу чергу пов'язана з виконанням верстатом необхідних рухів формоутворення поверхонь. Кількість і склад формотвірних координат верстата зумовлюють його структуру і компоновку, тому в якості основних функцій  $F_i$  нами прийняті координатні переміщення  $\Phi_k$  виконавчих органів

металорізального верстата, необхідні для оброблення поверхонь комплексних деталей.

Допоміжні функції  $f_{ij}$  забезпечують реалізацію основних функцій  $F_{ij}$  і визначають переміщення виконавчих органів верстата відносно один одного і заготовки для реалізації формотвірних координат  $\Phi$ . Згідно співвідношенню (3) вибір функціональних блоків для побудови верстата здійснюється шляхом встановлення їх взаємозв'язку з його функціями, у цьому випадку – допоміжними функціями, і закінчується побудовою функціонально-структурної моделі верстату (рис. 6).

З огляду на співвідношення (4) необхідно на основі функціонально-структурної моделі всіх верстатів визначити уніфікований склад функціональних блоків.

На наступному етапі виконується вартісний аналіз отриманих функціонально-структурної моделі верстатів, що передбачає оцінювання значимості функцій верстата і визначення функціонально виправданих витрат за функціональними блокам верстата. Значимість основних функцій верстата оцінена за кількістю зв'язків, що забезпечують їх допоміжні функції з функціональними блоками. Визначено відносні витрати кожного функціонального блока шляхом оцінювання сумарної значимості функцій верстата. Виконані розрахунки дозволяють виявити, на які функціональні блоки доведеться найбільша частка витрат при створенні верстата. Саме проектуванню і виготовленню згаданих функціональних блоків має бути приділена підвищена увага і витрачені значні кошти, оскільки вони багато у чому визначають реалізацію функцій верстата і в цілому його споживчих властивостей.

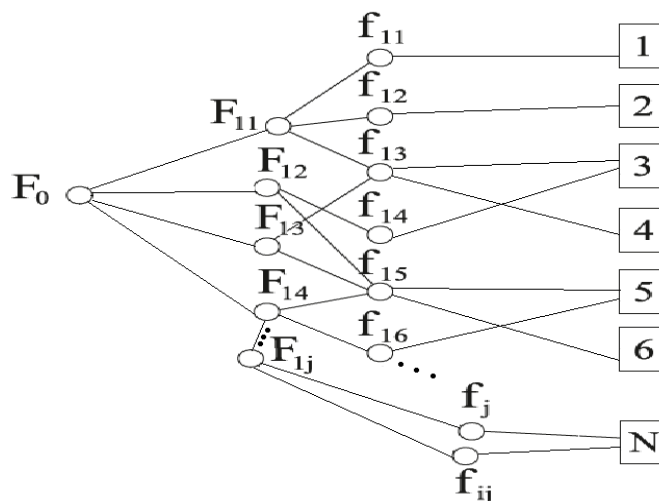


Рис. 6. Функціонально-структурна модель важкого верстата з ЧПК

З огляду на те, що основні функції верстатів, виражені його формотвірними координатами, залежать від складності оброблюваних деталей, необхідно перейти до вирішення найважливішого завдання: розроблення математичної моделі оцінювання складності деталі та встановлення її взаємозв'язку з основними функціями верстата.

**Третій розділ** присвячений розробленню методичних основ поетапного групування деталей важкого машинобудування, їх апробації на прикладі формування їх груп на основі бази знань про деталі.

Для визначення конструктивно-технологічних і організаційно-планових показників деталей розроблено інформаційну модель деталі, яка є основною структурною одиницею бази знань про деталі. Деталь  $D$  у базі даних охарактеризована і відповідно описана деякою сукупністю (множиною) ознак:

$$D = \{P_1, \dots, P_i, \dots, P_n\}, \quad (6)$$

де  $P_i$  –  $i$ -та ознака деталі;

$n$  – загальна кількість ознак.

Кожна з  $n$  ознак у свою чергу може бути представлений двома частинами: найменуванням ознаки  $X_i$  і його числовим значенням  $x_i$ . При кодуванні будь-якого об'єкта за певною ознакою використовується відповідна йому класифікаційна система (таблиця), прикладами якої є конструкторські та технологічні класифікатори.

При формуванні інформаційної моделі деталі вирішується задача створення раціонального набору класифікаційних ознак, які є найбільш інформативними для створення верстатів з ЧПК.

Це завдання належить до класу задач, пов'язаних з оцінюванням необхідності та достатності деякої сукупності ознак, і вирішено шляхом накладення множини  $Y = (y_1, \dots, y_i)$  параметрів важкого верстата з ЧПК на множину класифікаційних ознак  $X = (x_1, \dots, x_i)$ . Накладення множини  $Y$  на множину  $X$  математично можна представити за допомогою відображення множин.

У цьому випадку маємо багатозначне відображення  $v$  множини  $Y$  параметрів об'єктів виробництва у множині  $X$  класифікаційних ознак:

$$v: Y \rightarrow X. \quad (7)$$

Відображення  $v$  означає, що кожному елементу  $y_i$  множини  $Y$  зіставляється один або кілька елементів  $x_i$  множини  $X$ , яке у тій чи іншій мірі впливає на  $y_i$ .

Тоді способом  $v(y_i)$  кожного параметра верстата з ЧПК  $y_i \in Y$  по підмножині  $X$  буде підмножина класифікаційних ознак  $x_i \in X$ , що зіставляються при відображенні  $v$  елемента  $y_i$ :

$$v(y_i) = \{x_i\} \in X, \quad (8)$$

де  $\{x_i\}$  – підмножина класифікаційних ознак, які є найбільш інформативними для  $y_i$ .

Наступний крок відображення множин  $v$  полягає в об'єднанні образів всіх параметрів об'єкта виробництва  $(y_1, \dots, y_i) \in Y$ , що дозволяє отримати шуканий набір найбільш інформативних класифікаційних ознак:

$$U_{n \in N \nu}(y_i) = x_i / \{ \exists n(n \in N) \wedge x_i \in \nu(y_i) \}, \quad (9)$$

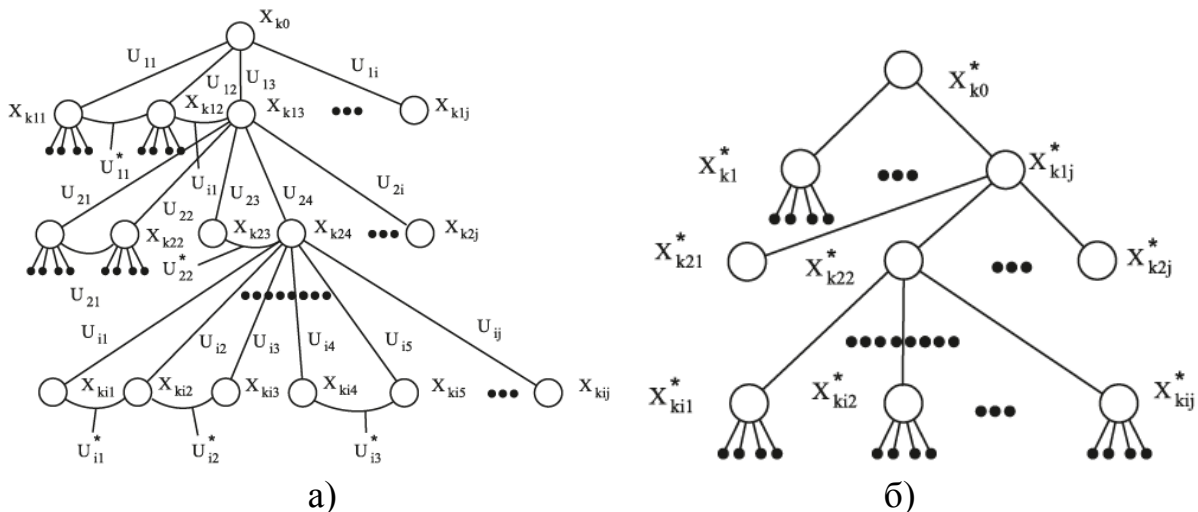
де  $N$  – множина образів елементів  $(y_1, \dots, y_i) \in Y$  при відображенні  $\nu$ ;  
 $n$  – елементи множини  $N$ .

Раціональний склад класифікаційних ознак  $X_I$  (або область значень відображення  $\nu$ ) визначаємо таким чином:

$$X_1 = \{ (U_{n \in N \nu}(y_i) \in X) \subseteq X_{кл} \quad (10)$$

Завдання виявлення найбільш інформативних класифікаційних ознак для конструкторської та технологічної підготовки виробництва вирішено при доповненні бази знань про деталі, що виготовляються на підприємствах Донецької області.

Ієрархічна структура передбачає дедуктивний логічний поділ множин ознак, що класифікуються, це забезпечує послідовність але збільшує конкретизацію ознак деталей на різних рівнях ділення. Ієрархічну структуру можна уявити у вигляді графа-дерева  $L_g = (X_k, U)$ , де  $X_k$  – множина вершин графа (або у цьому випадку – множина конструкторських ознак) та  $U$  множина ребер, що показують взаємозв'язок ознак-вершин (рис. 7, а).



а, б – до та після стягування, відповідно  
 Рис. 7. Граф-дерево ознак деталей

У результаті кодування кожної деталі присвоюється тільки один класифікаційний вид, шестизначний цифровий код виходить шляхом послідовного кодування характеристик деталей за класифікаційними угрупованнями.

За структурою п'яти класів передбачено близько 15 тисяч класифікаційних видів, що при класифікації представницького масиву деталей відповідає створенню приблизно такої ж кількості дрібних груп деталей. Це вкрай ускладнює їх використання у якості типової основи для створення нових проектних рішень. Тому необхідна розробка алгоритму

скорочення кількості класифікаційних видів, що відповідає процесу групування деталей.

У четвертому розділі наведено результати впровадження роботи. На основі проведених досліджень розроблена модель важкого багатоопераційного верстата (рис. 8), призначеного для токарного, фрезерного, свердлувального, глибокорозточувального та шліфувального оброблення великих деталей типу тіл обертання (прокатні валки, вали роторів, турбін, генераторів й ін.) з різних матеріалів.

На верстаті можна робити оброблення складних прямолінійних і криволінійних поверхонь із постійною швидкістю різання за керувальною програмою, нарізування циліндричних і конічних різьб, розточення отворів, розташованих по осі обертання деталі. З використанням знімального фрезерно-свердлувального пристосування можливе свердління на периферії оброблюваної деталі й фрезерування шпонкових пазів.

Верстат оснащується двома супортами – універсальним (розташований на верстаті першим від передньої бабки) для виконання токарних операцій із двома плоскими різцетримачами або з револьверною різцевою головкою та спеціальним супортом для виконання токарних, свердлильних, фрезерних, шліфувальних операцій, токарного оброблення загартованих поверхонь і виставлення осі деталі на вісь верстата у кулачках передньої бабки у люнеті.

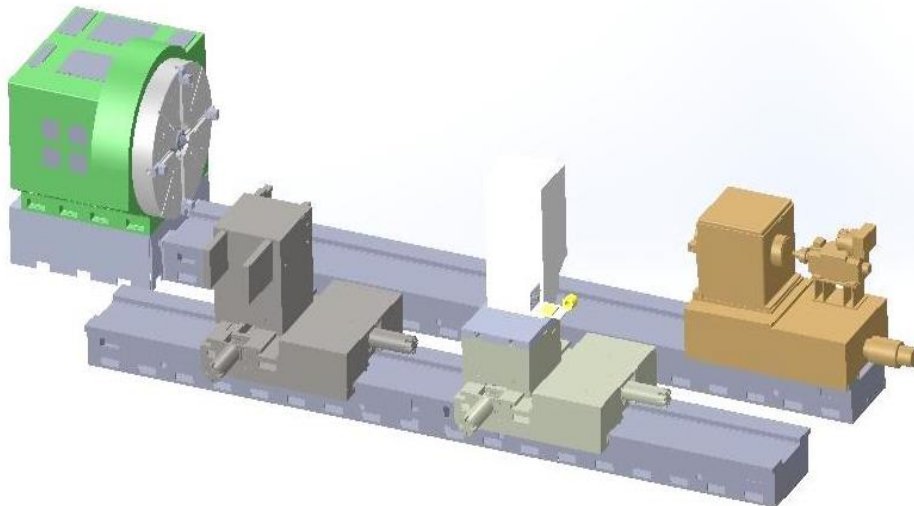


Рис. 8. Модель важкого багатоопераційного верстата

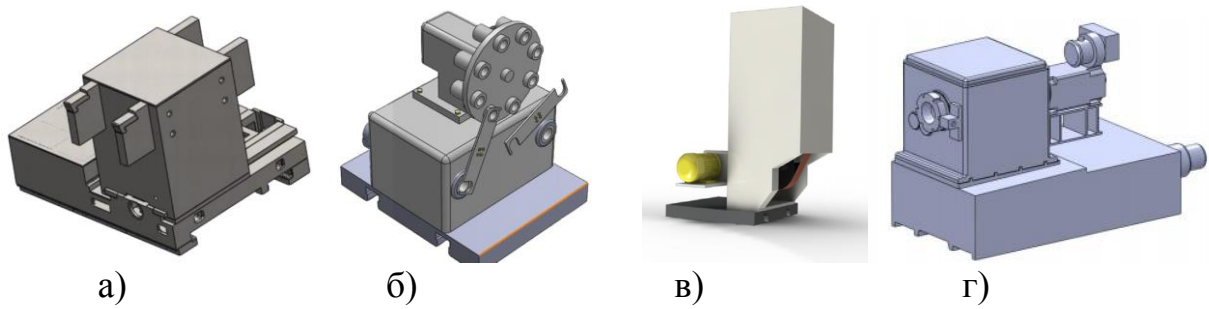
Для виконання вище перерахованих операцій і робіт на супорт спеціальний можуть бути встановлені змінні вузли: головка фрезерно-свердлильна, центрошукач, головка різцева, головка полірувальна, головка тонкого точіння.

Моделі змінних модулів для спеціального супорта наведені на рис. 9.

Для проведення глибокорозточувальних операцій розроблено модель стеблової бабки (рис. 9, г), яка призначена для установки і фіксації стебла з різальним інструментом по осі верстата, а також надання стеблу обертального і поступального або тільки поступального руху уздовж осі



верстата (подачі та швидких, налагоджувальних переміщень), а також при необхідності закріплення другого кінця деталі при обробленні її у центрах.



а – супорт ламельний; б – фрезерно-свердлильна головка;  
в – шліфувальний модуль, г – стеблова бабка  
Рис. 9. Моделі змінних модулів для спеціального супорта

Верстат оснащується магазином для зберігання змінних вузлів і транспортування їх до місця перевантаження.

Режим роботи верстата – програмний з керуванням роботи супорта й шпиндельної бабки від пристрою ЧПК.

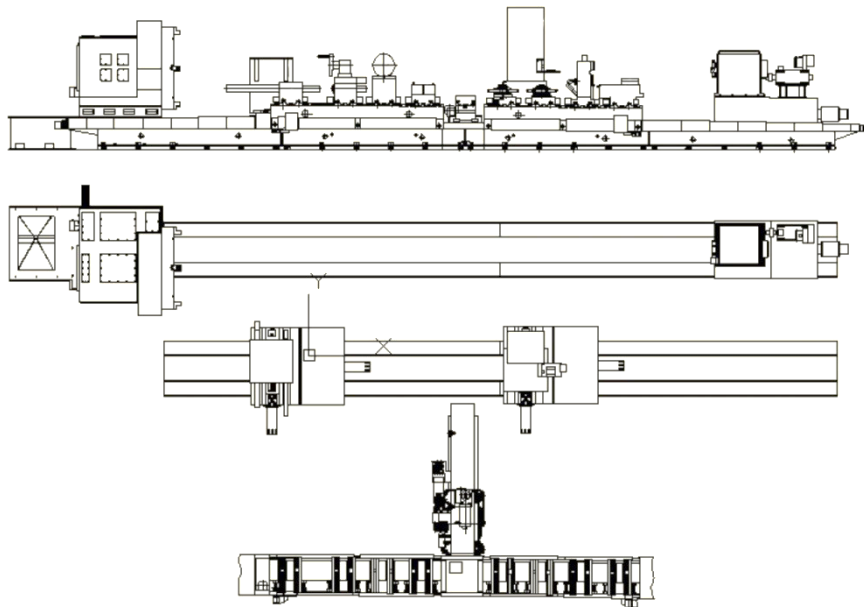
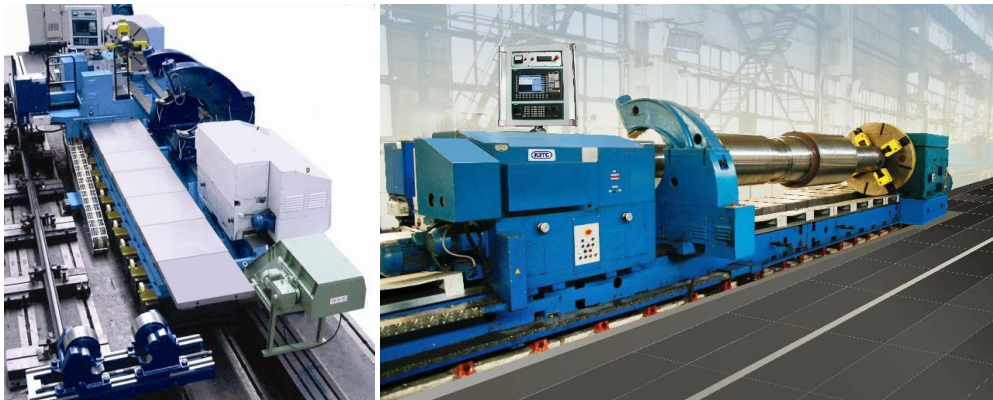


Рис. 10. Компонування багатоцільового верстата зі змінними модулями

Верстат використовує ряд характеристик, які збільшують продуктивність. Швидка зміна оснастки забезпечує максимальну гнучкість і універсальність у застосуванні верстата, які дозволяють виробляти розточування і оброблення поверхні за одну установку. Компонування багатоцільового верстата зі змінними модулями наведено на рис. 10.

Результати проведених досліджень впроваджено при розробці нової гама важких токарних верстатів з ЧПК підвищеної точності виробництва ПрАТ «Краматорський завод важкого верстатобудування» (ПрАТ КЗВВ).

Верстати мод. КЖ16274Ф3, КЖ16275Ф3 (рис. 11) розроблені для оброблення деталей типу «прокатний валок», «роторний вал» (рис. 12) в умовах виробництва ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод».



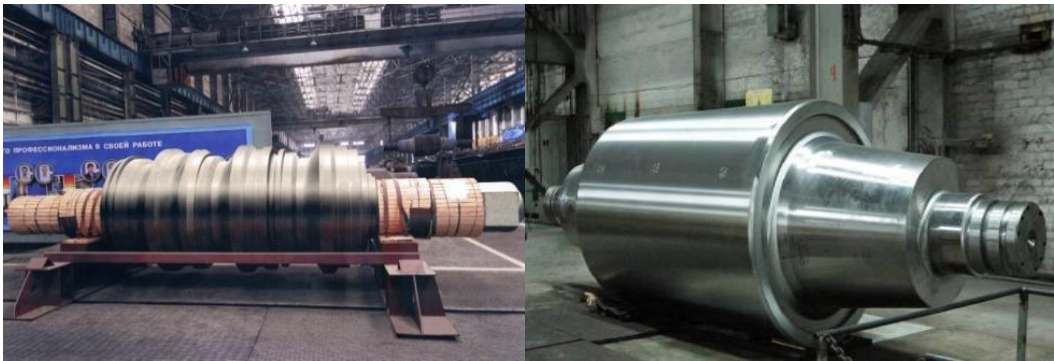
а)

б)

а – верстат мод. КЖ16274Ф3 для оброблення деталей діаметром до 1300 мм, довжиною до 6000 мм, масою до 25 т

б – верстат мод. КЖ16275Ф3 для обробки деталей діаметром до 2000 мм, довжиною до 8000 мм, масою до 63 т

Рис. 11. Верстати мод. КЖ16274Ф3, КЖ16275Ф3



а)



б)

а – прокатний валок, б – роторний вал

Рис. 12. Деталі-представники підприємства важкого машинобудування.

## ВИСНОВКИ

1. У результаті проведених досліджень вирішена актуальна науково-технічна задача, що має важливе промислове значення, яке полягає у визначенні раціональних технічних конструктивних параметрів важких верстатів з ЧПК, що дозволяють підвищити на підприємствах важкого машинобудування продуктивність на 20–35 %, точність – у 1,5–2 рази та зниження собівартості виготовлення деталей важкого машинобудування – на 20–25 %.

2. Верстати з ЧПК дозволяють підвищити продуктивність оброблення у 2–5 разів у порівнянні з універсальними верстатами з ручним керуванням. Ефективність експлуатації важких верстатів з ЧПК часто не досягає бажаних результатів через відсутність науково обґрунтованої оцінки їх технологічної насиченості на етапі проектування верстатів та приведення їх у відповідність до виробничих вимог підприємств важкого машинобудування.

3. Аналіз експлуатації важких верстатів з ЧПК довів, що часто їх технологічна насиченість не відповідає конструктивно-технологічним характеристикам оброблюваних заготовок. Розміри робочого простору верстатів на 20–50 % перевищують габаритні розміри встановлюваних заготовок, кількість формотвірних рухів й інструментів у магазині також буває зайвою на 15–30 %. Це призводить до більш високої матеріало- та енергоємності верстатів, а отже завищеної собівартості виготовлення деталей до 50 %.

4. Розроблено алгоритм процесу побудови функціонально-структурної моделі важкого верстата, який формалізує послідовність розроблення комплексних деталей-представників певної складності та побудови відповідних функціонально-структурних моделей верстатів.

5. Розроблено математичні моделі, які дозволили встановити функціональні залежності між складністю оброблюваних деталей, функціями верстату та функціональними блоками. Запропоновано залежності для визначення уніфікованого складу функціональних блоків для побудови всієї гама важких верстатів на єдиній елементній основі.

6. Розроблено метод поетапного групування деталей на основі кластерного аналізу в залежності від складності деталей. Виконано статистичний аналіз характеристик деталей бази знань, яка нараховує більш ніж 5800 прецедентів, що дозволяє виявити з них ті, які найбільш широко застосовуються, і встановити можливість об'єднання деталей у групи.

7. Застосування методу поетапного групування бази знань деталей дозволило виявити групи деталей, що мають широке поширення на підприємства важкого машинобудування, для виготовлення яких доцільно створення нової гама верстатів з ЧПК.

8. Запропоновано функціонально-структурні моделі та параметри гама важкого спеціалізованого токарного, у тому числі багатопільового, верстату з ЧПК, уніфікований склад функціональних блоків для побудови важких верстатів за блочно-модульним принципом.

9. Виконано ранжування токарних верстатів з ЧПК, що існують, і запропоновані матриці оперативного вибору найбільш доцільної групи важких верстатів з ЧПК у порівнянні з верстатами з ручним керуванням.

10. Виявлено, що при обробленні деталей з додатковими елементами забезпечується зниження приведених витрат (на 40–55 %) при обробленні деталей на багатоцільовому токарному верстаті з ЧПК, що реалізує токарне, фрезерне, свердлувальне, шліфувальне, глибокорозточувальне оброблення, у порівнянні з обробленням на декількох верстатах.

11. Теоретичні й експериментальні дослідження, а також проектні рішення були використані при розробленні технічних пропозицій на створення нового важкого верстату. Економічний ефект від впровадження їх у розрахунку на 1 верстат складає 67 тис. грн. Сформовані групи деталей типу тіл обертання, що мають широке поширення на підприємстві ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод», які економічно доцільно виготовляти на металорізальному обладнанні з ЧПК. Продуктивність оброблення великогабаритних відповідальних деталей підвищена на 30–45 %. Фактичний економічний ефект від впровадження – 124 тис. грн. Результати роботи впроваджено у навчальний процес ДДМА.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Публікації, що входять до міжнародних науко-метричних баз

1. Kovalov V. D., Vasilchenko Y. V., Klymenko G. P., Sukova T. A., Saenko M. A. Development of decision – making system for the implementation of optimal adaptive control. *Modern trends in material processing: collective monograph* / Edited by Predrag Dašić. Vrnjačka Banja, 2018. Pp. 122–143. ISBN 978-86-6075-065-7. (Розробка системи прийняття рішень для здійснення оптимального адаптивного контролю).

2. Kovalov V., Vasilchenko Y., Turmanidze R., Dašić P., Sukova T., Shapovalov M. The technique of designing high-power CNC lathes for enterprises of the heavy engineering industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 568 (2019) (Special Volume with: *Annual Session of Scientific Papers «IMT ORADEA 2019»*; Oradea, Felix Spa; Romania; 30–31 May 2019), Article no. 012119: pp. 1–6. ISSN 1757-8981. DOI: 10.1088/1757-899X/568/1/012119. (Досліджено техніку проектування потужних верстатів з ЧПУ для підприємств важкої інженерної галузі).

### Публікації, що входять до переліку фахових видань

3. Васильченко Я. В., Ковалев В. Д., Сукова Т. А., Статкевич А. В. Анализ входных параметров адаптивных технологических систем работы тяжелых станков. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем*: зб. наук. пр. Краматорськ, 2009. № 25. С. 56–59. (Проведено аналіз входних параметрів адаптивних технологічних систем роботи важких верстатів).

4. Ковальов В. Д., Гаков С. О., Сукова Т. О. Дослідження процесу ремонтного відновлення колісних пар рухомого складу токарною

обробкою. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*: зб. наук. праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. Харків, 2010. № 53. С. 158. (Досліджено процес ремонтного відновлення колісних пар рухомого складу токарним обробленням).

5. Ковальов В. Д., Васильченко Я. В., Сукова Т. О. Підвищення ефективності важкого металорізального обладнання на основі визначення його раціональних технічних та конструктивних параметрів. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Технічні науки*. Житомир, 2011. № 3 (58). С. 60–66. (Дослідженні методи підвищення ефективності важкого металорізального обладнання на основі визначення його раціональних технічних і конструктивних параметрів).

6. Васильченко Я. В., Сукова Т. А., Шаповалов М. В. Исследование технических параметров и технологических возможностей тяжелых токарных станков. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем*: зб. наук. пр. Краматорськ, 2011. № 29. С. 76–84. (Досліджені умови роботи різальних інструментів на важких верстатах).

7. Сукова Т. А., Шевченко Э. С. Создание нового рационального металлорежущего оборудования для условий тяжелого машиностроения. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем*: зб. наук. пр. Краматорськ, 2012. № 32. С. 155–160. (Створені рекомендації щодо проектування нового раціонального металорізального обладнання для умов важкого машинобудування).

8. Васильченко Я. В., Сукова Т. А., Шаповалов М. В. Разработка технологических систем для обработки крупногабаритных деталей на базе адаптивных многоцелевых тяжелых станков. *Машиноприладобудування та транспорт*: вестник СевНТУ, 2013. № 139. С. 28–32. (Створено базу знань про роботу різальних інструментів на важких верстатах).

9. Сукова Т. А. Повышение эффективности тяжелого металлорежущего оборудования на основе определения его рациональных технических и конструктивных параметров. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем*: зб. наук. пр. Краматорськ, 2014. № 34. С. 135–141. (Дослідженні методи підвищення ефективності важкого металорізального обладнання на основі визначення його раціональних технічних і конструктивних параметрів).

#### **Публікації у закордонних виданнях**

10. Васильченко Я. В., Сукова Т. А. Статистические исследования предприятий тяжелого машиностроения для определения рациональных технических параметров станков нового поколения. *Проблемы проектирования и автоматизации машиностроительных производств*: сб. науч. трудов. Управление качеством технологических процессов в машиностроении. Волгоградский государственный технический университет; Закрытое акционерное общество «ОНИКС». Волгоград, 2013. 208 с. С. 163–172. ISBN 978-5-9903070-7-4. (Розроблено банк даних про роботу збірних різців на важких верстатах).

### Публікації апробаційного характеру

11. Клименко Г. П., Сукова Т. А. Прогнозирование контактных процессов на поверхности режущего инструмента на тяжелых станках для определения рациональных режимов резания. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: матеріали VI Міжнародної наук.-техніч. конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2008. С. 55.

12. Клименко Г. П., Ткаченко Н. А., Белоус С. С., Сукова Т. А. Определение расхода инструмента (запаса) для надежного инструментообеспечения технологической системы. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2008. С. 56.

13. Клименко Г. П., Сукова Т. А. Определение регламентов ресурсообеспечения для технологической системы тяжелого станка. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2009. С. 40.

14. Васильченко Я. В., Сукова Т. А., Шаповалов М. В., Полунина Л. В. Входные параметры адаптивных технологических систем работы тяжелых станков. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2010. С. 21.

15. Клименко Г. П., Хоменко А. В., Сукова Т. А. Определение надежности обеспечения требуемой точности для повышения стабильности обработки на тяжелых станках. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2010. С. 47.

16. Сукова Т. А. Определение рациональных технических параметров новых станков на базе статистических исследований предприятий тяжелого машиностроения. *Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво*: тези доповідей X Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції. Суми, 2010. С. 134.

17. Васильченко Я. В., Сукова Т. А., Полунина Л. В. Оперативная оптимизация процесса резания при токарной обработке. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: матеріали IX Міжнародної науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2011. С. 22.

18. Сукова Т. А. Пути повышения эффективности тяжелого металлорежущего оборудования. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2012. С. 96.

19. Клименко Г. П., Васильченко Я. В., Сукова Т. А. Повышение качества тяжелого токарного станка с ЧПУ и процесса его эксплуатации. *Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво*: тези доповідей XII Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції. Київ, 2012. С. 61.

20. Васильченко Я. В., Сукова Т. А. Повышение эффективности тяжелого металлорежущего оборудования на основе его рациональных технических и конструктивных параметров. *Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво*: тези доповідей XII Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції. Київ, 2012. С. 25–26.

21. Васильченко Я. В., Сукова Т. А., Шевченко Э. С., Лобов А. В. Выбор рациональной компоновки станков на основе анализа базы знаний о предприятиях тяжелого машиностроения. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2013. С. 26.

22. Васильченко Я. В., Сукова Т. О., Григор'єв В. К. Підвищення ефективності важкого металорізального обладнання на основі визначення його раціональних технічних та конструктивних параметрів. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2014. С. 23.

23. Сукова Т. О., Васильченко Я. В. Розробка інформаційної системи прогнозування параметрів важких верстатів як засобу підвищення ефективності автоматизованого виробництва. *Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї наука виробництво*: тези доповідей XIV Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції. Суми, 2014. С. 91–92.

24. Васильченко Я. В., Сукова Т. А., Шаповалов М. В. Визначення раціональних технічних та конструктивних параметрів верстатів для обробки великогабаритних деталей. *Прогресивні технології у машинобудуванні*: збірник наукових праць III Всеукраїнської науково-технічної конференції. Львів, 2015. С. 26–28.

25. Сукова Т. О. Підвищення ефективності автоматизованого виробництва за допомогою використання інформаційної системи прогнозування параметрів важких верстатів. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2015. С. 88.

26. Ковалёв В. Д., Лобов А. В., Сукова Т. А. Разработка модели суппорта по модульному принципу. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2016. С. 42.

27. Ковальов В. Д., Васильченко Я. В., Шаповалов М. В., Сукова Т. О. Методика визначення підвищення міцності твердосплавного різального інструменту для важких верстатів шляхом оброблення імпульсним магнітним полем. *Прогресивні технології у машинобудуванні*: збірник наукових праць VI Міжнародної науково-технічної конференції. Львів, 2017. С. 53.

28. Ковальов В. Д., Васильченко Я. В., Сукова Т. А., Буренок К. К. Підвищення ефективності важкого металорізального обладнання на основі

визначення його раціональних технічних та конструктивних параметрів. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку* : матеріали XV Міжнародної науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2017. С. 47.

29. Васильченко Я. В. Сукова Т. О. Підвищення ефективності важкого металорізального обладнання на основі визначення його раціональних технічних та конструктивних параметрів. *Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво* : тези доповідей XVII Всеукраїнської науково-практичної конференції. Чернігів, 2017. С. 179–180.

30. Ковальов В. Д., Саєнко М. О., Сукова Т. О. Удосконалення методів проектування важких верстатів на основі створення автоматизованої бази знань. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку* : матеріали XVI Міжнародної науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2018. С. 45.

31. Васильченко Я. В., Хорошайло В. В., Сукова Т. О., Шаповалов М. В., Саєнко М. О., Железняк В. Р., Гармаш М. О. Розробка автоматизованої системи синтезу та оцінки компонувань верстатів. *Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво* : тези доповідей XVIII Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції. Краматорськ, 2018. С. 29–31.

32. Ковальов В. Д., Васильченко Я. В., Шаповалов М. В., Сукова Т. О. Основи проектування важких верстатів. *Прогресивні технології у машинобудуванні РТМЕ – 2019* : матеріали доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції. Івано-Франківськ – Яремче, 2019. С. 75–77.

33. Васильченко Я. В., Ковальов В. Д., Сукова Т. О., Глущенко К. О. Мехатронні головки для багатоопераційних оброблювальних центрів на базі важких токарних верстатів. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку* : матеріали XVII Міжнародної науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2019. С. 14.

## АНОТАЦІЯ

Сукова Т. А. Підвищення ефективності важкого обладнання на основі визначення його раціональних технічних і конструктивних параметрів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти – Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА) Міністерства освіти і науки України, Краматорськ, 2019.

У дисертаційній роботі визначена, науково обґрунтована і вирішена проблема підвищення ефективності важкого обладнання на основі визначення його раціональних технічних і конструктивних параметрів.

Розроблено наукове забезпечення технологічного проектування важких верстатів з ЧПК і вибору обладнання з типажу верстатів, що існують, для певних виробничих умов підприємств важкого машинобудування. Розроблено математичні моделі, які дозволили



встановити функціональні залежності між складністю деталей, що підлягають обробленню, функціями верстату та функціональними блоками, що їх реалізують.

Запропоновано залежності для визначення уніфікованого складу функціональних блоків для побудови всієї гама важких верстатів на єдиній елементної основі, що містить методики кодування, класифікації групування деталей, відбір груп деталей за конструктивно-технологічною складністю для виготовлення на верстатах з ЧПК, ранжирування і вибору верстатів з ЧПК з типажу верстатів, що існує, для певних виробничих умов споживачів, результати статистичного аналізу банку даних про важкі деталі, групи деталей їх комплексні деталі-представники, для оброблення яких доцільно створення нового спеціалізованого металорізального верстату з ЧПК, економічно обґрунтовані структури технологічних операцій оброблення комплексних деталей-представників на важких верстатах з ЧПК.

Ключові слова: важкий верстат, числове програмне керування, процес різання, підприємства важкого машинобудування.

## АННОТАЦИЯ

Сукова Т. А. Повышение эффективности тяжелого оборудования на основе определения его рациональных технических и конструктивных параметров. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01 – процессы механической обработки, станки и инструменты – Донбасская государственная машиностроительная академия (ДГМА) Министерство образования и науки Украины, Краматорск, 2019.

В диссертационной работе определена, научно обоснована и решена проблема повышения эффективности тяжелого оборудования на основе определения его рациональных технических и конструктивных параметров.

Разработано научное обеспечение технологического проектирования тяжелых станков с ЧПУ и выбора оборудования из существующего типажа станков для определенных производственных условий предприятий тяжелого машиностроения. Разработаны математические модели, позволившие установить функциональные зависимости между сложностью, подлежащих обработке деталей, функциями оборудования и функциональными блоками их реализующими. Предложены зависимости для определения унифицированного состава функциональных блоков для построения всей гаммы тяжелых станков на единой элементной основе. Они включают методики кодирования, классификации группирования деталей, отбора групп деталей по конструктивно-технологической сложности для изготовления на станках с ЧПУ, ранжирования и выбора станков с ЧПУ из существующего типажа станков для определенных производственных условий потребителей, результаты статистического анализа банка данных о тяжелых деталях, группы деталей и их

комплексные детали-представители, для обработки которых целесообразно создание нового специализированного металлорежущего оборудования с программным управлением, экономически обоснованные структуры технологических операций обработки комплексных деталей-представителей на тяжелых станках с ЧПУ.

Ключевые слова: тяжелый станок, числовое программное управление, процесс резания, предприятия тяжелого машиностроения.

## ANNOTATION

Improving the efficiency of heavy equipment based on the determination of its rational technical and design parameters. – On the rights of the manuscript. The dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.03.01- machining processes, machinery and tools – Donbass State Engineering Academy (DSEA) of Ministry of Education and Science of Ukraine, Kramatorsk, 2019.

The dissertation defines, scientifically substantiates and solves the problem of increasing the efficiency of heavy equipment on the basis of determining its rational technical and structural parameters. Scientific support has been developed for the technological design of heavy CNC machine tools and the selection of equipment from the existing type of machine tools for certain production conditions of heavy engineering enterprises. Mathematical models have been developed to establish a functional relationship between the complexity of parts to be processed, the functions of the equipment and the functional blocks implementing them.

Dependencies are proposed for determining the unified composition of functional blocks for constructing the entire gamut of heavy machines on a single elemental basis, including coding methods, classification of grouping of parts, selection of groups of parts by structural and technological complexity for manufacturing on CNC machines, ranking and selection of CNC machines from the existing type of machines for specific production conditions of consumers, the results of a statistical analysis of a database of heavy parts, groups of parts and their complex parts representatives, for the processing of which it is advisable to create new specialized metal-cutting equipment with software control, economically reasonable structures of technological operations for processing complex parts-representatives on heavy CNC machines.

Keywords: heavy machine tool, numerical control, cutting process, heavy engineering enterprises.

Підп. до друку 13.11.2019. Формат 60 × 84/16.  
Ум. друк. арк. 1,9. Обл.-вид. арк. 1,9.  
Тираж 100 пр. Зам. № 86

Видавець і виготівник  
Донбаська державна машинобудівна академія  
84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК №1633 від 24.12.2003