

УДК 621.3.083.1:631.415

О.В. Суботін (канд. техн. наук, доц.), С.П. Сус (канд. техн. наук, доц.)
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ
кафедра автоматизації виробничих процесів
E-mail: o.v.subotin@ukr.net, susstepan52@gmail.com

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОГІКО-ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ФРЕЗЕРУВАННЯ

Розроблено логіко-динамічну модель процесу фрезерування з метою підвищення точності обробки методом вироблення корекції керуючих впливів. Виявлено конструктивно-технологічні фактори, що впливають на точність обробки. Проаналізовано методи моделювання верстатних систем і недоліки існуючих моделей. Було досліджено логіко-динамічну модель процесу фрезерування. Керування обладнанням здійснюється після попередньої перевірки реакції системи на сигнал завдання на відповідній моделі. Коригування сигналу завдання здійснюється згідно зі заданими ваговими коефіцієнтами для складових логіко-динамічної моделі. Отримано перехідні процеси, що характеризують роботу динамічної системи верстата. Результати підтвердили доцільність використання запропонованого методу коригування сигналу завдання шляхом застосування в моделі коригувальних фільтрів з можливістю зміни їх вагових коефіцієнтів.

Ключові слова: верстат, процес фрезерування, логіко-динамічна модель, методи досліджень, точність, вагові коефіцієнти, перехідні процеси.

DOI: 10.31474/2075-4272-2018-1-31-6-13

Загальна постановка проблеми. Основні завдання, що стоять перед вітчизняним верстатобудуванням, зводяться до підвищення продуктивності, точності обробки для досягнення найкращих техніко-економічних показників і підвищення конкурентоспроможності, надійності металорізальних верстатів. Вирішення цих завдань досягається завдяки застосуванню передових технологій обробки під час використання систем керування та раціонального використання ресурсів [1].

У теперішній час методика аналізу та синтезу динамічних систем приводу верстатів розроблена недостатньо, а відсутність подібної методики призводить, зазвичай, до помилок, які важко усунути на практиці [2]. Для вивчення та виявлення закономірностей обробки деталей вдаються до їх дослідження за допомогою моделей, які відображають основні властивості явищ. На основі моделей вирішуються завдання надійності та оптимального вибору параметрів механічних пристроїв [3].

Важливою особливістю динаміки фрезерних верстатів є надзвичайно широкий діапазон зміни параметрів динамічної системи верстата. Ця особливість підкреслює важливість розробки загальних методів динамічного аналізу та синтезу поряд з вузько направленими рекомендаціями, які широко поширені в теперішній час, і визначає побудову роботи, в основу якої покладено висвітлення загальних положень, що ілюстровано окремими прикладами з практики. Проте відразу охопити все різноманіття часткових особливостей динамічних явищ у верстатах неможливо.

Відхилення стійкої динамічної системи фрезерного верстата під впливом зовнішніх впливів різного виду визначають можливість досягнення необхідного рівня точності оброблюваної деталі, продуктивності обробки та довговічності (стійкості) верстата та інструмента [4].

Під час розгляду питань точності обробки будь-який процес різання може бути представлений як система автоматичного регулювання, що характеризується певним коефіцієнтом уточнення. Однак, це, в свою чергу, вимагає розробки алгоритмів відповідних перетворень. Більшість відомих методів [3, 5] розробки зазначених алгоритмів придатні лише для умов особливо стабільного масового виробництва, де прийнятні основоположні припущення про те, що характеристики факторів, що діють на вході технологічної системи, і сигналів, що виходять з неї (розмірних параметрів виготовлених деталей), відомі та незмінні в часі, що відповідає повній апіорній визначеності.

Постановка задач дослідження. Метою статті є розробка засобів та інформаційної технології підвищення ефективності процесу фрезерування. Досягнення мети забезпечується розв'язанням таких завдань:

- встановлення впливу конструктивно-технологічних факторів на точність обробки;
- аналіз методів моделювання верстатних систем та існуючих моделей;
- розробка та дослідження логіко-динамічної моделі процесу фрезерування для підвищення точності обробки методом вироблення корекції керуючих впливів.

Результати розробок і досліджень. Під час динамічних досліджень на практиці широко застосовуються як експериментальні, так і теоретичні методи аналізу систем. Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки. Якщо експериментальні методи дозволяють отримати більш точне уявлення про конкретний об'єкт після його виготовлення, то теоретичні ще на стадії проектування дають можливість прогнозувати динамічні процеси, що відбуваються в системі. Складаються розрахункові схеми динамічних систем і уточнюються такі параметри верстата, як жорсткість пружних зв'язків, частоти та амплітуди коливань робочих органів та інші [6, 7].

На рисунку 1 представлена вихідна динамічна схема поздовжньо-фрезерного верстата, а на рисунку 2 – динамічна перетворена схема цього верстата. На рисунках 1 та 2 прийняті такі позначення: c_1 (c'_1) – жорсткість пружини; h_1 (h'_1) – коефіцієнт демпфірування; маса m_{20} (m'_{20}) – повзун, що здійснює розгойдувальні коливання та має момент інерції I ; $k_{\theta 2}$ ($k'_{\theta 2}$) – кутова жорсткість з'єднання повзуна з кареткою.

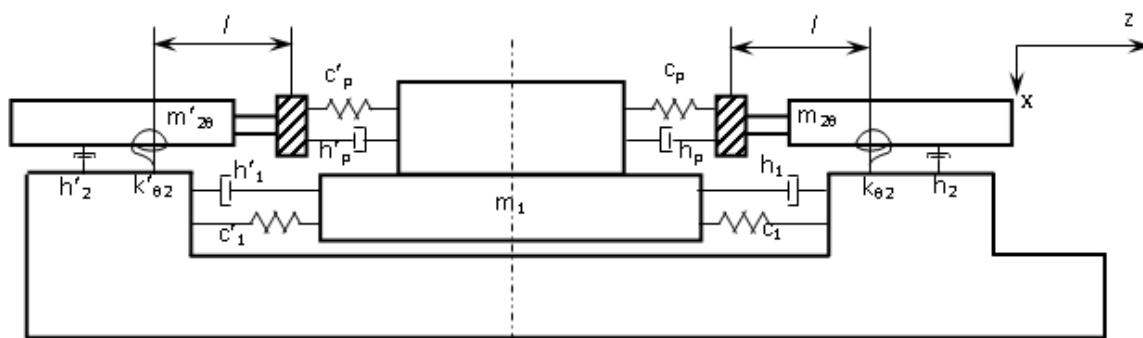


Рисунок 1 – Динамічна вихідна схема верстата

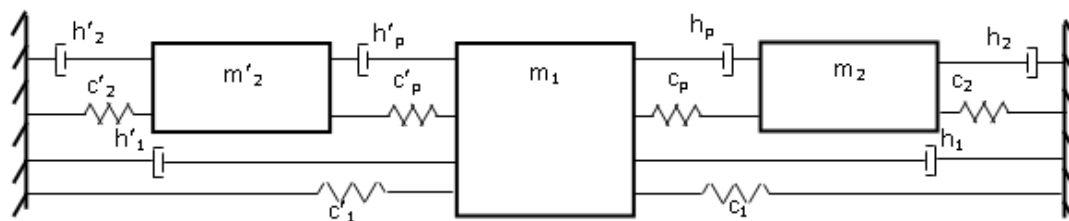


Рисунок 2 – Динамічна перетворена схема верстата

Методика проведення експериментальних досліджень полягала в побудові моделі головного руху та приводу подачі фрези й дослідження отриманих перехідних процесів [8]. Експерименти з моделлю дозволяють отримувати інформацію щодо поведінки та властивості об'єкта, що досліджується, не без проведення експерименту, а граничні випробування не завдадуть небажаних наслідків верстатній системі. Під час проектування нових технічних об'єктів моделювання (тобто побудова та подальше випробування моделі) дозволяє виявити працездатність та якість роботи проектного об'єкта до його фізичного втілення.

Для поліпшення роботи приводів у сигнал завдання вноситься коригувальний вплив. Сигнали керування надходять окремо на модель приводу подачі фрези і модель приводу головного руху, а в лінії надходження сигналу на виконавчий механізм забезпечується затримка в часі. Аналіз отриманих модельних даних дозволив задати вагові коефіцієнти коригувальних фільтрів і підсумувати похибки з урахуванням ваг. У результаті отримано похибку, на яку необхідно відкоригувати сигнал керування. На рисунку 3 наведена структурна схема моделі формування коригувального сигналу.

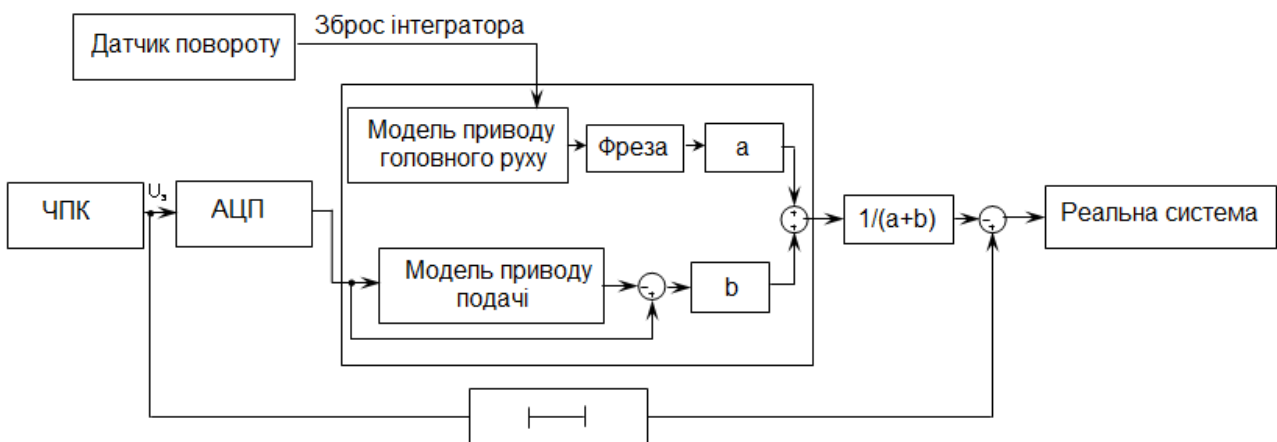


Рисунок 3 – Структурна схема моделі формування коригувального сигналу

У запропонованій моделі можна спостерігати реакцію системи на заданий сигнал і вносити корективи відповідно до вагових коефіцієнтів a та b ще до початку її роботи. На рисунку 4 представлена модель приводу головного руху.

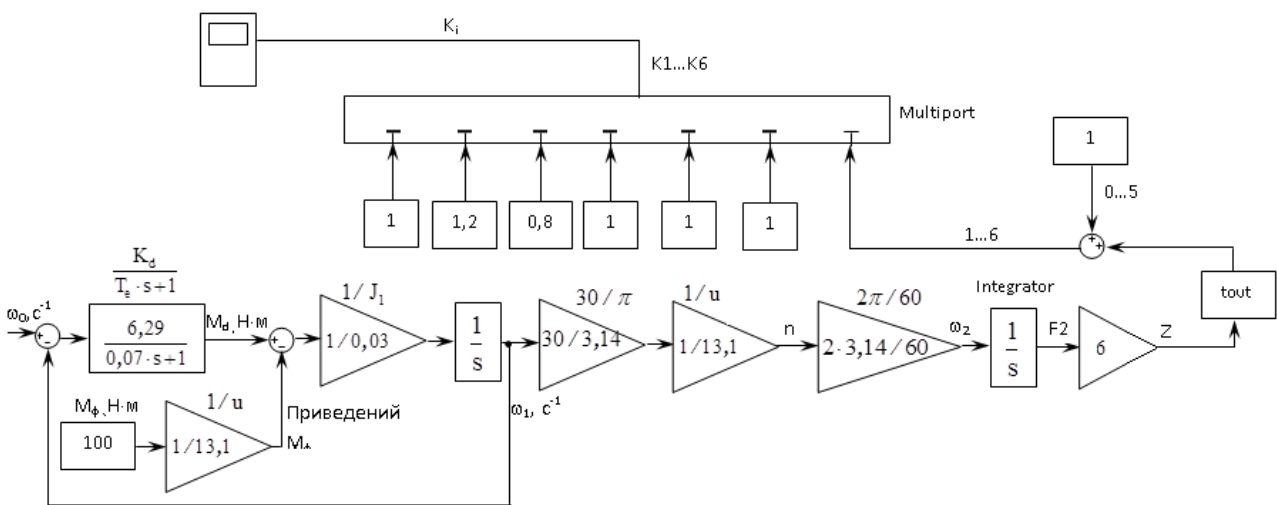


Рисунок 4 – Модель приводу головного руху

Модель приводу головного руху має канал формування корегувального сигналу з відповідними ваговими коефіцієнтами, що відповідає розробленій схемі моделі формування коригувального сигналу. Аналогічним чином створюється модель каналу керування приводом подачі фрези. Експериментальні дослідження проводилися на персональній ЕОМ за допомогою програмного додатка MatLab.

В основу автоматизованих електроприводів головного руху та подачі фрези покладено ідею оптимального перехідного процесу. Основним завданням є синтез оптимальних систем автоматизованого керування електроприводом – створення такої системи, яка забезпечує прийнятний перехідний процес для певних умов роботи приводу. Тобто отримання динамічної точності на рівні (5 – 10)%, високої швидкодії та абсолютної стійкості. Це можливо завдяки оптимізації їх змінної частини, в якості якої виступають корегувальні пристрої (регулятори) відповідних контурів регулювання.

На рисунках 5 і 6 представлені перехідні процеси, які отримані під час моделювання приводу головного руху без коригувального впливу і після його внесення відповідно.

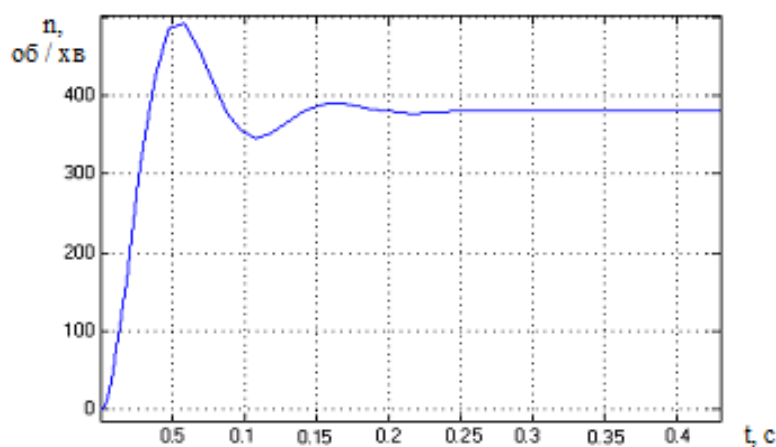


Рисунок 5 – Перехідний процес без коригувального впливу

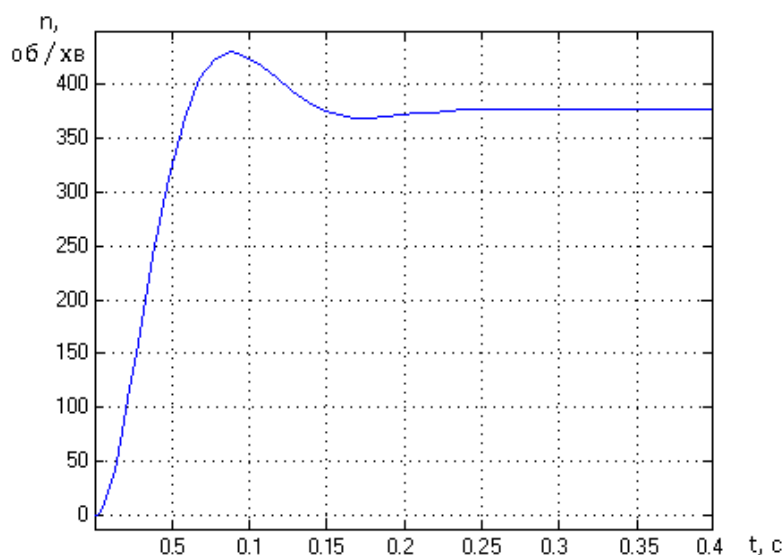


Рисунок 6 – Перехідний процес під час внесення коригувального впливу

З аналізу перехідних процесів, які отримано під час моделювання, можна зробити такі висновки: перехідні процеси без внесення коригувального впливу не задовольняють вище викладеним вимогам. Під час роботи приводу головного руху в системі спостерігаються коливальні процеси, перерегулювання становить 37 %, час перехідного процесу 0,25 с.

Введення коригувального впливу дозволило поліпшити умови регулювання – отримати аперіодичний перехідний процес під час роботи приводу головного руху, перерегулювання зменшити до 10 %, а перехідний процес довести до 0,23 с.

На рисунку 7 представлена модель приводу подачі фрези, яку побудовано за принципом послідовної корекції, з підлеглим регулюванням параметрів електропривода – струму, швидкості та переміщення.

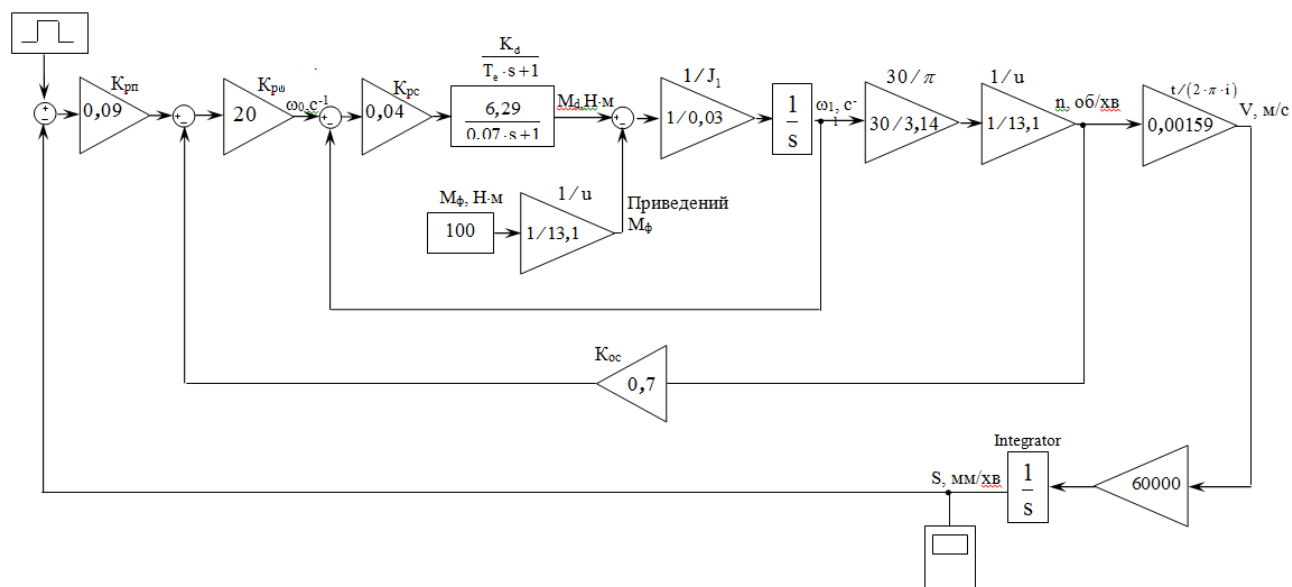


Рисунок 7 – Модель приводу подачі фрези

На рисунках 8 і 9 показані діаграми, які знято з виходу чергування пластин моделі процесу різання без коригувального впливу та після внесення коригувального впливу, відповідно.

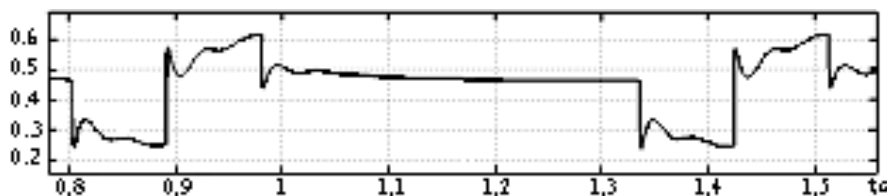


Рисунок 8 – Діаграма процесу різання без коригувального впливу

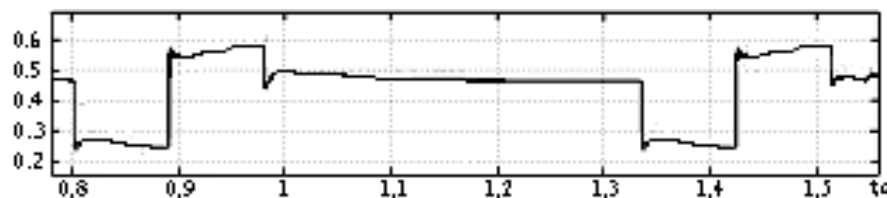


Рисунок 9 – Діаграма процесу різання під час введення коригувального впливу

Під час роботи приводу подачі фрези відхилення розміру обробки становить 0,02 мм. Під час аналізу отриманих даних на діаграмах процесу різання можливо завдання вагових коефіцієнтів коригувальних фільтрів. Під час аналізу похибки на основі ваг, отримали таку величину похибки, на яку необхідно відкоригувати сигнал керування. Під час роботи приводу подачі фрези з введенням коригувального впливу відхилення розміру обробки поліпшилось до 0,009 мм. Отримані результати відповідають заданим умовам відхилень.

Висновки.

Розроблено та досліджено логіко-динамічну модель процесу фрезерування для підвищення точності обробки методом вироблення корекції керуючих впливів. Виявлено конструктивно-технологічні фактори, що впливають на точність обробки. Проаналізовано методи моделювання верстатних систем і недоліки існуючих моделей. Керування обладнанням здійснюється після попередньої перевірки реакції системи на сигнал завдання на відповідній моделі. Коригування сигналу завдання здійснюється згідно зі заданими ваговими коефіцієнтами для складових логіко-динамічної моделі.

Під час дослідження отриманих перехідних процесів з моделі та діаграм можна зробити висновок, що перехідні процеси без внесення коригувального впливу не задовольняють бажаним вимогам. Коригувальний вплив вноситься до сигналу керування (завдання для електроприводів верстата) з ваговими коефіцієнтами. Сигнали керування надходять окремо на модель приводу подачі фрези та модель приводу головного руху, а в лінії надходження сигналу на виконавчий механізм забезпечується затримка за часом. В результаті отримують відкоригований на необхідну величину похибки сигнал керування. Таким чином збільшують точність роботи системи керування приводами верстата, що, в свою чергу, підвищує точність позиціонування робочого органу, а отже і точність обробки деталі.

Перелік використаної літератури

1. Klymenko, G.P. Ways of increase of efficiency of metal working on heavy machine tools / G.P.Klymenko, O.V.Subotin // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу». – Херсон: ХНТУ, 2016. – № 2. – С. 140 – 142.
2. Єнікєєв, О.Ф. Основи синтезу і проектування слідкуючих систем верстатів і промислових робіт. Навчальний посібник / О.Ф. Єнікєєв, О.В. Суботін. – Краматорськ: ДДМА, 2009. – 267 с.
3. Єнікєєв, О.Ф. Комп'ютерна система програмного керування процесом алмазного шліфування / О.Ф. Єнікєєв, О.В. Суботін, О.В. Разживін та ін. // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація». – Покровськ, 2017 – № 1 (30). – С. 147 – 158.
4. Клименко, Г.П. Управление процессом эксплуатации инструмента при обработке деталей на тяжелых станках / Г.П. Клименко, О.В. Суботин // Збірник наукових праць «Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем». – Краматорськ, 2015. – № 37. – С. 88 – 92.
5. Донченко, Е.И. Практическое использование способа повышения эффективности анализа нестационарных последовательностей в вибрационном сигнале при торцевом фрезеровании / Е.И. Донченко, А.И. Донченко // Збірник наукових праць «Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем». – Краматорськ, 2012. – № 30. – С. 298 – 302.
6. Сорокин, Т.И. Моделирование процесса фрезерования с расчётом сил резания по методу Розенберга / Т.И. Сорокин, Е.И. Донченко // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – Краматорськ: ДДМА, 2016. – № 2 (20Е). – С.81 – 89.
7. Суботін, О.В. Підвищення продуктивності верстата шляхом модернізації його системи керування / О.В. Суботін, Р.А. Бородай // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – Краматорськ: ДДМА, 2018. – № 1(43). – С. 82 – 85.
8. Суботін, О.В. Математическое описание цифровой системы управления электроприводом постоянного тока / О.В. Суботин, В.О. Ставицкий // Збірник наукових праць «Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем». – Краматорськ, 2013. – № 32. – С. 386 – 391.

References

1. Klymenko, G.P. and Subotin, O.V. (2016), "Ways of increase of efficiency of metal working on heavy machine tools", *Proc. of the International scientific conference "Modern technologies of the industrial complex"*, KHNTU, Kherson, vol.2, pp. 140-142.
2. Enikeev, O.F. and Subotin, O.V. (2009), *Osnovy syntezy i proektuvannya slidkuyuchykh system verstativ i promyslovykh robotiv Navchal'nyy posibnyk* [Fundamentals of synthesis and design of follow-up systems of machine tools and industrial robots. Tutorial], DDMA, Kramatorsk, Ukraine.
3. Enikeev, O.F., Subotin, O.V., Razzhivin, O.V. and Abramska, I.B. (2017), "Computer system of software control of the diamond grinding process", *Naukovi pratsi DonNTU. Seriya: Obchyslyval'naya tekhnika ta avtomatyzatsiya*, vol.1 (30), pp.147-158.
4. Klymenko, G.P. and Subotin, O.V. (2015), "Management of the process of operation of the tool in the processing of parts on heavy machine tools", *Nadiynist' instrumentu ta optymizatsiya tekhnolohichnykh system*, vol.37, pp.88 – 92.
5. Donchenko, E.I. and Donchenko, A.I. (2012), "Practical use of the method to increase the efficiency of analysis of non-stationary sequences in a vibration signal during face milling", *Nadiynist' instrumentu ta optymizatsiya tekhnolohichnykh system*, vol.30, pp.298 – 302.
6. Sorokyn, T.I. and Donchenko, E.I. (2016), "Modeling of the milling process with calculation of cutting forces according to the Rosenberg method", *Visnyk Donbas'koyi derzhavnoyi mashynobudivnoyi akademiyi*, vol.2 (20E), pp.81-89.
7. Subotin, O.V. and Boroday, R.A. (2018), "Improve machine productivity by upgrading its control system", *Naukovyy Visnyk Donbas'koyi derzhavnoyi mashynobudivnoyi akademiyi*, vol.1(43), pp. 82-85.
8. Subotin, O.V. and Stavitsky, V.O. (2013), "Mathematical description of digital control system of electric drive of a direct current", *Nadiynist' instrumentu ta optymizatsiya tekhnolohichnykh system*, vol.32, pp.386-391.

О.В. Субботин, С.П. Сус

Донбасская государственная машиностроительная академия

Разработка и исследование логико-динамической модели процесса фрезерования

Разработана логико-динамическая модель процесса фрезерования с целью повышения точности обработки методом выработки коррекции управляющих воздействий. Выявлены конструктивно-технологические факторы, влияющие на точность обработки. Проанализированы методы моделирования станочных систем и недостатки существующих моделей. Была исследована логико-динамическая модель процесса фрезерования. Управление оборудованием осуществляется после предварительной проверки реакции системы на сигнал задания на соответствующей модели. Корректировка сигнала задания осуществляется в соответствии с заданными весовыми коэффициентами для составляющих логико-динамической модели. Получены переходные процессы, характеризующие работу динамической системы станка. Результаты исследований подтвердили целесообразность использования предложенного метода коррекции сигнала задания путем применения в модели корректирующих фильтров с возможностью изменения их весовых коэффициентов.

Ключевые слова: станок, процесс фрезерования, логико-динамическая модель, методы исследований, точность, весовые коэффициенты, переходные процессы.

O.V. Subotin, S.P. Sus.

Donbass State Engineering Academy

Development and research of the logical-dynamic model of the milling process

A logical-dynamic model of the milling process has been developed with the aim of improving the

accuracy of processing by the method of generating a correction of control actions. Structural and technological factors affecting the accuracy of processing were identified. The methods for modeling machine tools and the shortcomings of existing models were analyzed. The logical-dynamic model of the milling process was investigated. The equipment is controlled after a preliminary check of the system response to the reference signal on the corresponding model. The analysis of the transients and diagrams obtained in the course of the simulation has led to the conclusion that the transient processes without introducing corrective action do not satisfy the desired requirements. When the main motion drive is in operation, oscillatory processes are observed in the system, the overshoot is 37%, the transient time is 0.25 s. When the cutter feed drive is in operation, the machining size deviation is 0.02 mm. To improve the performance of the drives in the reference signal corrective action is made. The control signals are sent separately to the cutter feed drive model and the main motion drive model, and a time delay is provided in the signal arrival line to the actuator. The analysis of the obtained model data allows you to set the weights of the correction filters and to summarize the errors taking into account the weights. As a result, the error is obtained, which is necessary to adjust the control signal. As a result, the resulting transient when the drive of the main motion became aperiodic, the overshoot is 10%, the transient is set in 0.23 s. When the cutter feed drive is operating, the machining size deviation is 0.009 mm. The results obtained correspond to the specified values of deviations. Thus, the accuracy of the drive control system of the machine increases, the positioning accuracy of the working body increases, and consequently, the accuracy of part processing.

Key words: machine, milling process, logical-dynamic model, research methods, accuracy, weighting factors, transients.



Суботін Олег Володимирович, Україна, закінчив Донбаську державну машинобудівну академію, к.т.н., доцент, доцент кафедри автоматизації виробничих процесів Донбаської державної машинобудівної академії (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна).

Основний напрямок наукової діяльності – розробка та дослідження систем автоматизованого керування технологічними процесами в металургії та машинобудуванні, розробка інформаційно-вимірювальних систем контролю технологічних параметрів виробничих процесів.



Сус Степан Павлович, Україна, закінчив Вінницький політехнічний інститут, к.т.н, доцент, доцент кафедри автоматизації виробничих процесів Донбаської державної машинобудівної академії (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна).

Основний напрямок наукової діяльності – розробка та дослідження інформаційно-вимірювальних систем контролю технологічних параметрів виробничих процесів, дослідження безконтактних методів контролю технологічних параметрів у важкодоступних зонах.