

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

СУКОВА Тетяна Олександрівна

УДК 621.941.02

ДИСЕРТАЦІЯ

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

05.03.01 – Процеси механічної обробки, верстати та інструменти

Подається на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ (Т. О. Сукова)

Науковий керівник
Васильченко Яна Василівна,
доктор технічних наук, доцент

Краматорськ – 2019

АНОТАЦІЯ

Сукова Т. А. Підвищення ефективності важкого обладнання на основі визначення його раціональних технічних та 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.

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

Предмет дослідження – раціональні конструктивні параметри важкого токарного верстата.

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

У **першому розділі** «Шляхи підвищення ефективності важкого металорізального обладнання» проведено аналіз умов оброблення великогабаритних деталей на підприємствах важкого машинобудування. Наведені приклади оброблення великогабаритних деталей у енергетичному машинобудуванні з використанням важких металорізальних верстатів. Розглянуто деталі із сталей з різним хімічним складом і вмістом шкідливих домішок. Зведено у таблиці номенклатуру оброблюваних валків звичайних та роторних. Також у таблиці зведено інформацію щодо оброблюваних

деталей на підприємствах Донецької області. Розглянуто основні технічні дані верстатів токарної групи з ЧПК, особливості конструкції та характеристики верстатів. Проведено розподіл деталей бази знань за призначенням. Проаналізовано методи визначення раціональних конструктивних параметрів важких металорізальних верстатів.

Аналіз літературних джерел довів, що у 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.

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 верстата та функціональними блоками, що їх реалізують.

У новій гамі важких токарних верстатів мають бути знов розроблені такі обов'язкові види додаткового оснащення, що розширюють технологічні можливості верстатів, підвищують культуру виробництва.

У **другому розділі** наведено методики збирання статистичної інформації про деталі, технологічні операції та режими різання, запропоновано залежності для визначення уніфікованого складу функціональних блоків для побудови всієї гами важких верстатів на єдиній елементній основі. Вони містять 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. Отримані результати статистичного аналізу банку даних про важкі деталі, групи деталей, їх комплексні деталі-представники, для оброблення яких доцільно створення нового спеціалізованого металорізального верстата з ЧПК.

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

Математичне оброблення статистичних даних, отримання регресійних залежностей здійснювалися за допомогою регресійного аналізу з використанням методу найменших квадратів. Тіснота зв'язків оцінювалася коефіцієнтами парної і множинної кореляції.

Розроблено функціонально-математичну модель процесу технологічного проектування верстатної системи. Виконано вартісний аналіз, 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 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.

Третій розділ присвячен розробленню методичних основ поетапного групування деталей важкого машинобудування, їх апробації на прикладі формування їх груп на основі бази знань про деталі. Сформовані групи деталей типу тіл обертання у залежності від складності із застосуванням кластерного аналізу.

Для визначення конструктивно-технологічних і організаційно планових показників деталей розроблено інформаційну модель деталі, яка є основною структурної одиницею бази знань про деталі. Деталь у базі даних охарактеризована і відповідно описана деякою сукупністю (множиною) ознак. Наведено відповідність класифікаційних ознак, що характеризують структуру зовнішньої поверхні деталей і числа формотвірних координат.

Проаналізовано деталі, оброблювані в умовах ПрАТ «НКМЗ». Сформовано три групи деталей на основі кластерного аналізу габаритних розмірів і кількості необхідних формотвірних рухів. При формуванні інформаційної моделі деталі вирішується задача створення раціонального набору класифікаційних ознак, які є найбільш інформативними для створення верстатів з ЧПК.

Обґрунтован склад уніфікованих функціональних блоків при формуванні перспективного типу верстатів з ЧПК за блочно-модульним принципом. Важливою перевагою методу описування компонувань верстатів за допомогою структурних формул є те, що коди функціональних блоків присвоюються на основі позначень формотвірних координат, які вони реалізують. Наведена номенклатура функціональних блоків, що входять в усі верстати з ЧПК токарної групи. Підтверджено достовірність формування груп деталей за складністю Φ_k шляхом встановлення регресійної залежності між складністю Φ_k і модулями поверхонь M_n , застосовуваних у рамках модульної технології. Ідентичний характер оцінювання складності за Φ_k та

M_n свідчить про загальні підходи до формування груп деталей і створення перспективного типу важких металорізальних верстатів.

У четвертому розділі наведено результати впровадження роботи. На основі проведених досліджень розроблена модель важкого багатоопераційного верстата, 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.

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.

Область застосування верстата – вітроенергетика й інші галузі. 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-свердлильного пристосування можливе свердління на периферії оброблюваної деталі й фрезерування шпонкових пазів.

Верстат здатний виробляти токарне, фрезерне, шліфувальне, свердлувальне, розточувальне оброблення. Верстат може бути оснащеним супортом із двома плоскими різцетримачами або з револьверною різцевою головкою.

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

Для проведення глибоко розточувальних операцій розроблено модель стеблової бабки, яка призначена для установлення 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

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.

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.

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

Верстати мод. КЖ16274Ф3, КЖ16275 розроблені для оброблення деталей типу «прокатний валок», «роторний вал» в умовах виробництва ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод».

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

ANNOTATION

Sukova T. A. 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 object of study is the process of machining on heavy lathes.

The subject of the study is the rational design parameters of a heavy lathe.

The introduction reveals essence and status of the scientific problem, substantiates relevance of the topic, formulates the purpose and objectives of the research, outlines the scientific provisions that are presented to the defense, provides data on scientific novelty, substantiates reliability and shows the practical value of the obtained scientific results, also it provides information about publications and approbation of the study.

The dissertation defines, scientifically substantiated and solves the problem of increasing the efficiency of heavy equipment on the basis of determining its rational technical and design parameters.

In **the first section** "Ways of improving the efficiency of heavy metal-cutting equipment" the conditions of processing of large-sized parts at the heavy machinery enterprises are analyzed. Examples of machining of large-sized parts in power engineering using heavy metal cutting machines are given. Steel parts with different chemical composition and harmful admixtures content are examined. The table shows the nomenclature of machined rolls of conventional and rotary rolls. The table also summarizes information about the parts being worked at the enterprises of Donetsk region. Basic technical data of CNC lathe machines, design features and machine characteristics are examined. The details of the database are divided by purpose. The methods of determination of rational design parameters of heavy metal-cutting machines are analyzed.

The analysis of the literature has proved that in modern researches there is an insufficient number of scientifically substantiated systematic methods of technological design of machine tools with CNC, the level of specialization of

which corresponds to the requirements of the majority of machining industries of heavy mechanical engineering. The information and technological basis of specialization of new CNC machine tools is the study of a wide range of machined parts of heavy machinery.

Scientific support of technological design of heavy CNC machine tools and selection of equipment from the type of existing machine tools for certain production conditions of heavy machinery enterprises has been developed.

Mathematical models which allowed to establish functional dependencies between the complexity of the parts to be machined, the functions of the machine lathe and the functional blocks that implement them were developed.

The new range of heavy-duty lathes should redevelop such mandatory accessories that enhance the technological capabilities of the machines and enhance the culture of production.

The second section describes techniques for collecting statistics on parts, manufacturing operations, and cutting modes, and proposes dependencies for defining a unified composition of functional blocks for the construction of the entire gamut of heavy machines on a single elemental basis.

The results of statistical analysis of the database of heavy parts, groups of parts, their complex details, for processing of which it is appropriate to create a new specialized CNC metal-cutting machine are obtained.

At the stage of technological design of metal-cutting machines was developed its functional-structural model which establishes a set of necessary and sufficient functions implemented by the lathe and the material carriers that provide them.

The algorithm of designing heavy machines, the inputs and outputs of the process are constructed. To consider the internal structure of the design process using a decomposition mechanism, a diagram is presented, which shows all the processes included in the main process, and the interconnections among them.

Mathematical processing of statistics, obtaining regression dependencies were performed by regression analysis using the method of the least squares. Tightness of relationships was estimated by the coefficients of pair and multiple correlations.

Functional and mathematical model of the process of technological design of the machine system is developed. A cost analysis has been carried out. It involves evaluating the importance of machine functions and determining functionally justified costs for functional units of the machine. The importance of the basic functions of the lathe is estimated by the number of connections that provide their auxiliary functions with the functional blocks. Relative costs of each functional block were determined by estimating the total significance of the machine functions. The calculations allow you to find out which functional units will cost the most when creating a machine. The design and manufacture of functional units should be given increased attention and major money spent, as they mostly determine the functions of the lathe and in general its consumer properties.

The third chapter is devoted to the development of methodological bases for step-by-step grouping of heavy machinery parts, their testing on the example of forming their groups on the basis of knowledge of details. Groups of parts of the type of rotation bodies are formed depending on the complexity with the use of cluster analysis.

To determine the structural, technological and organizationally planned details of the parts, an information model of the parts was developed, which is the basic structural unit of the knowledge base about the parts. The detail in the database is characterized and accordingly described by some complex (set) of features. The classification of signs that characterize the structure of the surface parts and the number of form coordinates is given.

Details processed in the conditions of PJSC NKMZ are analyzed. Three groups of parts were formed on the basis of cluster analysis of overall dimensions and the number of required molding movements. When forming an information

model of a part, the task of creating a rational set of classification features that are most informative for the creation of CNC machines is solved.

The composition of the unified functional blocks at formation of perspective type of CNC machines on block-modular principle is substantiated. An important advantage of the method of describing the layout of machines with the help of structural formulas is that the codes of functional blocks are assigned based on the notation of the forming coordinates that they implement. The nomenclature of functional blocks that are included in all CNC lathes is given.

The reliability of forming groups of parts by the complexity of F_k was confirmed by establishing a regression relationship between the complexity of F_k and the modules of surfaces M_p applied within the framework of modular technology. The identical nature of the complexity estimation for F_k and M_p indicates the general approaches to form groups of parts and the creation of a perspective type of heavy metal-cutting machines.

The fourth section presents the results of implementation. On the basis of the conducted researches the model of heavy multi-operational machine tool intended for turning, milling, drilling, deep- drilling and grinding processing of large details of the type of bodies of rotation bodies (rolling rolls, shafts of rotors, turbines, generators, etc.) from various materials is developed.

The machine is equipped with two universal supports (located on the machine first from the front headstock) for turning operations with two flat cutters or with a revolving cutter head and a special support for performing turning, drilling, milling, grinding operations, turning machining the axis of the machine in the cams of the front head in the lunette.

The application area of the machine is wind power engineering and other industries. The lathe can be used for machining complex straight and curved surfaces with a constant cutting speed according to the control program, cutting cylindrical and conical threads, drilling holes located on the axis of rotation of the

workpiece. Using of a removable milling and drilling device, it is possible to drill on the periphery of the workpiece and milling of keyways.

The machine is capable to produce turning, milling, grinding, drilling, boring processing. The machine can be equipped with a support with two flat cutters or with a revolving cutter head.

For drilling operations, a model of stem head was developed, which is intended for mounting and fixing the stem with the cutting tool on the axis of the machine, as well as providing the stem of rotary and progressive or only progressive motion along the axis of the machine (feed and fast adjusting movements), as well as fixing the other end of the workpiece when machining it in the centers.

The task of identifying the most informative classification features for the design and technological preparation of production is solved when supplementing the knowledge base about the details made at the enterprises of Donetsk region

The machine is equipped with a store to store the variable units and transport them to the place of overload.

Machine operation mode is software with control of work of a caliper and a spindle head from the device of the CNC.

The results of the conducted researches were used in the development of a new range of heavy lathe machines with CNC improved precision of production by JSC "Kramatorsk Heavy Machine Tool Plant" (JSC "KZVV")

Machine tools of KZh16274F3, KZh16275 models are designed for processing of details like "flattening roll", "rotor shaft" in the conditions of production of PJSC NKMZ.

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

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: 10.1088/1757-8981/568/1/012119. (*Досліджено техніку проектування потужних верстатів з ЧПК 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 вхідних 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 ЧПК 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 PTME – 2019* : матеріали доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції. Івано-Франківськ – Яремче, 2019. С. 75–77.

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

ЗМІСТ

ВСТУП	22
РОЗДІЛ 1. ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВАЖКОГО МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	29
1.1 Аналіз умов оброблення великогабаритних деталей на підприємствах важкого машинобудування	29
1.2 Металорізальне обладнання на підприємствах важкого машинобудування	43
1.3 Аналіз методів визначення раціональних конструктивних параметрів важкого металорізального обладнання	53
Висновки до розділу 1	63
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ВАЖКИХ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ	65
2.1 Методика збирання статистичної інформації про деталі, технологічні операції та режими різання	65
2.2 Розроблення функціонально-математичної моделі процесу технологічного проектування верстатної системи	74
2.3 Аналіз факторів впливу забезпечення збереження параметрів металорізальних верстатів на ефективність автоматизованого виробництва	86
Висновки до розділу 2	95
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ПОЕТАПНОГО ГРУПУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ У ВАЖКОМУ МАШИНОБУДУВАННІ.....	96
3.1 Формування груп деталей типу тіл обертання у залежності від складності із застосуванням кластерного аналізу	96
3.2 Обґрунтування складу уніфікованих функціональних блоків при формуванні перспективного типу верстатів з ЧПК за блочно-модульним принципом	110

Висновки до розділу 3	120
РОЗДІЛ 4. ВАЖКИЙ ТОКАРНИЙ БАГАТОЦІЛЬОВИЙ ВЕРСТАТ	
З ФРЕЗЕРНИМ ТА ШЛІФУВАЛЬНИМ МОДУЛЕМ.....	121
4.1 Призначення, сфери застосування й основні технічні характеристики спроектованого верстата	124
4.1.1. Короткий опис основних складових частин верстата	125
4.2 Розроблення конструкції фрезерно-свердлильного модуля важкого багатоопераційного верстата	142
4.2.1 Вибір інструменту.....	152
4.3 Опис конструкції шліфувальної головки.....	154
Висновки до розділу 4	158
ВИСНОВКИ.....	159
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	161
ДОДАТОК А. Таблиці режимів різання	178
ДОДАТОК Б. Кластерний аналіз деталей.....	182
ДОДАТОК В. Важкий багатоопераційний верстат	184
ДОДАТОК Г. Основні технічні дані та характеристики верстата	185
ДОДАТОК Д. Довідка про впровадження результатів дисертаційної роботи	189

ВСТУП

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 верстатіінструментальних систем» (0117U001165)

Мета і задачі досліджень. Підвищення ефективності важких металорізальних верстатів на основі визначення його 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:**

1 провести статистичні дослідження умов оброблення великогабаритних деталей на підприємствах важкого машинобудування;

2 розробити і впровадити базу знань про верстати, умови оброблення і оброблювані деталі;

3 експериментально дослідити вплив конструктивних параметрів металорізальних верстатів на точність, якість і продуктивність оброблення;

4 провести теоретичні дослідження залежностей показників механічного оброблення від конструктивних характеристик важких верстатів й інструменту;

5 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 верстата 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 удосконалена база знань з прецедентів параметрів механічного оброблення на підприємствах важкого машинобудування;

2 розроблено методики оперативного вибору ефективного варіанта конструкції з їх типажу і вибору нового металорізального верстата з ЧПК у 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 верстата 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 багатоцільового, технологічні можливості якого спеціалізуються 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».

Реалізація результатів роботи. На підставі результатів досліджень цієї роботи розроблені та впроваджені у виробництво методика статистичних досліджень підприємств, критерії та принципи створення та функціонування нових важких верстатів. Фактичний економічний ефект від впровадження результатів роботи ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод» становить 124 тис. грн. Результати роботи впроваджені при створенні важких токарних верстатів нового покоління, що випускаються ПрАТ «Краматорський завод важкого верстатобудування». Економічний ефект від впровадження їх у розрахунку на 1 верстат становить 67 тис. грн. Результати використовуються у лекціях, практичних заняттях, курсовому та дипломному проектуванні у ДДМА.

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 PTME – 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 (18 с.) і 5 додатків. Основний текст роботи містить 121 сторінку, 63 рисунки, 22 таблиці. Загальний обсяг роботи становить 189 сторінок.

РОЗДІЛ 1

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВАЖКОГО МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1 Аналіз умов оброблення великогабаритних деталей на підприємствах важкого машинобудування

Щорічно на підприємствах важкого машинобудування виготовляються унікальні деталі для вітряних енергетичних установок, для атомної металургії, для енергетичного машинобудування. У структурі виробництва підприємств важкого машинобудування все більше зростає частка деталей – тіл обертання для сучасних машин. Приклади деталей представлені на реальних фотографіях з підприємств Донецької області.

Енергетичне машинобудування – це використання важких верстатів для оброблення великогабаритних деталей (рис. 1.1; 1.2).



Рисунок 1.1 – Обичайка (вага 62300 кг)

Сталі, що використовуються у виробництві:

за вмістом шкідливих домішок, у сталях, не легованих такими елементами: сірка [S] – не більше 0,005%; фосфор [P] – не більше 0,010%;

за вмістом газів після вакуумного оброблення: кисень [O] – 30 ppm; водень [H] – не більше 1,5 ppm; азот [N] – не більше 70 ppm.



а)



б)



в)



г)

а), б) – гідровал (вага 17800 кг)

в) – корпус колектора (вага 19800 кг, марка сталі 10ГН2МФА-А)

г) – ротор (Вага: 26100 кг)

Рисунок 1.2 – Великогабаритні деталі енергетичної промисловості

Сталі, що використовуються у виробництві:

за вмістом шкідливих домішок, у сталях, не легованих такими елементами: сірка [S] – не більше 0,005%; фосфор [P] – не більше 0,010%;

за вмістом газів після вакуумного оброблення: кисень [O] – 30 ppm; водень [H] – не більше 1,5 ppm; азот [N] – не більше 70 ppm.

Також розглянемо великогабаритні деталі енергетичної промисловості, вироблені зі сталей з різним хімічним складом та вмістом шкідливих домішок: хвостовик (рис 1.3), ротор генератора (1.4), ротор турбіни (1.5), вал ротора (1.6) та диск (рис. 1.7).



Рисунок 1.3 – Хвостовик (вага 12200 кг)

Сталі, що використовуються у виробництві:

за вмістом шкідливих домішок, у сталях, не легованих такими елементами: сірка [S] – не більше 0,005%; фосфор [P] – не більше 0,010%;

за вмістом газів після вакуумного оброблення: кисень [O] – 30 ppm; водень [H] – не більше 1,5 ppm; азот [N] – не більше 70 ppm.



Рисунок 1.4 – Ротор генератора (вага 43125 кг)

Сталі, що використовуються у виробництві:

за вмістом шкідливих домішок, у сталях, не легованих такими елементами: сірка [S] – не більше 0,005%; фосфор [P] – не більше 0,010%;

за вмістом газів після вакуумного оброблення: кисень [O] – 30 ppm; водень [H] – не більше 1,5 ppm; азот [N] – не більше 70 ppm.



Рисунок 1.5 – Ротор турбіни (вага 3225 кг)

Сталі, що використовуються у виробництві:

за вмістом шкідливих домішок, у сталях, не легованих такими елементами: сірка [S] – не більше 0,005%; фосфор [P] – не більше 0,010%;

за вмістом газів після вакуумного оброблення: кисень [O] – 30 ppm; водень [H] – не більше 1,5 ppm; азот [N] – не більше 70 ppm.



Рисунок 1.6 – Вал ротора (вага 5800 кг)

Сталі, що використовуються у виробництві: за вмістом шкідливих домішок, у сталях не легованих такими елементами: сірка [S] – не більше 0,005%; фосфор [P] – не більше 0,010%;

* за вмістом газів після вакуумного оброблення: кисень [O] – 30 ppm; водень [H] – не більше 1,5 ppm; азот [N] – не більше 70 ppm.



Рисунок 1.7 – Диск (вага 5300 кг)

Сталі, що використовуються у виробництві:

за вмістом шкідливих домішок, у сталях, не легованих такими елементами: сірка [S] – не більше 0,005%; фосфор [P] – не більше 0,010%;

за вмістом газів після вакуумного оброблення: кисень [O] – 30 ppm; водень [H] – не більше 1,5 ppm; азот [N] – не більше 70 ppm.

У металургійній галузі, що також швидко розвивається, так само використовують важкі великогабаритні верстати для оброблення великих важких деталей (рис. 1.8; 1.9; 1.10; 1.11; 1.12):



а)

б)

а – корпус штампа верхній (вага 58500 кг);

б – валок опорний (вага 68000 кг)

Рисунок 1.8 – Великі важкі деталі металургійної галузі

Сталі, що використовуються у виробництві:

за вмістом шкідливих домішок, у сталях, не легованих такими елементами: сірка [S] – не більше 0,005%; фосфор [P] – не більше 0,010%;

за вмістом газів після вакуумного оброблення: кисень [O] – 30 ppm; водень [H] – не більше 1,5 ppm; азот [N] – не більше 70 ppm.



Рисунок 1.9 – Лопата (вага 6210 кг)

Сталі, що використовуються у виробництві:

за вмістом шкідливих домішок, у сталях, не легованих такими елементами: сірка [S] – не більше 0,005%; фосфор [P] – не більше 0,010%;

за вмістом газів після вакуумного оброблення: кисень [O] – 30 ppm; водень [H] – не більше 1,5 ppm; азот [N] – не більше 70 ppm.



а)



б)

а – баллер керма (вага 37105 кг), марка сталі St.52.3 Mod;

б – проміжний вал (вага 37000 кг)

Рисунок 1.10 – Довгомірні деталі

Сталі, що використовувались у виробництві:

за вмістом шкідливих домішок, у сталях, не легованих такими елементами: сірка [S] – не більше 0,005%; фосфор [P] – не більше 0,010%;

* за вмістом газів після вакуумного оброблення: кисень [O] – 30 ppm; водень [H] – не більше 1,5 ppm; азот [N] – не більше 70 ppm.



Рисунок 1.11 – Гребний вал (вага 61000 кг)

Сталі, що використовуються у виробництві:

за вмістом шкідливих домішок, у сталях, не легованих такими елементами: сірка [S] – не більше 0,005%; фосфор [P] – не більше 0,010%;

за вмістом газів після вакуумного оброблення: кисень [O] – 30 ppm; водень [H] – не більше 1,5 ppm; азот [N] – не більше 70 ppm.



Рисунок 1.12 – Шатун (вага 20000 кг)

Сталі, що використовуються у виробництві:

за вмістом шкідливих домішок, у сталях, не легованих такими елементами: сірка [S] – не більше 0,005%; фосфор [P] – не більше 0,010%;

* за вмістом газів після вакуумного оброблення: кисень [O] – 30 ppm; водень [H] – не більше 1,5 ppm; азот [N] – не більше 70 ppm.

Приклади оброблення великих важких деталей на підприємствах Донецької області досить різноманітні. Назвемо це *загальне машинобудування* та розглянемо деякі з деталей (рис. 1.13; 1.14; 1.15; 1.16; 1.17; 1.18; 1.19).



Рисунок 1.13 – Циліндр (вага 7087 кг)

Сталі, що використовуються у виробництві:

за вмістом шкідливих домішок, у сталях, не легованих такими елементами: сірка [S] – не більше 0,005%; фосфор [P] – не більше 0,010%;

за вмістом газів після вакуумного оброблення: кисень [O] – 30 ppm; водень [H] – не більше 1,5 ppm; азот [N] – не більше 70 ppm.



Рисунок 1.14 – Рухома траверса (вага 11960 кг)

Сталі, що використовуються у виробництві:

за вмістом шкідливих домішок, у сталях, не легованих такими елементами: сірка [S] – не більше 0,005%; фосфор [P] – не більше 0,010%;

за вмістом газів після вакуумного оброблення: кисень [O] – 30 ppm; водень [H] – не більше 1,5 ppm; азот [N] – не більше 70 ppm.



Рисунок 1.15 – Вал екцентрік (вага 81000 кг)

Сталі, що використовуються у виробництві:

за вмістом шкідливих домішок, у сталях, не легованих такими елементами: сірка [S] – не більше 0,005%; фосфор [P] – не більше 0,010%;

за вмістом газів після вакуумного оброблення: кисень [O] – 30 ppm; водень [H] – не більше 1,5 ppm; азот [N] – не більше 70 ppm.

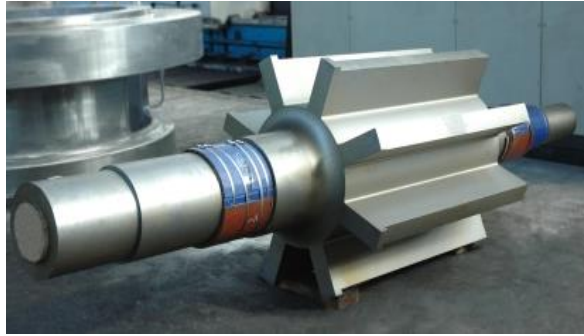


Рисунок 1.16 – Вал (вага 5800 кг)

Сталі, що використовуються у виробництві:

за вмістом шкідливих домішок, у сталях, не легованих такими елементами: сірка [S] – не більше 0,005%; фосфор [P] – не більше 0,010%;

за вмістом газів після вакуумного оброблення: кисень [O] – 30 ppm; водень [H] – не більше 1,5 ppm; азот [N] – не більше 70 ppm.

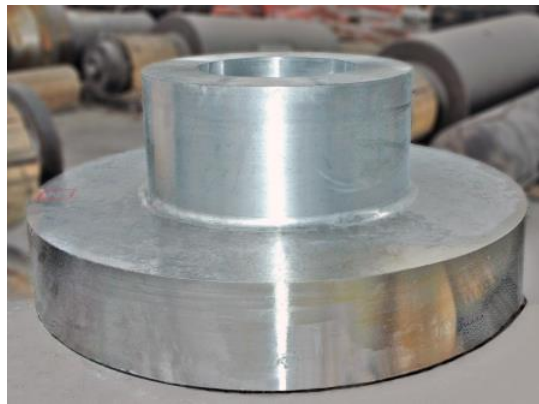


Рисунок 1.17 – Маточина (вага 13470 кг)

Сталі, що використовуються у виробництві:

за вмістом шкідливих домішок, у сталях, не легованих такими елементами: сірка [S] – не більше 0,005%; фосфор [P] – не більше 0,010%;

за вмістом газів після вакуумного оброблення: кисень [O] – 30 ppm; водень [H] – не більше 1,5 ppm; азот [N] – не більше 70 ppm.



Рисунок 1.18 – Гільза (вага 11614 кг)

Стали, використовувані у виробництві:

за вмістом шкідливих домішок, у сталях, не легованих такими елементами: сірка [S] – не більше 0,005%; фосфор [P] – не більше 0,010%;

за вмістом газів після вакуумного оброблення: кисень [O] – 30 ppm; водень [H] – не більше 1,5 ppm; азот [N] – не більше 70 ppm.



Рисунок 1.19 – Проставка (вага 12800 кг)

Сталі, що використовуються у виробництві:

за вмістом шкідливих домішок, у сталях, не легованих такими елементами: сірка [S] – не більше 0,005%; фосфор [P] – не більше 0,010%;

* за вмістом газів після вакуумного оброблення: кисень [O] – 30 ppm; водень [H] – не більше 1,5 ppm; азот [N] – не більше 70 ppm.

Використання нових верстатів виробництва ПрАТ «КЗВВ» дозволяє щорічно збільшувати випуск прокатних валків, що поставляються металургійним підприємствам України і на експорт у багато країн світу (75 % випуску) [52]. Характеристики оброблюваних деталей на верстатах виробництва ПрАТ «КЗВВ» наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Номенклатура оброблюваних валків на ПрАТ «НKMЗ»

Габаритні розміри валків Ø бочки / L бочки / L деталі	Маса оброблюваних валків, т	Матеріал оброблюваних валків	Твердість бочки і шийок	Точність оброблених валків	Шорсткість поверхонь
1600x2700x6700 1500x2500x6300 1400x2000x5500 1200x1200x5000 1100x1500x4800	від 12 до 60т	СТ50, 60ХН, 50ХН, 60Х2СМФ, 75ХМФ 75Х2МФ, 60Х2С2МФ, 90ХФ, 80Х3МФ, 80Х5МФ, 70Х3ГНМФ	Бочки та шийок до 320НВ Бочки від 60 до 85 ННН Шийок від 30 до 55ННН	Биття бочки та шийок від 0,05 до 0,005 мм	від Ra3,2 до Ra0,4
1000x2500x5700 900x2000x4800 600x1800x4600 500x1700x4300 450x1500x3700	від 1,8 до 12т		Бочки та шийок до 320НВ Бочки від 60 до 100 ННН Шийок від 30 до 55ННН	Биття бочки та шийок від 0,02 до 0,005 мм	

Номенклатура оброблюваних роторних валів наведена у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Номенклатура оброблюваних роторних валів на верстатах з найбільшим діаметром оброблюваних деталей 2000 мм (над станиною)

№	Матеріал	Твердість	Вага	Габаритні розміри		Заготівка	Шорсткість
				L мм	D мм		
1	Сталь 34CrNiMo6	238-295 HB	7763	2250	1510	Поковка	12,5
2	Сталь 42CrMo4V	590 МПа	13330	2553	1880	Поковка	12,5
3	Сталь 42CrMo4V	590 МПа	11710	2533	1860	Поковка	6,3

Нові технології і обладнання ПАВ «ЕМСС» дозволяють виготовляти широкий спектр продукції для різних сфер виробництва [48]. За результатами аналізу технології оброблення великогабаритних типових деталей побудовано таблицю 1.3 Дані для токарного оброблення типових деталей різними типами пластин зведено також у таблицю (Додаток А.1).

Для оброблення тіл обертання використовують різці з вставними пластинами ромб 19,25, квадрат 38, чашка Ø 20 і Ø 25 таких відомих фірм, як SECO, Sandvik Coromant та ін., з покриттями та без нього.

Для чорнового та напівчистового оброблення використовуються ромб 19,25, квадрат 38, а для чистового оброблення використовуються всі пластини, але чашка Ø 20 і Ø 25 дозволяє отримати більш низьку шорсткість Ra0,8 [38]. Режими різання, які використовуються при обробленні цими пластинами, показані у таблиці (Додаток А.2).

дослідженням коливань токарного верстата займався В. О. Залога [30]; оброблення довгомірних деталей вивчав В. С. Майборода [60], теорією автоматичного управління технологічними системами займався Ю. В. Петраков [73; 74]; швидкість різання при різних кінематичних схемах оброблення визначала Н. С. Равська [39; 80; 83]; різальний інструмент детально вивчав П. Р. Родін [83]; якістю та надійністю технологічних систем займається Г. П. Клименко [36; 37; 38; 39; 40; 41; 42]; високопродуктивне чистове лезове оброблення деталей зі сталей високої твердості вивчав С. А. Клименко [20; 87; 129]; оптимізацією конструкції збірних різців на великих токарних верстатах займався Є. В. Мироненко [67]; надійністю різального інструменту та оптимізацією технологічних систем займався Г. Л. Хаєт [70] й інші.

Вирішуючи завдання докорінної перебудови промисловості на базі модернізації машинобудування (у першу чергу важкого), яка передбачає новий технологічний уклад і обладнання, Україна може стати конкурентоспроможною на світовому ринку, виробляючи сучасні верстати для переоснащення машинобудівних підприємств України, яке у наш час здійснюється за рахунок закупівлі різних верстатів за кордоном [76].

Найбільш перспективними шляхами підвищення ефективності оброблення великогабаритних деталей є проектування нового металорізального верстата з ЧПК, спеціалізованого на груповому обробленні заготовок, а також оперативного вибору раціонального обладнання з типажу верстатів, що існує. У цьому напрямку виконували роботи Б. С. Балакшин [7], В. В. Бушуєв [8], Я. В. Васильченко [10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17], Ю. М. Данильченко [25], В. В. Єпіфанов [28], В. В. Камінська [35], О. О. Клочко [43; 136], В. Д. Ковальов [44; 45; 46; 47; 48; 49; 50; 51; 127; 128; 129; 130]; В. О. Кудінов [55], Ю. М. Кузнєцов [99], І. В. Луців [58; 59; 133], А. Д. Макаров [33; 61], О. С. Проніков [77], В. Е. Пуш [78; 79], Д. Н. Решетов [81], В. Б. Струтинський [93; 94] і багато інших вчених.

Важкі токарні верстати щорічно виготовляються фірмами КЗТС (рис. 1.20), HERKULES (рис. 1.21), SKODA (рис. 1.22), TORNİ TACCHİ (рис. 1.23), до них пред'являються великі вимоги щодо точності та продуктивності. Основні технічні дані цих верстатів наведені у таблиці 1.4 [4; 76]

Таблиця 1.4 – Основні технічні дані верстатів токарної групи з ЧПК

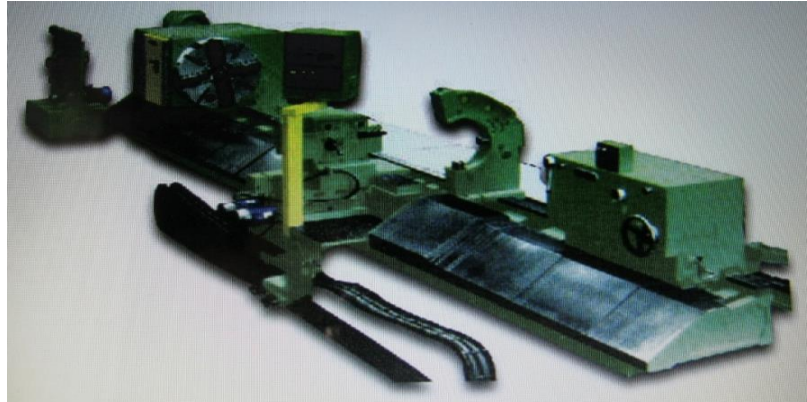
Найменування параметрів	HERKULES Німеччина	SKODA Чехія	TORNİ TACCHİ Італія	1Д655Ф3
Найбільший діаметр встановлюваного виробу над супортом, мм над станиною, мм	1200	1000	2100	800
		1340	3500	1000
Найбільша довжина оброблюваного виробу, мм	6500	6000	6000	6000
Межі частот обертання шпинделя, об / хв за замовленням	1-300	1-700	1.5-250	1-160
Потужність голов приводу, кВт	85	100	40	100
Маса виробу, кг	25000	25000	12000	16000

Особливості конструкції:

- повна механізація допоміжних переміщень;
- механічні або гідравлічні підсилювачі затиску кулачків;
- плоскі різцетримачі жорсткої конструкції;
- телескопічний захист напрямних;
- діагностика спрацьовування електро- і гідроапаратури;
- верстати можуть бути поставлені з накладними фрезерно-свердлильним пристосуванням.

Коротка характеристика верстатів

Верстат токарний моделі 1Д655Ф3 (рис. 1.20) призначений виконувати токарне оброблення деталей типу тіл обертання (вали, диски і т. п.) з різних конічних і сферичних поверхонь, галтелів і нарізування різьби.



Рісунк 1.20 – Загальний вид верстата мод. 1Д655Ф3

З використанням додаткових знімальних пристосувань (за погодженням із замовником) на верстаті можна виконувати розточування отворів, розташованих по осі обертання деталі. За бажанням замовника верстат оснащується супортом з одним плоским різцетримачем або чотирипозиційною головкою з вертикальною віссю обертання. Верстат токарний (універсальний) призначений для оброблення у програмному режимі деталей типу тіл обертання зі складною конфігурацією, можна проводити оброблення складних прямолінійних і криволінійних поверхонь з керувальною програмою, нарізування різьби, спіралей тощо.

Вальцетокарний верстат Herkules (рис. 1.21) здатний робити не тільки точне токарне оброблення, але і шліфування, і фрезерування у двох площинах. Крім вантажопідйомності, унікальним цей німецький токарно-фрезерний верстат робить наявність шліфувального пристосування, дозволяє обробляти деталі обертання масою до 300 тонн. Верстат оснащений

сучасною системою ЧПК з можливостями вимірювання інструменту і обмірювання деталі.



Рисунок 1.21 – Загальний вид верстата Herkules

Верстат фірми SKODA (рис. 1.22) призначений для ефективного і точного виготовлення деталей. Вони дозволяють створювати спеціальні робочі ділянки для оброблення роторів турбогенераторів, важких колінчастих валів й інших масивних і складних за формою виробів.



Рисунок 1.22 – Загальний вигляд верстата SKODA

Верстат токарно-гвинторізний (рис. 1.23): довжина оброблення 6000 мм, діаметр планшайби 700 мм, отвори шпинделя 120 мм, швидкість обертання у діапазоні 7,5– 560 оборотів за хвилину.



Рисунок 1.23 – Загальний вид верстата TORNI TACCHI

Відомим світовим виробником важких токарних верстатів є ПрАТ «КЗТС», саме їм була створена гамма верстатів типу 1К660ФЗ, 1К665ФЗ, 1К670ФЗ, 1К675ФЗ. Загальний вигляд і технічні характеристики цих верстатів представлені нижче на рисунках 1.24; 1.25; 1.26; 1.27, у таблицях 1.5; 1.6 і таблицях (Додаток А.3, 1.5; 1.6; 1.7).



Рисунок 1.24 – Загальний вид верстата моделі 1К660ФЗ

Таблиця 1.5 – Технічні характеристики верстата мод.1K660Ф3

Характеристика	Найменування
Найбільший діаметр деталі, оброблюваної над станиною, мм	1250
Найбільший діаметр деталі, оброблюваної над супортом, мм	1000
Найбільша довжина оброблюваної деталі, мм	10000
Серія	1990
ЧПК	CNC-h646
Габарити	12800x3300x2400
Маса	50000

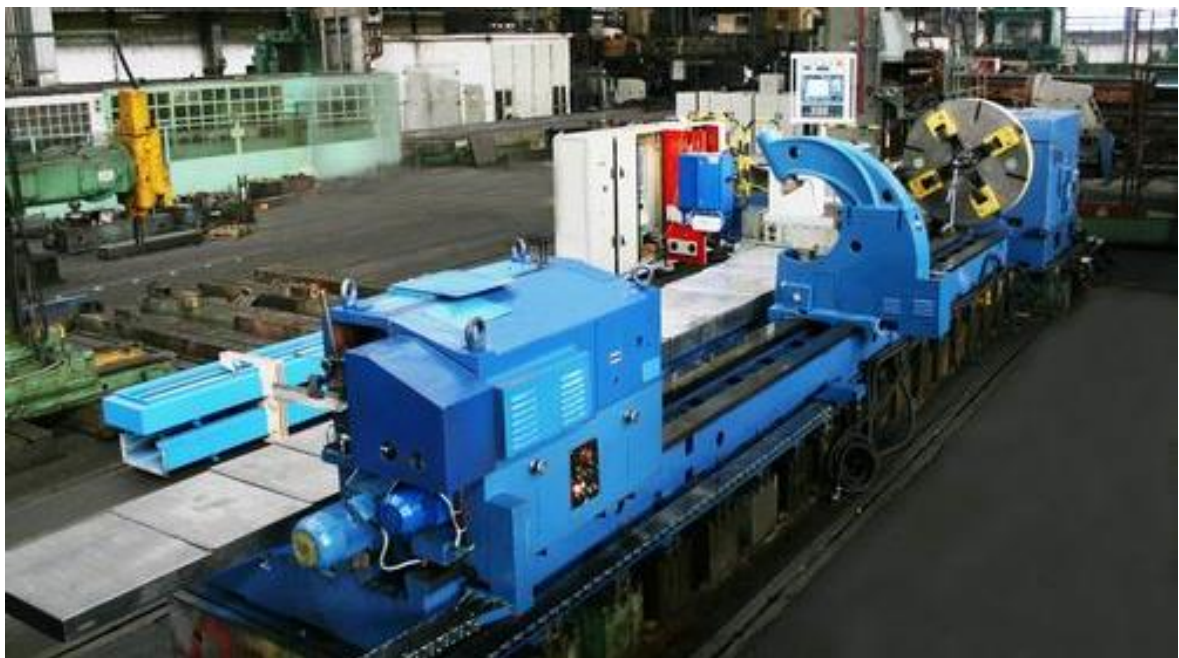


Рисунок 1.25 – Загальний вид верстата моделі 1K665Ф3

Токарний верстат моделі 1K665 призначений для оброблення деталей типу тіл обертання. Верстат оснащений контурною системою ЧПК, що дозволяє проводити оброблення криволінійних контурів, нарізування різьби, спіралей з високою точністю в автоматичному режимі за програмою.

Верстат важкий токарний моделі 1K670Ф3 призначений для чистового та чорнового токарного оброблення за програмою виробів зі сталі, чавуну

й інших матеріалів. На ньому здійснюється оброблення найскладніших поверхонь (циліндричних, конічних, криволінійних), нарізування будь-яких видів різьби, розточування отворів на глибину до 1000 мм, торцеве оброблення з постійною швидкістю різання. Конструкція – з відпрацьованою ергономікою. Оснащений сучасним супортом з двома ламельними бічними різцетримачами.



Рисунок 1.26 – Загальний вид верстата моделі 1K670Ф3

Верстат важкий токарний моделі 1K675Ф3 призначений для чистового та чорнового токарного оброблення за програмою виробів зі сталі, чавуну й інших матеріалів. Оброблюються найскладніші поверхні (циліндричні, конічні, криволінійні), нарізуються будь-які види різьби, розточування отворів на глибину до 1000 мм, робиться торцеве оброблення з постійною швидкістю різання. Конструкція – з відпрацьованою ергономікою. Оснащений сучасним супортом з двома ламельними бічними різцетримачами.

Таблиця 1.6 – Технічні характеристики верстата мод. 1K670Ф3

Найменування характеристики	значення
-----------------------------	----------

Габарити верстата, мм	
довжина	21 110
ширина	2 860
висота	6 020
Міжцентрова відстань, мм	10 000
Найбільший діаметр оброблюваної поверхні над станиною, мм	2 000
Найбільший діаметр оброблюваної поверхні над супортом, мм	1 400
Швидкість обертання шпинделя, хв-1	1–160
Тип системи ЧПК (за погодженням із замовником)	Sinumerik 840D
Кількість одночасно керованих координат	2
Макс. вага оброблюваної заготовки (з установкою в центрах), кг	63 000

Розроблено базу знань про роботу важких металорізальних верстатів. Використано банк даних, що існує, про роботу важких верстатів, який доповнено новими прецедентами. База знань забезпечує швидкий доступ до кожного елементу інформації. Для цього у ній відображені логічні зв'язки між даними, на підставі яких при вирішенні задач виконується вибір потрібних елементів без оброблення решти інформації. Структура бази знань про параметри оброблення деталей на підприємствах важкого машинобудування наведена на рис. 1.28. Проаналізовано умови оброблення великогабаритних деталей на підприємствах важкого машинобудування з охопленням близько 100 заводів і 439 одиниць верстатів. Розподіл деталей бази знань за призначенням показано на рис. 1.29.

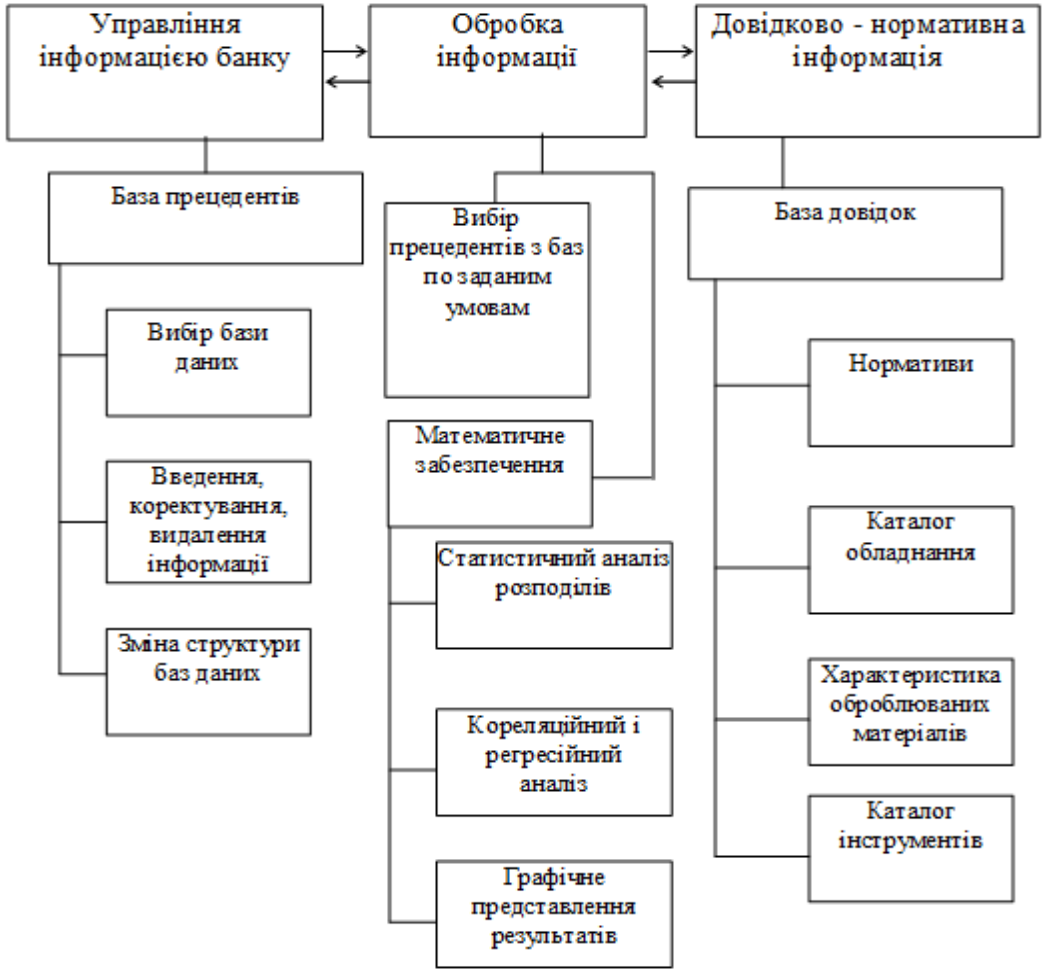


Рисунок 1.28 – Розподіл деталей бази знань за призначенням



Рисунок 1.29 – Розподіл деталей бази знань за призначенням

1.3 Аналіз методів визначення раціональних конструктивних параметрів важкого металорізального обладнання

У наш час спостерігається стрімке зростання всіх галузей промисловості. Сучасні тенденції розвитку машинобудування у сукупності з використанням автоматизованих верстатних систем пред'являють вимоги до підвищення продуктивності, точності розмірів і якості оброблюваних поверхонь деталей машин.

Споживачі відчувають труднощі з вибором раціональних металорізальних верстатів для своїх виробничих умов, а виробники металорізальних верстатів не мають чіткої картини про вимоги споживачів до характеристик верстатів.

Недостатність інформації на етапі проектування верстатів і науково обґрунтованих рекомендацій, спрямованих на вирішення проблеми збалансованості характеристик верстатів і потреб підприємств спричиняє неекономне витрачання матеріальних і енергетичних ресурсів.

Дослідження технологічних параметрів і технологічних можливостей для важких верстатів має першорядне значення. Ці верстати мають високу вартість і експлуатуються протягом 25–30 років. Тому нові верстати повинні не тільки відповідати рівню сучасного виробництва, а й враховувати перспективу розвитку виробництва. При складанні технічного завдання на нову гаму верстатів необхідно вивчити фактичне використання верстатів, що діють на різних заводах, і проаналізувати вимоги до технологічних можливостей і технічних параметрів, які пропонуються до важких верстатів.

Встановлено, що найбільш перспективними шляхами підвищення ефективності оброблення великогабаритних деталей є проектування нового металорізального верстата з ЧПК, що спеціалізується на груповому обробленні заготовок, а також оперативному виборі раціональних верстатів з типуажу верстатів, що існує. У цьому напрямку виконували

роботи Б.С. Балакшин [1], В. В. Бушуєв [64], Я. В. Васильченко [9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 127; 128; 129; 130], Ю. М. Данильченко [27], В. В. Спіфанов [29], В. В. Камінська [35], О. О. Клочко [126], В. Д. Ковальов [45; 46; 47; 48; 49; 50; 51; 52; 12; 128; 129; 130], В. О. Кудінов [56], Ю. М. Кузнєцов [57], І. В. Луців [60; 61; 133], А. Д. Макаров [63], О. С. Проніков [76], В. Е. Пуш [77; 78], Д. Н. Решетов [80], В. Б. Струтинський [92; 93] і багато інших вчених.

Роль компонування у визначенні якості майбутнього верстата дуже суттєва. Вона впливає на такі показники якості, як точність, стабільність точності, вага, габарити, вартість, зручність обслуговування і ремонт, зручність вбудовування в автоматичні лінії та ін. На необхідність врахування впливу компонувального фактора вказувалося у роботах Ю. Д. Врагова [19], З.Ф. Исхакова [33] та багатьох інших вчених.

Всі роботи за критеріями вибору верстатів можна умовно розділити на три основні групи:

- 1) вибір групи верстатів з великої їх кількості за основними параметрами: тип, потужність, розміри робочого простору, клас точності й ін.;
- 2) вибір моделей верстатів на підставі техніко-економічних результатів;
- 3) вибір верстатів на підставі характеристик заготовок деталей, які підлягають обробленню.

У роботах пропонуються автоматизовані системи, що дозволяють користувачеві вибрати майже з 5000 найменувань верстатів найбільш раціональний варіант за ключовими параметрами: тип, ступінь автоматизації, гнучкість переналагодження, потужність, вартість і ін. Ця інформація представлена у вигляді електронних таблиць

Очевидно, що перша група методів має суб'єктивний характер і орієнтована на високопрофесійного користувача.

Друга група методів передбачає виконання техніко-економічних розрахунків при виборі верстата, що існує, або проектування нових.

Наприклад, порівнюються два основні варіанти реалізації технологічних процесів у серійному виробництві:

- оброблення на універсальному обладнанні з ручним керуванням;
- оброблення на багатоопераційних верстатах з ЧПК.

Для порівняння варіантів розраховуються наведені витрати $Z_{\text{пр}}$ на виготовлення однієї деталі [3; 4]:

$$Z_{\text{пр}} = \sum A * T_{\text{шк}} + C_{\text{пр}}/n, \quad (1.1)$$

де A – вартість верстато-години, грн/год;

$T_{\text{шт}}$ – штучно-калькуляційний час оброблення деталі на верстаті, год.;

$C_{\text{пр}}$ – вартість настановних пристосувань, грн;

n – кількість оброблюваних деталей у рік, шт.

Потім визначається кількість деталей n , при якому ефективно застосування верстата з ЧПК:

$$n \leq \frac{\sum A * T_{\text{пз}} - (C_0 + C_{ni}) + (C_{\text{пр}} + C_{\text{прм}})}{A_{\text{м}} * T_{\text{мшт}} - \sum A * T_{\text{шт}}}, \quad (1.2)$$

де $T_{\text{пз}}$ – підготовлювально-заклучний час, год.

C_0 – одноразові витрати для підготовки до оброблення заготовок на верстаті з ЧПК;

C_{ni} – повторювані для кожної партії витрати на верстат з ЧПК;

$C_{\text{пр}}$ – вартість інсталяційного пристосування на верстаті з ЧПК;

$A_{\text{м}}$ – вартість станко-години верстата з ЧПК.

Представлений метод суто економічного оцінювання ефективності застосування верстата з ЧПК у порівнянні з універсальними верстатами

з ручним керуванням абсолютно не розглядає технологічну насиченість верстата з ЧПК. Звідси вартість станкогодина, а отже і собівартість оброблення верстата з ЧПК можуть бути суттєво завищені і, тим самим, зміщена сфера ефективного використання верстата з ЧПК. Оцінювання рівня технологічної насиченості має бути з економічними розрахунками. Крім того, одночасно можна порівнювати тільки два варіанти верстатів при досить повному розробленні технологічних процесів за обома варіантами, що призводить до суттєвого збільшення трудомісткості та термінів технологічної підготовки виробництва.

З метою створення найбільш ефективних гнучких автоматизованих ліній для умов багатосерійного виробництва розроблена класифікація структурних схем верстатів за ступенем концентрації операцій [29].

Варіанти схем поділені на три класи: К1 – однопозиційні верстати, які реалізують в основному послідовну схему оброблення; К2 – багатопозиційні верстати і автоматичні лінії з жорстким зв'язком між верстатами; К3 – автоматичні верстатні системи з багатопозиційних верстатів або ліній з накопичувачами деталей. Синтез ефективних гнучких автоматизованих ліній містить розроблення групового технологічного маршруту оброблення деталей; генерування безлічі варіантів структурно-компонувальних схем, що розрізняються за ступенем концентрації операцій; оцінювання ефективності варіантів і вибір оптимальної схеми гнучких автоматизованих ліній.

Вихідною інформацією для вирішення цих завдань є креслення деталей і технологічні маршрути їх оброблення. Груповий технологічний маршрут складається з елементарних технологічних переходів, необхідних для оброблення всіх деталей групи. Безліч варіантів структурно-компонувальних схем гнучких автоматизованих ліній генерується за груповим технологічним маршрутом на основі класифікації структурних схем агрегатного обладнання за ступенем концентрації операцій [29]. У результаті можна отримати до сотні варіантів структурних схем.

Метод спрямованого пошуку дозволяє різко скоротити кількість варіантів побудови гнучких автоматизованих ліній, які необхідно аналізувати у процесі пошуку оптимального рішення. Разом з тим метод досить складний, прийнятний тільки для багатосерійного виробництва, відсутня методика класифікації деталей, оцінювання технологічної насиченості верстатів проводиться тільки на рівні схеми оброблення заготовки. Крім того, для порівняльних розрахунків за варіантами необхідні розроблення технологічних процесів і розрахунки трудомісткості оброблення.

Третя група методів, як правило, не вимагає при порівнянні варіантів розроблення технологічних процесів, а ґрунтується на оцінюванні характеристик деталей, наприклад показника «складності деталі».

Цікавий метод оцінювання взаємозв'язку між складністю деталі, технологічними можливостями верстатів з ЧПК і їх вартістю. Він заснований на використанні класифікаційних рядів [33]. Технологічні можливості ряду токарних верстатів в основному ранжовані за інструментальним оснащенням, збільшення якого призводить до підвищення вартості верстатів (рис. 1.30).

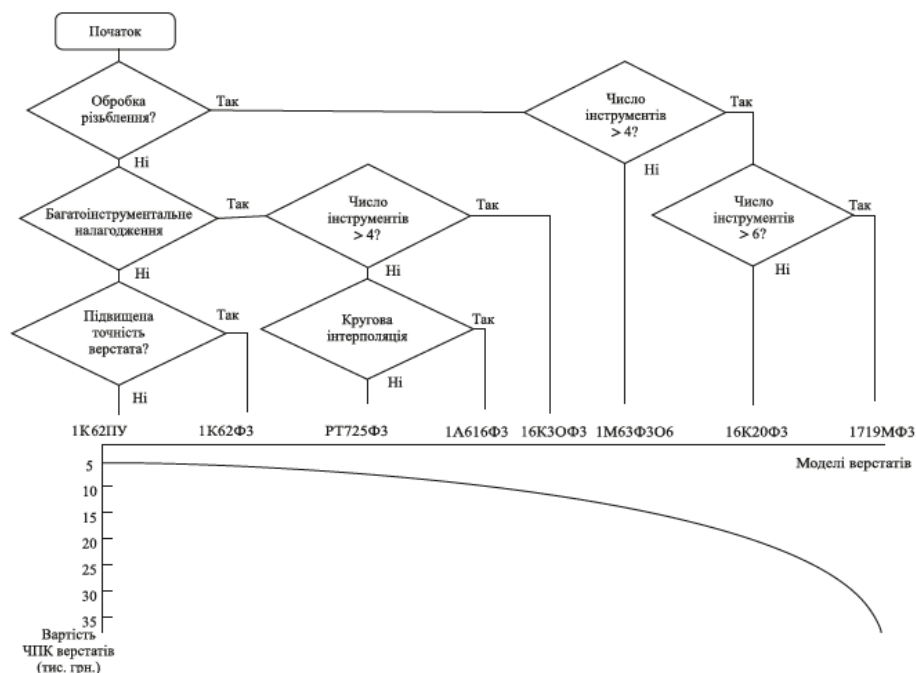


Рис. 1.30 – Ранжування токарних верстатів з ЧПК за вартістю

Найдороща модель верстата з ЧПК, якою закінчується класифікаційний ряд, має магазин інструментів, що дає великі можливості для оброблення складних деталей. Потім здійснюється класифікація деталей за ознаками технологічних можливостей верстатів, тобто деталі фактично ранжуються за складністю їх оброблення (рис. 1.31).

Цей метод забезпечує вибір верстатів з ранжирувального за вартістю ряду від найдешевших з переходом до більш дорогих тільки за наявності підвищених значень технологічних характеристик оброблюваних заготовок. Однак оцінювання технологічної насиченості верстатів з ЧПК тільки за кількістю вживаного інструменту явно недостатньо, відсутня система класифікації деталей, що на практиці суттєво ускладнює формування ряду деталей.

Крім того, сам ряд деталей видається необґрунтованим, оскільки, наприклад, відсутні деталі з конічними, криволінійними, комбінованими поверхнями, чого на практиці не буває і зовсім не розглядається технологія оброблення кожної деталі ряду.

Кожна деталь оцінюється складністю $C_{\text{ств}}$ залежності від ряду конструктивних і технологічних характеристик.

Отримано регресійні рівняння між трудомісткістю оброблення на верстаті з ЧПК $T_{\text{шт}}$ і складністю деталі $C_{\text{ст}}$:

$$T_{\text{шт}} = 9 + 126 * C_{\text{ст}}. \quad (1.3)$$

Лінія регресії служить межею області ефективного обладнання з ЧПК або верстатів із ручним керуванням (рис 1.32).

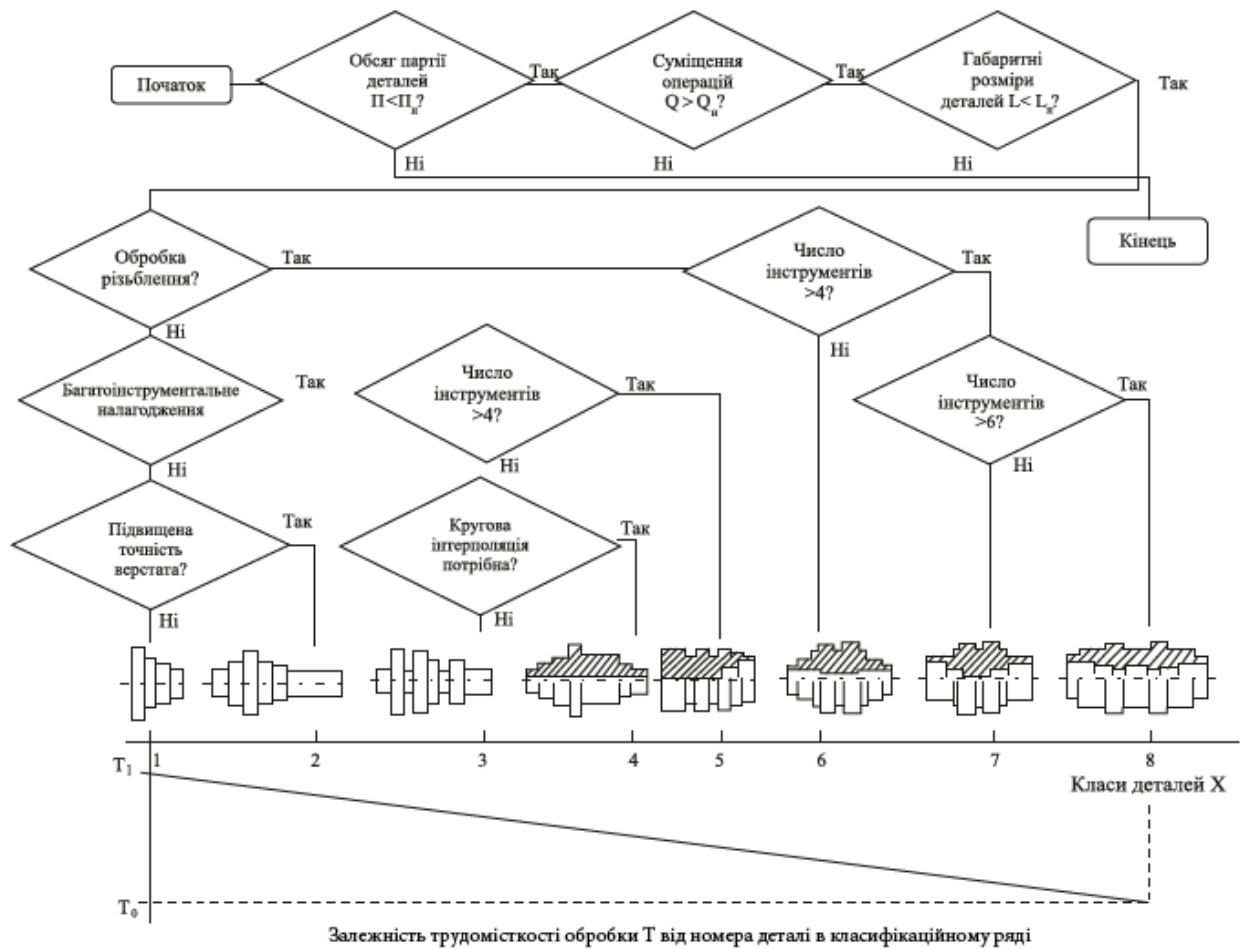


Рисунок 1.31 – Залежність трудомісткості оброблення T від номера деталі у класифікаційному ряді

Однак неясно, як при певній складності $C_{ст}$ обрати найбільш ефективний варіант верстата, оскільки параметр $C_{ст}$ не пов'язаний з параметрами верстатів. Крім того, вибір верстата технологом під конкретну деталь не дає гарантії, що верстат у цілому буде ефективно експлуатуватися на виробництві. Визначення конструктивної складності C_k за кількістю поверхонь деталі є досить трудомістким.

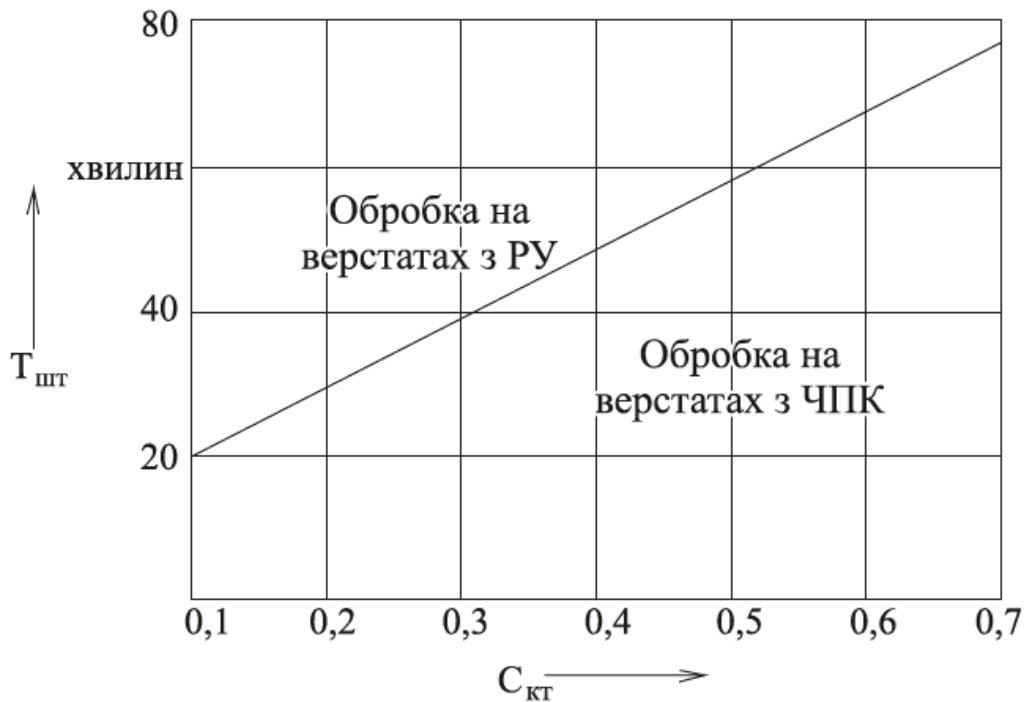


Рисунок 1.32 – Залежність трудомісткості оброблення $T_{шт}$ у залежності від складності деталі $C_{кт}$

Найбільш узагальнюючим представляється підхід до створення нового важкого металорізального верстата, запропонований професором Б. М. Базровим [6] у рамках модульної технології виготовлення деталей. Як об'єкт класифікації деталей прийнято поєднання поверхонь – модуль поверхонь [6]. Потім на основі аналізу модуля поверхонь розробляються модульні технологічні процеси, які представляють собою послідовність операцій оброблення тих чи інших модулів поверхонь. На наступному етапі формуються вимоги до створення перспективного типу металорізальних верстатів для реалізації модульної технології. До недоліків цього методу слід віднести досить складну систему класифікації деталей, що вимагає високу кваліфікацію технологів для визначення видів модулів поверхонь; сфера застосування методу переважно багатосерійне виробництво. Крім того, у роботі немає системного підходу до формування технологічної насиченості перспективних верстатів і методик вибору верстатів з ЧПК, що існують.

Логічним видається функціонально-структурний підхід до побудови перспективних токарних багатоцільових верстатів. Виявляються найбільш поширені групи деталей і розробляються комплексні деталі-представники. На основі дослідження характеристик комплексних деталей сформовані функціональні моделі токарних багатоцільових верстатів, де у якості основних функцій прийняті формотвірні координатні переміщення виконавчих органів верстата, а допоміжні функції визначають переміщення виконавчих органів верстата відносно один одного і заготовки для реалізації формотвірних координат. Визначення функцій верстатів дозволяє визначити раціональну технологічну насиченість верстатів для виготовлення певних груп деталей.

Великий обсяг розробок виконано за груповою технологією виготовлення деталей, що дозволила підвищити спеціалізацію серійного виробництва. У рамках групової технології запропоновані різні методи класифікації і групування деталей для формування предметно-спеціалізованих виробничих дільниць. При цьому пропонується модернізувати типаж металорізальних верстатів, що існує, з метою підвищення його спеціалізації і, відповідно, продуктивності оброблення. Разом з тим у відомих роботах [2; 5; 21; 25] не виявлено взаємозв'язок між характеристиками деталей і параметрами верстатів і не сформовані вимоги до створення нових металорізальних верстатів (у тому числі з програмним керуванням), спеціалізованих на виготовленні певних груп деталей.

Розроблено і перевірено метод аналізу використання верстатів у часі на підставі даних про їх стан у кожен момент часу. Цей метод дозволяє у багато разів зменшити витрати часу на визначення середніх даних про використання верстатів. Проведене статистичне обстеження використання універсального оснащення й аналіз оброблюваних деталей, що вимагають його застосування, показують, що єдині рішення з цього приводу не можуть бути знайдені. Встановлено, що внаслідок великого різноманіття різних чинників, які

впливають на доцільність застосування універсального оснащення на важких токарних верстатах, переважна більшість оснащення повинна поставлятися тільки за спеціальним замовленням.

У новій гамі важких токарних верстатів мають бути знов розроблені такі обов'язкові види додаткового оснащення, що розширюють технологічні можливості верстатів, підвищують культуру виробництва:

а) стаціонарне пристосування для фрезерування пазів шпонок, свердління, розточування і нарізання поперечних отворів з віссю обертання інструменту перпендикулярно до лінії центрів верстата;

б) стаціонарне пристосування для оброблення пазів, свердління і нарізання фланцевих отворів з віссю обертання інструменту паралельно лінії центрів верстата;

в) знімне шліфувальне пристосування для шліфування внутрішніх поверхонь;

г) пристосування для звичайного і глибокого свердління й розточування центральних отворів;

д) місцеві підйомні засоби;

е) гідравлічні пристрої для закріплення деталі, інструменту, пінолі задньої бабки, люнетів;

ж) пристрої для активного контролю діаметральних розмірів великогабаритних деталей;

з) комплекс агрегатів для дроблення і транспортування стружки від верстата;

і) пристосування для обточування галтелів R30 мм.

Таким чином, аналіз робіт показав, що до теперішнього часу виконані серйозні напрацювання в сфері вибору того, що існує, і проектування нового металорізального верстата. Однак відсутній системний підхід, який дозволяє на основі дослідження взаємозв'язку характеристик деталей, що підлягають обробленню, параметрів технологічних процесів їх виготовлення і

технологічної насиченості верстатів здійснювати споживачами вибір найбільш ефективних металорізальних верстатів з ЧПК для своїх виробничих умов, у тому числі розробку технологічних структур нового верстата.

Висновки до розділу 1

1. Аналіз умов оброблення великогабаритних деталей на підприємствах важкого машинобудування показав, що стохастичний характер динамічних процесів верстатів, а також велике розсіювання властивостей оброблюваних й інструментальних матеріалів та інших параметрів умов оброблення призводить до необхідності статистичних досліджень параметрів оброблення на підприємствах важкого машинобудування.

2. Встановлено, що, незважаючи на накопичений досвід у теорії та практиці конструювання важких верстатів, є низка невирішених питань, як у сфері визначення їх раціональних конструктивних параметрів, так і у сфері теорії забезпечення оптимального протікання процесу різання.

3. Недостатність інформації на етапі проектування важких верстатів і науково обґрунтованих рекомендацій, спрямованих на вирішення проблеми збалансованості характеристик верстатів і потреб підприємств важкого машинобудування призводить до витрачання матеріальних та енергетичних ресурсів.

4. Статистичні дослідження параметрів оброблення деталей на важких верстатах здійснюється за допомогою розробленої інформаційної бази знань, яка налічує понад 5000 прецедентів. Програмне забезпечення бази знань дозволяє здійснювати угруповання даних за заданими ознаками, визначати параметри законів розподілу, проводити регресійний і кореляційний аналіз даних.

Виходячи з викладеного, визначена мета роботи: підвищення ефективності важких металорізальних верстатів на основі визначення його 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:

1. Провести статистичні дослідження умов оброблення великогабаритних деталей на підприємствах важкого машинобудування;
2. Розробити і впровадити базу знань про верстати, умови оброблення і оброблюваних деталях;
3. Експериментально дослідити вплив конструктивних параметрів металорізальних верстатів на точність, якість і продуктивність оброблення;
4. Провести теоретичні дослідження залежностей показників механічного оброблення від конструктивних характеристик важких верстатів та інструменту;
5. Розробити практичні рекомендації з проектування важких верстатів для підприємств важкого машинобудування.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ВАЖКИХ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

2.1 Методика збирання статистичної інформації про деталі, технологічні операції та режими різання

У цій роботі фактичні рівні особливостей роботи верстатів (абсолютні показники) визначаються на основі даних нижченаведеними методами.

1. *Метод анкетного опитування.* Розробляється анкета з переліком питань, заповнюється на заводі фахівцем або бригадою для збирання інформації про деталі, технологічні операції та режими різання.

2. *Метод моментних спостережень.* Метод полягає в тому, що спостерігач у випадковому порядку обходить верстати і фіксує стан їх роботи, а так само використовуваного інструменту: діаметр оброблюваної заготовки, довжина, вага, режими різання і т. д. (рис.2.1).

Цех	Верстат	Dзаг, мм		Lзаг, мм		Qзаг, мм		t, мм		S, мм/об	
		діапазон	найбільш застосов.	діапазон	найбільш застосов.	діапазон	найбільш застосов.	діапазон	найбільш застосов.	діапазон	найбільш застосов.

Рисунок 2.1 – Відомості про використання технологічних параметрів верстатів за режимами різання і технологічними можливостями

3. *Метод письмових запитів:* розсилаються на заводи опитувальні листи. Запити були розіслані на заводи Донецької області. Відповіді були отримані й оброблені спільно з зареєстрованими на заводі.

Збирання статистичної інформації проводиться на заводах важкого, енергетичного, транспортного й ін. видів машинобудування Донецької

області. Спостереженнями були охоплені такі операції механічного оброблення деталей, що виконуються на верстатах з максимальним діаметром оброблення 1250 мм і більше: зовнішнє обточування, розточування отворів, підрізання торців, відрізання.

Для забезпечення випадковості відвідування робочих місць пронумерували всі можливі маршрути обходів і, користуючись таблицею випадкових чисел, склали графіки обходів. Збирання даних доцільно було проводити на початку, середині та наприкінці місяця, початку, середині та наприкінці зміни. Спостереження заносилися до протоколу.

У більшості випадків у якості вихідних матеріалів для розрахунку абсолютних показників використовувалися матеріали контрольних перевірок заводів. При виборі методів визначення абсолютних показників враховувалися також раніше розроблені методичні матеріали. У якості базових застосовувалися в першу чергу показники різних нормативів, ГОСТів [54; 62], також показники, встановлені на основі інших регламентуювальних документів. За відсутності таких, базовими приймалися експертно встановлені показники або показники передових підприємств.

Експертне оцінювання якості широко застосовується у різних сферах. Є теоретично обґрунтована процедура і добре розроблені математико-статистичні методи оброблення даних експертизи [91; 98]. Загальні питання організації та проведення експертного оцінювання якості обумовлені стандартами. Стосовно до різального інструменту методика експертного оцінювання розроблена у ДДМА [3; 4; 65]. Встановлено, що залежно від конкретних умов доцільно застосовувати групову експертизу зі взаємодією експертів або без взаємодії. Перша скорочує терміни оцінювання, полегшує роботу при недостатній кваліметричній підготовці експертів, друга вимагає меншої витрати часу експертів, зменшує вплив авторитетів на результати оцінювання.

Уточнюється методика експертизи і готуються матеріали для експертів, формується експертна група, у складі якої має бути не менш сімох осіб. Структура властивостей і методика оцінювання їх якості експертами лише обговорюються і приймаються голосуванням. Основні етапи експертизи здійснюються у кілька турів (зазвичай два або три). У кожному турі експерти спочатку оцінюють вагомість або одиничний показник якості. Досвід показує доцільність застосування для оцінок десятибальної системи, причому найважливіша властивість або показник базового зразка приймається за 10 балів. Є ряд прийомів, які полегшують роботу експертів. Наприклад, перед бальною оцінкою доцільно ранжувати властивості або конструктивні варіанти, тобто розташувати їх у ряд у порядку зменшення важливості або погіршення. У багатьох випадках корисний метод парних порівнянь.

Далі робоча група розраховує середнє значення оцінок, розмах оцінок (різниця між найменшою і найбільшою оцінками), квартилі (четверті частини розмаху) і відносний розмах (відношення розмаху до середніх значень). Експерти, оцінки яких потрапили у крайні квартилі (тобто значно відхилялися від середніх), зобов'язані були обґрунтувати свої оцінки, які піддаються обговоренню. Після кожного туру керівник експертної групи аналізує узгодженість думок експертів на основі аналізу величини відносного розмаху оцінок і виступів експертів. Якщо відносний розмах оцінок вагомості всіх властивостей і всіх одиничних показників якості знизиться до 0,5–1,0, і в обґрунтуванні своїх цифр експерти не висувають нових міркувань, попередньо вважається, що думки узгоджені, і проводиться більш повна перевірка узгодженості думок за коефіцієнтом варіації $V_{\text{екп}}$ – відношенню середніх квадратичних відхилень S_i оцінок до їх середнього значення m_{ij} :

$$V_{\text{екп}} = S_i \div m_{ij}. \quad (2.1)$$

Середнє квадратичне відхилення величин визначається:

$$S_i = \frac{1}{r-1} \times \sqrt{\sum_{j=1}^r (m_{ij} - m_i)^2}, \quad (2.2)$$

де i – номер властивості;

j – номер експерта;

r – кількість експертів в групі.

Узгодженість вважається високою при $V_{\text{екп}} \leq 0.10$, вище середньої при $V_{\text{екп}} = 0.10 - 0.15$, середньою при $V_{\text{екп}} = 0.16 - 0.25$, нижче середньої – при $V_{\text{екп}} = 0.26 - 0.35$ і низькою – при $V_{\text{екп}} = 0.35$.

Якщо узгодженість середня або вища за середню, можна перейти до перевірки узгодженості думок експертів про вагомість всіх показників або про одиничні показники якості. Це робиться шляхом розрахунку коефіцієнта конкордації [2; 3]. При узгодженості нижче середньої потрібен повторний тур опитування.

Після закінчення роботи експертів робоча група розраховує вагомості у відносних одиницях так, щоб їх сума дорівнювала 1, визначає комплексний показник якості [5] і складає висновок про результати експертизи.

Для конкретного виробництва іноді досить обмежитися найбільш значущими для цього підприємства властивостями. Тому номенклатура властивостей має кожен раз уточнюватися.

Для обґрунтування номенклатури показників і визначення вагомості й окремих властивостей проведена експертне оцінювання властивостей, складових якості експлуатації різального інструменту (рис. 2.2) [37].

Рандомізація властивостей, які складають якість процесу експлуатації, найбільш повна, номенклатура яких представлена ієрархічною структурою, дозволяє визначити найбільш важливі складові процесу експлуатації верстатів, які обов'язково необхідно враховувати при розробленні регламентів їх експлуатації.



Рисунок 2.2 – Алгоритм комплексного оцінювання рівня якості експлуатації різального інструменту

Моделлю системи керування процесом експлуатації верстатів передбачена підсистема підготовлювально-інформаційного процесу, виходом якого є нормативний продукт, який містить рекомендації щодо вибору керуючих параметрів системи.

До складу цієї підсистеми увійшли і процеси, що забезпечують найбільш вагомні показники якості експлуатації важких металорізальних верстатів і їх технологічні можливості (рис. 2.3) [8, 26].



Рисунок 2.3 – Технологічні можливості проектного важкого верстата

Входом наступного процесу є вихідні параметри попереднього. Кожен процес має складну власну структуру і сприяє вирішенню окремих завдань експлуатації верстатів з ЧПК:

1. Виявлення найбільш поширених умов експлуатації верстатів, для яких необхідні детальні дослідження;
2. Вибір верстатів і забезпечення контролю якості їх роботи;
3. Обґрунтування структури загальномашинобудівних нормативів різання, методології їх розроблення, що забезпечує облік всього комплексу значущих факторів процесу експлуатації верстатів і мінімальний час для вибору регламентів експлуатації.
4. Здійснення контролю та керування якістю процесу експлуатації важких металорізальних верстатів.

Але у цілому інформаційно-підготовлювальний процес експлуатації верстатів з ЧПК з використанням банку даних, системи математичних моделей і функцій, розроблених методик оцінювання якості процесу, призначений для визначення базових показників якості процесу, відхилення від яких знижує стабільність оброблення деталей і якість всього процесу експлуатації верстатів [31].

При спостереженнях за роботою важких металорізальних верстатів реєструвалися параметри, що характеризують оброблювану деталь, верстат, різальний інструмент, режими різання і т. д.

Для отримання інформації про умови оброблення, коефіцієнт основного часу й ін. параметри, необхідні для розрахунку і проектування нового важкого верстата, використовувався метод моментоспостережень, заснований на елементах теорії безперервних випадкових процесів [3; 4]. Метод полягає у тому, що спостерігач у випадковому порядку обходить верстати і фіксує їх стан: основний час роботи, допоміжний час, простої, ту чи іншу операцію, працездатність або відмову, а також умови: опрацьований матеріал, розміри деталі, режими різання і т. д.

Для забезпечення випадковості відвідування робочих місць нумеруються всі можливі маршрути обходів і, використовуючи таблицю випадкових чисел, складаються графіки обходів. Збирання даних доцільно було проводити на початку, середині та наприкінці місяця, початку, середині та наприкінці зміни.

Спостереження заносилися до протоколу. Відповідно до закону великих чисел вибіркова реєстрація методом моментних спостережень забезпечує досить правильне уявлення про пропорції і розподіли досліджуваних параметрів. Точність залежить від обсягу вибірки. Необхідна кількість зареєстрованих даних може бути визначена на підставі теореми Ляпунова [8] за формулою:

$$N = \frac{t^2 \times P \times (1-P)}{\delta^2}, \quad (2.3)$$

где P – ймовірність появи події при окремому випробуванні;

δ – допустима помилка;

t – коефіцієнт, що характеризує ймовірність припущення величини P .

Оскільки величина P нам невідома, вважаємо, що множення $P * (1 - P)$ дорівнює свого максимального значення 0.25. Приймаємо допустиму помилку $\delta = 0.1$ [32] при довірчій ймовірності $t = 0.25$, (це відповідає $t = 1.96$).

Тоді:

$$N = \frac{1.96^2 \times 0.25}{0.1^2} = 96. \quad (2.4)$$

Таким чином, у кожній групі даних необхідно зареєструвати близько 100 випадків. Кількість таких груп в роботі склала 14: залежно від параметра верстатів – 7 і виду оброблення (обдирання, чорнове і напівчистове точіння

без кірки) – 2. Тому загальна кількість випадків, необхідних для аналізу, склала близько 1400.

За допомогою програм, що дозволяють сортувати інформацію бази даних за будь-якою ознакою, були сформовані групи даних, всередині яких досліджувалися розподіл значень вхідних параметрів.

Математичне оброблення статистичних даних, отримання регресійних залежностей проводилися за допомогою регресійного аналізу з використанням методу найменших квадратів [34; 53]. Тіснота зв'язків оцінювалася коефіцієнтами парної та множинної кореляції. Перевірка гіпотез про статистичну значимість встановлених зв'язків проводилася за допомогою критеріїв Стюдента і Фішера [33]. Математичне оброблення статистичних даних проводилося за допомогою спеціальних пакетів програм інформаційного банку даних, а також з використанням пакетів Mathcad і Excel.

Визначено напрямок дослідження з вибору тих, що існують, і рекомендацій зі створення нових верстатів з програмним керуванням, призначених для виготовлення деталей типу тіл обертання. Разом з тим основні положення роботи можуть бути використані для розроблення верстатів, призначених для виготовлення деталей іншої геометричної форми.

Отже, найважливішим завданням для виявлення загальних закономірностей формування груп деталей, використовуваних у якості технологічної основи конструювання і надалі вибору рекомендацій з конструювання верстатів з ЧПК, є формування представницької *бази знань* про деталі машин, що відображає вимоги виробництв більшості споживачів металорізальних верстатів. В ідеальному випадку такий банк має бути створений на державному рівні. Однак у зв'язку з великими витратами на таку роботу у наш час ця задача нереальна. Тому нами пропонується обмежитися регіональним рівнем, зокрема машинобудівним комплексом Донецької області. У Донецькій області зосереджена велика кількість

промислових підприємств (табл. 2.1) [27; 55], що представляють різні галузі промисловості: верстатобудування, вітроенергетика, приладобудування, прокатне, ковальсько-пресове обладнання й ін. За даними статистичних звітів, номенклатура у сфері виробів багато у чому схожа з номенклатурою інших промислово розвинених областей України. Це дозволяє вважати, що база знань про деталі Донецької області адекватно відображає вимоги машинобудівного комплексу України в цілому [107; 143].

Таблиця 2.1 – Підприємства Донецької області, які беруть участь у створенні бази знань

№	Найменування підприємства	Галузь машинобудування
1	Новокраматорський машинобудівний завод (ПрАТ НКМЗ)	Прокатне металургійне обладнання, прокатні валки, деталі енергетичного обладнання й ін.
2	ПАТ «Енергомашспецсталь»	Енергетичне і транспортне машинобудування
3	Краматорський завод важкого верстатобудування ПрАТ «КЗТС»	Верстатобудування
4	Старокраматорський машинобудівний завод ПАТ «СКМЗ»	Прокатне, ковальсько-пресове обладнання й ін.
5	ПАТ «Славтяжмаш»	Коксові машини, реконструкція
6	ВАТ «Дружківський машинобудівний завод»	Гірничошахтне обладнання
7	ВАТ «Азовзагальмаш»	Авіакосмічні апарати, бронетехніка, атомна енергетика

При статистичному обробленні відомостей з підприємств був доповнений банк даних про роботу важких верстатів. Аналіз деталей і рекомендовані параметри важких верстатів наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Аналіз деталей і рекомендовані параметри важких верстатів

Dmax	Розподіл деталей, %								Рекомендовані параметрів	
	Довжина деталей, мм				Вага деталей, т					
	до 6000	6000–8000	8000–10000	10000–15000	до 25	25–40	40–63	63–100	Lmax	Qmax
11250	26	1,2	4	–	31	–	–	–	6300–10000	25
11600	24	118,7	6	0,8	19	23	4,5	–	6000–10000	50–40
22000	8,5	77,5	3,5	0,8	10	4	4	0,5	6000–10000	25–68
22500	4,2	–	–	–	4	–	–	–	–	–

2.2 Розроблення функціонально-математичної моделі процесу технологічного проектування верстатної системи

Процес технологічного проектування важких верстатів нового покоління, який у найбільш повній мірі відповідає вимогам більшості замовників, полягає у розробленні його технологічної структури у вигляді функціонально-структурної моделі й обґрунтуванні основних технологічних параметрів (клас точності, розміри робочого простору). Побудова функціонально-структурної моделі верстата дозволяє встановити комплекс необхідних і достатніх функцій, що реалізуються верстатом і забезпечують

його виконавчі механізми (агрегати, вузли і т. п.). Визначення раціональних функцій верстатів є першочерговим завданням при його технологічному проектуванні, оскільки помилки, допущені на цьому етапі життєвого циклу обладнання призведуть до значних економічних витрат при його виробництві й експлуатації. Тільки після розроблення функціонально-структурної моделі можливо виконати конструкторське проектування і освоїти виробництво нових верстатів або вибрати ефективний варіант з гами верстатів, що існують.

Для дослідження функцій верстатів і розроблення його функціонально-структурної моделі верстата нами застосована методологія функціонального моделювання і графічного описування процесів, що дозволяє побудувати функціональну модель процесу, визначити його входи і виходи, встановити взаємозв'язки з іншими процесами [29; 6].

Мета побудови функціональної моделі процесу «розробити функціонально-структурну модель верстата», яка полягає у визначенні його основних елементів і взаємозв'язків між ними.

На першому етапі поставлена задача дослідження процесу вибору ефективного обладнання у вигляді функціонального модуля «розробити процес побудови функціонально-структурної моделі обладнання» (рис. 2.3) [28; 145].

Споживачами такої моделі є механообробні виробництва, яким необхідно вибрати ефективне обладнання з гами верстатів, що існують, або, у разі відсутності останніх, замовити нове. Крім того, вищевказаний процес, надзвичайно важливий для забезпечення конкурентоздатності випущених на верстатобудівних підприємствах верстатів.

Входами зазначеного процесу є зовнішня інформація, включаючи вимоги споживачів і необхідні ресурси. Основним джерелом інформації є дані про деталі, які потребують подальшого виготовлення у виробництві замовника. Деталь визначається такими характеристиками: конструктивними

(геометрія поверхонь деталі), технологічними (вид заготовки, матеріал, твердість й ін.) і плановими (обсяг випуску, трудомісткість). Виходами процесу є функціонально-структурна модель верстата, що задовольняє вимогам замовників, і інформація для інших споживачів. Керування процесом здійснюється на підставі нормативних документів, що регламентують процеси проектування верстатів. До таких нормативів в основному належать документи єдиної системи конструкторської документації і єдиної системи технологічної документації [111; 147]. Проектувальниками процесу є фахівці технологічних і конструкторських підрозділів верстатобудівних підприємств і проектних організацій у галузі верстатобудування.

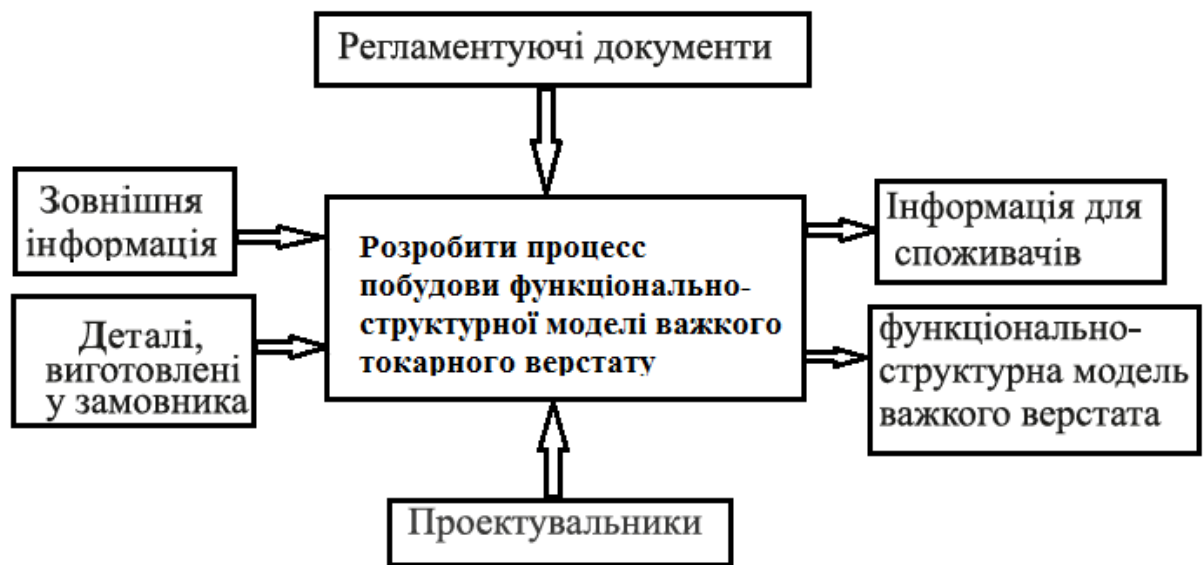


Рисунок 2.3 – Функціональний модуль процесу «Розробити процес побудови функціонально-структурної моделі металорізальних верстатів»

На другому етапі розглянемо внутрішню структуру процесу, представленого на рис. 2.4, використовуючи механізм декомпозиції. Відповідно до вимог методології функціонального моделювання і графічного описування процесів для декомпозиції процесу побудуємо діаграму, у якій

представимо всі процеси, що входять до основного процесу, і взаємозв'язок між ними (рис. 2.4). Представлені процеси (блоки 1–6) фактично охоплюють всі етапи циклу технологічного проектування функціонально-структурної моделі верстата.

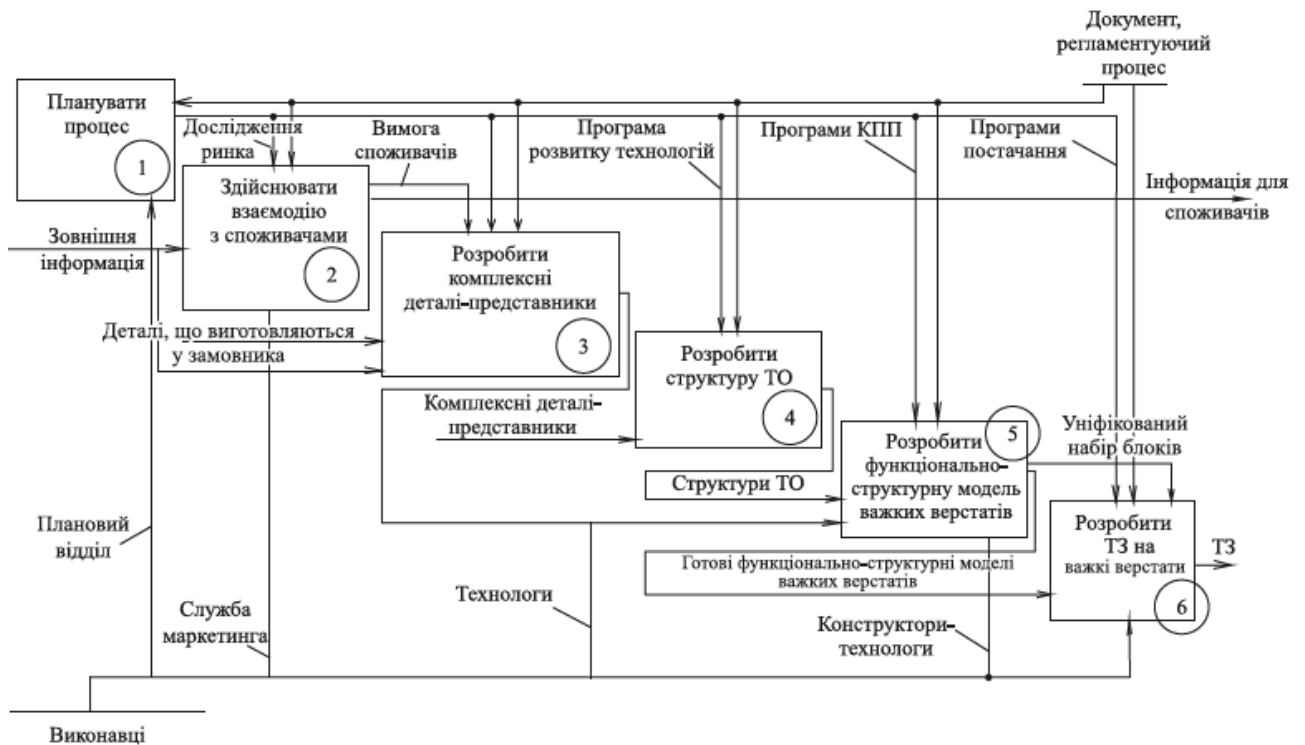


Рисунок 2.4 – Декомпозиція процесу «Розробити процес побудови функціонально-структурної моделі верстата»

Етап планування процесів (блок 1) відображає загальну послідовність їх реалізації. На етапі маркетингу (блок 2) визначають коло замовників і основні вимоги до обладнання. Сформулювати вимоги споживачів до верстатів можна тільки на основі аналізу їх виробничих умов і в першу чергу, номенклатури (блок 3). В умовах серійного виробництва реалізація цього процесу є серйозною проблемою, оскільки виготовляється широка номенклатура деталей. У цьому випадку не може бути вибрана у якості технологічної основи якась конкретна деталь, тому необхідно проведення робіт щодо класифікації та групування широкої номенклатури деталей з

метою узагальнення їх характеристик. На вході блоку 3 є множини, які потребують подальше виготовлення у виробництві замовника деталей, а на виході комплексні деталі-представники. Деталь-представник узагальнює всі конструктивні елементи, властивості деталей певної групи.

Наступним процесом є розроблення технологічних процесів і операцій, що також є складовою багатоальтернативного завдання (блок 4). Структура побудови технологічних операцій суттєво впливає на формування функціонально-структурної моделі верстата. Та ж сама деталь-представник може бути оброблена за послідовною, паралельною і послідовно-паралельною схемою, що потребують вибору верстатів з різними функціями та функціональними блоками. Входом блоку 4 є комплексні деталі-представники, а виходом – раціональні структури технологічних операцій за їх обробленням.

Виходи процесів розроблення деталі-представника (блок 3) і структури технологічних операцій (блок 4) є входом процесу технологічного проектування функціонально-структурної моделі верстата (блок 5). Виходом процесу блоку 5 є функціонально-структурна модель верстата, що визначає структуру і склад функціональних блоків кожного верстата, призначеного для оброблення певної групи деталей. Розроблені функціонально-структурні моделі верстата є входом процесу розроблення технічного завдання і пропозиції для створення нових верстатів або вибору верстата з гами верстатів, що існують (блок 6). У разі якщо обладнання, що існує, відповідає вимогам розробленої функціонально-структурної моделі верстата, то обирається верстат, що існує.

В іншому випадку розробляється технічна пропозиція на новий верстат. Можливий також варіант, коли прийнятний вибір обладнання, існує, відрізняється від функціонально-структурної моделі верстата з оцінюванням умовних економічних втрат.

Таким чином, декомпозиція основного процесу «розробити процес побудови функціонально-структурної моделі верстата» дозволила визначити всі внутрішні процеси, взаємозв'язки між ними через відповідні входи і виходи, а також виконавців кожного процесу.

З огляду на важливість процесів, представлених блоками 3 і 5, виконаємо їх декомпозицію.

З тих деталей, що виготовляються, у замовника формується база знань (рис. 2.5, блок 1). Дані про деталі представлені за єдиною структурою в електронному вигляді. Створення єдиної структури даних про деталі забезпечується застосуванням конструкторських і технологічних класифікаторів. База знань про деталі дозволяє виконати всебічний статистичний аналіз їх конструкторсько-технологічних характеристик. Виявити найбільш широко поширені з них (2).

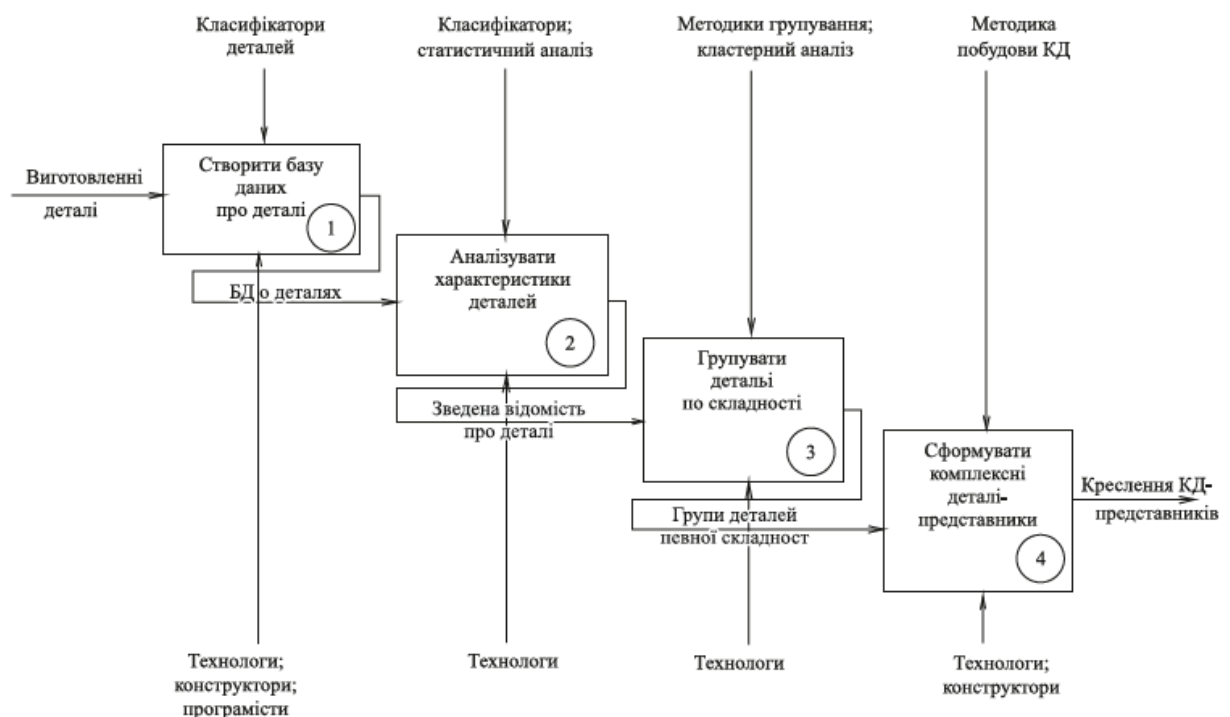


Рисунок 2.5 – Декомпозиція процесу
«Розробити комплексні деталі-представники»

В умовах серійного виробництва формування вимоги до обладнання можливо тільки при групуванні деталей (блок 3).

Групування деталей здійснюється за спільністю їх конструктивно-технологічних характеристик (геометрія поверхонь, розміри, точність й ін.). Для виключення широкої різноманітності інформації про характеристики деталей її доцільно виразити через інтегрований показник. Таким показником є складність деталі. *Складність деталі* – це кількісний показник, що враховує кількість і геометрію поверхонь деталей, їх розміри, вимоги точності, матеріал й ін [52; 63]. Від складності деталі залежить вибір обладнання відповідних технологічних можливостей. Особливу значність має складність деталей при виборі важких верстатів з ЧПК, оскільки економічно вигідно використовувати це обладнання для виготовлення досить складних деталей.

Таким чином, групування деталей нами запропоновано виконати за їх складністю. Для виявлених груп деталей розробляються відповідні їм комплексні деталі-представники, для виготовлення яких необхідно вибрати обладнання з певними технологічними можливостями (блок 4).

Процес проектування функціонально-структурної моделі верстата можна уявити як складну систему, матеріальним об'єктом якої є верстатна система. Верстатна система (як і будь-яка інша складна система) має певні входи і виходи, для визначення взаємозв'язку між якими необхідно розробити її математичну модель.

Слід зазначити, що надзвичайно важливо розробити функціонально-структурну модель верстата з ЧПК, оскільки помилки у виборі дорогих важких верстатів спричинять серйозні економічні втрати на етапі їх експлуатації.

На вході верстатної системи нами пропонується прийняти деталь-представник певної складності S_i і раціональну схему оброблення T_i цієї деталі. Від складності S_i та схеми її оброблення T_i залежить структура

обладнання, і перш за все склад і кількість функціональних блоків B_i обладнання (станина, шпиндельні бабки, супорти й ін.), які доцільно прийняти у якості виходу верстатної системи [56].

Першим процесом декомпозиції, представленої на рис. 2.6, є побудова функціональної моделі верстатної системи (блок 1). Функціональна модель верстатної системи дозволяє виявити комплекс функцій F_i , необхідних і достатніх для виготовлення деталі-представника складністю S_i при реалізації схеми оброблення T_i . Визначимо функції F_i верстатної системи шляхом багатозначного відображення множин деталі складністю S_i і технологічних структур T_i у множині функцій F_i верстатів [53; 55]:

$$r: S \times T \rightarrow F, \quad (2.5)$$

де r – відображення множин;

$S = \{S_i\}$ – множина деталей-представників складністю S_i ;

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

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

У співвідношенні (2.5) враховано вплив на функції верстатів структури технологічних операцій. Дійсно, деталь певної складності може бути оброблена за різними схемами технологічних операцій, яким відповідають свої функціональні моделі верстатів. Тому у відображенні r множина складностей деталі S представлено добутком з множиною T схем технологічних операцій.

При відображенні r кожного добутку елементів $S_i \times T_i$ та множин S і T зіставляється один або декілька елементів F_i множині F , які необхідні для забезпечення $S_i \times T_i$. Таким чином, кожна множина елементів $S_i \times T_i \in S \times T$ [57] множини F буде підмножина функцій F_i верстатної системи, зіставляваних при відображенні r елементами $S_i \times T_i$:

$$r(S_i \times T_i) = \{F_i: (\cup S_i \times T_i)(S_i \times T_i; F_i) \in r\}. \quad (2.6)$$

Таким чином, на виході блока 5.1 маємо функціональну модель верстатної системи, що складається з комплексу функцій, які необхідно реалізувати для виготовлення деталі-представника певної складності із застосуванням відповідної схеми оброблення.

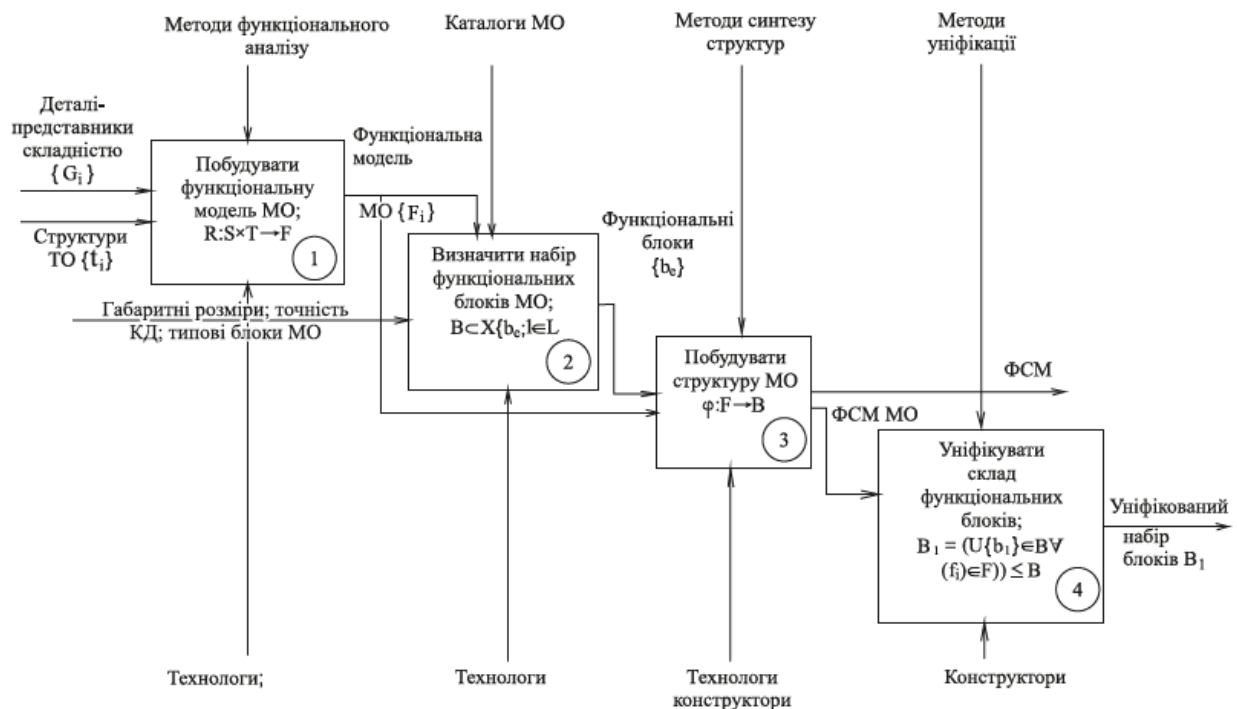


Рисунок 2.6 – Декомпозиція процесу

«Розробити функціонально-структурну модель обладнання»

Для розроблення функціонально-структурної моделі верстата необхідно реалізувати процес з визначення комплексу функціональних блоків, що реалізують отримані функціональні моделі верстатних систем (блок 2). Формування комплексу функціональних блоків здійснюється у рамках певного розмірного ряду за каталогами і технічними паспортами верстатів. Вхідними даними для зазначеного процесу є габаритні розміри та

вимоги з точності виготовлення деталей-представника. Габаритні розміри деталі визначають розміри робочого простору верстата і, відповідно, габаритні розміри функціональних блоків, з яких складається верстат. Точність виготовлення деталей впливає на клас точності верстата, тобто точність виготовлення і збирання функціональних блоків [109; 125].

Для визначення функціональних блоків верстатну систему представимо як відношення на непустій множині [77]:

$$B \in x\{B_i: i \in I\}, \quad (2.7)$$

де B – верстатна система у вигляді множини функціональних блоків;

x – символ декартового твору;

B_i – i -тий функціональний блок;

I – множина індексів функціональних блоків.

Оскільки для функціональних блоків верстатної системи множина I кінцева, то (2.6) можна переписати у вигляді [110]:

$$B \in B_1 \times B_2 \times \dots \times B_n. \quad (2.8)$$

Виходом блока 2 є множина функціональних блоків, необхідних для побудови функціонально-структурної моделі верстата певних типорозмірів.

На вході блока 3 маємо множину функцій F обладнання і множину функціональних блоків B . Процес побудови функціонально-структурної моделі верстата забезпечує підбір функціональних блоків для реалізації функціональної моделі верстата. Математично цей процес формалізуємо шляхом відображення d множини функцій F верстата у множину B функціональних блоків [84]:

$$d: F \rightarrow B. \quad (2.9)$$

Тоді образом кожної функції $d(F_i)$, яку необхідно реалізувати верстата, буде один або кілька функціональних блоків B_i , що забезпечують цю функцію [131]:

$$d(F_i) = (\{B_i\}(\exists F_i)(F_i; B_i) \in d), \quad (2.10)$$

У свою чергу, об'єднавши образи всіх функцій конкретного верстата, отримаємо кінцеву підмножину функціональних блоків B_i , необхідних для реалізації функціональної моделі верстата у цілому [131; 134]:

$$\cup d(F_i) = \{B_i \div \exists (m \in M \Delta B) i \in d(F_i)\}, \quad (2.11)$$

де M – множина образів функцій $(F_b, \dots, F_i) \in F$ при відображенні d ;

m – елемент множини M .

Таким чином, вираз (2.10) відображає функціонально-структурну модель конкретного верстата, призначеного для виготовлення деталі-представника певної складності S_i при реалізації раціональної схеми оброблення T_i [89]. Це означає, що для конкретної складності деталі обрана раціональна функціонально-структурна модель верстата, що має необхідну та достатню кількість функціональних блоків. Тим самим відсікаються «зайві» функції обладнання та їх матеріальні носії (функціональні блоки), і, навпаки, забезпечується введення необхідних (для ефективного оброблення) елементів обладнання.

Очевидно, що у серійному виробництві кожного замовника (або групи замовників) буде виявлено кілька деталей-представників і розроблені відповідні їм функціонально-структурні моделі верстата. У цьому випадку доцільно організувати проектування і виробництво всіх верстатів блочно-модульним принципом, тобто на єдиній уніфікованій елементній базі. Тому

заключним процесом цієї декомпозиції є уніфікація функціональних блоків для побудови всіх верстатів (блок 4).

Входом блока 4 є підмножини функціональних блоків всіх верстатів, призначених для виготовлення виявлених деталей-представників. Встановимо уніфікований склад функціональних блоків B і шляхом знаходження області значень відображення d за допомогою об'єднання образів функцій F_i [90; 137]:

$$B_i = [\cup (\cup d(F_i)) \in B \forall (F_i) \in F]. \quad (2.12)$$

Виходом процесу (4) є уніфікований склад функціональних блоків B_v для створення всіх необхідних верстатів.

Таким чином, ми отримали функціонально-математичні моделі процесу технологічного проектування верстатних систем, у якій вхідними даними є деталі-представники різних складностей, схеми побудови технологічних операцій їх оброблення, а виходом необхідний і достатній склад уніфікованих функціональних блоків верстата.

Для матеріального наповнення моделей (2.5–2.12) необхідно у подальшому вирішити такий комплекс взаємопов'язаних завдань:

- 1 розробити методологію проектування функціонально-структурної моделі верстата;
- 2 розробити математичну модель кількісного оцінювання складності деталі;
- 3 узагальнити та виявити найбільш широко поширені групи деталей, що виготовляються в умовах серійного виробництва з метою створення і виробництва ефективних верстатних систем за блочно-модульним принципом;
- 4 виявити функції металорізального верстата.

Дотримуючись раніше використаного принципу розгляду процесу проектування функціонально-структурної моделі верстата за допомогою

функціонального моделювання нами запропоновано докладніше дослідити побудову функціонально-структурної моделі верстата із застосуванням функціонально-вартісного аналізу, основу якого також становить аналіз функцій досліджуваних об'єктів.

2.3 Аналіз факторів впливу забезпечення збереження параметрів металорізальних верстатів на ефективність автоматизованого виробництва

Підвищення ефективності методів випробування та діагностування металорізальних верстатів для оцінювання їх технічного рівня, отримання найбільш повної інформації про стан машини за параметрами якості, прогнозування надійності на стадії випробування дослідного зразка з припиненням часу проведення випробувань є необхідними умовами для якнайшвидшого освоєння нових моделей верстатів. Цим умовам задовольняє програмний метод випробування [108].

Однією з основних особливостей програмного методу є управління ходом випробування за програмою, яка відбиває весь діапазон умов експлуатації верстата.

Основна мета програмних випробувань – оцінити реакцію верстата на весь спектр зовнішніх впливів, що відображає експлуатаційні навантаження, і виявити області станів для регламентованих вихідних параметрів верстата. Вихідні параметри верстата визначають показники точності здійснення рухів формотвірних вузлів.

За результатами випробування верстата області станів порівнюють з відповідними областями працездатності (область допустимих значень вихідних параметрів). У результаті визначають показники якості верстата [38] і в першу чергу запас надійності кожного з параметрів.

Умови експлуатації та їх стохастичну природу враховують, проводячи випробування при одночасній дії силових і теплових факторів

з програмним навантаженням верстата, що працює, за допомогою спеціальних пристроїв. Умови випробувань мають відображати спектр експлуатаційних впливів. При цьому вихідні параметри можуть визначатися як в імовірнісному трактуванні (повна характеристика області станів), так і при екстремальних умовах (оцінювання кордону області станів).

Випробування складається з великої кількості циклів, кожен з яких підбирає одну з комбінацій можливих впливів на верстат. Таке випробування вимагає застосування програмних навантажувальних пристроїв, імітуючи силові та теплові впливи на верстат.

Оброблення на верстаті зразка (типовий деталі) виконується лише для підтвердження достовірності інформації, отриманої при програмному навантаженні верстата, і для встановлення ступеня адекватності умов випробування реальних умов роботи верстата.

Випробування поєднуються з прогнозуванням параметрів металорізального верстата. При цьому вихідними даними є результати проведених випробувань і апіорі вибірні інформація про процеси, що призводять до зміни початкових характеристик верстата.

Випробування проводять у спеціально обладнаних дослідно-діагностичних центрах (комплексах), де забезпечуються програмне навантаження верстата, вимірювання необхідних параметрів і оброблення інформації за допомогою спеціальних програм (рис. 2.7) [150].

У процесі випробування за допомогою спеціальної програми виконуються такі функції:

- оброблення та збереження результатів випробувань;
- оброблення апіорної інформації про експлуатаційні навантаження в умовах експлуатації, про зносостійкість матеріалів, стосовно базових елементів, про вимоги до точності оброблення й інші дані, характерні для певної випробуваної моделі верстата;

- здійснення програмного керування режимами роботи верстата і спеціальними навантажувальними пристроями, включаючи імітацію зовнішніх впливів: зміна значень і напрямки сил, накладення спектра вібрацій, управління тепловими потоками й ін .;
- прогноз про можливу зміну вихідних параметрів верстата і розрахунки показників якості та параметричної надійності верстата.

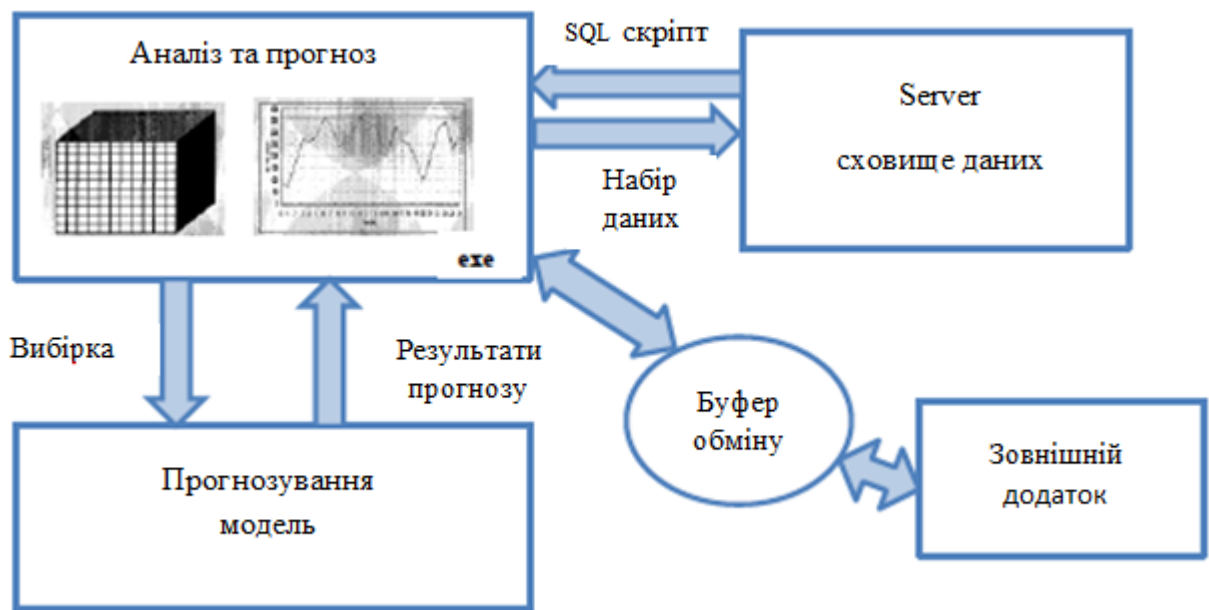


Рисунок 2.7 – Компонентна побудова програмного забезпечення прогнозування роботи верстатів

Випробування реалізується у режимі автоматизованого експерименту і складається з послідовних циклів, кількість яких має бути достатньою для статистичного оброблення результатів. Кожен цикл виконується при певному поєднанні факторів, що впливають на параметри траєкторій, і отримані траєкторії кожної опорної точки є реалізаціями деякого випадкового процесу, що характеризує рух робочих органів верстатів при його експлуатації.

Параметри кожної траєкторії визначають за допомогою вимірювального комплексу, їх значення вводять у спеціальні поля в обчислювальній програмі, де здійснюються необхідні розрахунки. У вимірювальному комплексі є діагностична апаратура для оцінювання стану окремих елементів верстата, їх теплових полів, віброакустичних сигналів й інших характеристик. Аналіз діагностичних сигналів за допомогою спеціальної програми дозволяє мати уявлення про причини відхилення параметрів траєкторій від їх номінальних значень.

Програмне випробування вимагає такої організації випробувального обчислювального процесу, яка містить необхідний обсяг окремих обчислень і циклів випробувань, їх логічну побудову, застосування різних методів і моделей, використання цілого ряду підпрограм (як спеціальних, так і стандартних), організацію взаємодії процесів випробування, оброблення інформації та обчислення.

Для формування значень варійованих параметрів використовують апріорну статистичну інформацію. Тут мають бути такі дані:

- параметри технологічних процесів (розміри і матеріал заготовок, режими оброблення, характеристики різального інструменту й ін.), а також частота їх застосування для певної моделі верстата, що необхідно для розрахунку вхідних параметрів (сил, швидкостей) і законів їх розподілу;
- спектри силових (вібраційних) і теплових зовнішніх впливів на верстат;
- дані зі зносостійкості матеріалів тих пар тертя, які визначають точність верстата (напрямні, гвинтові пари, опори шпінделей) і використовуються для прогнозування його параметричної надійності, інформація про необхідну *точність оброблення* і похибки, що вносяться компонентами технологічної системи (інструментом, пристосуванням й ін.), а також вимоги стандартів і нормативів, які використовуються для розрахунку сфер працездатності.

Точність оброблення – головний показник якості технологічної системи [111; 138]. Кожен крок у досягненні більш високого рівня за параметрами точності – це результат нових технічних рішень при проектуванні, виготовленні й експлуатації металорізальних верстатів.

Точність оброблення залежить від усіх компонентів технологічної системи: технологічної машини (верстата), інструменту, заготовки, пристосування, від їх технічного рівня і якості. Кожен з цих компонентів впливає на утворення похибок обробки, тому треба встановити, які вимоги слід пред'являти до окремих компонентів технологічної системи для досягнення необхідного рівня вихідного параметра всієї системи заданої точності оброблення (рис. 2.8).

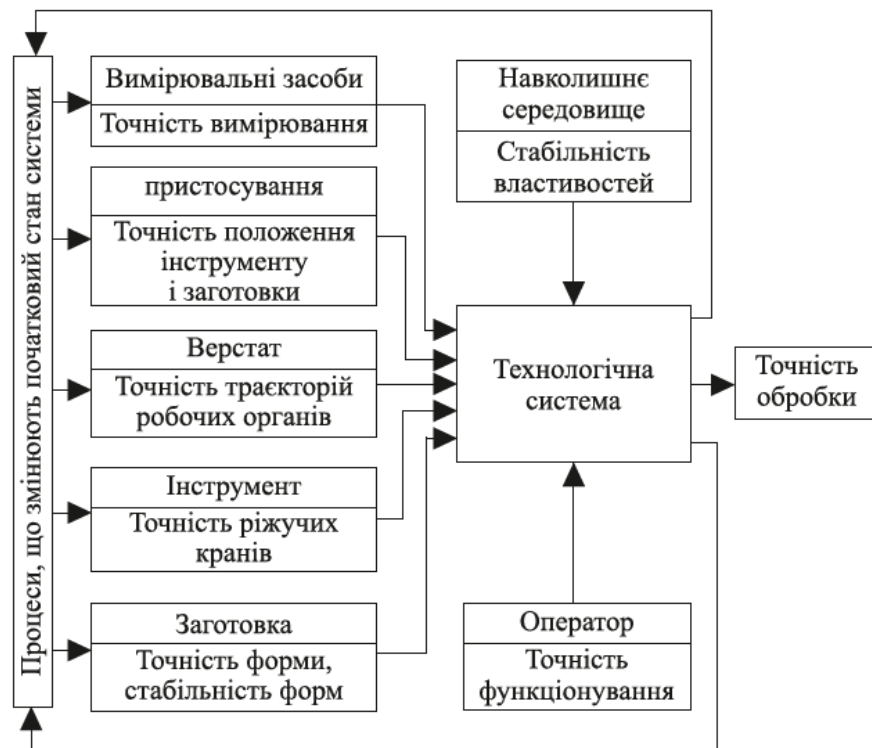


Рисунок 2.8 – Схема компонентів технологічної системи та їх вплив на точність оброблення

Одним з основних процесів керування випробуванням є формування сигналів керування на основі отриманих законів розподілу вхідних параметрів. Оскільки випробування складається з N циклів (зазвичай $N = 100 \dots 150$), то необхідно формувати набір значень вхідних даних для кожного циклу [98].

Вибір значень вхідних змінних параметрів Z здійснюють двома методами. Перший метод полягає у безпосередньому застосуванні принципів статичного випробування (метод Монте-Карло) [150; 139], коли для кожного циклу випробувань вибираються (розігруються) фіксовані значення вхідних параметрів Z з урахуванням їх законів розподілу (Z). Потім ці значення перетворюються на сигнали керування режимом роботи верстата і програмними навантажувальними пристроями, що створюють на верстаті імітацію оброблення.

Вимірювання вихідних параметрів верстата J (параметрів траєкторій його робочих органів) дозволяє оцінити відгук системи на певний вплив і після проведення всіх N циклів випробування отримати закони розподілу вихідних параметрів $f(X)$, що характеризують точність верстата. Ці закони є повною характеристикою областей станів і передають усі різноманітності можливих умов експлуатації верстата, оскільки вони враховують стохастичну природу вхідних впливів.

Такий метод доцільно застосовувати при досить стабільних статистичних характеристиках умов експлуатації верстатів. Якщо ці умови змінювалися або треба оцінити параметричну надійність верстата при його роботі в інших сферах виробництва, треба проводити новий цикл випробувань.

Другий метод вибору значень варійованих параметрів Z дозволяє проводити повний цикл випробувань один раз і потім використовувати одержані результати для оцінювання вихідних параметрів J при різних статистичних характеристиках вхідних параметрів. Для цього значення

вхідних параметрів обирають на основі застосування методів планування багатофакторного експерименту.

Відгук системи на вплив варійованих параметрів дозволяє знайти функціональну залежність між вхідними та вихідними параметрами.

Часто така залежність може бути представлена у вигляді поліноміального рівняння. Розглядаючи аргументи цього рівняння як випадкові величини зі своїми законами розподілу, можна отримати закон ділення вхідного параметра, також застосовуючи метод Монте-Карло. При цьому методі закон $f(Z)$ отримують розрахунками за допомогою спеціальних програм, і при зміні законів розподілу вхідних параметрів додаткових випробувань не буде потрібно.

Випробувальний стенд містить об'єкт випробування (верстат), програмні навантажувальні пристрої, вимірювальний комплекс для оцінювання параметра траєкторій і комплекс для вимірювання діагностичних сигналів.

Випробувальний стенд є основним джерелом інформації про вихідні параметри випробуваного зразка верстата. Після кожного циклу випробувань у пам'ять машини вводять параметри певної реалізації вимірюваної траєкторії руху вузла верстата. Після проведення всіх N циклів випробувальних отримують масив даних по параметрам всього ансамблю траєкторій, після статистичного оброблення якого визначають характеристики відповідної області станів.

У пам'ять машини вводяться також значення діагностичних сигналів, у результаті оброблення й аналізування яких отримують інформацію про вплив основних факторів на параметри верстата, яка є основою для оптимізації цих параметрів.

Для прогнозування параметричної надійності верстата одночасно з кожним циклом випробування здійснюють розрахунки можливої зміни параметрів певної траєкторії. Необхідні для цього закономірності

зношування матеріалів можуть бути визначені на основі фізико-статистичних випробувань певної пари матеріалів, які враховують імовірнісну природу процесів зношування.

Першопричиною усіх змін, що відбуваються у верстаті, є енергія, яка діє на нього у процесі експлуатації. Процес старіння матеріалів, перш за все зношування, у взаємодії з іншими процесами різної швидкості й інтенсивності змінює стан верстата.

Деградація параметрів верстата розглядається у загальному вигляді як процес автоматичного регулювання зі зворотними зв'язками. Наприклад, зношування механізмів, теплові деформації, вібрації, робочі навантаження та навколишнє середовище не тільки знімають точність роботи верстата, але можуть впливати на зростання динамічних навантажень, які інтенсифікують цей процес (рис. 2.9) [106; 104].

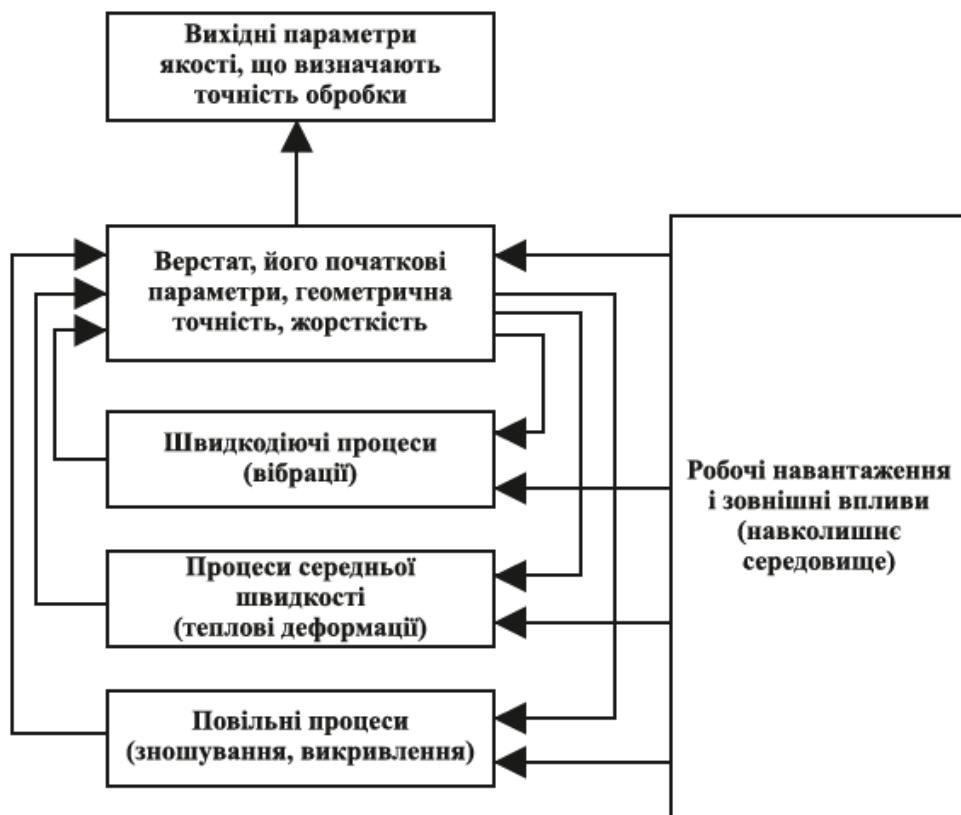


Рисунок 2.9 – Схема впливу зовнішніх і внутрішніх факторів

У результаті зазначених явищ відбувається поступова зміна вихідних параметрів верстата у часі $X(t)$ і формування закону надійності $f(t)$. Запас надійності верстата падає, і ймовірність параметричної відмови зростає. При цьому існує зона безвідмовної роботи, у якій початкові параметри верстата гарантовано знаходяться у допустимих припущах.

Прогнозування параметричної надійності верстата з урахуванням зношування окремих механізмів здійснюється у кілька етапів [91; 103]:

- на підставі закономірностей процесу зношування розрахувати механізми з певними конструктивними особливостями, визначити форму зношених поверхонь;
- оцінити вплив зношування у механізмі на вихідні параметри верстата;
- врахувати імовірнісну природу всіх процесів і чинників (оцінити їх закони розподілу);
- використовуючи модель параметричної відмови, розрахувати показники надійності верстата. У результаті випробування і прогнозування розглянутого комплексу визначаються такі характеристики точності та параметричної надійності верстата:
 - 1) кількісні характеристики областей станів;
 - 2) запаси надійності за точністю для кожного з вихідних параметрів або ймовірність безвідмовної роботи;
 - 3) ресурс за точністю при заданій ймовірності безвідмовної роботи верстата.

Висновки до розділу 2

1. Розроблені методики, які дозволяють здійснювати теоретичні, статистичні й експериментальні дослідження процесу оброблення деталей на важких токарних верстатах.

2. Методика статистичних досліджень підприємств важкого машинобудування передбачає створення бази даних з використанням методів математичної статистики і групування даних за заданими ознаками, визначення параметрів розподілу, проведення регресійного і кореляційного аналізу даних, визначення необхідних параметрів обладнання, оптимізації режимів різання.

3. Розроблена функціональна модель процесу побудови функціонально-структурної моделі металорізального обладнання, яка дозволила встановити всі процеси, що входять до основного процесу, їх взаємозв'язок, вхідну і вихідну інформацію.

4. Розроблено декомпозиції основного процесу, що формалізують послідовність розроблення комплексних деталей-представників певної складності і побудови відповідних функціонально-структурних моделей верстатів.

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

6. У результаті аналізу підходів, що існують і застосовуються у прогнозуванні параметрів важких верстатів, була визначена необхідність і доцільність розроблення методики та програмно-математичних засобів побудови автоматизованої інформаційної системи моніторингу та прогнозування параметрів верстатів для підприємств важкого машинобудування.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ПОЕТАПНОГО ГРУПУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ У ВАЖКОМУ МАШИНОБУДУВАННІ

3.1 Формування груп деталей типу тіл обертання у залежності від складності із застосуванням кластерного аналізу

Створення металорізальних верстатів з ЧПК багато у чому залежить від якості рішення задач на етапі їх технологічного проектування, коли визначаються технологічні можливості й основні параметри машин. Очевидно, що параметри верстатів доцільно формувати у залежності від характеристик деталей, що підлягають обробленню на ньому. В умовах багатономенклатурного виробництва технологічною основою проектування верстатів з ЧПК може бути тільки група правильно підібраних деталей [7; 22]. Тому необхідно розробити й на практиці перевірити ознаки і критерії підбору деталей у групи.

Процес формування груп деталей, які доцільно прийняти за основу для створення верстатів з ЧПК, можна представити у вигляді такої послідовності [102]:

- обґрунтування інформаційної моделі деталі;
- формування представницької бази знань про деталі;
- об'єднання деталей у конструкторсько-технологічні групи;
- вибір конструкторсько-технологічних груп деталей, які економічно доцільно обробляти на верстатах з ЧПК, і розроблення комплексних деталей-представників.

Склад класифікаційних угруповань деталей типу тіл обертання представлений у табл. 3.1

Інформаційна модель деталі є основною структурною одиницею бази знань про деталі [115], що дозволяє описати на інформаційній мові необхідні

конструктивно-технологічні й організаційно-планові характеристики деталі. Формалізацію характеристик деталей здійснюють зазвичай, за допомогою різних класифікаційних систем, які являють собою систему найменувань об'єктів класифікації, класифікаційних угруповань і їх кодових позначень.

Таблиця 3.1 – Склад класифікаційних груповань деталей типу тіл обертання

Підкласи. Параметричні ознаки та форма зовнішньої поверхні						
L – 0,5D включно		L > 0,5D – 2D включно			L > 2D	
Із зовнішньою поверхнею						
Циліндрична	Конічна, кріволін., комбінов.	Циліндрична	Конічна, кріволін., комбінов.	Цилінд- рична	Конічна, кріволін., комбінов.	
711000	712000	713000	714000	715000	716000	
Групи. Структура зовнішньої поверхні						
Гладка		Ступінчаста				
		Без закритих уступів			Із закритими уступами	
без зовнішньої різьби	зовнішня різьба	однобіч.	двобіч.	зовнішня різьба	без зовнішньої різьби	зовнішня різьба
71X100	71X200	71X300	71X400	71X500	71X600	71X700
Підгрупи. Форма і структура внутрішньої поверхні						
Без центрального отвору	З центр. глухим отвором		З центральним наскрізним отвором			
	без різьби	з різьбою	циліндр без різьби	циліндр. з різьбою	конічна, кріволін., комбінов.	некругл. в поперечному перерізі
			гладкім	ступінч.		
Види. Додаткові елементи						
Кільцеві пази на торцях		Пази, скоси, лиски на зовнішній поверхні			Безцентров. отвіру	

Класифікація характеристик об'єктів виробництва формалізується за допомогою відповідних класифікаційних ознак у кодові числа [117] і (або) літери, що дозволяє перейти на єдине знеособлене позначення всіх елементів бази даних (незалежно від їх функціонального призначення),

систематизувати відомості про характеристики деталей шляхом віднесення їх до тієї чи іншої класифікаційної групи та зробити інформаційну модель деталі більш компактною і зручною для оброблення за допомогою спеціальних програм.

Розглянемо загальну схему конструкторсько-технологічної класифікації деталі та подання відомостей про неї в інформаційну модель деталі. Кожна деталь D може бути охарактеризована і відповідно описана деякою сукупністю (множиною) ознак [118]:

$$D = \{P_1, \dots, P_i, \dots, P_n\}, \quad (3.1)$$

де P_i – i -а ознака деталі,

n – загальна кількість ознак.

Кожна з n ознак у свою чергу може бути представлена двома частинами: найменуванням ознаки X_i і його числовим значенням x_i . При кодуванні будь-якого об'єкта за певною ознакою використовують відповідну йому класифікаційну систему (таблицю), прикладами якого можуть служити конструкторські та технологічні класифікатори [102; 23].

При формуванні інформаційної моделі деталі [29; 72] потрібно вирішити задачу створення оптимального набору класифікаційних ознак, які є найбільш інформативними для створення верстатів з ЧПК. Це завдання належить до класу задач, пов'язаних з оцінюванням необхідності деякої сукупності ознак [28], та фактично зводиться до проблеми виділення (відбору) цих ознак, оскільки завжди доцільно скорочення їх кількості. Цю задачу доцільно вирішити шляхом накладання множини $Y = y_1, \dots, y_i$ параметрів верстатів з ЧПК, оцінюваних при його виборі (наприклад, кількість формотвірних координатних переміщень виконавчих органів верстата, ступінь концентрації операцій, розмір робочого простору, клас точності, тип системи ЧПК і ряд ін.) на множину класифікаційних ознак

$X = x_1, \dots, x_i$. Накладення множини Y на множину X математично можна уявити за допомогою відображення множин [34; 85].

Припустимо, маємо багатозначне відображення v множини Y параметрів верстата з ЧПК у множину X класифікаційних ознак:

$$v: Y \rightarrow X. \quad (3.2)$$

При відображенні кожному елементу множини Y зіставляється один або кілька елементів X .

Таким чином, $v(y_i)$ кожного параметра верстата з ЧПК $y_i \in Y$ за підмножиною X буде підмножина класифікаційних ознак, що зіставляються при відображенні v елемента y_i [108]:

$$v(y_i) = \{X_i\} \in X, \quad (3.3)$$

де x_i – підмножина класифікаційних ознак, що визначає y_i (або є найбільш інформативними для y_i).

У свою чергу, об'єднавши всі параметри верстата $(y_1, \dots, y_i) \in Y$ за відображенням v , отримаємо той, що шукаємо, набір класифікаційних ознак, які є найбільш інформативними для створення верстата з ЧПК [119]:

$$U_{n \in N} v(y_i) = \{x_i \div \exists n(n \in N) \times x_i \in v(y_i)\}, \quad (3.4)$$

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

Область значень відображення v або, інакше кажучи, загальний набір класифікаційних ознак X визначимо таким чином [20]:

$$X_1 = \{(U_{n \in N} v(y_i) \in X)\} \in X_{\text{кл}}, \quad (3.5)$$

Критерієм зіставлення i -тої класифікаційної ознаки i -того параметра верстата при відображенні v є ступінь його впливу (значимості) на i -й параметр верстата з ЧПК. Завдання виявлення найбільш інформативних класифікаційних ознак для конструкторської та технологічної підготовки виробництва (у тому числі вибору верстата з ЧПК) вирішена при створенні регіональної бази знань про деталі, що виготовляються на підприємствах Донецької області.

У методиці [28] конструктивні характеристики деталей кодуються за класифікатором єдиної системи конструкторської документації. Єдина система конструкторської документації досить широко використовується на підприємствах і дозволяє перейти на знеособлене позначення деталей, що необхідно для створення представницької міжгалузевої бази знань.

Єдину систему конструкторської документації побудовано за ієрархічним принципом, в основу якого покладено дедуктивний логічний поділ класифікації множини ознак. Цей принцип забезпечує послідовне збільшення конкретизації ознак деталей. Ієрархічну структуру конструкторського класифікатора можна представити у вигляді граф-дерева $L_g = (X_k, U)$ [120], де x_k – множина вершин графа (або, в цьому випадку, множина конструкторських ознак) і U – множина ребер, що показують взаємозв'язок ознак-вершин (рис. 3.1, а). Кожне класифікаційне групування X_{ki} має власну область значень класифікаційних ознак:

$$X_{k0} = \{X_{k0}\}, \quad (3.6)$$

$$X_{k1} = \{x_{k11}, x_{k12}, \dots, x_{k1j}\}, \quad (3.7)$$

$$X_{ki} = \{x_{ki1}, x_{ki2}, \dots, x_{kij}\}, \quad (3.8)$$

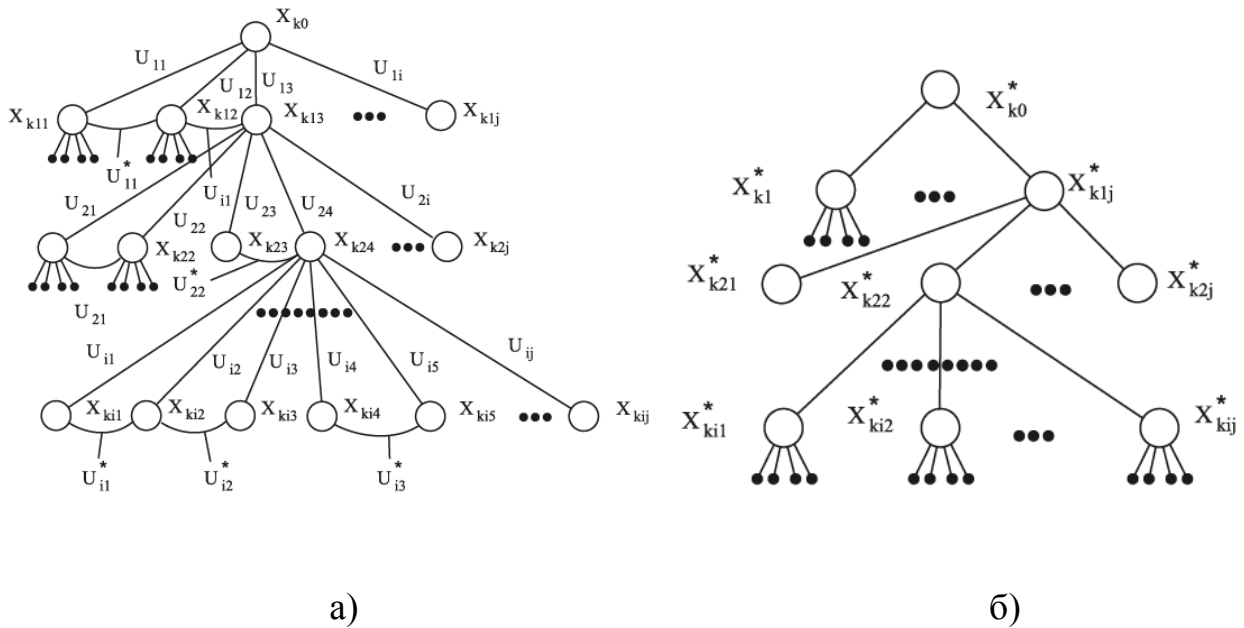
де $\{x_{k0}, \dots, x_{kij}\} \in X_k$ – множина значень класифікаційних ознак, складових області значень найменувань конструктивних ознак $X_{k0}, \dots, X_{ki}$.

Кожній деталі за єдиною системою конструкторської документації відповідає тільки один класифікаційний вид, цифровий код якого виходить у результаті послідовного кодування характеристик деталей за класифікаційними угрупованнями. Тому, необхідно розробити конструкцію алгоритму скорочення кількості класифікаційних видів, що відповідає процесу групування деталей.

Таким чином, процес групування деталей полягає у перетворенні ієрархічної структури графа L_g , зображеного на рис. 3.1, а, за допомогою операції стягування (згортки) графа [142]. Операція стягування вершин графа $L_g = (L_k, U)$ перетворює его в інший граф L_g з кількістю вершин $n(L) - 1$ та із меншою, ніж у L_g , кількістю ребер (рис. 3.1, б).

Практична реалізація операції згортки графа L_g полягає в об'єднанні класифікаційних ознак x_{kij} для оброблення, яким потрібно однаковий склад і кількість формотвірних координат k . У цьому випадку можна вважати, що елементи підмножини X_1 класифікаційних ознак, отримані відповідно до рівняння (3.7), вступають у бінарні відносини з елементами множини k формотвірних координат, які встановлюють відповідність елементів однієї множини елементів іншого. Відносини множин X_k і k можна показати за допомогою орієнтованого графа (рис. 3.1). Вершини графа відповідають елементам X_k і k , а дуга, спрямована з вершини x_{kij} до f_i , означає, що $x_{kij} * f_i$, де x_{kij} та f_i – елементи множин X_k та k , а "*" – бінарне з'єднання, яке встановлює відповідність поверхні (поверхонь) деталі.

Відносини між елементами множин X_k та k доцільно виконати окремо кожного класифікаційного угруповання X_{ki} . У підсумку кожного X_{ki} отримаємо матрицю відношень x_{ki} до i : x_{ki} до i : $W_{xk} = \|w_{ij}\|_{nm}$, побудованих за принципом: 1 – якщо ознака i зумовлює виконання формотвірної координати j ; 0 – в іншому випадку, де i – номер вершини; j – номери ребер графа; n – кількість ознак $x_{kij} \in X_{ki}$, m – кількість формотвірних координат f_i .



а, б – до та після стягування, відповідно

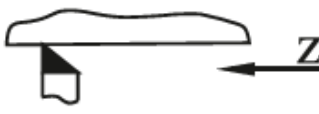
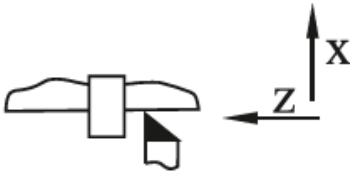
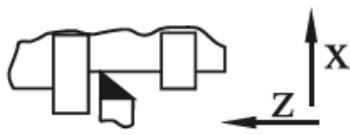
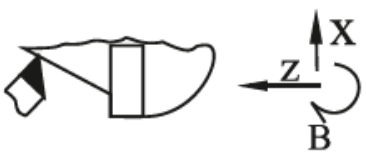
Рисунок 3.1 – Граф-дерево ознак деталей класифікатора єдиної системи конструкторської документації

Аналіз матриць w_{ij} дозволяє визначити класифікаційні ознаки деталі, відповідні однаковим формотвірним рухам [87].

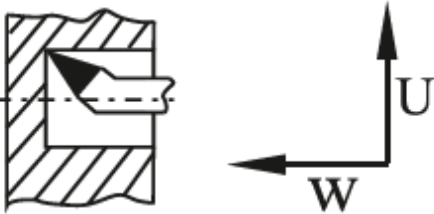
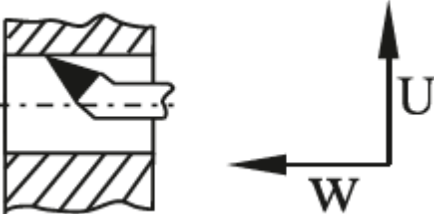
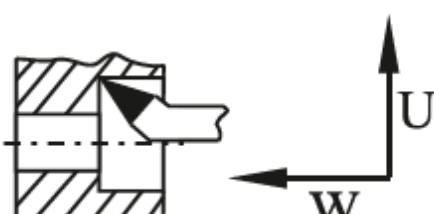
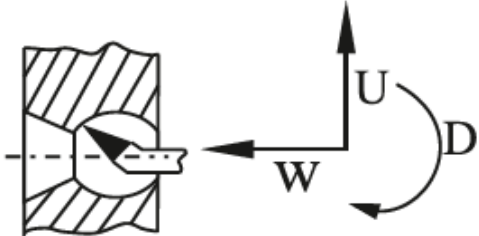
Для класифікатора єдиної системи конструкторської документації відповідності x_{kij} та f_i (рис. 3.3) можна встановити шляхом вибору типових схем оброблення поверхонь, що класифікуються тим чи іншим x_{kij} [88]. Відповідність класифікаційних характеристик деталей X формотвірним координатам k на першому етапі встановимо тільки для основних зовнішніх (табл. 3.2) та внутрішніх (табл. 3.3) поверхонь, які у цілому визначають геометричну форму деталі без урахування пазів, лисок, шліців, різьби, позацентричних отворів і т. д., які часто називають додатковими елементами.

Таблиця 3.2 – Відповідність класифікаційних ознак, що характеризують структуру зовнішньої поверхні деталей і кількості формотвірних

координат

Код ознаки	Характеристика додаткового елемента деталі	Кількість координат верстата	Ескіз обробки
711100 711200	Циліндрична гладка	1 (Z)	
711300 711400 711500	Циліндрична ступінчаста однобічна, двобічна без закритих уступів без різьби і з різьбою	2 (Z; X)	
711600 711700	Циліндрична ступінчаста з закритими уступами без різьби і з різьбою	2 (Z; X)	
711200 711400 711600	Конічна, криволінійна, комбінована	3 (Z; X; B)	

Таблиця 3.3 – Відповідність класифікаційних ознак, що характеризують структуру внутрішньої поверхні деталі та кількості формотвірних координат

Код ознаки	Характеристика додаткового елемента деталі	Кількість координат верстата	Ескіз обробки
71XX10	Без центрального отвору	-	Отвір не обробляється
71XX20 71XX30	З центральним глухим отвором, циліндричним, гладким	2 (W; U)	
71XX40	З центральним глухим отвором, циліндричним, гладким	2 (W; U)	
71XX50 71XX60	З центральним наскрізним отвором, циліндричним, ступінчастим	2 (W; U)	
71XX70	З центральним отвором конічним, криволінійним, комбінованим	3 (W; U; D)	

З табл. 3.2 і 3.3 видно, що для простих циліндричних поверхонь достатньо навіть однієї формотвірної координати Z (для внутрішньої поверхні W), а для найбільш складних конічних, криволінійних,

комбінованих поверхонь потрібно три формотвірних координати X , Z , B (для внутрішніх поверхонь U , W , D). Крім того, об'єднаємо класифікаційні ознаки, характеризуючи наявність у деталей додаткових елементів, для оброблення яких також потрібно однаковий склад формотвірних координат (табл. 3.3) [100].

У результаті реалізації першого кроку об'єднання (стягування) класифікаційних ознак кількість вершин графі L_g (рис. 3.4) кожної класифікаційної групи (підклас, група, підгрупа, вид) значно менше, ніж у вихідної графі L_g^* (рис. 3.2) [101]. Відповідно, кількість можливих груп деталей може різко скоротитися з 2688 до 270.

Таблиця 3.4 – Відповідність класифікаційних ознак, що характеризують додаткові елементи деталі та число формотвірних координат

Код ознаки	Характеристика додаткового елемента деталі	Число координат верстата
71XXX1 71XXX5	Без пазів, лисок, шліців та безцентрових отворів	-
71XXX2 71XXX6	Без пазів, шліців і безцентрових отворів	1 (Y)
71XXX3 71XXX7	З пазами і безцентровими отворами	2 (Y; E)
71XXX4 71XXX8	З пазами і безцентровими отворами	2 (Y; E)

Для відбору раціональних груп деталей з 270 груп потрібно врахувати цільову функцію (або критерій групування), яка визначається умовою

отримання економічного ефекту у виробництві. У якості такої умови приймемо таке: повне завантаження протягом року як мінімум одного верстата з ЧПК деталями відповідної групи.

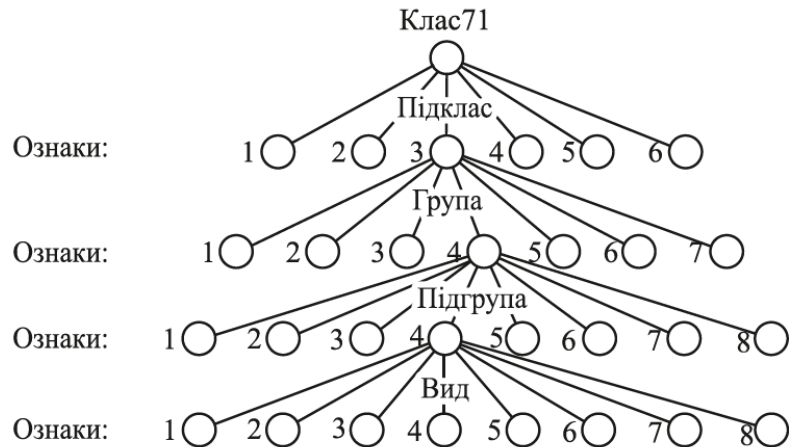


Рисунок 3.2 – Структура класифікаційних групувань 71-го класу єдиної системи конструкторської документації (деталі типу тіл обертання)

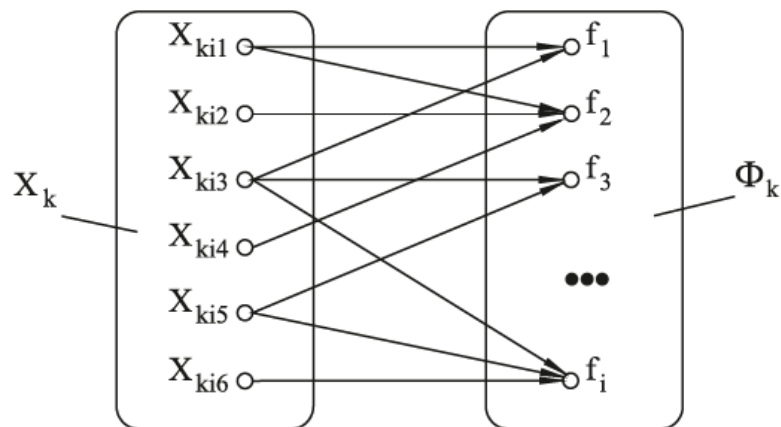


Рисунок 3.3 – Графа відносин X_k та Φ_k

Цю умову можна виразити цільовою функцією [102]:

$$\sum_{i=1}^m \Pi_i \times T_{\text{шт}i} \geq \Phi_{\text{д}0} \times K_3, \quad (3.9)$$

де Π_i – річна програма випуску i -тої деталі;
 $T_{\text{шт}i}$ – трудомісткість виготовлення i -тої деталі;
 $\Phi_{\text{до}}$ – річний фонд роботи верстата;
 K_3 – коефіцієнт завантаження верстата;
 m – кількість деталей у групі.

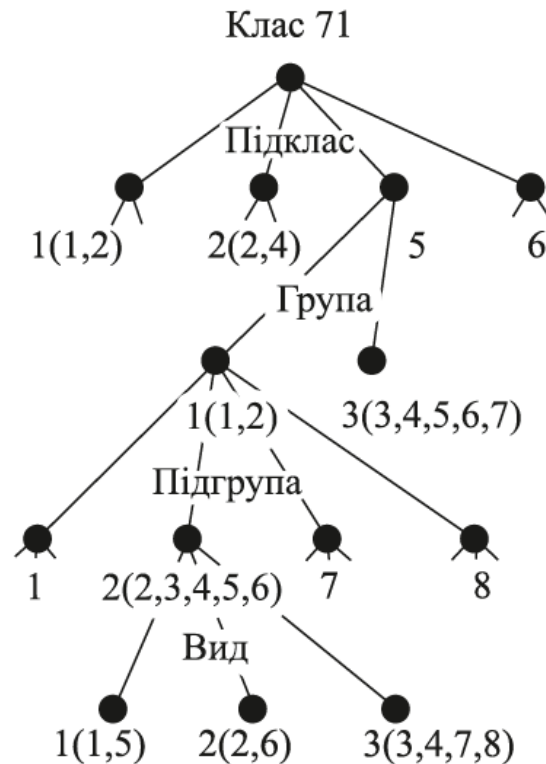


Рисунок 3.4– Структура класифікаційних угруповань за рис. 3.1 з узагальненими ознаками (у дужках вказані позначення узагальнених ознак)

На цьому етапі кожна з 270 груп деталей перевіряється за умовою (3.9). Групи деталей, що відповідають цій умові, виділяються у якості технологічної основи для розроблення технологічних структур верстатів з ЧПК.

Незважаючи на значне скорочення вершин (ознак) у графі L_g^* , кількість груп, що залишилися після виділення груп, що відповідають умові (3.9), може бути великим.

На другому етапі доцільно групування класифікаційних ознак X із заміною на відповідні формотвірні координати k , які необхідно реалізувати верстатом для оброблення певної класифікаційної ознаки. У якості другої ознаки групування на цьому етапі приймає відношення довжини до діаметру L/D деталі, який багато у чому визначається технологією її оброблення. Дійсно, у деталей типу кілець, фланців ($L \leq D$) і валів, осей ($L \geq D$) значно розрізняються схеми встановлення та технологічні процеси їх виготовлення.

При наявності двох основних ознак завдання групування може бути вирішене методами кластерного аналізу [14]. Отримані у результаті розбиття множини об'єктів групи називаються *кластерами*. Методи знаходження кластерів називаються кластерним аналізом. Таким чином, необхідно вирішити задачу групування множини об'єктів (деталей), кожен з яких характеризується двома ознаками: k та L/D . Умовне розташування об'єктів у вигляді точок на площині показано на рис.3.5. Першим етапом вирішення задачі пошуку кластерів є обчислення відстаней або близькості між об'єктами або ознаками.

Скористаємося агломеративно-ієрархічним алгоритмом класифікації (групування). Як відстань між об'єктами візьмемо звичайну евклідову відстань, що задається формулою:

$$P_E(X_i, X_j) = \sqrt{\sum_1^k (x_{i1} - x_{j1})^2}, \quad (3.10)$$

де x_{i1}, x_{j1} – величина 1 -ї компоненти у i -го (j -го) об'єкта ($l = 1, 2, \dots, k$; $i, j = 1, 2, \dots, n$). На підставі розрахунків за формулою (3.10) знаходимо відстані між об'єктами групування і будуємо матрицю відстаней R :

$$R = \{p(x_i, x_j)\}. \quad (3.11)$$

З матриці R вибираються найбільш близькі об'єкти і об'єднуються у кластер. Після об'єднання маємо на один кластер (групу деталей) меншу відстань між рештою кластерів.

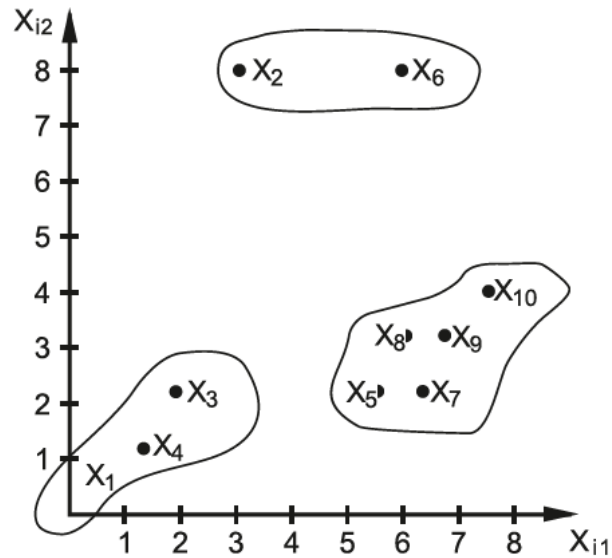


Рисунок 3.5 – Класифікація об'єктів на площині

Визначимо за принципом «найближчого сусіда», скориставшись формулою перерахунку:

$$P_{l(m,g)} = S_1, S_{(m,g)} = \alpha p_{1m} + \beta p_{1g} + \gamma p_{mg} + \delta [p_{1m} - p_{1g}], \quad (3.12)$$

де $p_{1m} = p(S_1, S_m)$; $p_{1g} = p(S_1, S_g)$; $p_{mg} = p(S_m, S_g)$ – відстань між класами S_1, S_m, S_g ;

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ – числові коефіцієнти, значення яких визначає специфіку процедури (принцип «найближчого або далекого сусіда»), її алгоритм.

У результаті виконання декількох кроків об'єднання кластерів за формулами (3.10), (3.11) і (3.12) можна усі групи деталей звести до однієї великої групи.

Одночасно з цим, після реалізації кожного кроку об'єднання кластерів кожен зі знов отриманих кластерів (груп деталей) оцінюється за формулою (3.10). Якщо для цього кластера умова (3.10) виконується, то він з подальшого об'єднання виключається, а виражена через нього група деталей може бути використана у якості технологічної основи для створення нових верстатів з ЧПК. Якщо умова (3.10) не виконується, то цей кластер разом з іншими бере участь на наступному кроці об'єднання.

Проаналізовано деталі, оброблювані в умовах ПрАТ «НКМЗ». Сформовано три групи деталей на основі кластерного аналізу габаритних розмірів і кількості необхідних формотвірних рухів. Вихідні дані та результати кластерного аналізу деталей ПрАТ «НКМЗ» представлені у Додадку Б.

3.2 Обґрунтування складу уніфікованих функціональних блоків при формуванні перспективного типу верстатів з ЧПК за блочно-модульним принципом

Етап формування оптимального складу уніфікованих блоків містить вирішення таких завдань:

- формалізація функціональних блоків токарних верстатів з ЧПК шляхом присвоєння їм певних кодових позначень з метою алгоритмізації процесу проектування компоновок верстатів;
- аналіз компонувальних рішень всієї гами верстатів з функціональних блоків;
- вибір раціонального складу уніфікованих функціональних блоків при формуванні перспективного типу токарних верстатів з ЧПК за блочно-модульним принципом [3].

Одним з найбільш ефективних засобів формалізації і дослідження компоновок верстатів є метод структурних формул, запропонований професором Ю. Д. Враговим [19].

Структурна формула компонування є певна послідовність символів, що позначають функціональні блоки верстата B_{fi} та розкривають координатну приналежність і спосіб сполучення блоків [122].

Важливою перевагою методу описування компонувань верстатів за допомогою структурних формул є те, що коди функціональних блоків присвоюються на основі позначень формотвірних координат (X , Y , Z і т. д.), які вони реалізують. Послідовність запису позначень функціональних блоків у структурній формулі здійснюється у порядку їх розташування у компонуванні верстата, причому позначення інструментального блока, що несе різальний інструмент C_h , записують завжди крайніми праворуч, а шпиндельної бабки, що несе заготовку A_h , крайніми зліва. Розташування у формулі знака стаціонарного блока, у нашому випадку станини 0 , дає достатнє уявлення про склад рухів, виконуваних заготовкою та інструментом. Від положення станини у компонуванні залежить розподіл елементарних рухів формоутворення між заготовкою і різальним інструментом. У зв'язку з цим можна умовно розрізняти дві гілки блоків компонування: гілка заготовки та гілка інструмента. У структурних формулах компоновок гілки заготовок розташовують зліва, а гілки інструменту – праворуч від знака 0 станини.

Формоутворення на верстатах забезпечується взаємодією обох гілок компонування.

Матеріальне наповнення позначень функціональних блоків залежить від їх розташування у структурній формулі щодо станини. Наприклад, якщо знак X_b займає розряд лівіше 0 , то X_b – це салазкі шпиндельної бабки для переміщення її по осі X . У разі якщо X_b стоїть праворуч від 0 , X_b означає салазкі супорта для переміщення по тій же осі X .

На розподіл рухів між гілками заготовки й інструменту впливає багато факторів, найважливіші з яких форма, розміри і маса заготовки, структура технологічних операцій.

Структурну формулу компоновання верстата для оброблення заготовок деталей певної групи отримаємо на основі його функціонально-структурної моделі, у якій відображені основні функції (формотвірні координати) і функціональні блоки їх реалізують. При цьому основні функції верстата доповнимо індексами, відповідними положенню функціональних блоків щодо станини та гілок інструмента і заготовки. Зліва від положення станини записуються позначення функціональних блоків, що забезпечують рух формоутворення шпиндельної бабки, а праворуч – позначення функціональних блоків, що реалізують переміщення інструмента:

$$(A_{hb} + A_{hb}^*)O_b(Z_bX_bD_bC_{hb} + W_bU_bD_{b1}C_{hb}^*), \quad (3.12)$$

де A_{hb} та A_{hb}^* – шпиндельні бабки;

O_b – станина;

Z_b, W_b – супорти поздовжнього переміщення інструментальних блоків;

X_b, U_b – салазки поперечного переміщення інструментальних блоків;

D_b, D_{b1} – приводи повороту інструментальних блоків для зміни інструмента;

C_{hb}, C_{hb}^* – інструментальні головки.

Знак «+» означає паралельне сполучення шпиндельних бабок (A_{hb} та A_{hb}^*) й інструментальних головок (C_{hb} та C_{hb}^*) для забезпечення паралельно-послідовного оброблення поверхонь заготовок деталей певної групи. У разі перенесення, наприклад, позначення X_b у ліву частину структурної формули конструктивно це означатиме наявність санчат поперечного переміщення шпиндельної бабки. Цей функціональний блок буде використовуватися замість санчат поперечного переміщення

інструментального блоку. Таким чином, компоновка залежить від місця положення позначення функціональних блоків у структурній формулі компоновання верстата.

Кількість можливих перестановок функціональних блоків у структурній формулі визначається кількістю положень основних формотвірних переміщень блоків щодо станини. Наприклад, для структурної формули (3.12) інструментальні головки (C_{hb} та C_{hb}^*) і шпиндельні бабки вироби (A_{hb} та A_{hb}^*) мають жорстко закріплені позиції, і можна оперувати тільки п'ятьма розрядами-блоками ($O_b Z_b X_b W_b U_b$). Але і в цьому випадку кількість можливих перестановок позначень блоків за п'ятьма місцями-розрядами дорівнює $I_1 = 5! = 120$ [146], тобто мають місце сто двадцять варіантів побудови компоновання токарного верстата для оброблення заготовок деталей певної групи. Приблизно така ж кількість варіантів може бути запропонована і для верстатів з ЧПК для оброблення інших комплексних деталей. Очевидно, що таке різноманіття компоновальних рішень значно ускладнює організацію серійного виробництва верстатів, оскільки відсутня єдина елементна база функціональних блоків для їх створення.

З метою уніфікації складу функціональних блоків, який можна було б застосувати для побудови всього перспективного типажу токарних верстатів з ЧПК, встановимо зв'язок між функціональними блоками, що входять у функціонально-структурну модель всіх верстатів.

Для цього побудуємо граф $G = (V, Q)$ відношень функціональних блоків (рис. 3.5), де $V = (B_1, B_2, \dots, B_n)$ – множина вершин графа G ; представляють уніфіковані блоки; $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ – множина ребер графа G , що з'єднують вершини V у тому випадку, якщо два блоки можуть бути об'єднані у систему, що логічно діє, наприклад: станина – шпиндельна бабка й ін. [28; 149]. Структуру графа G визначає його матриця суміжності $M = [m_{ij}]$:

$$m_{ij} = 1, \text{ якщо у } G \text{ існує дуга;}$$

$m_{ij} = 0$, в іншому випадку.

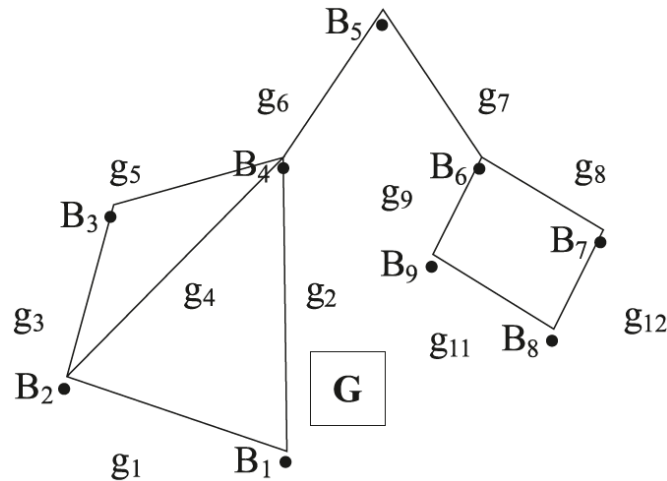


Рисунок 3.5 – Граф G відносин складу уніфікованих блоків

З графа G можна виділити два підграфа: для гілки інструменту $G_1 = (B_1, Q_1)$ та гілки заготовки $G_2 = (B_2, Q_2)$. При цьому $B_1, B_2 \in B$ і для кожної вершини $B_1 \in B$, $Q_1(B_i) = Q(B_i) \cap B_1$ та $B_i \in B_2, Q_2(B_i) = Q(B_i) \cap B_2$. Для подальшого дослідження G_1 і G_2 зручно представити у вигляді орієнтованих графів, початкові вершини яких є шпіндельними блоками інструмента (B_1) або заготовки (B_8), а кінцевими вершинами обох графів – станина (B_5) (рис. 3.6) [28; 136].

Решта блоків буде послідовно приєднуватися до них, а потім один до одного. Комплекти вершин, які через відповідні дуги пов'язують початкові вершини з кінцевими, називають простими шляхами підграфів.

У загальному випадку у підграфах G_1 та G_2 можна виділити прості шляхи S_1 та S_2 , відповідно:

$$S_1(b_i) = (\{b_i\} \cap \Gamma_n(b_i) \cap \Gamma_n^2(b_i) \cap \dots \cap \Gamma_n^2(b_i) | b_i \in B_1), \quad (3.13)$$

$$S_2(b_i) = (\{b_i\} \cap \Gamma_n(b_i) \cap \Gamma_n^2(b_i) \cap \dots \cap \Gamma_n^2(b_i) | b_i \in B_2), \quad (3.14)$$

де $\Gamma_n^m(b_i)$ – множина вершин, які досяжні з вершини b_i з використанням шляхів довжини m .

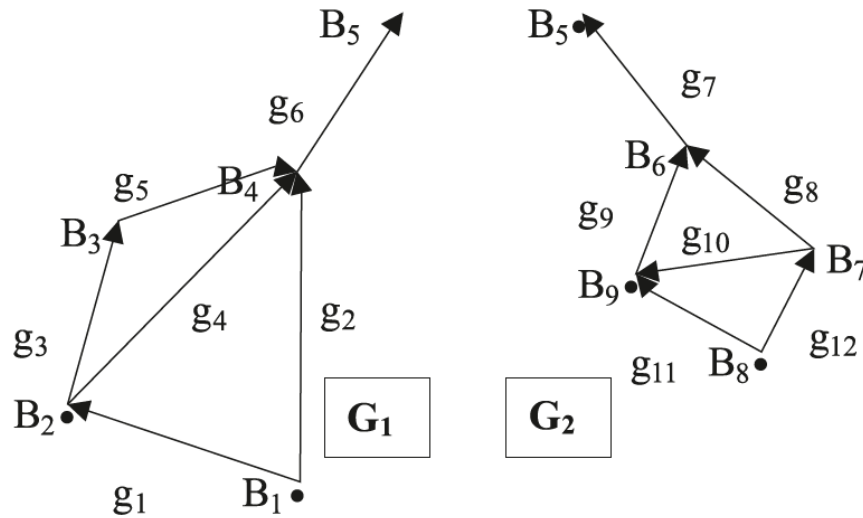


Рисунок 3.6 – Орієнтовані підграфи G_1 та G_2 відносин уніфікованих блоків гілок інструмента і виробів, відповідно

Комбінація комплектів гілок (простих шляхів) інструмента і заготовки $I = S_1 \times S_2$ дасть множину варіантів компоновальних рішень верстатів, побудованих з уніфікованих функціональних блоків [144].

У табл. 3.5 представлені всі функціональні блоки для формування єдиного графа G , необхідні для створення будь-якого верстата з перспективного типажу, які відображені в їх функціонально-структурній моделі [123; 137]. Побудову графа почнемо від вершини графа 0, що позначає станину верстата. Гілка заготовки складається з двох шпindelьних бабок A_h та A_{hi} для реалізації багатомісних схем оброблення і задньої бабки R для оброблення заготовок типу валів, осей (рис. 3.7). Потім встановимо зв'язок між функціональними блоками, які можуть бути пов'язані один з одним при формуванні гілок інструменту верстата.

У тому випадку, якщо у функціонально-структурній моделі верстата відсутній той чи інший формотвірний рух і відповідний функціональний

блок (наприклад «В»), то у граф введена паралельна гілка, з'єднує попередній «Х» і подальший «D» блоки, але обходить блок «В».

Таблиця 3.5 – Номенклатура функціональних блоків, що належать усім верстатам з ЧПК токарної групи

Позначення блока	Найменування блока
О	Станина з напрямними
C_h, C_h^*	Шпиндельні бабки
A_h, A_h^*	Інструментальні головки
Z, W	Супорти з приводами поздовжньої подачі
X, U	Салазки з приводами поперечної подачі
B, D	Кругові салазки з приводом повороту інструментального блока
$D_{и}, D_{и}^*$	Привід обертання інструментального блока
Y	Свердлильна головка з приводом
E	Фрезерна головка з приводом

Таблиця 3.6 – Обмеження на структуру компоновок металорізальних верстатів

Обмеження	Бажане розташування блоків
Стійкість і жорсткість шпиндельного вузла	Шпиндельна бабка не повинна мати координатних переміщень
Підвищити стійкість мас за їх розташуванням у компонуванні (у зв'язку з величинами координатних переміщень)	Напрямні поздовжніх переміщень мають бути розташовані на станині

Забезпечити послідовно-паралельну схему оброблення двома супортами	Шпindelна бабка не повинна мати координатних переміщень
--	---

При встановленні послідовності сполучення блоків у компонованні верстата і, відповідно, зв'язків вершин у графі врахуємо ряд обмежень, традиційно застосовуваних у верстатобудуванні (табл. 3.6) [19; 22; 29].

Наявність двох гілок інструмента передбачено для верстатів, що реалізують послідовно-паралельні схеми оброблення. З графа G виділимо орієнтовані підграфи, характеризують гілки інструмента і заготовки, відповідно (рис. 3.7).

З графа G виділимо орієнтовані підграфи G_1 та G_2 , що характеризують гілки інструмента і заготовки, відповідно (рис. 3.7) [28; 141].

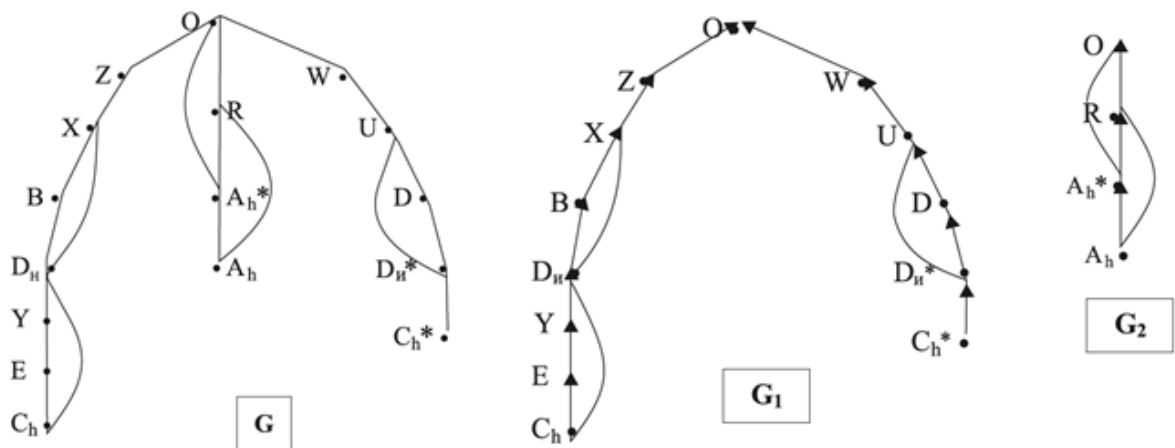


Рисунок 3.7 – Граф відносин функціональних блоків G , підграфи силової G_1 та настановної G_2 частин перспективного типу токарних верстатів з ЧПК

У підграфі інструмента G_1 отримаємо згідно (3.13; 3.14) шість простих шляхів, згідно з якими вершина O досяжна з вершини C_h [99; 92]:

$$S_1 = (C_h, O) = (C_h, E, Y, D_n, B, X, Z, O);$$

$$S_2 = (C_h, O) = (C_h, E, Y, D_n, X, Z, O);$$

$$S_3 = (C_h, O) = (C_h, D_n, B, X, Z, O);$$

$$S_4 = (C_h, O) = (C_h, D_{\text{и}}, X, Z, O).$$

Та вершина 0 пов'язана з вершиною C_h^* :

$$S_5 = (C_h^*, O_b) = (C_h^*, D_{\text{и}}, D, U, W, O);$$

$$S_6 = (C_h^*, O_b) = (C_h^*, D_{\text{и}}, U, W, O).$$

Також аналізується підграф G_2 . При цьому є початкова A_h і кінцева O вершини. Вершина O досяжна з вершини A_{hb} такими простими шляхами [92; 132]:

$$S_1 = (A_h, A_h^*, R, O);$$

$$S_2 = (A_h, A_h^*, R, O);$$

$$S_3 = (A_h, A_h^*, O).$$

Підграф G_2 містить три множини вершин, що утворюють установлювальну частину верстата. Внаслідок отримаємо 18 комбінацій компоновок верстатів з шести комплектів блоків силової та трьох комплектів настановної частин. З них відібрані дев'ять компоновок верстатів (табл 3.7) [124], відповідних їх функціонально-структурній системи.

Таблиця 3.7 – Відібрані компоновки верстатів

Група оброблюваних деталей; схема оброблення	Структурна формула верстата
1	2
послідовно-паралельна багатомісна	$A_h + A_h^* > 0(ZXD_n C_h + WinVCh^*)$
послідовно-паралельна багатомісна	$(A_h + A_h^*)0(ZXD_n YEC_h + WUD_H^* C_h^*)$
послідовно-паралельна багатомісна	$(A_h + A_h^*)0(ZXD_H C_h + WUDD_H^* C_h^*)$
послідовно-паралельна багатомісна	$(A_h + A_h^*)0(ZXBD_n YEC_h + WUDD_H^* C_h^*)$
послідовно-паралельна одномісна	$(Ah + R)OZXDHYEC_h$
послідовно-паралельна	$(A_h + R)0(ZXD_H C_h + WUD^* C_h^*)$

одномісна	
послідовно-паралельна одномісна	$(A_h + R)0(ZXYED_H C_h + WUD^* C_h^*)$

Продовження таблиці 3.7

1	2
послідовно-паралельна одномісна	$(A_h + R)0(ZXBD_{\text{и}}C_h + WUDD_{\text{и}}^*C_h^*)$
послідовно-паралельна одномісна	$(A_h + R)0(ZXBD_{\text{и}}YEC_h + WUDD_{\text{и}}^*C_h^*)$

Таблиця 3.8 – Технологічні параметри нового типу верстатів з ЧПК токарної групи

Найменування параметра	Характеристики параметра
Найменування верстата	Токарний прутковий патронний з ЧПК
Тип виробництва	Малосерійне та серійне
Призначення	Для оброблення заготовок деталей типу фланців, кришок, склянок з циліндричними ступінчастими одно- і двобічними зовнішніми і внутрішніми поверхнями
Складність оброблюваних деталей Φ_k	4
Технологічні операції	Токарно-розточувальні
Структура технологічних операцій	Послідовно-паралельна
Склад формотвірних координат	X; Z; U; W
Клас точності за ГОСТ	Підвищений (П)

Висновки до розділу 3

1. Розроблено метод поетапного групування деталей на основі згортки класифікаційних угруповань класифікатора єдиної системи конструкторської документації за допомогою кластерного аналізу у залежності від складності деталей.

2. Проаналізовано деталі, оброблювані в умовах ПрАТ «НКМЗ». Сформовано три групи деталей на основі кластерного аналізу в залежності від габаритних розмірів і кількості необхідних формотвірних рухів (додаток Б.1, додаток Б.2).

3. У результаті аналізу деталей-представників виявлені вимоги до конструкції металорізальних верстатів для ПрАТ «НКМЗ».

4. Обґрунтовано основні технологічні параметри нового типу верстатів з ЧПК токарної групи (табл. 3.8), які орієнтовані на виготовлення виявлених комплексних деталей – представників певної складності Φ_k .

5. Підтверджено достовірність формування груп деталей за складністю Φ_k шляхом встановлення регресійної залежності між складністю Φ_k і модулями поверхонь M_{Π} , застосовуваних у рамках модульної технології. Ідентичний характер оцінювання складності за Φ_k та M_{Π} свідчить про загальні підходи до формування груп деталей і створення перспективного типу важких металорізальних верстатів.

6. Функціонально-структурні моделі нових верстатів формалізовані за допомогою структурних формул (3.12), що дозволило побудувати єдиний граф відносин функціональних блоків всіх нових верстатів (рис. 3.7) і, відповідно, визначити уніфікований склад функціональних блоків для побудови всіх верстатів за блочно-модульним принципом.

РОЗДІЛ 4

ВАЖКИЙ ТОКАРНИЙ БАГАТОЦІЛЬОВИЙ ВЕРСТАТ З ФРЕЗЕРНИМ ТА ШЛІФУВАЛЬНИМ МОДУЛЕМ

При обробленні великих деталей часто потрібні технічні рішення, що не властиві іншим галузям машинобудування. Ці особливості викликають необхідність дослідження закономірностей оброблення на важких верстатах, керування процесами різання, забезпечення точності та працездатності обладнання, підвищення експлуатаційних властивостей різального інструменту, оптимізації господарської діяльності підприємств.

Використання верстатів оцінювалося за характеристиками оброблюваних деталей і технологічними операціями та за застосуванням режимам різання [95; 96; 97].

Відомості про деталі й технологічні операції містять: діаметр, довжину й вагу деталі; матеріал деталі; наявність отвору; наявність різьби, що нарізається за допомогою гвинта; найвищу точність і чистоту оброблення; використання задньої бабки при установленні деталі; перелік технологічних операцій з виділенням операцій, що вимагають додаткового технологічного оснащення [22; 24].

Відомості про режим різання містять: глибину різання; подачу; обороти шпинделя; швидкість різання; зусилля різання; крутний момент; потужність різання.

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 [35].

Спроекований важкий багатоопераційний верстат (рис. 4.1) призначений для токарного, фрезерного, свердлильного, глибокорозточувального та шліфувального оброблення великих деталей типу

тіл обертання (вали роторів, диски й т. п.) з різних матеріалів. Модель багатоцільового верстата зі змінними модулями представлена на рис. 4.2.

Сфера застосування верстата – вітроенергетика та інші галузі [116].

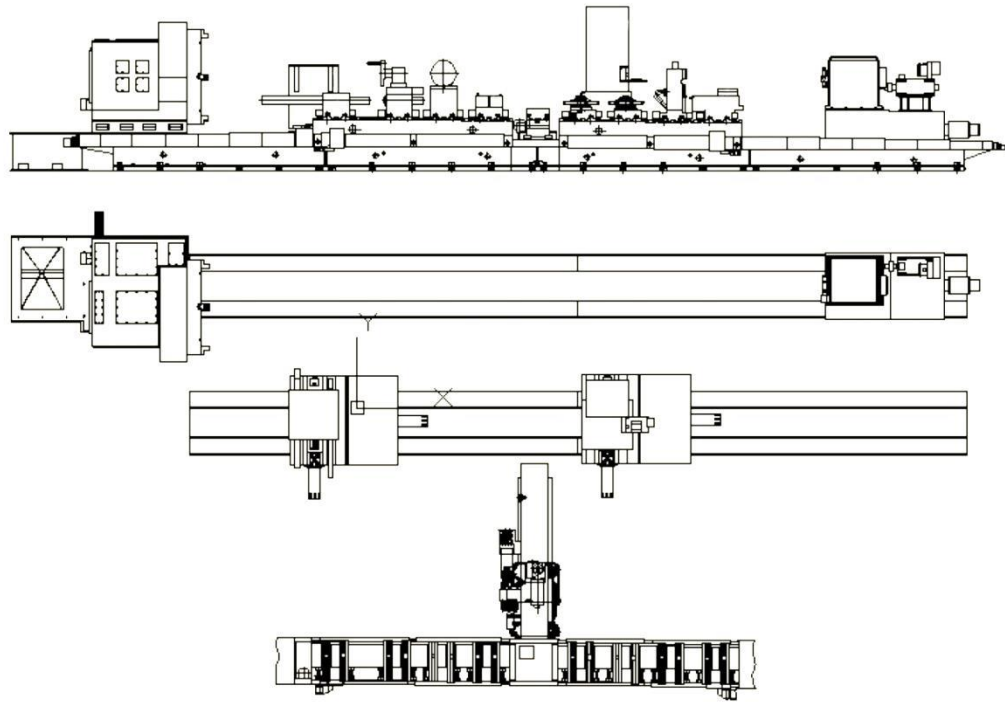


Рисунок 4.1 – Компонування багатоцільового верстата зі змінними модулями

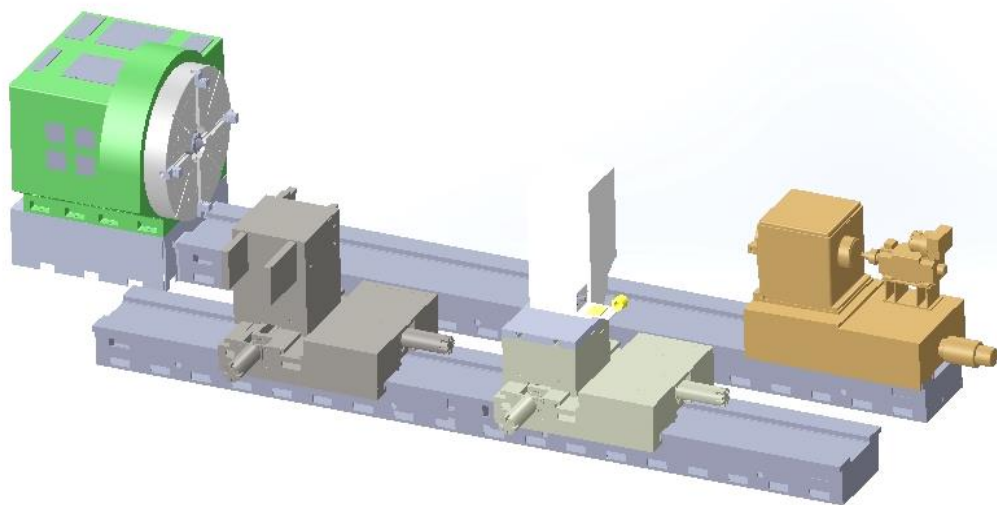


Рисунок 4.2 – Модель важкого багатоопераційного верстата

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-свердлильного пристосування можливе свердління на периферії оброблюваної деталі й фрезерування шпонкових пазів.

Верстат оснащується двома супортами: універсальним, для виконання токарних операцій, та спеціальним, для виконання токарних, свердлильних, фрезерних, шліфувальних операцій, токарного оброблення загартованих поверхонь і виставлення осі деталі на вісь верстат у кулачках передньої бабки в люнеті.

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

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.

Верстат здатний здійснювати токарне, фрезерне, шліфувальне, свердлильне, розточувальне оброблення.

З використанням знімального фрезерно-свердлильного пристосування можливе свердління на периферії оброблюваної деталі й фрезерування шпонкових пазів.

У разі узгодження з виготовлювачем верстат може оснащуватися супортом із двома плоскими різцетримачем або з револьверною різцевою головою.

4.1 Призначення, сфери застосування й основні технічні характеристики спроектованого верстата

Спроекований важкий багатоопераційний верстат призначений для токарного, фрезерного, свердлильного, глибокорасточувального та шліфувального оброблення великих деталей типу тіл обертання (вали роторів, диски і т. п.) з різних матеріалів.

На верстаті можна робити оброблення складних прямолінійних і криволінійних поверхонь з постійною швидкістю різання керуваною програмою, нарізування циліндричних і конічних різьб, розточування отворів, розташованих по осі обертання деталі.

При використанні знімального фрезерно-свердлувального пристосування можливо свердління на периферії оброблюваної деталі та фрезерування пазів шпон.

Верстат оснащується двома супортами: універсальним, для виконання токарних операцій, і спеціальним, для виконання токарних, свердлильних, фрезерних, шліфувальних операцій, токарного оброблення загартованих поверхонь і виставлення осі деталі на вісь верстата у кулачках передньої бабки в люнеті. Режим роботи верстата – програмний з керуванням роботи супорта і шпиндельної бабки від пристрою ЧПК.

Швидка зміна оснастки забезпечує максимальну гнучкість і універсальність у застосуванні верстата, які дозволяють здійснювати розточування і оброблення поверхні за одну установку. Верстат здатний здійснювати токарне, фрезерне, шліфувальне, свердлильне, розточувальне оброблення. Загальний вигляд верстата показаний у Додатку В. Основні технічні дані і характеристики верстата наведені у Додатку Г.

4.1.1 Короткий опис основних складових частин верстата

Станина. Станина виконана роздільною – окрема 2-балочна станина виробу, на якій розміщено передню та задню бабки, окрема 2-балочна станина супортів, на двох напрямних якої розміщені 2 супорти.

Ці напрямні виконані гідростатичними та закриті телескопічним захистом; універсальний перший має можливість заходити за передню бабку, звільняючи місце для спеціального другого супорта.

Супорти можуть проходити повз люнети і задню бабку. Задня бабка і люнет переміщуються по другій напрямній. Між I і II полицею станини розміщується гідростатична черв'ячна рейка для приводу супортів.

До торців станини пари супортних полиць закріплені кронштейни для кріплення телескопічного захисту.

На станині встановлені:

- кінцевий вимикач вихідного положення задньої бабки;
- кінцеві вимикачі (2 шт.);
- кінцевий вимикач і упор нульової позначки поздовжнього переміщення супорта спеціального;
- упор кінцевого вимикача контролює відведення у крайнє положення поперечних санчат універсального супорта при проході повз передню бабку.

Блок може встановлюватися у 3 положення:

- I ступінь;
- нейтральне;
- II ступінь.

Кожне положення контролюється кінцевими вимикачами.

Для збереження напрямку обертання шпинделя під час перемикання ступенів швидкостей необхідно реверсувати напрям обертання двигуна.

При роботі від стрічки у процесі перемикання, коли зазор між полумуфтами дорівнює 5 мм, вмикається двигун головного приводу і на повільних оборотах повертає нерухомі полумуфти.

Блок полумуфт, не обертаючись, переміщається у бік відповідної полумуфти.

У разі потрапляння зубів проти западин відбувається перемикання швидкостей, при цьому після зачеплення полумуфт на 5 мм вимикається двигун головного приводу, і далі зачеплення відбувається без обертання.

У разі потрапляння зуба на зуб блок полумуфт упирається у полумуфту і повертається з тертям до збігу зубів з западинами, і далі відбувається зачеплення полумуфт у послідовності, зазначеній вище.

Всі вали коробки швидкостей змонтовані на радіальних сферичних роликотідшипниках з проміжною конусною втулкою, шпиндель на гідростатичних опорах.

Привід коробки швидкостей здійснюється від двигуна постійного струму з одним кінцем валу. Двигун через пружну муфту з'єднаний з вихідним валом коробки швидкостей, з протилежного боку монтується вузол установки тахогенераторів.

Тахогенератори призначені:

- для зворотного зв'язку за швидкістю головного привода (безлюфтова передача);
- для живлення показників швидкості обертання шпинделя (тахометрів).

Планшайба представляє собою диск, жорстко з'єднаний зі шпинделем. На лицьовому боці її розташовані Т-подібні пази, у які вставлено 4 кулаки для затиску оброблюваної деталі. Кулаки переміщуються за допомогою гвинтів, встановлених в опорах кочення (роликотідшипники).

На кінцях гвинтів виходять до торця планшайби, розташовані кулачкові муфти для зчеплення з кулачками вихідного вала редуктора

переміщення кулачків. Кожен кулачок має другу поверхню затиснення. В упорний підшипник гвинта кожного кулачка вставлений магнітопружний датчик з максимальним зусиллям затиску.

Редуктори переміщення кулачків призначені для механізації та автоматизації затиску. Встановлені на корпусі передньої бабки на рівні центрів один проти одного. Перший встановлений на лицьовому боці, а другий – на задньому боці. Вони забезпечують: установку кулачків на заданий розмір; віджимання виробів із заданим зусиллям; віджимання виробів; установку осі деталі на вісь верстата за командами вимірювального пристрою.

Вузли виконані у вигляді черв'ячних редукторів. Приводами редукторів є гідродвигуни.

На торці вихідного вала нарізані зуби кулачкової муфти, яким він зачіпається з аналогічними зубами гвинтів кулачків планшайби.

Крайні положення вихідного вала контролюються кінцевими вимикачами. Для забезпечення відліку переміщення кулачка на ньому встановлений датчик положення, який пов'язаний з вихідним валом.

Струмознімач зусилля затиску деталі призначений для зняття струмів з магнітопружних датчиків зусилля затиску кулачків планшайби. Він розташований зверху на корпусі. Являє собою гідроциліндр, на кінці якого розташована відповідна половинка роз'ємів, встановлених на планшайбі. Роз'єми вмикаються і вимикаються ходом штока, крайні положення якого контролюються кінцевими вимикачами.

Редуктор довертання планшайби призначений для установа планшайби у певний кут положення. Він являє собою черв'ячний редуктор, вбудований у корпус передньої бабки. Приводом редуктора довертання планшайби є двигун постійного струму.

Кінематична коробка швидкостей з'єднується електромагнітною муфтою. Редуктор довертання використовується при виконанні таких операцій:

- установленні осі деталі на вісь верстата кулаками планшайби;
- свердління отворів і нарізування різьби мітчиками;
- фрезерування пазів.

Довертання планшайби і робота головного приводу взаємно вимикають один одного і мають відповідні блокування. У режимі довертання кінематика передньої бабки розривається шляхом установлення блоку полумуфт перемикання швидкостей у нейтральне положення.

Обкатний ролик призначений для точного позиціонування планшайби за кутом у режимі установлення деталі та при виконанні робіт на фрезерно-свердлильній голівці.

Система кутового позиціонування може працювати від нульової фази планшайби або від довільної бази у межах одного оберту: датчик з роликом; механізм підведення і притискання ролика датчика до диска; диск.

Для підведення і притиснення ролика датчика до заднього диска застосовується ексцентрик, приводом якого є асинхронний двигун. Прикінцеві положення ролика (притиснутий і відведений) контролюються кінцевими вимикачами. Диск жорстко закріплений на задньому кінці шпинделя. Обкатний ролик притискається до диска і за рахунок сил тертя обертається, обертаючи датчик.

Датчик налаштування кроку різьби призначений для отримання оборотних подач при нарізуванні різьби. Датчик зі шпинделем завжди пов'язані муфтою.

Підтримка планшайби призначена для:

- зміщення осі шпинделя у первісному положенні при навантаженні шпинделя вагою деталі;
- гальмування планшайби у кінці повороту (кінематичний ланцюг довертання для точної зупинки планшайби);
- фіксації планшайби для утримання її у потрібному положенні.

Вона вмикається тільки у режимі установавання деталі та під час виконання робіт фрезерно-свердлильною або свердлильною голівками. Являє собою два вільних ролики, що обертаються у змонтованих у корпусі на рухомих клинових опорах між роликами. Встановлюється на станині під планшайбою. При вмиканні підтримки клинові опори, переміщаючись горизонтально, піднімають вгору планшайбу до певної висоти. Гальмування здійснюється тертям ковзання, що виникає між роликами і клином, вводиться між роликами з малим зусиллям. Фіксація – введення клина з великим зусиллям заклинює обертання роликів.

Насосна станція передньої бабки призначена для забезпечення роботи та змащування вузлів і механізмів передньої бабки. На ній встановлено 4 здвоєних насоси і керувальна гідроапаратура, що забезпечує роботу станції.

Передня бабка. Обертання шпинделя (головний рух) здійснюється від електродвигуна М1. Зміна частоти обертання шпинделя на кожному ступені здійснюється за рахунок регулювання частоти обертання електродвигуна М1. Передня (шпиндельна бабка) і коробка швидкостей виконані в окремих корпусах.

Привід шпинделя здійснюється шірокорегульовальним реверсивним електроприводом з двигуном постійного струму потужністю 110 кВт.

Регулювання двигуна здійснюється у діапазоні 1 : 25, з них – 1 : 5 при постійній потужності.

Електродвигун встановлений на окремій плиті та з'єднаний еластичною муфтою з вхідним валом коробки швидкостей.

Обід еластичної напівмуфти є шкивом гальма ТКП300.

Перемикання механічних ступенів оборотів шпинделя здійснюється за допомогою гідроциліндра, знаходиться всередині коробки швидкостей.

Шпиндельна бабка розміщена у чавунному корпусі з нероз'ємною шпиндельною віссю. Раціональними опорами шпинделя є гідростатичні

підшипники, навантаження сприймає пружний підшипник підвищеної вантажопідйомності та жорсткості.

Обертання на шпindel передається через приводну (вінцеву) шестерню, насаджену на планшайбу.

Гідросистема передньої бабки забезпечує перемикання ступенів оборотів шпинделя й змазування механізмів бабки і редуктора

Основним елементом гідросистеми передньої бабки є комплектна гідростанція фірми REXROTH з насосом ($Q = 8/8 \text{ дм}^3/\text{хв}$) і електродвигуном ($N = 3 \text{ кВт}$, $n = 1500 \text{ об/хв}$). Ємність бака 400 дм^3 . У гідростанції передбачена термостабілізація масла (у зимовий час нагрівання масла; в літню пору – охолодження).

Вмикання ступенів оборотів шпинделя передньої бабки здійснюється вмиканням електромагнітів розподільників. При виконанні перемикання ступенів мастила відключено, увімкнений електромагніт розподільника. Після виконання операції електромагніт вимикається. Контроль виконання операції здійснюється кінцевими вимикачами. Контроль наявності тиску в гідросистемі здійснюється за допомогою реле тиску PD1.

Змащення механізмів передньої бабки здійснюється мастилом, яке подається насосом $Q = 8 \text{ дм}^3/\text{хв}$ до колектора мастила при вимкненому електромагніті.

Супорт універсальний. Супорт універсальний (рис. 4.3) розташований на верстаті першим від передньої бабки. Призначений для виконання токарних операцій. Оснащується контурної системою з ЧПК.

Складається з вузлів:

- а) каретка;
- б) салазки поперечні.

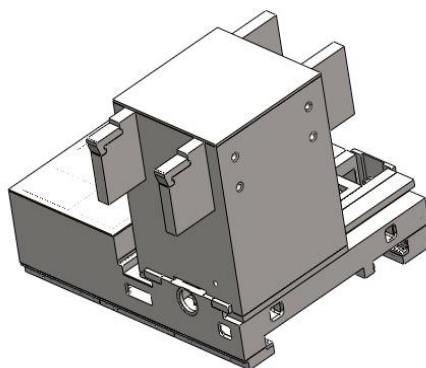


Рисунок 4.3 – Супорт універсальний

Каретка встановлена на гідростатичних напрямних. Переміщення каретки по станині здійснюється гідростатичною передачею черв'як-рейки через редуктор поздовжнього переміщення, який виконаний з вибіркою люфту.

З редуктором поздовжнього переміщення зубчастої передачі пов'язана гальмівна електромагнітна муфта типу ЕТМ076-1Н, 24В, $M_n = 4\text{кГм}$, $M_{ap} = 2,55\text{ кгм}$. Передавальне відношення двигун-гальмівної електромуфти дорівнює 1 : 1.

Для переміщення поперечних санчат на каретці закріплені накладні сталеві напрямні прямокутної форми.

З правого від робочого боку каретки розташований пульт керування. Поперечні салазки армовані опорами кочення. Переміщення поперечних санчат по каретці відбувається за допомогою шарикової гвинтової пари з кроком 10 мм через редуктор поперечного переміщення.

На гвинті встановлена гальмівна електромагнітна муфта типу ЕТМ106-1Н, 24В, $M_n = 16\text{кГм}$, $M_{ap} = 10\text{ кгм}$.

Привід каретки і поперечних санчат здійснюється високомоментними електродвигунами А1410, 1200 об / хв, 2,76 кгм, 115В, максимальний момент у 26 кгм.

Двигуни використовуються при 3-кратному номінальному моменті. Прискорений хід каретки і поперечних санчат дорівнює 4000 мм / хв. Обидві координати переміщення супорта (поздовжня і поперечна) оснащені датчиками положення, які потрібні для:

- організації нульової позначки поздовжнього переміщення супорта і його аварійної зупинки;
- підтримки відповідної відстані між супортами;
- організації нульової позначки поперечного переміщення супорта й аварійної зупинки поперечних санчат;
- обмеження переміщення поперечних санчат у бік осі верстата.

Для підвищення точності оброблення координати, що не працює, гальмуються гідравлічними мембранними зажимами, а редуктор цієї координати гальмується електромагнітною муфтою. Зусилля мембранних затискачів забезпечує чистове оброблення без зміщення механізму, а момент гальмівної муфти забезпечує чорнове оброблення при величині зміщення механізму та не перевищує люфту електромагнітної муфти.

На V-подібні напрямні поперечних санчат встановлюється, фіксується і закріплюється різцева голівка.

Супорт спеціальний. Супорт спеціальний розташований на станині другим від передньої бабки. Призначений для виконання токарних, свердлильних, фрезерних, шліфувальних операцій, токарного оброблення загартованих поверхонь і виставлення осі деталі на вісь верстата у кулачках передньої бабки в люнеті. Оснащується контурною системою з ЧПК.

Для виконання перерахованих операцій і робіт на супорт спеціальний можуть бути встановлені змінні вузли:

- головка фрезерно-свердільна;
- центрошукач;
- голівка різцева;
- голівка шліфувальна;

- голівка тонкого точіння.

Супорт спеціальний складається з таких вузлів:

а) каретка;

б) салазкі поперечні.

Конструкція каретки і поперечних санчат супорта спеціального відповідає універсальному.

Головка різцева. 4-позиційна різцева головка призначена для точіння зовнішніх поверхонь різцями, встановленими у різцеві блоки. Різцева головка встановлюється, закріплюється і фіксується на V-подібних напрямних поперечних санчат універсального або спеціального супортів.

При встановленні різцевої головки на будь-який супорт (у кінці переміщення) відбувається гідро- й електропідключення різцевої головки до супорта:

- відкриваються канали у поперечних салазках і у плиті різцевої головки для подачі рідини під тиском від гідросистеми поперечних санчат до різцевої головки і зливання її назад;

- замикаються контакти електричного роз'єму живлення електроапаратів різцевої головки від поперечних санчат.

Різцева головка являє собою плоску прямокутну плиту, на верхній площині якої монтується поворотна частина. Поворотна частина може обертатися тільки за годинниковою стрілкою через 90° за допомогою рейкової передачі: на деталі, що обертаються, встановлена шестерня у плиті шток-рейки, яка переміщується за допомогою гідравліки. Крайні положення шток-рейки і кожне з 4 положень поворотної частини контролюється кінцевим вимикачем.

Фіксується поворотна частина за допомогою пари шестерень з плоскими зубами: одна шестерня закріплена нерухомо на плиті, інша – на поворотній частині. Для фіксації зубців однієї шестерні входять у западини інші та притискаються з зусиллям один до одного.

Притиск шестерень відбувається зусиллям пакета попередньо стиснутих пружин гідропружінного циліндра, расфіксації тиском гідравліки.

Фрезерно-свердлильна головка. Фрезерно-свердлильна головка призначена для:

- свердління, zenкерування, розгортання та розточування отворів перпендикулярних осі верстата;
- фрезерування пазів, шпонок, паралельних осі верстата;
- нарізування різьби мітчиками в отворах, перпендикулярних осі верстата.

Всі роботи, крім нарізування різьби мітчиками, можуть виконуватися у будь-якому режимі. Фрезерно-свердлильна головка має два шпиндельних вузла і поворотний стіл.

Нарізування різьби здійснюється тільки у ручному режимі, подачею, що дорівнює приблизно кроку, із застосуванням спеціальної оправки для кріплення мітчиків.

Фрезерно-свердлильний магазин має 8 інструментів, що встановлюються у магазині у послідовності, обумовленій технологічним процесом оброблення деталі фрезерно-свердлильною головкою. Вимірювання та настроювання інструмента здійснюється поза верстатом. Зміна інструменту автоматизована (крім мітчиків). Установка і зміна мітчиків здійснюється вручну.

Фрезерно-свердлильна головка: встановлюється, закріплюється і фіксується на V-подібні напрямні поперечних санчат супорта спеціального. При установленні (у кінці переміщення) відбувається гідро-й електропідключення головки до супорта. Відкриваються канали у поперечних салазках і в плиті головки для подачі рідини під тиском від гідросистеми поперечних санчат до гідромеханізмів, головки і зливання її назад. Замикаються контакти електричних роз'ємів живлення електроапаратів головки від поперечних санчат.

Установлювальні та робочі переміщення по координатам W і U здійснюються супортом, обертання інструмента здійснює привід головного руху фрезерно-свердлильної головки. Коробка швидкостей забезпечує безступеневе (від 4000 до 2000 об/хв з постійною потужністю, а від 2000 до 400 об/хв з постійним моментом) перемикання швидкостей. Перемикання швидкостей дистанційне за допомогою 5 електромагнітних безконтактних муфт, вбудованих у корпус.

Для автоматичної зміни інструмента в коробці швидкостей змонтовані: датчики кута повороту; механізм затиску інструмента; маніпулятор.

Механізм затиску інструмента розташований у шпинделі коробки швидкостей і являє собою цангову штангу, пакет тарілчастих пружин і гідроциліндр. У цанзі затискається хвостовик оправки інструмента за допомогою пакета пружин.

Для звільнення інструмента тарілчасті пружини стискаються зусиллям, що розвивається гідроциліндром. Крайнє положення циліндра контролюється кінцевими вимикачами. Передбачено блокування, що вимикає обертання шпинделя при розтисканні цанги. Маніпулятор призначений для перестановлення інструмента з магазину у шпиндель і назад. Послідовність рухів маніпулятора фрезерно-свердлильної головки при зміні інструмента врахована. Осьове переміщення маніпулятора (установлення, витягування інструмента) здійснюється гідроциліндром, поворот – гідро-двигуном. Гальмування маніпулятора у кінці повороту здійснюється дроселем.

Магазин інструментів розташований зверху над коробкою швидкостей головки і являє собою барабан з горизонтальною віссю обертання і горизонтальним розташуванням осей гнізд інструментів. Магазин має 8 гнізд для інструменту.

Приводом барабана є електродвигун 4АА63 $N = 0,25$ кВт, $n = 900$ об/хв, який через черв'ячний редуктор здійснює поворот барабана на відповідну

позицію. Відповідність позиції, заданої за командою на ЧПК, контролюється набором (комбінацією) з 4 вимикачів КВД6-24, включаються певним чином.

Установлення і зміна інструменту здійснюється таким чином. Після установлення головки на супорт і надходження команди від ЧПК на установку інструмента, вмикається привід барабана, повертає барабан до заданої позиції інструмента.

Після збігу позицій заданої і фактичної привід реверсують. При цьому відбувається механічне натягування всього кінематичного ланцюга (переміщається черв'як) до спрацювання кінцевого вимикача, який зупиняє привід барабана і запускає маніпулятор і механізм шпинделя.

Для охолодження інструмента до фрезерно-свердлильної головки подається мастильно-охолоджувальна рідина (МОР). Управління вмиканням насоса станції МОР дистанційне, з пульта спеціального супорта:

- вимкнення охолодження подачею команди M09;
- вимкнення охолодження подачею команди M10;
- регулювання потоку ручне, за допомогою вентіля.

Шліфувальна головка. Шліфувальний агрегат встановлюється, закріплюється і фіксується на V-подібних напрямних поперечних салазках супорта спеціального.

Супорт використовується для переміщення шліфувального агрегату, закріпленого в резцедержателі, і являє собою конструкцію з поздовжніх (каретка) і поперечних санчат. Поздовжній супорт переміщує шліфувальний агрегат по напрямних станини і забезпечує переміщення уздовж заготовки.

Поперечний супорт забезпечує переміщення шліфувального агрегату перпендикулярно осі обертання заготовки (деталі).

Тип токарного верстата, висота центрів та межі переміщення санчат визначають межі застосування шліфувальних агрегатів за діаметрами і довжинами оброблюваних поверхонь.

Зусилля притискання контактного кола шліфувального круга до оброблюваної деталі регулюється пневматично. Ось контактного кола має бути на тій самій висоті, що і вісь деталі.

Основні характеристики:

- шліфування сухою МОР;
- маятникова головка на шпинделі;
- для обдирання, шліфування, полірування, доведення, лощіння;
- пневматичний контроль зусилля шліфування;
- при сухому шліфуванні з пилоуловлювання;
- контроль притискання контактного кола пневматичним циліндром;
- позиціонування на крилі/різцетримачі.

Головка тонкого точіння. Голівка тонкого точіння призначена для чистового обточування та розточування конічних загартованих поверхонь різцями з надтвердих матеріалів.

Головка тонкого точіння встановлюється, закріплюється і фіксується на V-подібних напрямних поперечних санчат спеціального супорта. При встановленні (у кінці переміщення) відбувається електропідключення головки до супорта – замикаються контакти електричного роз'єму живлення електроапаратів головки від поперечних санчат. Установлювальні та робочі переміщення по координатах W і U і головний рух по координаті U виконуються супортом, а допоміжний – по координаті R (оброблення конуса) виконується голівкою. Головка складається з проміжної плити; поворотної колонки; різців і санчат.

Проміжна плита потрібна для монтування на ній поворотної головки та кріплення колонки на поперечних салазках.

Поворотна колонка представляє з себе корпус у верхній частині подовженої форми, а знизу круглої. Нижньою площиною колонка закріплюється на проміжній плиті, а на верхній закріплені 2 накладні напрямні, по яких переміщаються опори кочення різцевих санчат. Поворотна

колонка може повертатися у горизонтальній площині на кут $\pm 5^\circ$ щодо осі верстата. Поворот, установлення і фіксація здійснюються вручну. Для переміщення різцевих санчат між напрямними змонтований гвинт кулькової пари гвинт – гайка кочення з кроком $t = 5\text{ мм}$. До обертання гвинт приводить безлюфтовий редуктор, приводом якого є високомоментний двигун типу A1215 $n = 1500$ об/хв.

Різцеві салазкі являють собою прямокутної форми корпус, який має з боків пази типу «ластівчин хвіст» для установлення у них оправок з різцями. Напрямні різцевих санчат армовані опорами кочення і переміщуються по напрямних поворотної колонки. Максимальна довжина переміщення 400 мм. Прикінцеві положення контролюються кінцевими вимикачами.

Масило механізмів головки походить від шибєрного насоса. Оброблення деталі відбувається без охолодження.

Центрошукач. Центрошукач призначений для точного виставлення осі деталі, що встановлюється на вісь верстата і задається механізмом для переміщення кулачків планшайби передньої бабки і пінолі люнета. Центрошукач встановлюється, закріплюється і фіксується на V-подібних напрямних поперечних санчат спеціального супорта. При встановленні (у кінці переміщення) відбувається гідро- й електропідключення центрошукача до супорта:

- відкриваються канали у поперечних салазках і плиті центрошукача для подачі рідини під тиском від гідросистеми поперечних санчат до гідромеханізму центрошукача і зливання її назад;

- замикаються контакти електричного роз'єму живлення електроапаратів центрошукача від поперечних санчат.

Центрошукач складається з таких вузлів:

- опора;
- блок вимірювальний лівий;
- блок вимірювальний правий.

Основою центрошукача є плита, на верхній площині якої закріплена пара накладних загартованих напрямних, по яких на опорах кочення переміщаються вимірювальні блоки.

У плиті просвердлені отвори, які є каналами для з'єднання гідроживлення, що подається з поперечних санчат до виконавчих апаратів центрошукача.

Блок вимірювальний лівий, щоб виконувати завдання центрошукача у передній бабці та у люнеті. Якщо вимірювальна шийка оброблюваної деталі розташована праворуч від люнета, правий – для роботи центрошукача у люнеті. Вимірювальні блоки на основі можуть знаходитися у 2 положеннях: вихідному і робочому. Переміщення їх відбувається гідроциліндрами. Крайні положення контролюються кінцевими вимикачами. У вихідному положенні блоки фіксуються пружинними фіксаторами, а у робочому – тиском мастила.

У робочому положенні два вимірювальних блока одночасно перебувати не можуть. На магазині у процесі перевантаження і при переїздах блоки мають перебувати у вихідному положенні.

Кожен вимірювальний блок складається з двох вимірювальних ланцюгів, які призначені для контролю зсуву осі деталі:

- у горизонтальній площині;
- у вертикальній площині.

Вимірювальний ланцюг контролю зміщення осі деталі у горизонтальній площині складається з двох повзунів, які переміщуються у вимірювальному блоці на опорах кочення. Один з повзунів (перший у деталі) несе щуп, а інший – вимірювальну рейку, кінематично пов'язану з датчиком положення, нерухомо закріпленим у корпусі вимірювального блока. Максимальний хід повзуна з вимірювальним щупом 75 мм, повзуна з рейкою – 70мм. Повзун підпружинений у бік деталі.

Вимірюваний ланцюг контролю зсуву деталі у вертикальній площині складається з одного повзуна, який переміщується у вимірювальному блоці на опорах кочення. На повзунові змонтований 2-плечовий важіль, що коливається, з зубцями, кінематично пов'язаний з датчиком положення, закріпленим на повзунові. Максимальний хід повзуна – 75 мм. Повзун підпружинений у бік деталі.

Крайні положення щупів контролюються кінцевими вимикачами.

Магазин. Магазин призначений для зберігання змінних вузлів і транспортування їх до місця перевантаження.

Магазин складається з таких основних вузлів:

- станина;
- рухомий стіл;
- редуктор переміщення столу.

Станина зварна коробчатої форми з плоскими накладними загартованими напрямними під опори кочення столу. На правому і лівому торці станини встановлені по 2 шт. кінцевих вимикачів для аварійної зупинки столу магазину.

Для фіксації стола магазину у положенні перевантаження, а також у початковому положенні на станині встановлений гідропружинний фіксатор, крайні положення якого контролюються кінцевими вимикачами.

Контроль положення столу на станині відбувається датчиком. Точність позиціонування рухомого столу від датчика $\pm 0,1$ мм, а кінцева установка з точністю $\pm 0,02$ мм виконується фіксатором. Для відключення кінематичних механізмів переміщення столу передбачена електромагнітна муфта ЕТМ 102-111, яка розриває ланцюг перед фіксацією.

Рухомий стіл магазину призначений для зберігання змінних вузлів і подачі їх до місця перевантаження.

У центральній частині столу зроблений виріз, у який переміщується перевантажувач у неробочому (вихідному) положенні.

Рухомий стіл на верхній площині має 8 пар поперечних V-подібних напрямних, контур яких відповідає контуру напрямних поперечних санчат. На цих напрямних встановлюються такі змінні вузли:

- головка фрезерно-свердлильна;
- центрошукач;
- головка різцева;
- головка шліфувальна;
- головка для тонкого точіння.

Змашування вузлів виконується гідропружинними зажимами. Для запобігання від попадання пилу і бруду в електричних роз'ємах знімних вузлів змонтовані 2 поворотних кожуха захисту електророз'ємів. Поворот кожухів здійснюють шток-рейки гідроциліндрів. Відкрите положення кожухів контролюється кінцевими вимикачами, закриті не контролюються.

Стіл має 8 фіксованих положень, ув яких може бути здійснено перевантаження вузлів (координати містяться у пам'яті ЧПК), при цьому профіль V-подібних напрямних магазина, на яких встановлено перезавантаження вузлу, є продовженням профілю візки-перевантажувача.

Дев'яте фіксоване положення столу (вихідне положення) має одну координату, також зберігається у пам'яті ЧПК.

Переміщення столу відбувається за допомогою редуктора з приводом високомоментного двигуна ПБЗ 112м. Швидкість переміщення 4,9 м/хв.

Перевантажувач. Перевантажувач призначений для перевантаження знімних вузлів з супорта на магазин і назад.

Основні вузли, що забезпечують перевантаження:

- станина перевантажувача;
- редуктор переміщення візка перевантажувача;
- візки перевантажувача зі вбудованим редуктором переміщення тяги.

Станина зварна коробчатої форми з 4 виступами зверху в кутах. Виступи є майданчиками для кріплення опор кочення, по яких переміщуються візки перевантажувача.

З обох торців станини закріплені упори для обмеження переміщення візка перевантажувача.

Редуктор переміщення візка перевантажувача черв'ячний. Кінцевий ланцюг – рейкова шестерня. Приводом є високомоментний двигун типу ПБЗ-112м. Встановлюється в ніші станини з торця, зверненого до верстата рейкової шестерні вертикально.

Візок перевантажувача являє собою подовжену, низьку, порожнисту коробку з парою V-подібних напрямних, розташованих зверху. Зовнішній контур V-подібних напрямних відповідає контуру напрямних поперечних санчат, внутрішній потрібен для переміщення у візку платформи з тягами. Платформа переміщується гвинтовою парою. Гвинт до обертання приводиться вбудованим у візки редуктором переміщення тяг. З нижнього боку до корпусу візка прикріплена рейка, яка зчіплюється з рейковою шестернею редуктора. Приводом редуктора переміщення тяг є високомоментний двигун типу ПБЗ-112м. У неробочому положенні звисає зі станини перевантажувача частина візка, яка знаходиться у частині столу магазину.

Для установаження у робоче положення візка переміщується до верстата і в крайньому положенні спирається на виступи поперечних санчат, при цьому зовнішній профіль V-подібних напрямних є продовженням профілю напрямних поперечних санчат.

Крайні положення візка обмежуються жорсткими упорами, а система кінцевих вимикачів КВДЗ-24 забезпечує перед наїздом на жорсткий упор зниження швидкості, зниження моменту і підключення реле максимального струму і вимикає привід переміщення візка при наїзді на жорсткий упор.

У процесі перевантаження вузла з поперечних санчат або магазина на візки перевантажувача, зіштовхування вузлів з візка перевантажувача на магазин або поперечні салазки здійснюється тягами. Тяги являють собою платформу, яка переміщується по внутрішньому V-подібному профілю візка перевантажувача. На торцях платформи розташовані поворотні захоплення, які називаються тягами. При підйомі захоплення входять до відповідних вирізів на змінних вузлах.

Аналогічно, у візках перевантажувача за допомогою кінцевих вимикачів КВДЗ-24 і реле максимального струму, відбувається уповільнення швидкості тяги, зменшення тягового зусилля (моменту на двигуні), і зупинка тяги при наїзді на жорсткий упор.

Для звільнення тяг від деформації, що виникає при додатку зусилля з боку тяг до вузлів для їх переміщення, відбувається відведення тяги на розмір 0,2 мм у бік, протилежну переміщенню вузла. Для цього використовується четвертий кінцевий вимикач КВДЗ-24.

Підйом або опускання тяги відбувається за допомогою гідроциліндра, контроль піднятої або опущеної тяги виконується вимикачами БК-А.

Стеблева бабка з кареткою. Стеблева бабка та її каретка необхідні для закріплення другого кінця деталі при обробленні її у центрах, для установа та фіксації стебла з різальним інструментом по осі верстата, а також надання стеблу обертального і поступального або тільки поступального руху вздовж осі верстата (подачі та швидких, налагоджувальних переміщень). Поєднання корпусу стеблової бабки з кареткою проводиться по похилій поверхні з ухилом 1 : 30, що дозволяє

вільно виводити вісь стеблової бабки на вісь верстата за висотою, цим досягається швидке відновлення норм точності.

Верстат укомплектований бабкою з обертовим стеблом з приводом постійного струму з електродвигуном 4ПФ180S потужністю 45 кВт з діапазоном регулювання 1450-4500 об/хв. Стеблева бабка встановлюється на каретку. У проміжках між опорами шпинделя встановлені магнітні датчики, що дозволяють контролювати зміну зусилля подачі у процесі оброблення виробу через прилад, встановлений на центральному пульті керування.

Стеблева бабка має пристрій для виведення охолоджувальної рідини через шпиндель і внутрішню порожнину стебла із зони різання.

Стеблева бабка з обертанням стебла має двоступеневий редуктор. На передній боковій стінці розташований пульт керування шпинделем стеблової бабки. На ньому розташовані кнопки «Пуск», «Стоп» – робоче обертання, «Поштовх вперед», «Поштовх назад», «Збільшення частоти обертання», «Уповільнення» (зменшення) частоти обертання, «Все стоп» (загальний стоп).

Всі ці кнопки продубльовані на центральному пульті керування.

Поєднання двоступеневого редуктора і шірокорегульованого електродвигуна дозволяє плавно регулювати обороти стебла у межах 30–500 об/хв.

На передній торцевій стінці корпусу стеблової бабки встановлено стопорний пристрій, що дозволяє застопорити шпиндель і здійснювати оброблення при стеблі, що не обертається (різальному інструменті). Електричні блокування вимикає при цьому пуск приводу обертання стебла.

У каретці стеблової бабки у передній її частині закріплена біметалична напівгайка, яка закріплюється за ходовим гвинтом, розташованим між напрямними полками станини.

Основа стеблової бабки встановлена на напрямних станини та переміщується від силової рейки з $m = 8$. Рейка виконана з косозубих з кутом нахилу зубів $10^\circ 57'50''$, що відповідає кроку $t = 25,6$ мм. У корпусі підстави розташовані:

- а) редуктор переміщення стеблової бабки;
- б) механізм фіксації підстави на станині;
- в) механізм притискання підстави до вертикальної бази станини;
- г) механізм притиска підстави до горизонтальної бази станини (зажим підстави);
- д) механізм притискання верхньої частини до бази основи перпендикулярної осі верстата;
- е) механізм притискання верхньої частини до бази основи паралельної осі верстата;
- ж) механізм затискання верхньої частини на основі;
- з) механізм повороту Т-подібних втулок.

Редуктор переміщення стеблової бабки вбудований в основу. Приводом редуктора є електродвигун постійного струму ПБСТ-33, $N = 2,1$ кВт, $n = 2200$ об / хв, 220 діапазон регулювання 2000.

Швидкість прискореного переміщення бабки 3150 мм/хв.

Фіксація підстави на станині відбувається введенням зубів фіксувального бруса у западини силової рейки. Введення і виведення фіксувального бруса здійснюється гідроциліндром переміщення бруса. Положення бруса контролюється кінцевими вимикачами.

У каретці змонтований механізм відліку пройденої відстані, який отримує привод від зубчастої рейки у станині, а сам прилад (приймач) винесено на центральний пульт керування. На передній боковій стінці каретки розташований пульт керування, складається з двох кнопок «Поштовх вліво» і «Поштовх вправо».

У каретці стеблової бабки встановлений насос мастила напрямних – дубликатор з приводом від РД09 $n = 30,7$ об / хв., періодичного ручного увімкнення, а вимкнення через реле часу. Тривалість роботи насоса 3 хвилини. Періодичність увімкнення насоса змащення напрямних каретки залежить від швидкості її переміщення (величини подачі), але не більше 40 хв. До задньої бічної стінки каретки кріпиться кронштейн струмопідвода, до нього ж підводяться рукава подачі МОР до стеблової бабки.

Защемлення основи задньої бабки здійснюється 4 гідропружинними циліндрами, після фіксації та притискання підстави до вертикальної бази станини.

Притискання верхньої частини до бази основи перпендикулярною осі верстата виконується 2 гідропружинними циліндрами, які розташовані у передній частині задньої бабки. Здійснюється після притискання верхньої частини до бази основи паралельної осі верстата.

Притискання верхньої частини до бази основи паралельної осі верстата виконується 2 гідропружинними циліндрами.

Защемлення верхньої частини на основі виконується 6 гідропружинними циліндрами через поворотні Т-подібні втулки, розташовані на кінцях штоків циліндрів. У корпусі верхньої частини виконані некруглі отвори, через які проходять поворотні втулки.

Защемлення відбувається таким чином: подається тиск у гідропружинні циліндри, штоки яких, переміщуючись, піднімають Т-подібні втулки через некруглі отвори, одночасно стискаючи пружини, які знаходяться під поршнями циліндрів. Втулки повертають на 90° . Знімається тиск у гідропружинних циліндрах і під дією пружин Т-подібні втулки притискають верхню частину до основи.

Поворот втулок виконується 2 тягами, які спонукають до руху гідроциліндри. Крайні положення тяг контролюються кінцевими вимикачами.

Люнет закритий. Люнет призначений для установлення одного кінця деталі при обробленні її без задньої бабки.

Верстат комплектується 2 люнетами:

- люнет з діаметрами шийок встановлюваних деталей Ø250–550 мм;
- люнет з діаметрами шийок встановлюваних деталей Ø400–700 мм.

Конструкції люнетів Ø250–550 мм і Ø400–700 мм аналогічні.

Люнет складається з таких вузлів і механізмів:

- а) редуктор переміщення люнета по станині;
- б) редуктори висунення нижньої пінолі;
- в) механізм повороту і фіксації верхньої пінолі;
- г) механізм притискання люнета до вертикальної бази осі;
- д) механізм затискання люнета на станині.

Привод редуктора переміщення люнета по станині відбувається двигуном постійного струму типу ПБС-22; 0,6 кВт; $n = 1500$ об/хв.

Переміщення люнета здійснюється рейковою шестернею по косозубій рейці станини з кутом нахилу $10^\circ 57'50''$, що дозволяє за допомогою датчика стежити за переміщенням люнета в автоматичному режимі.

Розмір прискореного переміщення люнета 1942 мм / хв.

Обмеження переміщення люнета вправо – вліво виконується 2 кінцевими вимикачами.

Переміщення люнета повз супорта можливо тільки при відведених у крайнє заднє положення поперечних санчат супорта, контрольоване 2 кінцевими вимикачами, які встановлені на каретці.

Переміщення нижньої пінолі люнета здійснюється від черв'ячних редукторів, на одному з валів яких встановлюється датчик положення для встановлення пінолі на необхідний розмір. Привод редукторів походить від електродвигуна типу A1215 $M = 1,4$ кгм, $n = 1500$ об/хв.

Нижні пінолі оснащені змінними гідростатичними подушками зі змінною кривизною поверхні, на яку встановлюється деталь.

Для стійкого положення у люнеті оброблюваних деталей, служить верхня піноль, яка у процесі оброблення притискає деталь до нижньої пінолі із зусиллям до 2,5 т.

Переміщення пінолі здійснюється гідроциліндром до упору уу деталь. Регулювання зусилля відбувається зміною тиск рідини у циліндрі за допомогою редукторного клапана.

Поворот корпусу верхньої пінолі виконується від гідроциліндра через рейкову передачу. Контроль повороту верхньої пінолі виконується кінцевими вимикачами. Притискання люнета до вертикальної бази станини здійснюється зусиллям тарілчастих пружин 2 гідропружинних притисків. Віджимання – тиском мастила на стиску пружин.

Защемлення люнета на станині здійснюється зусиллям пружин 4 гідропружинних прихватів.

Розжимання прихватів виконується тиском мастила на стиск пружин.

4.2 Розроблення конструкції фрезерно-свердлильного модуля важкого багатоопераційного верстата

Фрезерно-свердлильна головка призначена для (рис. 4.4):

- свердління, зенкерування, розгортання й розточування отворів перпендикулярно осі верстата;
- фрезерування шпонкових пазів паралельно осі верстата;
- нарізування різьби мітчиками в отворах перпендикулярні осі верстата.

Фрезерно-свердлильна головка має два шпиндельних вузла та поворотний стіл.

Нарізування різьби здійснюється тільки у ручному режимі, подачею, що дорівнює приблизно кроку нарізання різьби, із застосуванням спеціальної оправки для кріплення мітчиків [2].

Фрезерно-свердильний модуль має магазин на 8 інструментів, які встановлюються у магазині у послідовності, обумовленій технологічним процесом оброблення деталі фрезерно-свердильною головкою. Вимірювання і настроювання інструмента здійснюється поза верстатом. Зміна інструмента автоматизована (крім мітчиків). Установлення й змінювання мітчиків здійснюється вручну.

Фрезерно-свердильна головка установлюється, закріплюється та фіксується на V-подібні напрямні супорта спеціального.

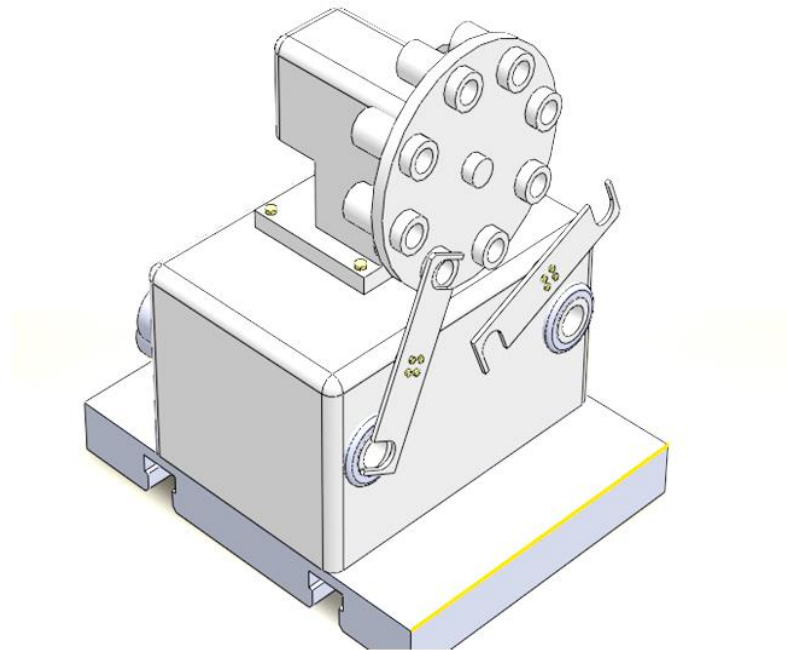


Рисунок 4.4 – Фрезерно-свердильна головка

Під час установлення (наприкінці переміщення) відбувається гідро- й електричного живлення головки до супорта:

- відкриваються канали у поперечних салазках і у плиті головки для подавання рідини під тиском від гідросистеми поперечних санчат до гідромеханізмів головки й зливання її назад;
- замикаються контакти електричних роз'єднань живлення електроапаратів головки від поперечних санчат.

Кінематика головного приводу та приводу поворота. Привод головного руху на два шпинделі здійснюється від електродвигуна АІР 112М4 за допомогою поліклинових ременів. Регулювання частоти обертання шпинделів безступінчате (від 4000 до 2000 об/хв з постійною потужністю, а від 2000 до 400 з постійним моментом) за допомогою частотного перетворювача. Для розвантаження шпинделів від зусилля натягування ременів введені шківи. Вони встановлені на окремих опорах кочення, обертальний момент від шківів на шпиндель передається за допомогою шпоночного з'єднання.

Конструкція шпиндельних вузлів. Фрезерні шпинделі мають порожнисту конструкцію і встановлені на двох опорах. Передні кінці шпинделів мають конічні отвори 7 : 24 з торцевими шпоночними пазами за ГОСТ 15945.70.

У внутрішньому отворі шпинделів змонтований пристрій затискання інструмента. Механізм затискання інструмента розташований у шпинделі коробки швидкостей і являє собою цангову штангу, пакет тарілчастих пружин і гідроциліндр. У цанзі зажимається хвостовик оправки інструмента за допомогою пакета пружин.

Для звільнення інструмента тарілчасті пружини стискаються, зусиллям, що розвиває гідроциліндр. Крайнє положення циліндра контролюється кінцевими вимикачами. Передбачено блокування, що вимикає обертання шпинделя при розтисканій цанзі. Маніпулятор призначений для перестановки інструмента з магазину у шпиндель і назад. Осьове переміщення маніпулятора (установлення, витягування інструмента) здійснюється гідроциліндром, поворот гідродвигуном. Гальмування маніпулятора наприкінці повороту здійснюється дроселем до 16/20.

Конструкція поворотної платформи. Корпус фрезерно-свердлильної головки складається з двох частин: нижньої та верхньої. Нижня частина (платформа) встановлюється на санчат супорта і є відносно них нерухомою,

верхня частина, у якій встановлено шпинделі з приводом головного руху та інструментальним магазином, є поворотною і спирається на упорно-радіальні підшипники, виконані у вигляді крижового роликового ланцюга. Внутрішнім кільцем підшипників є цапфа, що виконана на нижній частині фрезерно-свердлильної головки. На корпусі поворотної частини виконана конічна поверхня, яка є біговою доріжкою для крижового роликового ланцюга. Для замикання силової схеми на цапфу і на поворотну частину корпуса встановлюються притискні кільця. Регулювання зусиль попереднього натягування у підшипниках здійснюється за допомогою підбирання товщини прокладок між корпусом і притискними кільцями.

Конструкція механізма повороту. Поворот фрезерно-свердлильної головки здійснюється за допомогою високомоментного двигуна ДК1-2,3-000, що встановлюється на корпусі поворотної частини, через беззазону черв'ячну передачу. Видалення зазору у черв'ячній передачі здійснюється за допомогою черв'ячного колеса, одна частина якого є поворотною відносно іншої. Після видалення зазора колесо фіксується болтовими з'єднаннями.

Черв'як черв'ячної передачі спирається на радіально упорні конічні ролико-підшипники, що встановлені за схемою «урозтяж». З'єднання з валом електродвигуна виконане за допомогою жорсткої цангової муфти. Для вимірювання кутового положення поворотної частини фрезерно-свердлильної головки встановлено абсолютний фотоімпульсний датчик. Він змонтований у центральній частині цапфи, що є основою фрезерно-свердлильної головки, а його вал зв'язаний з цапфою на поміжній плиті поворотної частини за допомогою пружної компенсаційної муфти.

4.2.1 Вибір інструменту

Для оброблення деталей ми обрали торцеву фрезу фірми SECO, оскільки різальний інструмент шведської фірми SECO є сучасним, якісним і високоефективним. У ньому знайшли своє втілення всі передові технології різання й створення нових твердосплавних матеріалів для різних вставок.

При правильній експлуатації якісного інструмента кошти, вкладені у його придбання, виправдовуються. Це доводить досвід використання інструмента SECO нашими клієнтами. Використання інструмента SECO дозволяє значно підвищити продуктивність праці: не потрібен час на переточування, на більш часте переустановлення інструмента, що зносився. Багатофункціональність інструмента SECO дозволяє скоротити його номенклатуру й запаси на складі, підвищити продуктивність устаткування.

Завдяки сполученню сучасних твердих сплавів і оптимальної геометрії різальні пластини й вставки SECO дозволяють обробляти практично будь-які матеріали із твердістю до 60HRC, а пластини серії SECOMAX, створені на основі кубічного нітриду бору, відмінно працюють на обробленні загартованих сталей твердістю 45-65 HRC.

Для такої деталі ми обрали торцеву фрезу фірми SECO Octomil R220-43-8200-07C, вона наведена на рис. 4.5–4.6, її розміри наведені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Розміри фрези SECO Octomil R220-43-8200-07C

Дс, мм	Дс2, мм	l1, мм	ар, мм	Кількість зубців	Вага, кг
200	212	63	5	10	8,9



Рисунок 4.5 – Торцева фреза фірми SECO Octomil R220-43-8200-07C

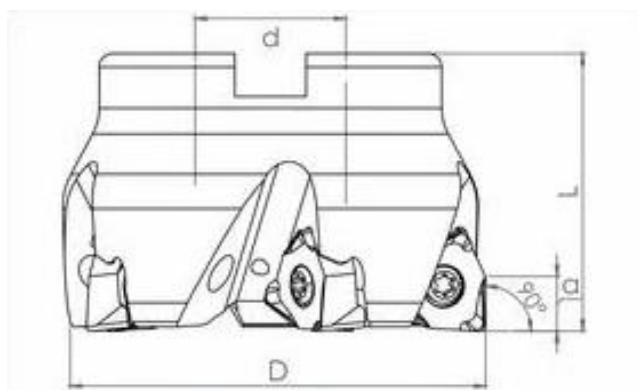


Рисунок 4.6 – Геометричні параметри торцевої фрези фірми SECO Octomil R220-43-8200-07C

Матеріал торцевої фрези – Т 250М, оптимальний сплав для середньотвердих сталей. Ti(C, N) – Al₂O₃/TiN.



Рисунок 4.7 – Кінцева фреза фірми SECO Nano Turbo R217.69-1820.0-06-4A

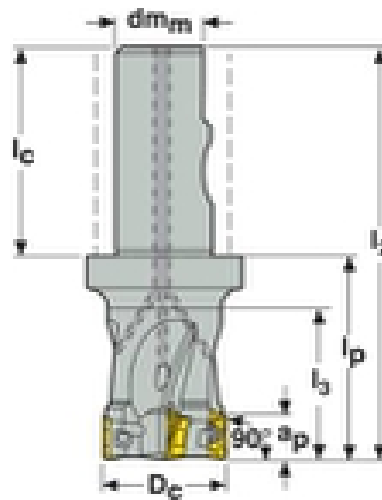


Рисунок 4.8 – Геометричні параметри торцевої фрези фірми SECO Nano Turbo R217.69-1820.0-06-4A.

Таблиця 4.2 – Розміри фрези SECO Nano Turbo R217.69-1820.0-06-4A

D _c , мм	d, мм	l ₁ , мм	a _p , мм	Кількість зубців	Вага, кг
20	212	63	5	10	8,9

Матеріал торцевої фрези – T 250M, оптимальний сплав для середньо твердих сталей. Ti(C, N) – Al₂O₃/TiN.

4.3 Опис конструкції шліфувальної головки

Шліфувальний агрегат встановлюється на супорт токарно-гвинторізного верстата або традиційного круглошлифовального верстата. Супорт використовується для переміщення шліфувального агрегату, закріпленого у різцетримачі, і являє собою конструкцію з поздовжніх (каретка) і поперечних санчат. Поздовжній супорт переміщує шліфувальний агрегат по напрямних станини і забезпечує переміщення уздовж заготовки.

Поперечний супорт забезпечує переміщення шліфувального агрегату перпендикулярно осі обертання заготовки (деталі).

Модель шліфувальної головки показана на рис. 4.12 і 4.13.

Тип токарного верстата, висота центрів і межі переміщення санчат визначають межі застосування шліфувальних агрегатів за діаметрами та довжинами оброблюваних поверхонь.

Зусилля притиснення контактного кола шліфувального круга до оброблюваної деталі регулюється пневматично. Ось контактного кола має бути на тій же висоті, що і вісь деталі.

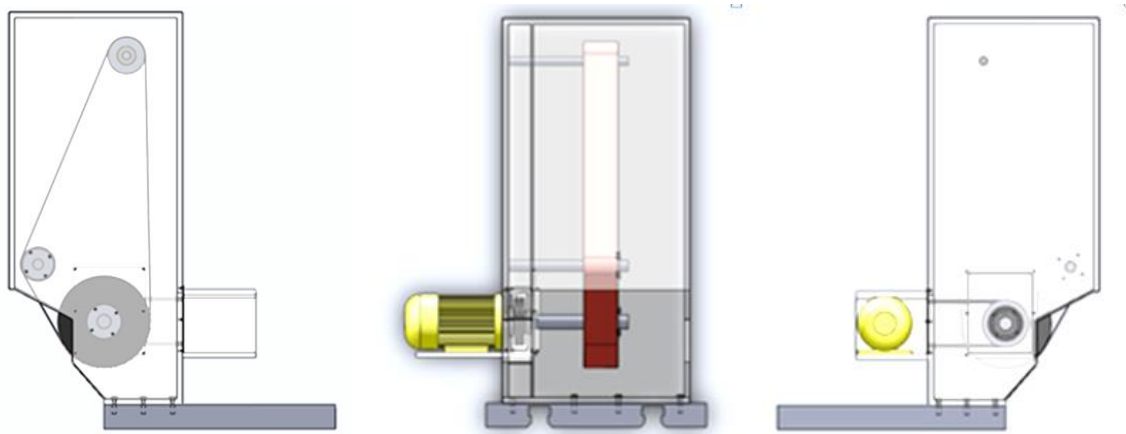


Рисунок 4.12 – Модель шліфувальної головки



Рисунок 4.13 – Модель шліфувальної головки

Основні характеристики:

- шліфування сухе і з МОР;
- маятникова головка на шпинделі;
- для обдирання, шліфування, полірування, доведення;
- пневматичний контроль зусилля шліфування;
- при сухому шліфуванні з відбором пилу;
- контроль притискування контактного кола пневматичним циліндром;
- позиціонування на крилі / різцетримачі.

Технічні дані наведені у табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Технічні дані

Найменування	Параметри
Розмір стрічки	3.500 × 150 мм
Шліфувальний привід	11 кВт
Швидкість стрічки	28–32 м / сек
Розмір контактного кола	400 × 150 мм
Розмір ролика	Ø150 мм
Вага (без санчат)	200 кг
Габарити:	
– висота	1,700 мм
– довжина	750 мм
– ширина	850

Опції:

- автоматичний поперечний супорт;
- лінійні напрямна для великих діаметрів;
- ручне позиціонування кнопкою;
- точна пневматичне регулювання тиску;
- хід 230 мм;
- м'який старт мотора з 1450 об / хв.

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

Верстати мод. КЖ16274Ф3, КЖ16275Ф3 (рис. 4.14) розроблені для оброблення деталей типу «Прокатний валок», «Роторний вал» (рис. 4.15) в умовах виробництва ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод».



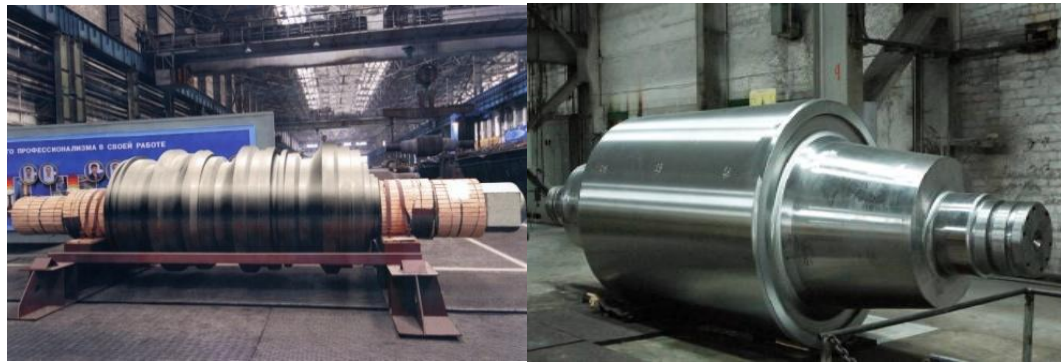
а)

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 оброблення деталей діаметром до 2000 мм, довжиною до 8000 мм, масою до 63 т

Рисунок – 4.14. Верстати мод. КЖ16274Ф3, КЖ16275Ф3



а)



б)

а – прокатний валок, б – роторний вал

Рисунок 4.15 – Деталі-представники підприємства важкого машинобудування

Висновки до розділу 4

1. Створена компоновка важкого багатоопераційного верстата з можливістю зміни обробного модуля.
2. Розроблено конструкції основних вузлів важкого багатоопераційного верстата.
3. Розроблено конструкцію фрезерно-свердлувального модуля.
4. Створено шліфувальний модуль для застосування у сучасних технологіях для абразивного оброблення.

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 знизити собівартість 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 обґрунтованого оцінювання 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 верстата та функціональними блоками. Запропоновано залежності для визначення уніфікованого складу функціональних блоків для побудови всієї гами 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 гами верстатів з ЧПК.

8. Запропоновано функціонально-структурні моделі та параметри гами важкого спеціалізованого токарного, у тому числі багатоцільового, верстата 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 верстата. 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адаптивное управление станками: монография / Б. С. Балакшин [и др.]; под ред. Б. С. Балакшина. М. : Машиностроение, 1973. 688 с.
2. Алямовский А. А. SolidWorks. CosmosWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов М. : ДМК Пресс, 2004. 432 с.
3. Атапин В. Г. Проектирование несущих конструкций тяжелых многоцелевых станков с учетом точности, производительности, массы. *Вестник машиностроения*. 2001. № 2. С. 3–6.
4. Бабин О. Ф., Ковалев В. Д. Тяжелые станки – перспективы развития. *Мир техники и технологий*. 2007. № 2. С. 21–25.
5. Бабин О. Ф., Ковалёв В. Д., Яцкив И. П., Коваленко И. С. Особенности ремонта и модернизации тяжелых станков. *Надежность инструмента и оптимизация технологических систем*: сборник научных трудов. Краматорск – Киев, 2008. Вып. № 23. С. 138–141.
6. Багдасарова Т.А. Технология токарных работ. 4-е изд. М. : Академия, 2015. 160 с.
7. Базров Б. М. Определение технологических возможностей станка. *Вестник машиностроения*. 2007. № 3. С. 31.
8. Ванин В. А., Родина А. А., Колодин А. Н. Основы станковедения: учебное пособие. Тамбов: ТГТУ, 2016. 80 с.
9. 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* / под общ. ред. Ю. М. Соломенцева. Волгоград – Тольятти, 2013. 208 с. С. 163–172.

10. 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 міжнар. наук.-техн. конф. / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2010. С. 21.

11. 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.

12. Васильченко Я. В., Сукова Т. А., Шаповалов М. В. Визначення раціональних технічних та конструктивних параметрів верстатів для обробки крупногабаритних деталей. Прогресивні технології у машинобудуванні: зб. наук. праць III-ї всеукраїнської наук.-техн. конф. Львів, 2015. С. 26–28.

13. 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.

14. 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*: вісник СевНТУ, 2013. С. 28–32.

15. 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 міжнар. наук.-практ. конф. / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2014. С. 23.

16. Васильченко Я. В., Шаповалов М. В., Михайлюк А. В. Повышение эффективности работы тяжелого токарного оборудования за счет разработки рекомендаций по выбору рациональных режимов резания. *Важке*

машинобудування. *Проблеми та перспективи розвитку*: матеріали XI міжнар. наук.-техн. конф. / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2013. С. 25.

17. Внуков Ю. Н. Рабочие процессы высоких технологий в машиностроении: учебное пособие / под ред. Грабченко А. И. Харьков: ХГПУ, 1999. 320 с.

18. Воронцов А. П., Степанов В. И. Математическая модель образования погрешности обработки от действия термоупругих деформаций. Повышение устойчивости и динамического качества металлорежущих станков. Куйбышев, КПТИ, 1979. С. 108–114.

19. Врагов Ю. Д. Анализ компоновок металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1978. 208 с.

20. Высокопроизводительная чистовая лезвийная обработка деталей из сталей высокой твердости: монография / Клименко С. А. и др.; под ред. С. А. Клименко; НАН Украины, Ин-т сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля, 2018. 302 с.

21. Галяутдинов Р. Т. Оборудование механообрабатывающего производства. Новополюцк: ПГУ, 2012. 91 с.

22. Горшков Б. М. Экспериментальное исследование влияния силовых деформаций составной станины прецизионного станка на точность обработки. *Металлообработка*. 2003. № 4 (16). С. 2–3.

23. Гуртяков А. М., Мойзес Б. Б. Металлорежущие станки. Типовые механизмы и системы металлорежущих станков: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. 112 с.

24. Гусев А. А. Адаптивные устройства сборочных машин. М.: Машиностроение, 1979. 208 с.

25. Данильченко Ю. М. Наукові основи створення швидкохідних прецизійних шпиндельних вузлів металорізальних верстатів: дис. д-ра техн. наук: 05.03.01 / Тернопільський держ. технічний ун-т ім. Івана Пулюя,

Національний технічний ун-т України «Київський політехнічний ін-т. Тернопіль, 2003. 354 с.

26. Дашенко А. Ф., Лазарева Д. В., Сурьянинов Н. Г. ANSYS в задачах инженерной механики. Одесса : Астропринт, 2007. 486с.

27. Диссертации в Техносфере. URL: <http://tekhnosfera.com/povyshenie-kachestva-komponovok-stankov-na-osnove-ispolzovaniya-ekspertnyh-znaniy#ixzz67VAXpw9f>.

28. Епифанов В. В. Разработка технологических структур металлорежущего оборудования с программным управлением для групповой обработки сложных деталей вращения : автореф. дисс. ... д-ра техн. наук : 05.03.01. Ульяновск, 2005.

29. Завистовский С. Э. Металлорежущие станки. Минск : Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2015. 440 с.

30. Залога В. О., Нагорный В. В. Исследование колебаний токарного станка. Часть 1. Исследование закономерностей изменения динамики обрабатывающей системы в зависимости от состояния режущего инструмента. *Вісник Сумського державного університету. Технічні науки*. 2013. № 1. С. 125–136. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VSU_tekh_2013_1_19.

31. Игнатъев А. А., Добряков В. А., Виноградов М. В., Сигитов Е. А. Конструкции современных автоматизированных станков как объектов управления в машиностроении. Саратов : Саратовский государственный технический университет, 2010. 55 с.

32. Интегрированные процессы обработки материалов резанием: учебник / А. И. Грабченко и др. ; ред.: А. И. Грабченко, В. А. Залога. Сумы : Университетская книга, 2017. 451 с.

33. Исхаков З. Ф. Использование экспертных знаний при синтезе компоновок несущей системы станка. В кн. : Технология механообработки: физика процессов и оптимальное управление. Ч. 2. Междунар. конф., посвященная 75-летию со дня рождения А. Д. Макарова : тез. докл. Уфа, 1994. С. 51.

34. Каганов В. С., Чукарин А. Н., Большенко В. П. Математическое моделирование несущей системы станков. *СТИН*. 2003. № 3. С. 6–10.
35. Каминская В. В., Решетов Д. Н. Фундаменты и установка металлорежущих станков. М. : Машиностроение, 1975. 208 с.
36. Клименко Г. П., Мироненко Є. В., Гузенко В. С., Васильченко Я. В., Шаповалов М. В. Експлуатація збірних різців : монографія для студентів спеціальностей 6.050503, 6.050502, 8.05050301, 8.05050302, 8.05050201 денної та заочної форми навчання. Краматорськ : ДДМА, 2015. 86 с.
37. Клименко Г. П., Васильченко Я. В., Шаповалов М. В. Якість і надійність технологічних систем: навчальний посібник для студентів технічних спеціальностей. Краматорськ : ДДМА, 2018. 204 с.
38. Клименко Г. П., Васильченко Я. В., Сукова Т. А. Повышение качества тяжелого токарного станка с ЧПК и процесса его эксплуатации. *Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво* : тези доповідей XII всеукраїнської молодіжної наук.-техн. конф. Київ, 2012. С. 61.
39. Клименко Г. П., Равская Н. С., Андронов А. Ю. Повышение надежности технологической системы при механообработке труднообрабатываемых материалов на тяжелых токарных станках. *Вестник двигателестроения*. 2009. Вып. № 2 (21). С. 116–119.
40. Клименко Г. П., Сукова Т. А. Определение регламентов ресурсообеспечения для технологической системы тяжелого станка. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: матеріали VII міжнар. наук.-техн. конф. / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2009. С. 40.
41. 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 міжнар. наук.-техн. конф. / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2008. С. 55.

42. 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 міжнар. наук.-техн. конф. / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2008. С. 56.

43. Ключко А. А. Технологические особенности зубообработки закаленных колес одношпиндельной и двухшпиндельной схемой резания. *Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ»* : сб. науч. тр. *Технологии в машиностроении*. Харьков, 2014. № 42 (1085). С. 167–172.

44. Ковалёв В. Д., Лобов А. В., Сукова Т. А. Разработка модели суппорта по модульному принципу. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: матеріали XIV міжнар. наук.-техн. конф. / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2016. С. 42.

45. Ковалев В. Д., Бабин О. Ф., Мельник М. С. Адаптивные системы управления точностью тяжелых токарных станков. *Надійність інструменту та сучасні технологічні системи*: матеріали дев'ятої Міжнародної науково-технічної конференції. Краматорск, 2002. С. 21

46. Ковалев В. Д., Бабин О. Ф., Мельник М. С. Адаптивное управление точностью тяжелых токарных станков. *Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении*. Запорожье, 2001. Вып. 2. С. 108–110.

47. 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* : зб.наук. праць VI-ї міжнародної наук.-техн. конф. Львів, 2017. С. 53.

48. 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 міжнар. наук.-техн. конф. / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2017. С. 47.

49. 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

50. 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. *Технології в машинобудуванні*. Харків, 2010. № 53. С. 158.

51. 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 міжнар. наук.-техніч. конф. / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2018. С. 45.*

52. Косов М. Г., Кутин А. А., Саакян Р. В., Червяков Л. М. Моделирование точности при проектировании технологических машин. М. : МГТУ «СТАНКИН», 1997. 104 с.

53. Кочергин А. И., Василенко Т. В. Проектирование привода подачи станка с ЧПК: учебно-методическое пособие по курсовому проектированию. Минск : БНТУ, 2014. 73 с.

54. Кроль О. С., Соколов В. И. Методы и процедуры инженерного прогнозирования в станкостроении. Северодонецк : ВНУ им. В. Даля, 2017. 116 с.

55. Кудинов А. В. Деформации несущих систем станков и их реалистическое моделирование. *СТИН*. 2001. № 10. С. 3–7.

56. Курдюков В. И., Рохин В. Л., Андреев А. А. Оборудование машиностроительных производств: учебное пособие. Курган: Курганский гос. ун-т, 2014. 98 с.

57. Леошко А. Н. Технологическое и вспомогательное оборудование. Минск : Белорусский национальный технический университет, 2019. 273 с.

58. Луців І. В., Кушик В. Г., Буховець В. М. Конструкторсько-технологічне забезпечення якості обробки циліндричних нежорстких деталей на токарних автоматизованих верстатах. *Актуальні задачі сучасних технологій*: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, 25–26 листопада 2015 р. Тернопіль, 2015. Т. 1. С. 166.

59. Луців І., Лещук Р. Динамічні характеристики підсистем верстатного оснащення адаптивного типу. *Вісник ТДТУ*. 2009. Т. 14. № 4. С. 99–107.

60. Майборода В. С., Ткачук И. В. Возмущения в магнитно-абразивном инструменте при обработке длинномерных деталей в кольцевой ванне. ISSN 2219-7869. *Научный вестник ДГМА*. № 1 (16Е), 2015. 57 с.

61. Макаров А. Д. Оптимизация процессов резания. М. : Машиностроение, 1976. 278 с.

62. Мелехов Р. К., Грицай І. Є. Сучасні металорізальні верстати з ЧПК та інструментальні системи : навч. посіб. з дисципліни «Верстати з ЧПК та верстатні комплекси. Львів : Бескид БІТ, 2004. 248 с.

63. Мельник М. С. Підвищення точності важких верстатів на основі керування параметрами формоутворюючої системи : дис... канд. техн. наук: 05.03.01 / Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний ун-т». Донецьк, 2009.

64. Металлорежущие станки: учебник : в 2 т. Т. 1. Бушуев В. В. и др. М. : Машиностроение, 2011. 608 с.

65. Металлорежущие станки: учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования. В 2 т. / Гаврилин А. М. и др. М. : Академия, 2012. 304 с.

66. Мещерякова В. Б., Стародубов В. С. Металлорежущие станки с ЧПК. М. : НИЦ ИНФРА-М, 2015. 336 с.
67. Мироненко Е. В. Оптимизация конструкции сборных резцов на крупных токарных станках. *Научный вестник Донбасской государственной машиностроительной академии*. Краматорск, 2014. № 2 (14Е). С. 71–82.
68. Моряков О. С. Оборудование машиностроительного производства: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования. М.: Академия, 2009. 256 с.
69. Мычко В. С. Технология обработки металла на станках с программным управлением. Минск : Высшая школа, 2010. 446 с.
70. Надежность режущего инструмента и оптимизация технологических систем: науч.-техн. сб. / Донбасская гос. машиностроительная академия, ЗАО «Ново-Краматорский машиностроительный завод» ; ред. Г. Хае. Краматорск, 1999. 235 с.
71. Основы теории резания материалов : учебник / Петрович М. Н. и др. ; под общ. ред. Н. П. Мазура и А. И. Грабченко. 2-е изд., перераб. и доп. Харьков : НТУ «ХПИ», 2013. 534 с.
72. Пальчевський Б. О. Дослідження технологічних систем (моделювання, проектування, оптимізація): навч. посіб. Львів : Світ, 2001. 232 с.
73. Петраков Ю. В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням : навч. посіб. Київ : УкрНДІАТ, 2003. 383 с.
74. Петраков Ю. В. Урахування динамічних характеристик формоутворюючих рухів при проектуванні програми управління для верстатів з ЧПК. *Вісник ЖДТУ*. Житомир, 2007. Вип. 5. Т. 2. С. 142–150.
75. Портман В. Т., Генин Д. В., Халдей М. Б. Исследование точности положения подвижных узлов на направляющих. СТИН. 1993. № 2. С. 5–9.
76. Потапов В. А. Токарные станки и токарные центры на выставке в Ганновере. *Машиностроитель*. 2002. № 5. С. 50.

77. Проников А. С. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: справочник-учебник в 3 т. Т. 3: Проектирование станочных систем / под общей ред. А. С. Проникова. М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана; МГТУ «Станкин», 2000. 584 с.

78. Пуш А. В. Особенности статического моделирования выходных характеристик станков. *СТИН*. 1995. № Ю. С. 18–22.

79. Пуш В. Э. Конструирование металлорежущих станков. М. : Машиностроение, 1977. 390 с.

80. Равська Н. С. Охріменко О. А. Визначення швидкості різання при різних кінематичних схемах обробки. *Процеси механічної обробки в машинобудуванні*. Житомир, 2010.

81. Решетов Д. Н., Портман В. Т. Точность металлорежущих станков. М. : Машиностроение, 1984. 256 с.

82. Родин П. Р. Металлорежущие инструменты. К. : Вища школа, 1974. 400 с.

83. Родін П. Р., Равська Н. С., Ковальова Л. І. Різальний інструмент у прикладах і задачах: навч. посібник для студ. вузів. К. : Вища школа, 1994. 294 с.

84. Русецкий А. М. Конструирование и оснащение технологических комплексов. Минск: Беларуская навука, 2014. 316 с.

85. Рыжикова Т. Н., Боровский В. Г. Исследование стратегических перспектив модернизации станкостроения. М. : Издательский Дом «Финансы и кредит», 2017.

86. Салтыков В. А., Семенов В. П., Семин В. Г., Федюкин В. К. Машины и оборудование машиностроительных предприятий: учебник. СПб: БХВ-Петербург, 2012. 288 с.

87. Северилов В. С. Полонський Л. Г. Клименко С. А. Теоретичні основи технології механічної обробки : навч. посібн. Житомир: ЖІТІ, 2002. 272 с.

88. Серегин А. А. Математическая модель точности станка с учетом колебаний его рабочих органов. *СТИН*. 2007. № 4. С. 5.
89. Сибикин М. Ю. Современное металлообрабатывающее оборудование: справочник. М. : Машиностроение, 2013. 308 с.
90. Скоробогатов В. К., Шоль Н. Р., Будевич Е. А., Очиров Н. Г. Металлорежущие станки: учебное пособие. 2-е изд., переработ. и доп. Ухта : УГТУ, 2016. 107 с.
91. Спосіб підвищення точності обробки на металорізальних верстатах : пат. 61344А Україна. МПК В23Q33/00. № 2003010086; заявл. 03.01.2003; опубл. 17.11.2003. Бюл. № 11.
92. Степчин Я. А. Обладнання та транспорт механообробних цехів. Житомир : ЖДТУ, 2010. 343 с.
93. Струтинський В. Б., Чуприна В. М., Юрчишин О. Я. Підвищення точності металорізальних верстатів на основі чисельних розрахунків еліпсоїдів жорсткості. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Технології в машинобудуванні*. 2015. № 40. С. 78–84.
94. Струтинський В. Б., Дрозденко В. М. Динамічні процеси в металорізальних верстатах : монографія. Київ : Основа–Принт, 2010. 440с.
95. 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.
96. 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.
97. Сукова Т. О. Підвищення ефективності автоматизованого виробництва за допомогою використання інформаційної системи прогнозування параметрів важких верстатів. *Важке машинобудування*.

Проблеми та перспективи розвитку: матеріали XIII міжнар. наук.-техн. конф. / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2015. С. 88.

98. Сысоев Ю. С., Маневич В. В. Установка крупногабаритных заготовок при их механической обработке. *Вестник машиностроения*. 1998. № 6. С. 14–20.

99. Технологічне обладнання з ЧПК: механізми і оснащення: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / Кузнецов Ю. М. та ін. Київ, Кременчук – Севастополь : Точка, 2014. 500 с.

100. Тришина Т. В. Metallorезущие станки: учебное пособие. Воронеж : Воронежский ГАУ, 2013. 259 с.

101. Трофимов Ю. В., Трофимов В. Т. Анализ динамических характеристик металлорежущих станков. *Инновационные технологии и оборудование машиностроительного комплекса: межвузовский сборник научных трудов*. Воронеж, 2005. Вып. 3. С. 96–103.

102. Универсальные станки для крупногабаритных деталей. *DIMA (Die Machine)*. Германия, 2007. № 7. Вып. 61. С. 22–23.

103. Чепчуров М. С., Жуков Е. М. Оборудование с ЧПК машиностроительного производства и программная обработка. Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2015. 190 с.

104. Чернянский П. М., Распопова Н. П. Силовые смещения и жесткость технологической системы. *СТИН*. 1998. № 12. С. 13–17.

105. Черпаков Б. И., Альперович Т. А.. Металлорежущие станки: учебник для нач. проф. Образования. М. : Академия, 2004. 368 с.

106. Черпаков Б. И., Вереина Л. И. Технологическое оборудование машиностроительного производства. 6-е изд., стер. М. : Академия, 2015. 448 с.

107. Шаповалов М. В., Васильченко Я. В. Банк данных для выбора рациональной конструкции сборных резцов. *Теория и практика в машиностроении* : сборник научных трудов ЗАО ОНИКС. Ирбит, 2013. С. 159–162.

108. Шумейко И. А. Системы программного управления: учебное пособие. Павлодар : Кереку, 2015. 118 с.
109. Шустер В. Г. Система оценок точности обработанной поверхности как характеристика выходной точности станка. *Станки и инструмент*. 1985. № 11. С. 12–16.
110. Электромеханические системы управления тяжелыми металлорежущими станками / Демидов С. В. и др. Машиностроение, 1986. 236 с.
111. Юркевич В. В. Система прогнозирования точности токарных станков. *Вестник машиностроения*. 2001. № 8. С. 25.
112. Ягудин М. Л. Технология производства двигателей внутреннего сгорания. М. : Машиностроение, 1967.
113. Afsharizand B., Zhang X., Newman S. T., Nassehi A. Determination of Machinability Considering Degradation of Accuracy Over Machine Tool Life Cycle. *Procedia CIRP*. 2014. 17. Pp.760–765.
114. Berselli G., Gadaleta M., Genovesi A., Pellicciari M., Peruzzini M., Razzoli R. Engineering methods and tools enabling reconfigurable and adaptive robotic deburring. *Advances on mechanics, design engineering and manufacturing: lecture notes in mechanical engineering*. 2017. С. 655–664. DOI: 10.1007/978-3-319-45781-9_66.
115. Cai L., Tian Y., Liu Z., Cheng Q., Xu J., Ning Y. Application of cloud computing to simulation of a heavy-duty machine tool. *International journal of advanced manufacturing technology*, APR 2016. Т. 84. Вып. 1–4. С. 291–303. DOI: 10.1007/s00170-015-7916-2
116. Chen Y.-L., Niu Z. Y., Matsuura D., Lee J. C., Shimizu Y., Gao W., Oh J.S., Park C. H. Implementation and verification of a four-probe motion error measurement system for a large-scale roll lathe used in hybrid manufacturing. *Measurement science and technology*, OCT 2017. Т. 28. Вып. 10. DOI: 10.1088/1361-6501/aa7d33.
117. CNC Milling for Makers. Rattat Christian. Basics – Techniques – Applications. Rocky Nook, 2017. 178 p.

118. Finite difference method-based calculation of gravity deformation curve for the large-span beam of heavy-duty vertical lathe / Han ZY et al. *Advances in mechanical engineering*, APR 2016. Т. 8. Вып. 4. Номер статьи: 1687814016646072 DOI:10.1177/1687814016646072.

119. Fitzpatrick M. *Machining and CNC Technology*. 3rd edition. The McGraw-Hill Companies, Americas, New York, 2014. XXVIII, 856 p.

120. Ge L., Zhang Y., Chen B. Study of CCD vision-based monitoring system for NC lathes. *Measurement*, SEP 2018. Т. 125. С. 680–686. DOI: 10.1016/j.measurement. 2018.05.016.

121. Ghaffari A. Mohammadiasl E. How to prevent undesired oscillation in NC rotary table. *Journal of vibration and control*, DEC 2017. Т. 23. Вып. 20. С. 3490–3503. DOI: 10.1177/1077546315593026.

122. Hai Li, Yingguang Li, Wei Wang, Feature Based Machine Tool Accuracy Analysis Method. *PROCEDIA CIRP*, 2015. 27. Pp. 216–222.

123. HSMWorks. *Fundamentals of CNC Machining*. HSMWorks, 2012. 254 p.

124. Ito Yoshimi. *Modular Design for Machine Tools*. McGraw-Hill, 2008. XXIV, 504 p. 2nd ed. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, S~ao Paulo, Delhi, Tokyo, Mexico City : Cambridge University Press, 2012. XII, 366 p.

125. Kleinhans Gerhard, Kuhr Lothar. Станина металлорежущего станка. Maschinengestell fur eine Werkzeugmaschine. Заявка 102005003055 Германия, МПК В23 Q1/ 01.Waldrich Siegen Werkzeugmaschine GmbH/ N 102005003055.6; заявл. 22.01.2005; опубли. 27.07.2006.

126. Klochko A., Shapovalov V., Gasanov M., Antsyferova O., Belovol A. Optimizing the technology of reconditioning large high precision gear rims. The current state of scientific research and technology in the industry. Kharkiv, 2018. № 3 (3). P. 59–70.

127. Kovalev V. Vasilchenko Y., Dašić P. Development of the integral complex of optimal control of heavy machine tools adaptive technological system for wind-power engineering parts. *Procedia Technology*, 2015. Pp.145–152.

128. Kovalev V. D.; Vasilchenko Y. V., Dašić P. Adaptive optimal control of a heavy lathe operation. *Journal of Mechanics Engineering and Automation (JMEA)*, April 2014. Vol. 4. Issue 4. Pp. 269–275.

129. 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.

130. 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.

131. Lehrich K., Wasik M., Kosmol J. Identifying the causes of deterioration in the surface finish of a workpiece machined on a rail wheel lathe. *Maintenance and reliability*. 2018.T. 20. Вып. 3. С. 352–358. DOI: 10.17531/ein.2018.3.2

132. Luo X., Qin Y. Hybrid Machining: Theory, Methods, and Case Studies. Academic Press, 2018. 313 p.

133. Lutsiv I., Voloshyn V., Buhovets V. Definition of component elements position errors of integrated self-adjusting equipment for turning. *Technological Complexes*. 2016. №1 (13). Pp. 98–105.

134. Mao X., Yan R., Cai H., Li B., Luo B., He S. A complete methodology for identifying dynamics of heavy machine tool through operational modal analysis. *Proceedings of the institution of mechanical engineers: journal of*

engineering manufacture. Part B. AUG 2016. T. 230. Вып. 8. С. 1406–1416. DOI: 10.1177/0954405416629105.

135. Methods to Increase the Rigidity of the C-frame of a Press / Dan I. et al. *Innovative manufacturing engineering. Applied Mechanics and Materials*. 2013. T. 371. С. 183–371. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.

136. Modeling and analysis of the crossfeed servo system of a heavy-duty lathe with friction / Liu L. L. et al. *Mechanics based design of structures and machines*. 2013. T. 41. Вып. 1. С. 1–20. DOI:10.1080/15397734.2012.675873.

137. Nee A.Y.C. (Ed.) *Handbook of Manufacturing Engineering and Technology*. Springer London Heidelberg New York Dordrecht, 2015. XLV, 3500 p.

138. Optimal parameters analysis of dynamical vibration absorption lathe tool with large length to diameter ratio / Qin B. et al. *Applied Mechanics and Materials*. 2012. Pp.121–126; 2146–2150. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.121–126.2146

139. Orra K., Choudhury SK. Development of flank wear model of cutting tool by using adaptive feedback linear control system on machining AISI D2 steel and AISI 4340 steel. *Mechanical systems and signal processing*, DEC 15, 2016. T. 81. С. 475–492. DOI: 10.1016/j.ymssp.2016.03.011.

140. Peng W., Li Y.-F., Mi J., Yu L., Huang H.-Z. A bayesian bivariate degradation analysis method for reliability analysis of heavy duty machine tools. *Proceedings of the ASME international mechanical engineering congress and exposition*, 2015. Vol. 14. Групповые авторы книг: ASME. Номер статьи: V014T08A010–1.

141. Precision evaluation of surface form error of a large-scale roll workpiece on a drum roll lathe (2014) / Lee J. et al. *Precision Engineering*. 38 (4). Pp. 839–848.

142. Preventing chatter vibrations in heavy-duty turning operations in large horizontal lathes / Urbikain G. et al. *Journal of sound and vibration*, Mar 31, 2015. Vol. 340. Pp. 317–330. DOI: 10.1016/j.jsv.2014.12.002.

143. Rahman M., Mansur M. A., Chua K. H., Evaluation of a Lathe with Ferrocement Bed. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 1993. 42 (1). Pp. 437–440.

144. Solution of Slope of a Frame Based on Simple Support Beam Coming from Method of Changing to Rigidity by Step Combined with Conversion Method / Yu XJ et al. *Engineering solutions for manufacturing processes, PTS 1–3. Advanced Materials Research*. 2013. Vol. 655–657. Pp. 1889–1892. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.

145. Токарный станок Deko 8sp. Drehtechnik trifft Speichertechnik. *Masch. und Werkzeug*. 2006. № 9. С. 152–153.

146. Urbikain G., Campa F.-J., Zulaika J.-J., López de Lacalle L.-N., Alonso M.-A., Collado V. Preventing chatter vibrations in heavy-duty turning operations in large horizontal lathes. *Journal of Sound and Vibration*, 2015. P. 340; 317–330.

147. Vasilevich Y. V., Dounar S. S. Finite Element Analysis of Centreless-Lunette Turning of Heavy Shaft. *SCIENCE & TECHNIQUE*. 2017. Vol. 16. Is. 3. C. 196–205. DOI: 10.21122/2227–1031–2017–16–3–196–205.

148. Vorontsov B. S. Chaplinsky D. A. Improving the efficiency of CAD / CAM / CAE gear systems. *The Improvement of the Quality, Reliability and Long Usage of Technical Systems and Technological Processes (IQRLUTSTP): VI International Conference*, December 2–9, 2007. Hurghada (Egypt), 2007. Pp. 129–131.

149. Wavelet Neural Network Observer Based Adaptive Tracking Control for Two Degree of Freedom Piezo – Electric Actuated Nonlinear Metal Cutting Process Using Reinforcement Learning / Sharma M. et al. Koh SCL – *INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODELLING OPTIMIZATION AND COMPUTING. Procedia Engineering*. 2012. Vol. 38. Pp. 1011–1023 DOI: 10.1016/j.proeng.2012.06.127.

150. Yun W. S., Kim S. K., Cho D. C. Thermal error analysis for a CNC lathe feed drive system. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 1999. 39 (7). Pp. 1087–1101.

Додаток А

Таблиці режимів різання

Додаток А.1 – Дані для токарного оброблення типових деталей різними типами пластин

Найменування різців і пластин	шорсткість	Чорнове, напівчистове			чистове			
		t, хв	S, мм / об	V, м / хв	шорсткість	t, хв	S, мм / об	V, м / хв
Ромб 19 ромб 25	кірка	–	0.7	118	Ra12,5	10	0,51	130
	Ra25	15–17	0.75	102	Ra6,3	1–4	0,37	143
					Ra3,2	0,5–1	0,29	161
квадрат 38	кірка	15–20	1,8	60	Ra6,3	1–4	0,63– 0,83	85
	Ra25	15–17	1,24	69	Ra3,2	0,5–1	0,48	105
чашка Ø20					Ra12,5	5	1,9	92
					Ra6,3	1–3	1,47	92
					Ra3,2	1	1,1	96
					Ra1,6	0,5–1	0,8	125
					Ra0,8	0,5	0,57	141
чашка Ø25					Ra12,5	5	2,12	92
					Ra6,3	1–3	1,64	92
					Ra3,2	1	1,22	92
					Ra1,6	0,5–1	0,89	108
					Ra0,8	0,5	0,63	141

Додаток А.2 – Режими різання

Найменування де талі	Діаметр, мм	Вид точіння	t, мм	S, мм / об	V, мм / хв	n, мин ⁻¹	P _z , Н	P _y , Н	P _x , Н	Ne, 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

Додаток А.3 – Технічні характеристики верстата мод. 1К665Ф3

Найменування характеристики	значення
1	2
Граничні розміри оброблюваної зовнішньої поверхні, мм:	
найбільший діаметр	
над супортом	1200
над станиною	1600
найбільша довжина виробу, мм	8000
Найбільша маса встановлюваної заготовки в центрах	40000
Кількість плоских різцетримачів, шт	2
Найбільші переміщення робочих органів супорта, мм:	
санчат (вісь X)	630
каретки (ось Z)	8320
Найбільше переміщення задньої бабки, мм	8000
Найбільше переміщення пінолі задньої бабки, мм	225
Розмір (ширина) плоских різцетримачів, мм	
лівого	70
правого	35
Дискретність завдання переміщень (осей X і Z), мкм	1
Кількість управл. осей координат осей X і Z1	2
Межі частот обертання шпинделя, об / хв	1,25–250
Межі робочих подач супорта по осях X і Z, мм / хв	0,5–2500
Межа швидкостей швидких (настановних) переміщень супорта по осях X і Z, не більше, мм / хв	4000
Швидкість переміщення задньої бабки, мм / хв	2650
Швидкість прискореного переміщення пінолі задньої бабки, які не більше, мм / хв	380

Продовження додатка А.3

1	2
Швидкість установчого переміщення плоских різцетримачів, не більше, мм / хв.	640
Швидкість переміщення пінолі задньої бабки при силовому дожима центром, не більше, мм / хв	4
Швидкість переміщення люнетів закритих, не більше, мм / хв	2900
Габаритні розміри верстата (разом з транспортером для стружки без окремо розташованого електрообладнання), мм:	
довжина	15885
ширина	6270
висота	2300
Маса верстата (разом з окремо розташованими агрегатами гідро та електрообладнання), кг	63200

Додаток Б

Кластерний аналіз деталей

Додаток Б.1 – Кластерний аналіз у залежності від габаритних розмірів і кількості необхідних формотвірних рухів

	Spreadsheet8 in енергетическое оборудование раб лист2					
	1 dnorm	2 dlnor	3 otvnor	4 CASE_NO	5 CLUSTER	6 DISTANCE
695095 Втулка	1,043298	0,339043	1,714982	1	1	0,90
695103 вал гребной	-1,41328	1,683417	-0,09596	2	3	0,38
695104 вал гребной	-0,15608	1,653465	-0,09596	3	3	0,43
695105 вал	-1,54821	3,095758	-0,39778	4	3	0,85
695112 вал	-0,15608	-0,59522	-0,33647	5	2	0,35
695119 вал	1,343142	0,549857	0,253025	6	1	0,47
695110 вал ротора	0,550696	0,507233	-0,92597	7	1	0,84
695121 вал	0,036677	-0,39455	-0,21857	8	2	0,45
695125 вал гребной	-1,41328	1,683417	-0,09596	9	3	0,38
695126 вал гребной	-0,15608	1,653465	-0,09596	10	3	0,43
695128 вал	0,636366	0,335587	-0,92597	11	1	0,78
695130 вал	-0,90569	0,931857	-0,92597	12	3	0,60
695131 втулка	1,064715	0,367842	2,469541	13	1	1,33
695138 вал	0,250852	-0,19663	-0,21857	14	1	0,52
695140 втулка	1,064715	0,367842	1,762142	15	1	0,94
695141 втулка	1,043298	0,339043	1,714982	16	1	0,90
695159 вал	-0,25032	1,929943	-0,92597	17	3	0,47
659160 вал	-0,89498	-0,04227	-0,92597	18	2	0,58
695164 цапфа	0,390065	-1,02745	0,017225	19	1	0,61
695165 корпус	-0,4238	-1,06178	0,715192	20	2	0,57
695166 труба	-0,92711	-0,43164	0,653884	21	2	0,46
695167 труба	-1,11986	-0,39708	0,229445	22	2	0,32
695168 труба	-1,11986	-0,639	0,229445	23	2	0,30
695169 труба	-1,11986	-0,5238	0,229445	24	2	0,30
695171 вал	0,636366	-0,70121	-0,33647	25	1	0,50
695172 вал	-0,86286	-0,83253	-0,50153	26	2	0,29
695174 бандаж	1,835743	-1,17813	0,490711	27	1	0,75
695178 фланец	-0,20748	-1,09081	0,191717	28	2	0,45
695179 фланец	-0,20748	-1,18412	0,653884	29	2	0,63
695180 цилиндр	1,634419	-0,73669	2,773722	30	1	1,53
695182 втулка	-0,1775	-1,08136	1,257531	31	2	0,89
695113 валок	1,171802	-0,42012	-0,92597	32	1	0,69
695114 валок	1,171802	-0,51228	-0,92597	33	1	0,70
695123 валок	1,171802	-0,42012	-0,92597	34	1	0,69
695124 валок	1,171802	-0,51228	-0,92597	35	1	0,70
695137 валок	1,171802	-0,51228	-0,92597	36	1	0,70
695156 вал	-0,96994	-0,35561	-0,92597	37	2	0,52
695173 вал	-1,11986	-0,77125	-0,92597	38	2	0,54
695176 вал	-1,11986	0,090212	-0,92597	39	2	0,66
695175 вал	-1,11986	0,090212	-0,92597	40	2	0,66

Додаток Б.2 – Результати кластерного аналізу в залежності від габаритних розмірів і кількості необхідних формотвірних рухів

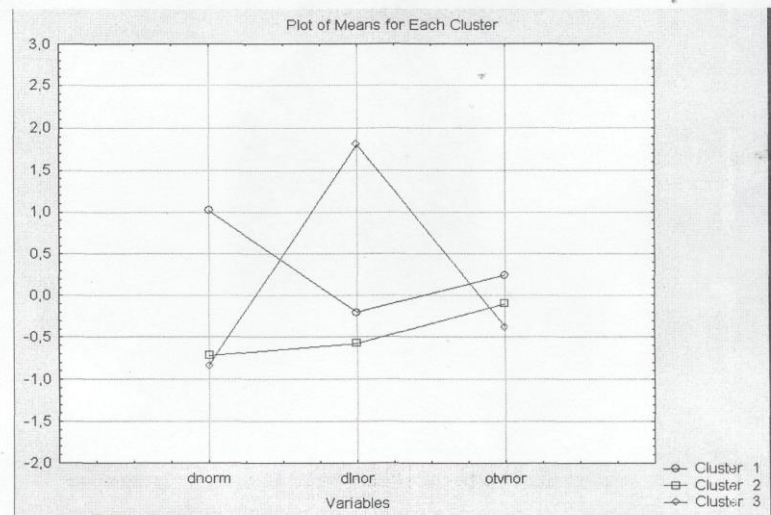
Analysis of Variance (Spreadsheet8 in енергетическое оборудование раб лист2)						
Variable	Between SS	df	Within SS	df	F	signif. p
dnorm	30,86947	2	8,13058	37	70,23918	0,000000
dlnor	28,79090	2	10,20910	37	52,17226	0,000000
otvnor	2,15405	2	36,84595	37	1,08153	0,349555

дисперс анализ кластеров

Cluster Means (Spreadsheet8 in енергетическое оборудование раб лист2)			
Variable	Cluster No. 1	Cluster No. 2	Cluster No. 3
dnorm	1,020746	-0,719359	-0,834707
dlnor	-0,200631	-0,576287	1,804474
otvnor	0,244675	-0,095369	-0,376223

Euclidean Distances between Clusters (Spreadsheet8 in енергетическое оборудование раб лист2)			
Distances below diagonal			
Squared distances above diagonal			
Cluster Number	No. 1	No. 2	No. 3
No. 1	0,000000	1,094904	2,616224
No. 2	1,046376	0,000000	1,920069
No. 3	1,617474	1,385666	0,000000

кнопка 1



Members of Cluster Number and Distances from Respect Cluster contains 7 cases	
	Distance
695103 вал гребной	0,377692
695104 вал гребной	0,432777
695105 вал	0,851855
695125 вал гребной	0,377692
695126 вал гребной	0,432777
695130 вал	0,596860
695159 вал	0,468857

Додаток В
Важкий багатоперацийний верстат



Додаток Г

Основні технічні дані та характеристики верстата

Найменування параметрів	Дані
1	2
Найбільший діаметр оброблюваного виробу над станиною, мм	2000
Найбільший діаметр оброблюваного виробу над супортом, мм	1400
Найбільша довжина оброблюваного виробу, мм	8000
Довжина обробки універсальним супортом, мм	6900
Довжина обробки спеціальним супортом, мм мм	8000
Висота центрів, мм	850
Найбільша маса виробу, тонн	100
Найбільший крутний момент на шпинделі, кН • м	100
Межі чисел оборотів шпинделя (регулювання бесступенчатая). Перемикання швидкостей вручну від кнопок або за програмою	
I ступінь, об / хв	1–32
II ступінь, об / хв	5–160
Точність позиціонування планшайби передньої бабки при кутовому розподілі, кутовий секунди	± 20
Максимальне зусилля затиску деталі кулаками передній бабки, кг • с	23000
Частота установочного обертання шпинделя передньої бабки при розподілі, об / хв	1
Діапазон діаметрів деталей затискають в кулачках передньої бабки, мм	230–1040
Кількість супортів, шт	2
Межі робочих подач супорта на ступенях основного приводу (регулювання безступінчасте), мм / об	0,001–99,999
I ступінь	
II ступінь – для. = 10–99,999 мм / об	0,001–99,999
S мм.д.б. ≤ 2000 мм / хв	Відповідає межі робочих подач
Межі кроків різьб, метричних	1
Ставлення поперечної подачі в поздовжній	
Прискорене переміщення супорта,	
Проте, мм / хв	
поздовжнє	4000
поперечне	4000

Продовження додатка Г

1	2
Найбільший поперечний хід супорта, мм, не менше	780
Найбільше припустиме зусилля різання одним супортом, кг · с	3000
Кількість змінних вузлів послідовно встановлюються на супорта, шт	6
вузол № 1 – головка фрезерно-сверлильна	Встановлюється на супорт другий
вузол № 2 – центрошукач	Встановлюється на супорт перший
вузол № 3 – різцева головка № 1	Встановлюється на супорт другий
вузол № 4 – різцева головка № 2	механізоване
вузол № 5 – головка шліфувальна	
вузол № 6 – головка тонкого точіння	
зміна вузлів	
Швидкість прискореного переміщення задньої бабки, мм / хв не менше	3150 1,6–1000
Межі робочих хвилинних подач задньої бабки, мм / хв	340
Більше висування пінолі, мм, не менше	
Швидкість повільного переміщення пінолі задньої бабки, мм / хв, не менше	28
Максимальне осьове зусилля поджатия деталі пінолі задньої бабки, кг · с	15600
Діаметр пінолі задньої бабки, мм	180
Центр пінолі задньої бабки, мм · град	110 x 75
Діаметр деталей встановлюються у закритих люнетах, мм	400–700
Максимальна вага, який переміщається пінолі люнета, кг · с	1500
Найменший діаметр розточення стебловий бабкою, мм	210
Найбільша глибина розточки стебловий бабкою, мм	1000
Напрямок розташування осі шпинделя фрезерно- свердильної головки	перпендикулярно осі верстата
Число швидкостей обертання шпинделя фрезерно-свердильної головки	12
Межі чисел обертів шпинделя фрезерно- свердильний головки, об / хв	21–802
Максимальний діаметр свердління фрезерно- свердильною головкою, мм	55

Продовження додатка Г

1	2
Максимальна ширина паза, що фрезерується фрезерно-свердлильною головкою, мм	50
Максимальний діаметр розточення фрезерно-свердлильною головкою, мм	100
Розмір внутрішнього конуса шпинделя фрезерно-свердлильної головки для установки перехідних втулок, за ГОСТ 15945–70	50 x 7: 24
Кількість інструментів встановлюються у магазині фрезерно-свердлильних головки, шт	8
Зміна інструмента магазину фрезерно-свердлильної головки у шпиндель і назад	автоматично
Робочі та установчі переміщення фрезерно-свердлильної головки	здійснюється поздовжнім і поперечним переміщенням супорта
Мінімальний діаметр шийки виставляє центрошукач, мм	220
Максимальний діаметр шийки виставляє центрошукач, мм	870
Кількість інструментів встановлюються у різцеву головку, шт	4
Перетин різців встановлюються у різцеву головку, В · Н, мм	32 · 40
Межі подач шліфувальної головки уздовж верстата, мм / хв	0,8–2000
Установчі переміщення шліфувальної головки перпендикулярно осі верстата	Здійснюється поперечним переміщенням супорта
Межі подач санчат головки тонкого точіння, мм / хв	1–3187
Переміщення головки тонкого точіння перпендикулярно осі верстата	Здійснюється поперечним переміщенням супорта
Мінімальний діаметр розточувального отвору, голівкою тонкого точіння, мм	70
Максимальна довжина розточувального отвору подачею санчат головки тонкого точіння, мм	400
Максимальна довжина обточуваних поверхонь подачею санчат головки тонкого точіння, мм	400
Кут повороту стовпчика поворотної головки тонкого точіння, град	± 5
Перетин різців для обточування В · Н, мм	32x40

Продовження додатка Г

1	2
Габаритні розміри верстата (без електрообладнання та системи ЧПК), мм	
довжина	20730
ширина	9240
висота	2840
Маса верстата (без електрообладнання і системи ЧПК), кг не більше	143700
Маса верстата з урахуванням електроустаткування і системи ЧПК, кг не більше	170000
пристрій ЧПК	Контурно-позиційний з ЕОМ
Тип ЧПК	
введення інформації	
Керовані координати:	Z
переміщення супорта універсального паралельно осі верстата	X
переміщення супорта універсального перпендикулярно осі верстата	W
переміщення супорта спеціального паралельно осі верстата	U
переміщення супорта спеціального перпендикулярно осі верстата	З
обертання планшайби передньої бабки	Регулятор швидкості.
Тип керованих приводів	Замикання контуру зв'язку за положенням виконується у ЧПК.
Напрямок переміщення супорта по кожній координаті від нуля відліку	Автоматичне, за заданою величиною S
Габарити шафи ЧПК, мм, не більше	1200
ширина	800
глибина	1800
висота	560
Маса, кг, не більше	пилозахисного
виконання	нижній
підведення кабелів	

Додаток Д

Довідка про впровадження результатів дисертаційної роботи

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Директор ПрАТ «КЗВВ»
Загудаєв В.В.
2019 р.



ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи
Сукової Тетяни Олександрівни
«Підвищення ефективності важкого обладнання на основі визначення його
раціональних технічних та конструктивних параметрів»

Дисертаційна робота Сукової Т.О. узагальнює дослідження автором теоретичних і прикладних проблем проектування верстатів для обробки важких деталей з метою зменшення його собівартості, підвищення ринкового потенціалу і конкурентоспроможності підприємства.

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

Основні положення і науково-прикладні результати дисертаційної роботи, доведені до рівня конкретних практичних рекомендацій, використовуються як методичне забезпечення при розробці важких верстатів на ПрАТ КЗВВ.

Досвід ПрАТ КЗВВ свідчить, що науково-методичні розробки і практичні рішення по підвищенню ефективності важких верстатів, представлені в дисертації Т.О.Сукової корисні для заводів машинобудівної галузі.

Заступник директора
з технічних питань



О.Г. Палашек