

manufacture of balls with a diameter of 40 and 120 mm was in the range of 0.7-0.75 kg / s and 1.65-1.70 kg / s, respectively. The metal casting was carried out at temperatures of 1320-1340 ° C and 1360-1380 ° C. The dosage accuracy was determined by weighing the metal of the poured balls and the molding system of the mold.

Mathematical processing of the results of the dosing showed that in the manufacture of balls with a diameter of 40 mm at a temperature of 1320 ° C the error of dosing is 10-11%. With increasing iron temperature, the dosage error decreases and at a metal temperature of 1370 ° C is 5-6%. In the manufacture of balls with a diameter of 120 mm at a temperature of iron 1330, the dosage error is 7-8%, and at a temperature of 1360 ° C - 3-4%.

The study of the characteristics of the casting and dosing process of cast iron in the chill mold allowed us to develop the technology of casting cast iron melts, which provided the required metering accuracy and high productivity of the conveyor production of grinding bodies.

cast iron, melt, magnetodynamic installation, chill mold, control circuit

Одержано (Received) 16.04.2020

Прорецензовано (Reviewed) 14.05.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 621.937.5

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).169-174](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).169-174)

І.А. Березюк, доц., канд. техн. наук, **О.П. Голик**, доц., канд. техн. наук,

В.П. Солдатенко, канд. техн. наук

Центральнoукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: sharovalovai@ukr.net

Динамічне проектування оптимальної системи стохастичної стабілізації потужності різання для стрічкопилкового верстата

Запропоновано методологічні основи створення оптимальної системи стохастичної стабілізації потужності різання для стрічкопилкового верстата на основі динамічного проектування. Використання новітніх методів структурної ідентифікації для визначення моделей динаміки «системи деревообробний верстат – процес різання» та діючого збурення, методів оптимального синтезу дозволяють забезпечити максимальну якість керування обробкою деревини на зазначеному верстаті при мінімальних затратах та заданих характеристиках оброблюваної поверхні.

стрічкопилковий верстат, структурна ідентифікація, спектральна щільність, передаточна функція, критерій якості, стохастичні збурення, оптимальна система стохастичної стабілізації

І.А. Березюк, доц., канд.техн.наук, **О.П. Голик**, доц., канд.техн.наук, **В.П. Солдатенко**, канд. техн. наук

Центральнoукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Динамическое проектирование оптимальной системы стохастической стабилизации мощности резания для ленточнопильного станка

Предложены методологические основы построения оптимальной системы стохастической стабилизации мощности резания для ленточнопильного станка на основе динамического проектирования. Использование новых методов структурной идентификации для определения моделей динамики системы «деревообрабатывающий станок-процесс резания» и действующего возмущения, методов оптимального синтеза позволяют обеспечить максимальное качество управления обработкой древесины на данном станке при минимальных затратах и заданных характеристиках обрабатываемой поверхности.

ленточнопильный станок, структурная идентификация, передаточная функция, критерий качества, спектральная плотность, стохастические возмущения, оптимальная система стохастической стабилизации

Постановка проблеми. Останнім часом на підприємствах деревообробної галузі України відбувається стабільне нарощування обсягів виробництва. Важливе місце в структурі деревообробної промисловості займає лісопильне виробництво. Перед українськими лісопильними підприємствами на сучасному етапі стоїть задача переходу від екстенсивного розвитку до інтенсивного, при якому шляхом підвищення технічної культури виробництва та використання нових, високих технологій забезпечується значне підвищення продуктивності праці та споживчих властивостей продукції при мінімальних витратах сировини, енергії та трудових ресурсів.

На сьогоднішній день найбільш розповсюдженими лісопильним обладнанням є стрічкові пилорами. Розпилування деревини на пиломатеріали на верстатах даного класу є енергоємною та важливою операцією при виконанні первинної обробки деревини. Енергетичні затрати при цьому залежать від фізико – механічних властивостей деревини, енергетичних характеристик деревообробного верстату та режиму різання.

Ефективність технологічного процесу розпилування визначається успішністю отримання пиломатеріалів з заданими якістю поверхні, формою та розмірами при мінімально можливих витратах енергії, ресурсів, часу, коштів та залежить від багатьох факторів. Зокрема на неї суттєво впливають збурення, які діють під час обробки. Основними з них є анізотропія властивостей деревини, зміна стану ріжучого інструменту та обладнання.

Розробка нових ефективних принципів та методів побудови систем управління обробкою, що враховують динаміку збурень, які виникають в процесі обробки є складною актуальною науково-технічною задачею. Її вирішення сприятиме зменшенню собівартості і витрат енергії при виконанні обробки на стрічкопилкових верстатах, підвищенню продуктивності і забезпеченню конкурентоспроможності продукції деревообробної промисловості України на внутрішньому та зовнішньому ринках.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досягти підвищення енергетичної ефективності процесу обробки можна за рахунок застосування систем управління процесом обробки на верстаті, які стабілізують силові параметри різання: потужність різання, зусилля різання, момент різання [1, 3]. Найбільшого розповсюдження для стрічкових пилорам, набули системи стабілізації потужності різання. Саме використання зазначених систем, як показано в працях [1, 3, 4, 5, 9], дозволить здійснити реалізацію енергозберігаючих режимів роботи на стрічкових пилорамах, підвищити якість та точність обробки, скоротити витрати сировини.

На сьогоднішній день відома значна кількість конструктивних рішень та схемних розробок, які відрізняються одна від одної кількістю параметрів, що контролюються, а також принципами побудови автоматичних регуляторів. Широкого розповсюдження набули системи стабілізації потужності різання з використанням паралельних та послідовних коректуючих пристроїв, адаптивних спостерігачів, упереджувальної корекції, системи із змінною уставкою.

Аналіз їх роботи показав, що кожна із наведених систем стабілізації володіє певними недоліками, зокрема низька швидкодія та значне перерегулювання; погіршення точності підтримання на заданому рівні регульованого параметру; забезпечення заданої якості обробки при значних енергетичних затратах. Це не дозволяє отримати максимальну якість керування. Рівень якості керування, який може бути досягнутий в системах побудованих на основі зазначених підходів є обмеженим, оскільки при виконанні розрахунків, як правило, вважають структуру використовують задану структуру моделі об'єкта керування та регулятора, а визначають тільки параметри [1, 3, 4, 5, 9].

Таким чином, обґрунтування методологічних основ та створення практичної технології побудови систем стабілізації потужності різання для стрічкопилкових

верстатів для забезпечення заданої якості оброблюваної поверхні з мінімальними енергетичними витратами в умовах виробництва, і, які б мали просту технічну реалізацію без внесення змін в конструкцію верстата, є актуальним складним науково-технічним завданням. Успішне розв'язання цього завдання пов'язане з використанням сучасних наукових підходів та обчислювальних алгоритмів, зокрема динамічного проектування [2, 7, 10, 11]. Це дозволить враховувати особливості динаміки верстату разом з приводами в реальних умовах функціонування, стохастичний характер зміни стану ріжучого інструменту, внутрішнього стану заготовки в процесі виконання обробки.

Постановка завдання. В даній роботі подано науково-обґрунтовані методологічні основи побудови оптимальної системи стохастичної стабілізації потужності різання на основі динамічного проектування з урахуванням моделей системи «деревообробний верстат – процес різання» (ДВПР) та збурень визначених за результатами натурних випробувань її прототипу для досягнення максимальної якості процесу керування обробкою на стрічкопилкових верстатах.

Виклад основного матеріалу. Досягнення мети роботи пов'язане із розробкою нової технології створення систем зазначеного класу на основі динамічного проектування з урахуванням моделей динаміки об'єкту управління та збурень з використанням квадратичного критерію [2, 7, 8, 11].

Методологія побудови оптимальної системи стохастичної стабілізації на основі динамічного проектування містить наступні стадії (етапи)

- визначення моделей динаміки системи "деревообробний верстат – процес різання" та збурень, які виникають в процесі обробки за результатами експерименту в умовах виробництва;
- розробки процедури визначення структури та параметрів оптимального регулятора для зменшення впливу діючих в процесі обробки збурень;
- оцінювання якості системи при зміні фізико – механічних властивостей деревини та ріжучої здатності інструменту;
- визначити граничні рубежі якості синтезованої регулятором регулятором;
- визначити показники економічної ефективності на основі результатів проведених виробничих випробувань.

На першому етапі формулюються основні теоретичні засади нової технології побудови систем стабілізації потужності різання на основі динамічного проектування, пошук методів та алгоритмів для отримання моделей динаміки системи ДВПР та збурень, синтезу оптимального регулятора, аналізу якості системи, що проектується.

Застосування алгоритмів ідентифікації, синтезу та аналізу потребує виконання значного обсягу математичних операцій. Тому на другому етапі для здійснення таких розрахунків необхідно створити спеціальні програмні комплекси з використанням сучасних систем для математичних обчислень.

Метою третього етапу є отримання моделей динаміки системи ДВПР та збурюючого впливу. Вихідними даними для виконання цього етапу є записи вхідного та вихідного сигналів отримані в результаті проведення за спеціальною методикою натурних випробувань на стрічковій пилорамі в реальних експлуатаційних умовах. За результатами проведених досліджень виконується оцінка статистичних характеристик, визначаються спектральні щільності та взаємні спектральні щільності зазначених сигналів. Для проведення подальших розрахунків здійснюється апроксимація графіків спектральних та взаємних спектральних щільностей аналітичними виразами на класі дробово-раціональних функцій.

Після цього відповідно до розробленої на попередньому етапі методики виконується структурна ідентифікація моделей динаміки системи ДВПР та збурюючого

впливу. При цьому необхідно встановити, яким чином впливають фізико-механічні властивості деревини та стан полотна стрічкової пилки на структуру і параметри передаточної функції об'єкту управління та спектральної щільності збурення. З метою прийняття рішення про подальше використання отриманих результатів здійснюється аналіз якості ідентифікації згідно обраного критерію та за необхідності відбувається спрощення (редукування) математичних моделей.

На четвертому етапі виконується синтез оптимальної системи стохастичної стабілізації потужності різання, розробка процедури отримання структури та параметрів регулятора. Вихідними даними для здійснення синтезу є моделі динаміки системи ДВПР та збурюючого впливу. Після знаходження передаточної функції регулятора відбувається обчислення обраного показника якості. На п'ятому етапі вирішуються задачі аналізу якості оптимальної системи стабілізації, визначення граничних рубежів якості системи з оптимальним регулятором.

На шостому етапі виконується розробка методики реалізації оптимальної системи стохастичної стабілізації.

На останніх етапах необхідно провести випробування розробленої системи в умовах виробництва та оцінити економічний ефект від її впровадження.

Основні результати. В результаті успішного виконання програми спеціальних експериментальних досліджень на деревообробному верстаті, належного зняття та обробки необхідної стохастичної інформації отримано оцінки динамічних характеристик сигналу з датчику струму приводу головного руху та сигналу керування приводом подачі у вигляді аналітичних виразів спектральних щільностей.

Встановлено, що спектральні щільності визначені для різних умов різання мають однакову структуру, а постійні часу та коефіцієнти демпфування змінюються не суттєво. Встановлено, що: моделі динаміки системи ДВПР представляють собою диференційні рівняння; а збурюючий вплив, який діє в системі в реальних експлуатаційних умовах, являє собою випадковий стаціонарний процес з нульовим математичним очікуванням та дробово-раціональною спектральною щільністю; узагальнений об'єкт може змінювати свої динамічні властивості в широких межах в діапазоні частот від 0.01 рад/сек до 1 рад/сек в залежності від умов різання та зміни характеристик деревини [8].

Застосування спектрального алгоритму синтезу дозволило визначити структуру та параметри оптимального регулятора, який забезпечує підвищення точності стабілізації потужності різання на два порядки при незмінній потужності сигналу керування [8].

Результати виконаних досліджень довели, що зміна параметрів об'єкту керування та збурення при застосуванні оптимального регулятора не призводить до перевищення граничних значень дисперсій сигналів [8].

Оптимальна система стохастичної стабілізації потужності різання синтезована на основі спектрального алгоритму володіє властивістю робастності для неструктурованих адитивних, мультиплікативних невизначеностей. На основі проведених досліджень можна зробити висновок про доцільність здійснення схемної реалізації отриманого регулятора і придатність до використання регулятора обраного типу в умовах виробництва [8].

Висновки. На підставі аналізу проведеного за літературними джерелами технологічного процесу обробки на деревообробних верстатах типу «стрічкова пилорама», оцінювання взаємозв'язку між технологічними параметрами та енергетичними витратами при виконанні обробки, методів побудови систем стабілізації потужності встановлено, що обробка деревини на стрічкопилкових верстатах представляє собою складний технологічний процес, який відбувається в організаційно-технічній системі. В процесі обробки виникають збурення, які пов'язані із зміною

властивостей деревини, що обробляється; станом технологічного обладнання та ріжучої здатності інструменту. При цьому необхідну якість розпилювання у більшості існуючих верстатів такого типу отримують за рахунок надлишкових витрат електроенергії, сировини та праці, оскільки при проведенні розрахунків режимів різання задаються завищеними запасами по відношенню до обмежень, пов'язаних з впливом збурюючих факторів. Тому для досягнення заданої якості оброблюваної поверхні з мінімальними енергетичними затратами обґрунтовано необхідність створення та методологічні основи нової технології синтезу автоматизованої системи керування обробкою деревини як системи стохастичної стабілізації потужності різання на основі динамічного проектування; визначено основні етапи реалізації запропонованої технології, показано взаємозв'язок між ними та послідовність виконання. Наведені основні результати застосування запропонованої технології, які доводять її ефективність.

Список літератури

1. Автоматизация типовых технологических процессов и установок / Корьгин А.М., Петров Н.К., Радимов С.Н., Шапарев Н.К. Москва: Энергоатомиздат, 1988. 432 с.
2. Азарсков, В.Н., Блохин, Л.Н., Житецкий, Л.С. Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации: монографія. Київ: Книжное изд-во НАУ, 2006. 400 с.
3. Вольнский, В. Н. Первичная обработка пиломатериалов на лесопильных предприятиях. Москва, 2005. 397 с.
4. Деревообробні верстати загального призначення: підручник / В. В. Шостак, Я. І. Савчук, А.С. Григор'єв та ін. Київ: Знання, 2007. 279 с.
5. Кірик, М. Д. Різання деревини та деревних матеріалів: навч. посібник. Львів: Український держ. лісотехнічний ун-т., 2000, 218 с.
6. Любченко, В.И. Резание древесины и древесные материалы. Москва: МГУЛ, 2004. 444 с.
7. Ньютон Дж. К. Теория линейных следящих систем/ под ред. А.М. Летова. Москва: Наука, 1961. 407 с.
8. Осадчий С.І. Методологія та етапи забезпечення максимальної якості процесу керування обробкою деревини на стрічкопилковому верстаті. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*: зб. наук. пр. Кіровогр. нац. техн. ун-ту. 2015. Вип. 28. С. 301-309.
9. Прокофьев Г. Ф., Дундин Н. И. Основные направления интенсификации переработки древесины на лесопильном оборудовании. *Известия вузов. Лесной журнал*. 2004. № 3. С. 65-72.
10. Струтинський В.Б., Мельничук П.П. Математичне моделювання металорізальних верстатів: монографія. Житомир, 2002. 570 с.
11. Блохін Л.М., Буриченко М.Ю., Білак Н.В. Статистична динаміка систем управління: підручник. Київ: НАУ, 2014. 300 с.

References

1. Korytyn, A.M., Petrov, N.K., Radymov, S.N. & Shaparev, N.K. (1988) *Avtomatyzatsiya tipovikh tekhnolohycheskykh protsessov y ustanovok [Automation of standard technological processes and installations]*. Moscow: Enerhoatomyzdat [in Russian].
2. Azarskov, V.N., Blokhyn, L.N. & Zhytetskyi, L.S. (2006). *Metodolohyia konstruyrovanyia optymalnykh system stokhastycheskoi stabylyzatsyy [Methodology of designing optimal stochastic stabilization systems]*. Kyiv: Knyzhnoe yzd-vo NAU [in Russian].
3. Volynskiy, V.N., Plastynyn, S.N. (2005). *Pervychnaia obrabotka pylomateriyalov na lesopylnykh predpriyatiakh [Primary processing of lamber on sawmiils]*. Moscow: Ryil-press [in Russian].
4. Shostak, V.V., Savchuk, Ya.I., Hryhoriev A.S., Voloshynskiy, O.O. & Pyshnyk, I.M. (2007). *Derevoobrobni verstaty zahalnoho pryznachennia [General purpose woodworking machines]*. Kyiv : Znannia [in Ukrainian].
5. Kiryk, M. D., (2000). *Rizannia derevyny ta derevnykh materialiv [Cutting of wood and wood materials]*. Lviv: Ukrainskiy derzh. lisotekhnichniy un-t [in Russian].
6. Liubchenko, V.Y. (2004) *Rezanye drevesyny y drevesnykh materyalov [Cutting of wood and wood materials]*. Moscow: MHUL [in Russian].

7. Niuton Dzh., K., (1961). *Teoriya lyneinykh slediashchykh system [Theory of linear tracking systems]* Moskva: Nauka [in Russian].
8. Osadchyi, S.I., Bereziuk, I.A. & Nedopokin, K.A. (2015). Metodolohiia ta etapy zabezpechennia maksimalnoi yakosti protsesu keruvannia obrobkoiu derevny na strichkopylkovomu verstati [Methodology and stages of insuring the maximum quality of the wood processing control on a band saw] *Zbirnyk naukovykh prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyziatsiia, Vol. 28, 301-309.* [in Ukrainian].
9. Prokofev, H. F., & Dundyn, N. Y. (2004). Osnovnye napravleniia yntensyfikatsyy pererabotky drevesyny na lesopylnom oborudovanuy [Main directions of the intensification of wood-processing on sawing equipment]. *Izvestija vuzov. Lesnoj zhurnal – Proceedings of universities. Forest Journal, 2, 65-72* [in Russian].
10. Strutynskiy, V.B. & Melnychuk, P.P. (2002). *Matematychni modeliuvannia metalorizalnykh verstativ [Mathematical modelling of metal cutting machines]*. Zhytomyr: ZhITI. [in Ukrainian].
11. Blokhin, L.M., Burychenko, M.Iu. & Bilak, N.V. (2014). *Statystychna dynamika system upravlinnia [Statistical dynamics of control systems]*. Kyiv: NAU. [in Ukrainian].

Iryna Bereziuk, Assoc. Prof., Phd tech. sci., **Olena Holyk**, Assoc. Prof., Phd tech. sci., **Valentyn Soldatenko**, Phd tech. sci.

Central Ukrainian Technical University, Kropyvnytsky, Ukraine

Dynamic Design of Optimal Stochastic Stabilization System of Cutting Power on a Band Saw Machine

The article is devoted to the development of methodological foundations for constructing an optimal system of stochastic stabilization of cutting power based on the results of structural identification of models of the dynamics of the system "woodworking machine-cutting process" and uncontrolled disturbance.

In order to solve the problem of structural identification of the "woodworking machine-cutting process" system and the disturbance acting in the process of wood-cutting, the article proposes a special technology, the use of which made it possible to determine the transfer function of the "woodworking machine-cutting process" and estimate the spectral density of the disturbance acting during the processing. It has been established that when the physical and mechanical properties of wood and the state of the cutting tool change, the structure of the transfer function and spectral density does not change, but only the parameters change. As a result of solving the synthesis problem, the structure and parameters of the optimal controller are determined, which ensures the specified quality of the processed surface with minimal energy consumption. To assess the quality of control, it is proposed to use a quadratic criterion, which is the sum of two weighted variances of the stator current deviation of the main motion motor (characterizes energy costs) and the variance of the feed drive speed control signal. Studies of the robust stability of the optimal system with the obtained controller under the influence of unstructured disturbances made it possible to determine the class and estimate the maximum norms of unstructured disturbances at which the system maintains stability and a given control quality.

The use of the proposed approach to the construction of an optimal system of stochastic stabilization of cutting power makes it possible to achieve a reduction in energy costs by 12% for a given quality of the processed surface by increasing the stabilization accuracy by two orders of magnitude.

band frame saw, structural identification, spectral density, transfer function, criterion of quality, stochastic indignations, optimum system of stochastic stabilization

Одержано (Received) 07.10.2020

Прорецензовано (Reviewed) 14.10.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020