

УДК 621:519

Н.Р.Веселовська

Вінницький національний аграрний університет

РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ВЕРСТАТНИХ КОМПЛЕКСІВ ЗА РАХУНОК ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Основна ідея роботи полягає в розробці принципово нового підходу до моніторингу верстатного комплексу механічної обробки, сутність якого полягає в організації методики керування процесом механічної обробки на основі єдиного інтегрованого інформаційного середовища адаптованого до універсального комплексу комп'ютерного моделювання Matlab/Stateflow та Matlab/Simulink, при структурному поданні всіх складових процесу механічної обробки та моделювання як інструменту розв'язання задачі, що розширює функціональні можливості верстатних комплексів.

Ключові слова: *верстатний комплекс, функціональні можливості, моніторинг, калібрування обладнання, процес механічної обробки, інформаційний, матеріальний та енергетичний потоки, багатоцільові та багатокоординатні верстати, верстати з паралельною кінематикою.*

Постановка проблеми. Проблема забезпечення необхідної якості та експлуатації властивостей деталей машин набуває в машинобудуванні все більш важливого значення. Проте до теперішнього часу не розроблені узагальнені теоретичні залежності між параметрами якості поверхні, точністю обробки, експлуатаційними властивостями деталей і параметрами процесів механічної обробки, що дозволяють вирішувати задачу технологічного забезпечення заданих експлуатаційних властивостей деталей. Керування процесом формування поверхні з необхідними властивостями здійснюється переважно шляхом використання часткових експериментальних залежностей і таблиць режимів обробки. Складність проблеми полягає в тому, що при обробці деталей необхідно встановити такі умови обробки, які б забезпечували комплекс вимог щодо зносу інструменту, точності обробки, характеристикам якості поверхні, продуктивності тощо. Області найбільш ефективного використання виробничих систем перш за все визначаються технологічним обладнанням, яке є складовою частиною системи, номенклатурою оброблюваних деталей та автоматизованою системою керування.

Основна частина. Розробку системи оптимізації режиму механічної обробки слід починати з визначення критерію оптимізації на основі техніко-економічного аналізу [3, 4, 7]. На практиці найчастіше застосовуються критерії продуктивності та собівартості, які включають залежність стійкості інструменту від параметрів різання. В результаті оптимізації за цими критеріями знаходяться умови, які забезпечують максимальні (у першому випадку) і мінімальні (у другому випадку) значення даних критеріїв в певних ситуаціях. Такими умовами в багатьох ситуаціях виступають певні значення стійкості інструменту. Проте на виробництві часто ставиться задачна задача знаходження максимально можливої продуктивності або мінімально можливої собівартості механічної обробки при заданих значеннях стійкості. Крім цих критеріїв інколи, залежно від результатів техніко-економічного аналізу, користуються оцінкою максимального використання верстата та інструменту (тобто відношенням максимального знімання металу до одиниці витраченої потужності верстата), критерієм максимального знімання металу за період стійкості, критерієм максимальної стійкості інструменту і так далі. Проте надалі при розв'язанні задачі оптимізації механічної обробки користуватимемося такими критеріями: продуктивність (Π); собівартість (Z); продуктивність при заданій стійкості ($\Pi^{(T)}$); собівартість при заданій стійкості ($Z^{(T)}$); максимальна інтенсивність видалення припуску ($\Pi^{(r)}$); мінімальний машинний час ($Z^{(r)}$). Продуктивність механічної обробки найчастіше оцінюється об'ємом металу, що знімається в одиницю часу циклу використання інструменту (об'ємна продуктивність Π_v), або числом деталей, оброблених в одиницю часу циклу використання інструменту (штучна продуктивність $\Pi_{ш}$). Під циклом використання i -го, інструменту розуміється сума періоду його стійкості T_b часу його зміни τ_{cm} і допоміжного часу роботи верстата τ_{ei} протягом зміни (або протягом часу обробки партії деталей), віднесеного до періоду стійкості даного інструменту, τ_e час.

$$\tau_{ei} = \tau_e T_{ii}(T_1 + T_2 + \dots + T_n),$$

де T_1, T_2, \dots, T_n — періоди стійкості кожного з інструментів, використовуваних протягом зміни або часу обробки даної партії деталей.

Останніми роками були зроблені спроби розробити інші залежності зносу або стійкості інструменту від параметрів різання. Проте розрахунки оптимальних режимів різання зручніше виконувати за цільовою функцією оптимізації, що є основою нормативів, за якими визначаються режими механічної обробки майже в усіх галузях машинобудування. Тому подальші обчислення будуть проводитися з використанням формули

$$P_v = \frac{bhs}{1 + \tau_{cm} (h^{x_v} \frac{318c_v k_v D^{q_v-1}}{z^{u_v-y_v} b^{r_v}} s^{y_v} n^{1-y_v})^{1/m}}, \quad (1)$$

де $\frac{318c_v k_v D^{q_v-1}}{z^{u_v-y_v} b^{r_v}} = A_1$, c_v — постійна величина для певної групи оброблюваних матеріалів; k_v — коефіцієнт, залежний від властивостей оброблюваного матеріалу, ріжучою частини інструменту і від типу рідини, що змащує-охолоджує; D — діаметр фрези або заготовки; n — частота обертання, об./хв.; $sz = s/(nz)$ — подача, мм/об., мм/зуб.; z — число зубців фрези; h і b — глибина і ширина різання, мм; $x_v, y_v, r_v, q_v, u_v, m$ — показники мір, залежні від властивостей інструменту і умов різання (значення цих показників і коефіцієнтів c_v і k_v містяться у відповідних довідниках).

Для різних видів обробки значення c_v, k_v і показників мір змінних різні. Крім того, показники x_v, y_v, r_v, q_v, u_v використовуються не у всіх видах механічної обробки.

У розпорядженні фахівців, пов'язаних з проектуванням, виготовленням і експлуатацією верстатів, завжди є широкий асортимент методів і засобів для забезпечення та підвищення надійності верстата і його елементів. Проте для скорочення витрат необхідно, по-перше, прагнути до забезпечення необхідного рівня надійності (а не взагалі до його підвищення) і, по-друге, проводити цілеспрямовані заходи забезпечення або поліпшення тих характеристик, які найбільшою мірою визначають надійність верстата. Для цього використовують джерела інформації про надійність, починаючи з етапу проектування і закінчуючи даними про фактичну надійність верстатів, що експлуатуються.

Вхідними даними моделі є електронний образ деталі, який включає геометричні та конструктивні параметри. Як приклад на рис. 1 наведена реалізація електронної моделі виробу (корпусу гідрозподільника) засобами САПР AutoDESK Inventor [5, 9]

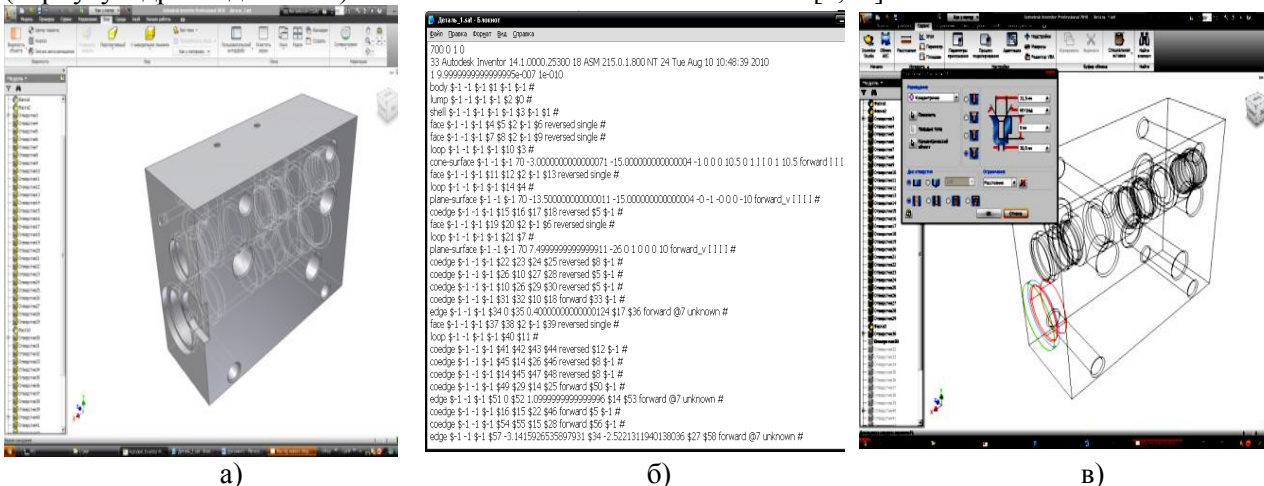


Рис. 1. Електронний образ деталі а) - 3D модель корпусу розподільника; б) - фрагмент текстового файлу,

в) - параметрична модель корпусу; що містить опис геометрії та елементів деталі

Створена система описує всі зазначені вище потоки і відображає такі дії: декомпозицію електронного образу і перетворення його в процес механічної обробки, який відображає система; отримання оптимізованого процесу механічної обробки (шляхом моделювання); вибір в

залежності від поточного стану системи маршруту обробки; складання моделі виробничої системи обробки із підсистем; декомпозицію геометричного образу деталі, отриманого із системи автоматизованого проектування; декодування керівної програми для системи числового програмного управління, отриманої із системи адаптивного управління; вибір і призначення інструменту; моніторинг стану процесу обробки на верстаті тощо.

Оптимізація технології обробки деталі на верстаті здійснюється за класичною методикою на основі критерію максимальної продуктивності обробки. У верстатів традиційних схемних рішень задаються і вимірюються порівняно прості графічні об'єкти: лінії, площини, циліндри, які відповідають простим рухам. Верстати паралельної кінематики мають складні елементарні рухи контроль яких є утруднений. Елементарні рухи змінюються під впливом експлуатаційних факторів температури, деформації тощо, тому з метою суттєвого підвищення якості обробки запропоновано періодичний контроль точності верстата із визначенням його реальної геометрії. За допомогою Stateflow-Simulink формується набір раціональних варіантів обробки у верстатному комплексі. Варіанти порівнюються шляхом моделювання або розрахунку. Вибираються оптимальні варіанти для певного проміжку часу. Стадія (інтервал) моніторингу після реалізації даного оптимального варіанта повторюється. При цьому вибирається оптимальний та раціональний варіант системи. Застосування комплексу потребує детального опису кожного елемента та потоку в системі. Розроблено подійно-орієнтований граф станів процесу обробки, який реалізований за допомогою комплексу Stateflow [2].

Оптимізація процесу обробки деталі на верстаті здійснюється за методикою, що базується на основі критерію максимальної продуктивності обробки. Конструктивними та технологічними обмеженнями виступають найменша можлива частота обертання фрези $n_{d \min}$, при якій погіршуються умови отримання стружки і з'являється наріст, найбільша можлива частота обертання фрези $n_{d \max}$, що визначається конструктивно заданою верхньою межею діапазону та величиною $n_{d \max}$, при перевищенні якої відбувається швидкий знос і руйнування інструменту внаслідок його нагрівання, найбільша подача на зубець $s_{z1 \max}$, обмежена допустимою чистотою обробки та міцністю інструменту, найбільша і найменша подачі $s_{\min} \leq s \leq s_{\max}$ зміни частоти обертання приводу подачі. Допустимий момент на інструменті $M \leq \min(M_{1\phi}, M_{2\phi})$, що визначається міцністю інструменту і механізмів верстата. (рис. 2). Особливістю оптимізації процесу механічної обробки на верстаті паралельної кінематики є те, що подача S_z здійснюється одночасними переміщеннями декількох кінематичних ланок. Тому оптимізацію процесу обробки доводиться здійснювати в два етапи. На першому визначати необхідні технологічні показники процесу обробки (s_z , h і b , n_f). На другому етапі за визначеним значенням s_z визначати оптимальний розподіл переміщень кожного кінематичного ланцюга, необхідних для реалізації визначеного s_z . За цільову функцію обрано мінімум суми робіт, виконаних на кожному переміщенні:

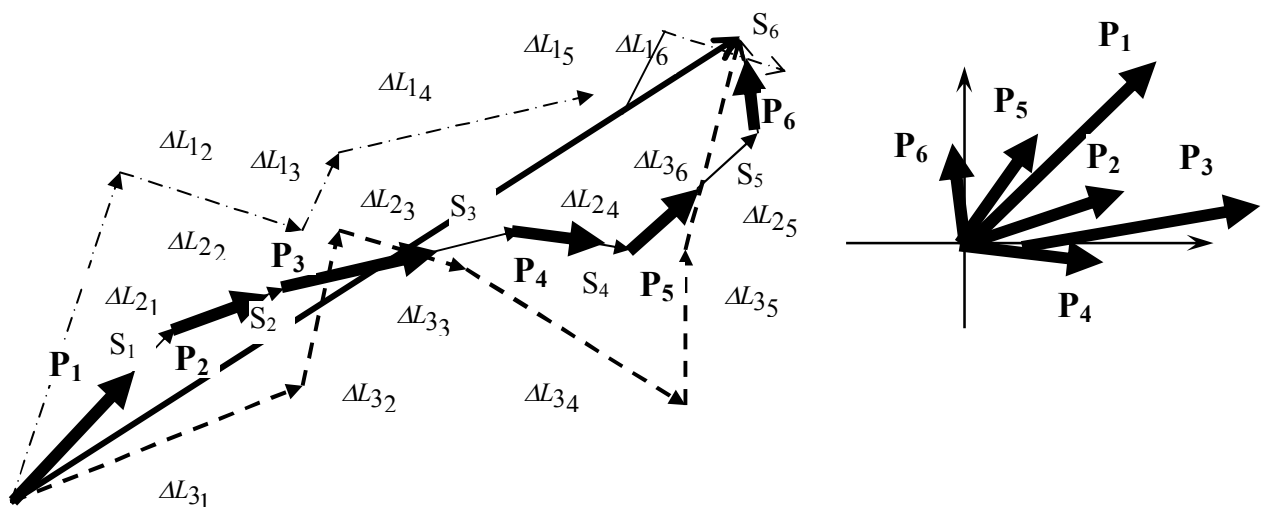


Рис. 2. Варіанти траекторій координатних рухів приводів верстата паралельної кінематики

За конструктивні обмеження на цьому етапі приймаються геометричні характеристики робочого простору верстата (здатність приводу забезпечити необхідне значення переміщення під заданим кутом), похибка апроксимації траекторії переміщення (що визначається мінімальною

дискретністю переміщень приводів) та максимально допустимі зусилля, що розвиваються приводами переміщення [1, 6, 7, 8, 10]. Просторова система верстата паралельної кінематики є статично невизначеною системою. Для визначення навантажень, що виникають в приводах подач верстата, необхідно створювати та реалізувати його математичну модель. Моделювання руху платформи верстата паралельної кінематики здійснюється за допомогою пакета Simulink математичної системи Matlab. Розрахунок здійснюється за допомогою блоків розширення пакета SimMechanics. Пакет розширення SimMechanics системи Simulink призначений для фізичного моделювання. Його мета - технічне проектування та моделювання механічних систем (в межах законів теоретичної механіки). Модель механізму створюється на основі задання інерційних параметрів його рухомих частин.

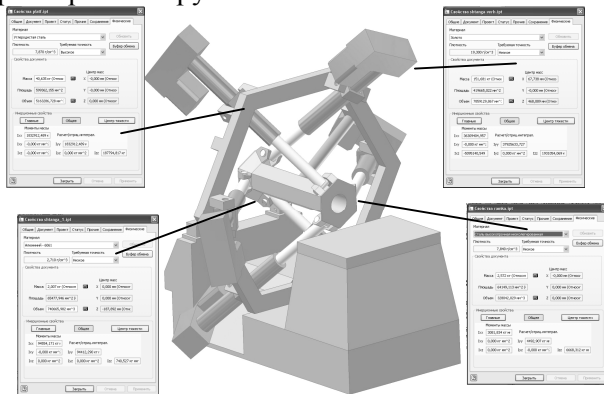


Рис.3. Твердотільна модель механізму, створеної за допомогою CAD системи.

Найпростіший спосіб визначення цих параметрів - використання твердотільної моделі механізму (рис 3), створеної за допомогою CAD системи. SimMechanics дозволяє моделювати поступальний та обертовий рух в трьох площинах. SimMechanics містить набір інструментів для задання параметрів ланок (маса, моменти інерції, геометричні параметри), кінематичних обмежень, локальних систем координат, способів задання і вимірів параметрів руху. SimMechanics дозволяє створювати моделі механічних систем подібно іншим Simulink-моделям у вигляді блок-схем.

На рис. 4-7 наведено процедури розрахунку кінематичних і силових параметрів верстата паралельної кінематики та геометрична модель механізму. В моделі передбачено задання двох основних видів навантаження – обробка осьовими інструментами (свердла, зенкери, розвертки) та фрезами (кінцевими, канавковими, грибокними). Моделювання руху платформи здійснюється за принципом зворотної динаміки. Геометричні характеристики руху визначаються на основі точної геометричної моделі. А далі в розраховані координати вноситься поправка, яка враховує динамічні явища, що виникають при русі внаслідок інерційних властивостей самої платформи і ланок приводів. На основі розрахунку параметрів руху приводної штанги платформи визначаються кути нахилу штанги, реакції в шарнірах та приводах переміщення штанг механізму. Моделі, що використовують блоки функцій пакета SimMechanics, є універсальними і дозволяють створювати моделі нових механізмів просто заміною деяких модулів. Основними виробничими причинами відхилень дійсних розмірів і форми деталей від теоретичних є: похибки обладнання, пристосувань, ріжучого і вимірювального інструменту; неточності установки і деформації деталей та інструменту під дією прикладених до них сил; нерівномірний нагрів деталей та інструменту і знос інструменту в процесі обробки деталей; деформації литих, зварних і термічно оброблених деталей під дією залишкових і внутрішніх напружень.

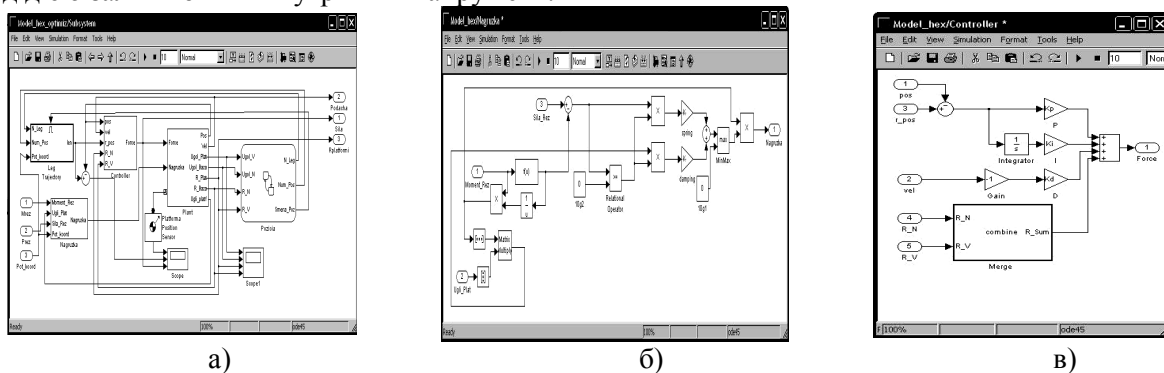


Рис. 4. Математична модель розрахунку параметрів верстата: а) - головний модуль процедури; б) - модуль задання навантаження платформи; в) - модуль визначення навантаження в приводі лінійного переміщення штанги

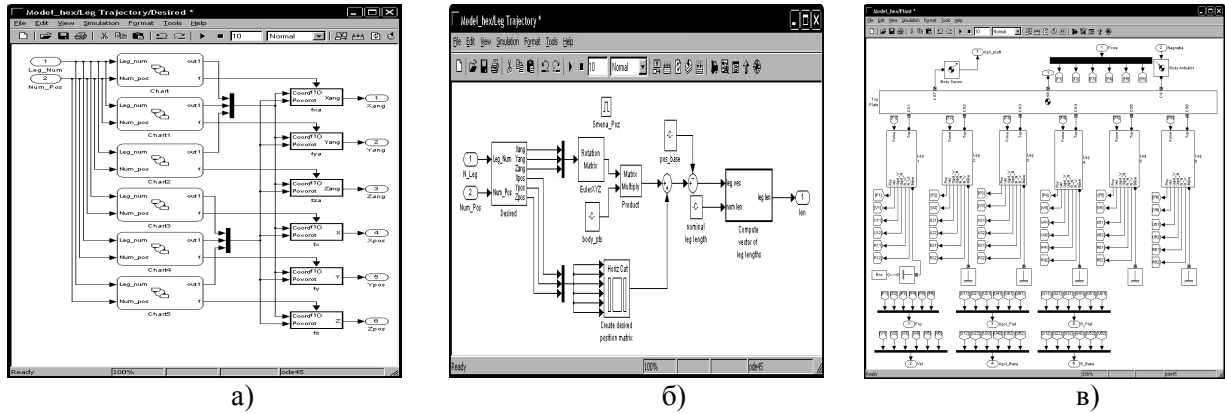


Рис. 5. Математичні моделі розрахунку координат траєкторії руху платформи: а) - модуль задання; б) - модуль розрахунку; в) - модуль моделювання

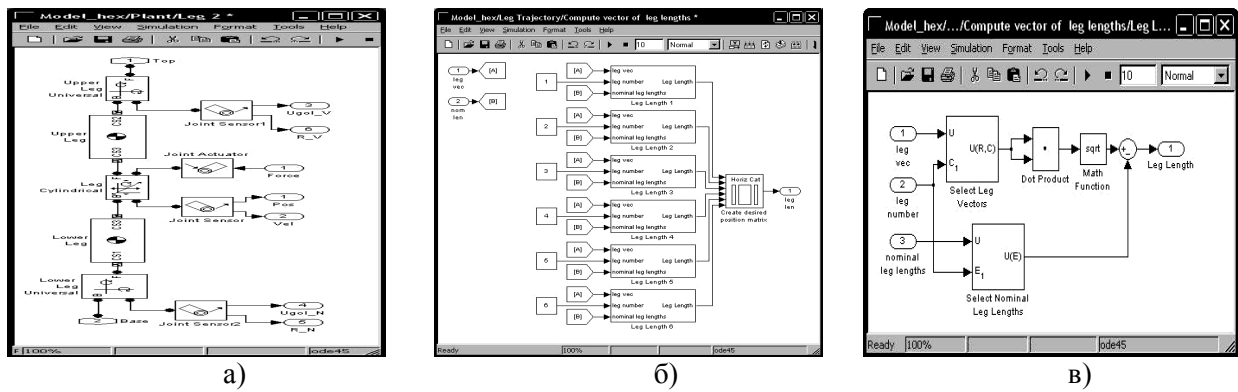


Рис.6. Математичні моделі визначення переміщень штанги: а) - модуль моделювання руху штанги; б) - модуль визначення поточної довжини штанги механізму; в) - модуль розрахунку поточної довжини і-ої штанги

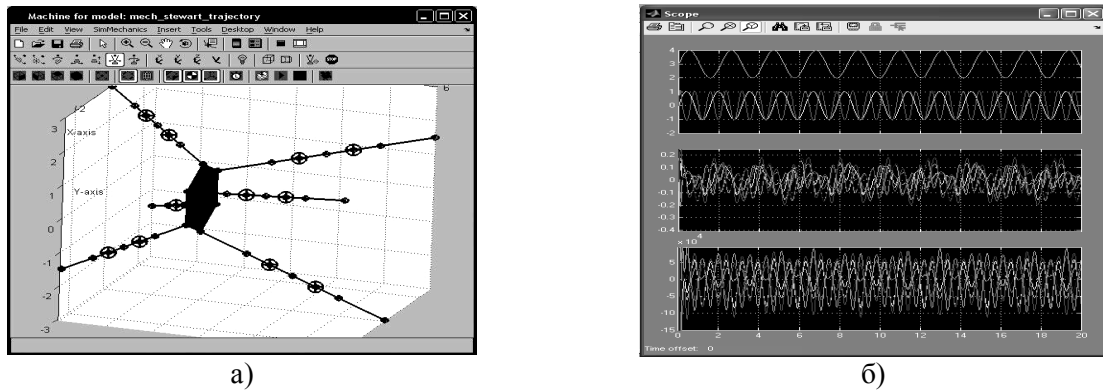


Рис. 7. Результати моделювання: а) - візуалізація результатів моделювання; б) - результати моделювання руху платформи

Висновки Використання даного інструменту дозволяє автоматизувати процес програмування і модифікації та налаштувань системи ЧПК з метою зниження трудомісткості проведення контрольних робіт. Використання результатів роботи суттєво підвищить показники ефективності та надійності виробничих систем механообробки і дозволить ввести корекцію в план-графіки роботи автоматизованої лінії, що забезпечує більш ефективне її використання і зниження енергозатрат на одинадцять відсотків (11%). Встановлені умови обробки забезпечують вимогу до зносу інструменту, точності обробки, характеристик якості поверхні, продуктивності. Продуктивність корпусної деталі з кількістю отворів, що оброблюються, 8-12 підвищує ефективність обробки на 15-20 %, а при більшій кількості отворів складає 25-32%. Компенсація похибки шляхом калібрування знижує загальний рівень похибок в 2-10 раз.

1. Веселовська Н. Р. Аналіз статистичних характеристик та формулювання задачі прийняття рішень при контролі й діагностуванні технологічного обладнання/ Н. Р. Веселовська //Вісник українського державного університету водного господарства та природокористування. Збірник наукових праць, Рівне.- 2002. – Випуск 4(17) .- С.283-289.
2. Веселовська Н. Р. Подійно-орієнтований графо-аналітичний опис елементів гнучких інтегрованих виробничих систем/ Н. Р. Веселовська //Всеукраїнський НТЖ «Вібрації в техніці та технологіях».-2010.- №1(57).-С.43-53.
3. Методы и алгоритмы решения задач оптимизации / Бейко И.В., Бублик Б.Н, Зинько П. Н. - К: Вища школа. Головное изд-во, 1983. - 512 с.
4. Метьюз Д. Г. Численные методы. Использование MATLAB / Метьюз Д. Г., Финк К. Д. - 3-е изд. - М.: Изд. Дом "Вильямс", 2001. - 720 с.
5. Митрофанов В. Г. САПР в технологии машиностроения / Митрофанов В. Г., Калачев. О. Н., Схиртладзе А. Г. и др. - Ярославль. Изд. ЯрГТУ.1995. -298 с.
6. Петух А. М. Дослідження похибки алгоритму тривимірної лінійної інтерполяції за методом цифрового диференційного аналізатора / А. М. Петух, Н. Р. Веселовська, В. О. Денисюк //МНТЖ Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, Хмельницький,2008.- №.1.- С.104-112
7. Струтинський В. Б. Структурна модель технологічного процесу як динамічної системи/ В. Б. Струтинський, Н. Р. Веселовська, О. В. Зелінська // НЖ Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, Луганськ.- 2007.- №3(109).-Частина 2.- С.158-165.
8. Струтинський В. Б. Загальні методи діагностування та принципи підвищення надійності технологічних систем та процесів/ В. Б. Струтинський, Н. Р. Веселовська // Всеукраїнський НТЖ «Вібрації в техніці та технологіях».- 2007. - №4(49). - С.81-85.
9. Петраков Ю. В. Пути развития интегрированных САД/САМ систем в машиностроении / Сучасні технології в машинобудуванні. Вип 3, ХНТУ «ХПИ». Харків, 2009 .- С.160-167.
- 10.Ратмиров В. А. Повышение точности и производительности станков с программным управлением / В. А.Ратмиров, И. Н. Чуринов, С. А. Шмутер.- М.: Машиностроение, 1970.-343 с.