

УДК 621.9

Ковальов В. Д., Мельник М. С., Васильченко Я. В., Нестеренко В. М.**КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ПРОЕКТНИХ РОБІТ ПРИ СТВОРЕННІ СУЧАСНИХ МЕХАТРОННИХ ВЕРСТАТІВ**

Мехатроніка як технічна спеціальність і як науковий напрям виникла в 70–80-х роках ХХ століття. Передумовою для її виникнення стало бурхливий розвиток електроніки, кібернетики та обчислювальної техніки в 60–70-х роках і усвідомлення нових можливостей, які відкривало застосування цих наукових розробок в техніці [1]. По суті змінився принцип побудови складних машин, зокрема металорізальних верстатів. Всі складні внутрішні кінематичні зв'язки тепер реалізуються програмним шляхом. Завдяки можливості оперативної зміни параметрів програмного забезпечення з'явилася можливість гнучко управляти параметрами і структурою внутрішніх кінематичних зв'язків, а також створювати такі передавальні функції, які механічним способом реалізувати або вкрай складно, або неможливо. Це дозволило гранично спростити механічну частину машин. Крім того стало можливим поліпшити характеристики і розширити можливості машин за рахунок застосування принципів автоматичного і адаптивного управління. Практичні результати застосування мехатронного підходу в машинобудуванні можна бачити на прикладі технологічного прориву за останні 20–30 років в таких областях, як робототехніка, верстатобудування, автомобільна промисловість, авіакосмічна галузь, військова техніка, медицина, легка промисловість і т. д. Природно, що при такому підході виникла необхідність у фахівцях механічної спрямованості, які б при цьому на достатньому рівні орієнтувалися в таких науках, як електротехніка, електроніка, обчислювальна техніка, програмування і теорія управління.

Не дивлячись на видатні успіхи в цьому напрямку таких країн як Японія («батьківщина мехатроніки»), Німеччина, США і ряд інших [2, 3], в нашій країні в цьому напрямку робиться вкрай мало. Відносно верстатобудування застосування мехатроніки по суті вичерпується створенням універсальних верстатів з ЧПУ і верстатів-автоматів, які також реалізуються із застосуванням систем ЧПУ або в крайньому випадку уніфікованих програмованих контролерів. Актуальність цієї проблеми полягає в тому, що в даний час на ринку є попит на обладнання для великосерійного і масового виробництва, а це, в першу чергу, спеціалізовані і спеціальні верстати-автомати. Прикладами таких машин можуть служити верстати для обробки колісних пар рухомого складу залізниць (колесотокарний, колесофрезерні, осетокарні), верстати для обробки зубчастих коліс, верстати для обробки метизних виробів, ряд верстатів заготівельного виробництва (безцентровотокарні, фрезерноцентрувальні, трубопідрізні і т. п.). В даний час на переважній більшості моделей перерахованого обладнання як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва в якості систем управління застосовуються універсальні системи ЧПУ. При цьому можливості цих систем ЧПУ на таких верстатах використовуються на кілька відсотків, що з урахуванням їх вартості та складності обслуговування є вкрай нераціональним. А промислові програмовані логічні контролери при їх порівняно низькій вартості в переважній більшості випадків орієнтовані на рішення задач циклової автоматики і не дозволяють вирішувати завдання управління параметрами руху і інтерполяції, що необхідно в більшості металорізальних верстатів. Друга проблема, викликана уніфікацією систем управління, полягає в тому, що поруч авторів розроблені і розробляються різного роду методи і засоби адаптивного управління [4, 5], покликані

поліпшити певні показники верстатів, такі як точність, продуктивність, надійність, собівартість і т. д. Однак застосувати ці розробки в промислових умовах в більшості випадків не представляється можливим, оскільки універсальні системи ЧПУ, як правило, не розраховані на розширення можливостей, і не дозволяють втручатися у процес управління, як того вимагають зазначені розробки. Тому для їх впровадження потрібна розробка спеціальних електронних та електромеханічних засобів.

Головні труднощі з рішенням розглянутих проблем полягають у відсутності фахівців-мехатроніки. Залучення до вирішення таких завдань одночасно механіка, електрика, електроніка та програміста навіть високої кваліфікації часто не дає бажаного результату. Причина в тому, що механік, робота якого безпосередньо відноситься до мети проектування і який за визначенням повинен бути провідним фахівцем проекту, часто не має навіть загального уявлення про можливості сучасної електроніки і мікропроцесорної техніки і не в стані адекватно сформулювати технічне завдання для інших фахівців. А вони в свою чергу часто не в змозі зрозуміти суть проблеми, оскільки мають недостатні знання в тій області механіки і техніки, до якої відноситься проектувана машина.

Метою даної роботи є розробка методики проектування мехатронних систем, яка дасть загальний алгоритм дій, спростить постановку завдань для суміжних фахівців, і вкаже ті відсутні області знань, до яких необхідно звернутися для успішного і ефективного вирішення поставлених завдань.

В основу розроблюваної методики покладено восьмирічний досвід організації та виконання експериментальних навчальних і наукових проектів по створенню мехатронних верстатних вузлів за участю студентів спеціальності «Металорізальні верстати та системи». Запропонована методика складається з шістнадцяти етапів. У вигляді блок-схеми вона представлена на рис. 1.

1. Технічне завдання на машину. Цей етап має на увазі формулювання функціонального призначення і основних експлуатаційних параметрів проектуваної машини і виконується замовником, але активну участь у цьому процесі фахівців, які будуть проектувати цю машину, завжди доречно і часто дозволяє сформулювати технічне завдання оптимальним чином.

2. Вибір методу формоутворення, розробка технології обробки виробу на проектуваному верстаті, ескізів технологічних налагоджень і циклу роботи верстата. Даний етап нічим не відрізняється від аналогічного етапу традиційної методики проектування [6] і не вимагає від механіка додаткових знань, проте з урахуванням можливостей мехатронних систем набір прийнятних методів формоутворення, як правило, розширюється і вибір може бути більш раціональним. На наступних етапах проектування можливий перегляд вибраного методу.

3. Розробка кінематики рухів робочих органів верстата. Цей крок у традиційній методиці проектування, але для мехатронних систем має особливість. Якщо технологія обробки виробу вимагає складних рухів робочих органів верстата, то в традиційній методиці це досягалося введенням внутрішніх кінематичних зв'язків, причому передавальна функція цих зв'язків могла бути тільки лінійною. Створення нелінійних передач обмежувалося гармонійними функціями, реалізованими за допомогою кривошипних механізмів, а також деяким об'ємом довільних функцій, що реалізуються за допомогою кулачкових механізмів, які, втім, мають відомий ряд істотних обмежень як за прийнятною величиною ходу, так і за граничними співвідношенням швидкостей узгоджуваних рухів.

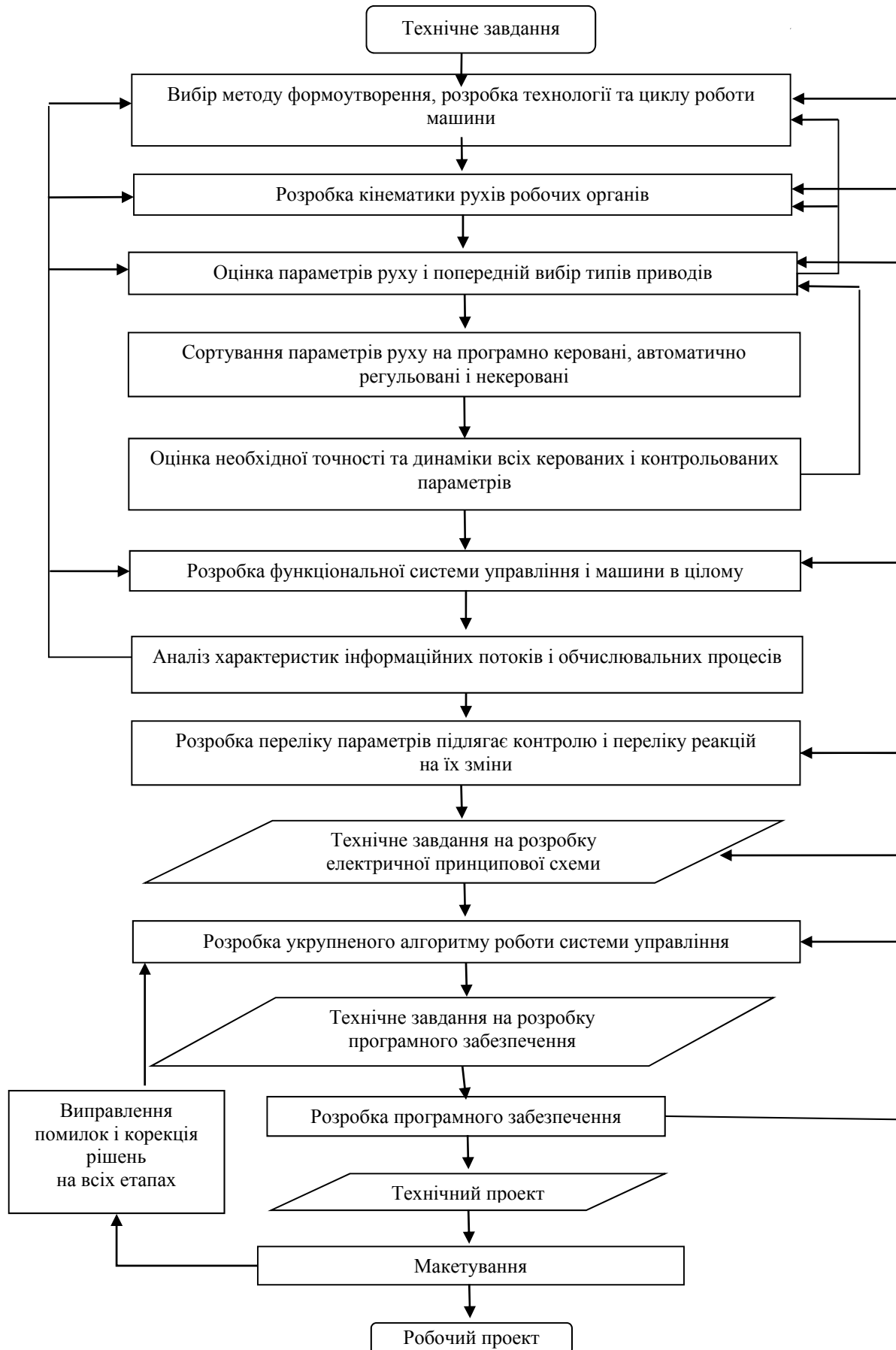


Рис. 1. Методика проектування мехатронних систем

При новому підході необхідно керуватися принципом: на кожний простий рух необхідний власний привід, а всі узгодження цих рухів слід реалізовувати електронними та програмними засобами. Крім того, конструктор повинен мати на увазі, що застосування програмних засобів дозволяє реалізувати практично будь-які лінійні і нелінійні передавальні функції, а також функції, задані табличним і алгоритмічним способом. Причому параметри цих функцій і самі функції можуть оперативнo змінюватися, як оператором при налагодженні верстата, так і в процесі роботи верстата за різними сигналами адаптивного управління, якщо це потрібно. При розробці передавальні функції внутрішніх кінематичних зв'язків повинні бути сформульовані відповідно у вигляді рівнянь, таблиць, алгоритмів або їх комбінацій.

4. Оцінка параметрів рухів і попередній вибір типів приводів. Під оцінкою параметрів руху розуміється аналіз значень і меж зміни для кожного простого руху в окремо таких параметрів, як сила або крутний момент, межі переміщення, швидкість, прискорення, наявність реверсу, необхідна точність і дискретність, і зіставлення цих параметрів з відповідними параметрами доступних типів приводів. На даному етапі конструктору потрібні розширені знання в області електро-, гідро- і пневмоприводу, і тут доцільно залучення фахівців у відповідних областях.

5. Сортування параметрів руху на програмно керовані, автоматично або адаптивно регульовані і ті, що не потребують регулювання. Під програмним управлінням розуміється зміна значення параметра по заздалегідь введеної програмі. Автоматичне регулювання – це зміна значення параметра за певним законом в залежності від значень інших параметрів. А якщо при автоматичному регулюванні певні параметри впливають ще й на закон регулювання, то отримуємо адаптивне управління. Аналогічні дії виконувалися і в традиційній методиці проектування, проте функцію автоматичного і адаптивного управління при цьому практично не застосовувалося через значну складність або неможливість реалізації такого управління механічними або електромеханічними засобами.

Застосування ж електронних і обчислювальних засобів відкриває широкі можливості для застосування цих принципів управління. Прикладами таких застосувань можуть служити системи управління тиском в гідростатичних напрямних в залежності від товщини робочого зазору або від прикладеного навантаження, управління швидкістю або зусиллям подачі в залежності від сил різання, управління швидкістю різання в залежності від температури ріжучого інструменту, керування зміною інструменту на підставі діагностики його стану під силу різання і т. п. [2], [3]. Тут також слід згадати і випадок, що повсюдно застосовується автоматичне управління. Будь-який привід подачі верстата з ЧПУ (крім крокової) обов'язково містить два або три контури автоматичного регулювання: за матеріальним становищем, за швидкістю і по току.

Дане сортування потрібно, по-перше, для виявлення можливості і / або необхідності застосування контурів автоматичного регулювання та закладки в конструкцію системи необхідної їх кількості, а по-друге, для складання технічного завдання на розробку пристрою програмного керування.

Що стосується адаптивного управління, то воно з одного боку в переважній більшості випадків може бути реалізовано тільки завдяки мехатронних систем, а з іншого боку ця можливість є однією з переваг мехатронних систем. Сам же принцип адаптивного управління стосовно до металообробного обладнання відкриває ряд нових можливостей, в першу чергу в плані підвищення якості продукції, стабільності її параметрів в серійному виробництві і підвищення надійності металорізального обладнання.

6. Наступним етапом, властивим тільки для проектування мехатронних систем, є оцінка необхідної точності і динаміки зміни всіх керованих і контрольованих параметрів, а також попередній вибір способу їх подачі і передачі. Не дивлячись на явне ставлення цього

питання до фахівців в області електроніки і обчислювальної техніки, це завдання має вирішувати головним чином механік, оскільки більшість з розглянутих параметрів є параметрами рухів, і тільки фахівець в області верстатобудування може адекватно їх врахувати і оцінити. Але сказане аж ніяк не виключає участі в цьому процесі вищезазначених фахівців.

Результатом даного етапу повинен бути список керованих параметрів із зазначенням способу представлення (дискретний, цифровий, аналоговий), необхідної точності для аналогових або розрядності для цифрових способів подання, діапазону можливих значень кожного параметра і максимально можливої швидкості їх зміни. За цими даними на цьому ж етапі вже може бути виконаний попередній вибір типів датчиків для вимірювання контрольованих параметрів для зворотного зв'язку і для діагностики.

7. Розробка функціональної схеми системи управління і машини в цілому. Під функціональною схемою розуміється спрощене уявлення кінематики верстата із зображенням всіх приводів, датчиків, вузлів системи управління з деталізацією, достатньою для докладної передачі принципу її дії, і всіх інформаційних зв'язків із зазначенням типу сигналу і напрямом його передачі. Цей етап можна вважати найбільш відповідальним і складним. Від продуманості функціональної схеми залежить ефективність і трудомісткість розробки електронної та програмної частини машини, її кінцева складність, вартість і надійність. Якщо проаналізувати склад областей знань, необхідних для виконання цього етапу, то виявляється, що його виконання не під силу жодному з фахівців класичної підготовки вищезазначених напрямків без допомоги фахівців суміжних областей, і тут спільна творча робота фахівців трьох напрямків просто необхідна. Але більшої ефективності можна очікувати, якщо все той же механік володіє хоча б загальними знаннями в суміжних областях. При цьому, що стосується програмної частини, то тільки теоретичних знань тут недостатньо. Необхідний практичний досвід розробки алгоритмів, оскільки це та галузь знань, яку вкрай складно формалізувати.

8. Аналіз характеристик інформаційних потоків і обчислювальних процесів. Даний етап виконується фахівцями в області електротехніки, електроніки, програмування і, якщо необхідно, інших напрямків, без обов'язкової участі механіка. Мета його виконання – на підставі результатів раніше виконаних етапів оцінити можливість і ефективність реалізації машини згідно з розробленою функціональною схемою, і в разі виявлення помилок і нерациональних рішень повернутися до попередніх етапів з відповідними корективами. У певних випадках має сенс провести порівняльний аналіз декількох варіантів проекту.

При виконанні даного етапу необхідно дати відповіді на наступні питання.

- Чи раціонально обрані типи двигунів?
- Чи раціонально обрані типи датчиків?
- Яка економічна доцільність застосування саме цих типів і чи можливі інші варіанти?
- Якою буде складність алгоритму роботи системи управління і програмного забезпечення відповідно до розробленої технології, кінематикою, математичними моделями кінематичних зв'язків і вимогами по точності і швидкодії?
- Які апаратні засоби знадобляться для реалізації системи управління?
- Яким повинен бути інтерфейс оператора?
- Яка економічна доцільність застосування таких апаратних засобів, і які можливі зміни в проекті з метою зниження вартості і підвищення надійності електромеханічної та апаратної частини без шкоди для інших характеристик?
- Які можливі зміни в проекті з метою спрощення програмної частини, зниження трудомісткості її розробки, зниження ймовірності збоїв без шкоди для інших характеристик?

9. Розробка переліку параметрів підлягають контролю і переліку реакцій на зміни цих параметрів. Мехатронні верстати в переважній більшості випадків проектуються під автоматичний або напівавтоматичний режим роботи. Для надійної роботи в цих режимах,

виключення нещасних випадків і пошкоджень обладнання верстат обов'язково повинен мати систему блокувань і самодіагностики. Власне сама ця система розробляється електронніками і програмістами. Завдання механіка на цьому етапі – сформулювати вичерпний перелік контрольних параметрів і їх комбінацій, а також перелік реакцій системи на їх зміни, що дозволить з максимально можливою надійністю уникнути аварійних і небезпечних для персоналу ситуацій.

10. Технічне завдання на розробку схеми електричної принципової. Це формальний етап, на якому з інформації, отриманої на попередніх етапах, вибираються вихідні дані для розробки електричної та електронної частин верстата. До них відносяться: функціональна схема, типи двигунів і їх основні характеристики, типи датчиків і їх основні характеристики, вимоги по точності і динаміці до всіх сигналів (керованим параметрам), задіяним в електричній частині, вимоги до інтерфейсу оператора. Після опрацювання технічного завдання відповідним фахівцем можливе чергове внесення коректив в результати попередніх етапів.

11. Розробка укрупненого алгоритму роботи системи управління. Укрупнений або спрощений алгоритм роботи системи управління є основою технічного завдання на розробку програмного забезпечення. Його розробку рекомендується виконувати в кілька етапів. За основу береться раніше розроблена технологія обробки виробу, цикл роботи верстата і кінематика робочих рухів. Вони зображуються у вигляді блок-схеми алгоритму. Потім ця блок-схема поступово деталізується з урахуванням принципів роботи окремих підсистем вузлів і елементів. Для ефективного виконання цього етапу перші наближення повинен виконувати механік, і для цього йому необхідно досить чітко уявляти принципи роботи і можливості тих мікропроцесорних засобів, на базі яких передбачається будувати систему управління, а також орієнтуватися в електричній та електронній частинах верстата. При відсутності цих знань даний етап повинен виконуватися в тандемі з програмістом і електронником, але основу алгоритму так чи інакше повинен дати механік.

12. Технічне завдання на розробку програмного забезпечення складається з розробленої блок-схеми алгоритму роботи системи управління, кількісних характеристик усіх параметрів, задіяних в програмній частині верстата, а також вимог до інтерфейсу оператора і, якщо необхідно, вимог до зовнішніх каналів зв'язку.

13. Уточнення параметрів і структури машини після розробки програмного забезпечення. В процесі розробки програмного забезпечення деякі завдання, закладені в алгоритмі, можуть виявитися нереалізованими на обраних апаратних засобах, що потребують перегляду попередніх технічних рішень або вибору інших апаратних засобів. Або, навпаки, програміст може виявити більш раціональні програмно-апаратні рішення, що, знову таки, вимагатиме перегляду попередніх технічних рішень.

14. Розробка технічного проекту є формальним етапом розробки і являє собою оформлювальну роботу за результатами попередніх етапів. Склад технічного проекту нічим не відрізняється від традиційного підходу і в описі не потребує.

15. Макетування машини і системи управління. Цей етап є обов'язковим при конструюванні машин високої складності, а для машин середньої складності – вельми бажаним. Крім того, для електронної та електричної частин макетування бажано навіть для машин низької складності, а для складних – обов'язково. Мета макетування – при мінімальних затратах забезпечити повноцінну перевірку працездатності і відсутності помилок в електронній частині, а також можливість налагодження програмного забезпечення на «живому» об'єкті управління. Як показує практичний досвід переважної більшості програмістів, навіть нескладні програми практично завжди вимагають пошуку помилок і налагодження, і особливо це відноситься до програмного забезпечення для мікроконтролерів. Не дивлячись на наявність великої різноманітності програмних симуляторів для мікропроцесорних засобів, тільки наявність діючого макету системи управління в сукупності із засобами внутрішньо-

схемного налагодження дає повноцінні можливості для перевірки і налагодження програмного забезпечення. Слід зазначити, що необхідність точного макетування механічної частини виникає вкрай рідко, в основному для складних машин. Крім того, витрати на макетування механічної частини, як правило, на порядок перевищують витрати на макет системи управління. У більшості випадків достатньо створення спрощеного макета механіки, який би виконував всі рухи проєктованої машини і давав можливість отримати всі необхідні сигнали зворотних зв'язків.

16. Розробка робочого проєкту машини, як і розробка технічного проєкту, повністю збігається з традиційним підходом і виконується відповідно до вимог і стандартів підприємства-виготовлювача.

ВИСНОВКИ

В роботі було показано, що застосування мехатронних вузлів і систем в верстатобудуванні дозволяє істотно поліпшити ряд важливих показників верстатного устаткування, це підтверджується практичним досвідом ряду фірм-виробників металорізальних верстатів., Однак деякі питання залишаються недостатньо розробленими до рівня, достатнього для застосування в інженерній практиці. В першу чергу це стосується систем адаптивного управління, в зв'язку з чим це питання можна позначити як перспективний напрямок досліджень в рамках теми мехатронних верстатних вузлів і систем.

Запропонована методика проєктування дає загальний алгоритм дій, що дозволяє узгодити роботу фахівців різних напрямків при розробці мехатронних машин і вузлів. Однак аналіз деяких етапів цієї методики показує, що її застосування не виключає необхідності проведення додаткових наукових досліджень, переважно на стиках декількох наукових напрямків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Мехатроніка : пер. з япон. / Ісії Т., Сімояма І., Іноуе Х. та ін. – М. : Світ, 1988 - 318 с.*
2. *Garduno-Aparicio, M ; Rodriguez-Resendiz, J ; Macias-Bobadilla, G A Multidisciplinary Industrial Robot Approach for Teaching Mechatronics-Related Courses IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION Pages: 55-62 DOI: 10.1109/TE.2017.2741446 Published:FEB 2018*
3. *By: Wang, Y ; Zhu, Y ; Yu, Y Simulating Industry: A Holistic Approach for Bridging the Gap between Engineering Education and Industry. Part II: Practice in Mechatronics Engineering, INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING EDUCATION Pages: 174-180 Published:2015.*
4. *Ковальов В. Д. Підвищення жорсткості гідростатических опор за рахунок застосування системи автоматичного регулювання з двома диференціюючими ланками / В. Д. Ковальов, М. С. Мельник // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2013. – Вип. № 32. – С. 131–137.*
5. *Ковальов В. Д. Розробка методики управління режимами обробки на важкому токарному верстаті за допомогою PLC модулів / В. Д. Ковальов, М. С. Мельник, І. К. Березовська // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2014. – Вип. № 35. – С. 74–82.*
6. *Проектирование металлорежущих станков и станочных систем : справочник-учебник в 3-х т. Т. 1. Проектирование станков / А. С. Проников, О. И. Аверьянов, Ю. С. Аполлонов и др.; под общ. ред. А. С. Проникова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана : Машиностроение, 1994. – 444 с.*

Стаття надійшла до редакції 11.02.2018 р.