

11. **Захаров Н.С.** Использование ТР-распределения при моделировании процессов изменения качества автомобилей / **Захаров Н.С.** // Известия вузов. Нефть и газ. 1999. - №3. - С. 105-111.
12. **Чебоксаров А. Н.** Совершенствование технических средств диагностирования двигателей силовых установок и гидроагрегатов дорожно-строительных машин : Дис. канд. техн. наук :от 05.05.04 / **А.Н. Чебоксаров.**// – Омск, 2011. –173 с.
13. **Ящура А.И.** Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования : Справочник / **А.И. Ящура.**// –М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. –360 с.
14. **Latino M.A.** BehavioralBasedReliability [Электронный ресурс] / **M.A. Latino**// 2000 MachineryReliabilityConference. –Электронные текстовые данные. –2000. –April. –Режим доступа: <http://reliability.com/industry/articles/article36.pdf>
15. **Бусыгин, Е.Н.** Использование сетевых графиков при планировании, подготовке и организации проведения ремонтов / **Е.Н. Бусыгин, А.В. Напольских, А.Л. Блеч, А.Н. Рыбаков, Ю.Ю. Ушаков**// Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник докладов X междунар. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека»/УГГУ.–Екатеринбург, 2012.–С. 358-362.
16. **Андреева Л. И.** Оценка факторов, влияющих на эксплуатационные показатели карьерного автотранспорта /**Л. И. Андреева, Ю.Ю. Ушаков**// Мир дорог. Спецвыпуск. –2016.–С. 62-64.
17. **Пухов Е.В.** Анализ образования потоков вторичных ресурсов на протяжении жизненного цикла автомобиля / **Е.В. Пухов, А.Л. Тоцкий, В.К. Астанин, А.А. Измайлов** // Вестник Воронежского ГАУ, 2011. Вып. 4 (31). – С. 59 – 63.
18. **Озорнин С.П.** Технический сервис мобильных машин: Стратегия ситуационно-комбинированного обслуживания : монография / **С.П. Озорнин.** //– Чита: ЧитГУ, 2004. – 250 с.
19. **Озорнин С.П.** Совершенствование организации мониторинга изменений технического состояния машин в эксплуатации : сб. научн. тр. / **С.П. Озорнин, И.Е. Бердников** // Вестник ЗабГУ – Чита, 2014. – Вып. 111. – С. 64-69
20. **Макарова А.Н.** Методика оперативного корректирования нормативов периодичности технического обслуживания с учетом фактических условий эксплуатации автомобилей: дис. канд. техн. наук / **А.Н. Макарова.** //– Тюмень, 2015. – 208 с.
21. **Верхорубов, В. В.** К вопросу о разработке имитационной модели функционирования зоны текущего ремонта автотранспортного предприятия / **В.В. Верхорубов** // Молодые исследователи регионам: - Материалы всероссийской научной конференции студентов и аспирантов. В 2-х т. —Вологда: ВоГТУ, 2007 с. 260-262.

Рукопись поступила в редакцию 15.10.2020

УДК 621.9.022.1

А.О. РЯЗАНЦЕВ, В.І. КЛЯЦЬКИЙ, кандидати техн. наук, доценти, Л.А. БУГАЙ, ст. викладач Криворізький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ЗІ ЗНОСОСТІЙКИХ ХРОМИСТИХ ЧАВУНІВ

Мета. Метою даної роботи є аналіз методів та засобів зниження трудомісткості операцій механічної обробки деталей гірничого обладнання, що виготовлені з високохромистих зносостійких чавунів, а саме – визначення оптимальних режимів різання при найбільшому періоді стійкості ріжучої кромки при різних умовах обробки та обґрунтування геометричних параметрів ріжучого інструмента в умовах роботи з підвищеним навантаженням.

Методи дослідження. Були проведені дослідження стійкості змінних твердосплавних пластин з урахуванням різних факторів процесу різання. Результати роботи по оптимізації режимів різання, що застосовуються для обробки зносостійких чавунів отримані шляхом теоретичних і експериментальних досліджень. Теоретичні дослідження полягають у визначенні параметрів та шляхів оптимізації процесу механічної обробки. Експериментальні дослідження засновані на комплексному вивченні взаємозв'язку режимів різання, геометрії ріжучого інструменту з різними умовами обробки деталей шламових насосів.

Наукова новизна. У результаті проведених досліджень були отримані дані про стан параметрів якості обробленої поверхні заготовок, що виготовлені зі зносостійких чавунів при обробці збірними різцями з різними інструментальними матеріалами та державками. Виявлені оптимальні режими різання при найбільшому періоді стійкості ріжучої кромки для пластин із різних сплавів на різних проходах. Досліджено залежності режимів різання від застосовуваного ріжучого матеріалу та геометричних параметрів (зокрема головного куту в плані) різців.

Практичне значення. Зроблені дослідження дозволили з високою точністю визначити період стійкості різальних кромок змінних твердосплавних пластин і зробити їх порівняльний аналіз для раціонального використання часу і фінансових ресурсів. Зокрема встановлені раціональні режими різання та геометричні параметри різців.

Результати. Встановлено, що використання запропонованого ріжучого інструменту фірми «ZCC» дозволило скоротити трудомісткість механічної обробки деталей зі зносостійких хромистих чавунів майже в 2 рази. Збільшення показників зниження трудомісткості токарних операцій можливо при роботі другим супортом верстата. Обов'язковими умовами на чорнових та напівчистових операціях є використання різців головного куту в плані (φ)

який не повинен перевищувати 20° , що досягається спеціальною конструкцією державки, а глибина різання не повинна перевищувати 3 мм.

Ключові слова: зносостійкий чавун, режими різання, тврдосплавні пластини, стійкість, трудомісткість обробки.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-51-34-39

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Автоматизація виробництва і підвищення продуктивності обладнання без зниження якості продукції, що випускається, а також застосування сучасних зносостійких матеріалів (з метою збільшення терміну служби виробу) є одним з основних завдань сучасного машинобудування. Хромисті зносостійкі чавуни є перспективним конструкційним матеріалом, що володіє високими антикорозійними та зносостійкими властивостями, що дозволяють підвищити довговічність і надійність машин, які працюють в умовах інтенсивного абразивного і гідроабразивного зношення. Високохромисті зносостійкі чавуни (ЗЧХ) є багатокомпонентними сплавами з різноманітними структурами і широким діапазоном фізичних і хімічних властивостей. Внаслідок високої твердості та зносостійкості ці матеріали мають незадовільну оброблюваність різанням.

У сучасному машинобудуванні наявність високопродуктивного обладнання, досконалого ріжучого інструменту не завжди забезпечують виготовлення виробу з високою ефективністю, якщо їх робота здійснюється на режимах, які не є оптимальними. Оптимальними вважаються режими, при яких в результаті найкращого поєднання параметрів різання забезпечується обробка деталі з найбільшою продуктивністю і мінімальною собівартістю деталі. Також режими обробки впливають на технічні та економічні показники виробництва.

Особливе значення при розрахунку режимів різання має залежність між стійкістю ріжучого інструменту, швидкістю різання (V), подачею (S) і глибиною різання (t), а також геометричними параметрами ріжучого інструменту. Згідно з рекомендаціями фірм, що випускають тврдосплавні пластини, а також нормативно-технічних документів, стійкість ріжучої кромки тврдосплавної пластини становить 30-90 хв. Від стійкості тврдосплавних пластини залежить величина допоміжного часу (втрата часу на установку пластини в державку, налаштування обладнання та т.п.), а отже, і витрати на виготовлення продукції.

Оскільки на підприємствах Кривого Рогу (ГЗК) використовується велика кількість обладнання деталі якого виготовлені з ЗЧХ, зокрема корпуси та броні шламових насосів (рис. 1), але майже відсутні систематизовані дані про оброблюваність різанням таких матеріалів в литому стані лезвійним інструментом, а також відсутні науково обґрунтовані принципи вибору оптимальних режимів різання, що забезпечать найбільший період стійкості ріжучих кромок при різних умовах обробки. Тому оптимізація параметрів режимів різання, підбір інструменту, ріжучих пластин та максимальне зниження трудомісткості механічної обробки ЗЧХ, має важливе практичне значення і є актуальним науковим завданням.

Аналіз досліджень і публікацій. Вибір оптимальних режимів різання та технологій, особливо у випадку обробки важкооброблюваних матеріалів, до яких відносяться ЗЧХ, веде до підвищення стійкості металорізального інструменту. В процесі обробки в системі «ріжучий інструмент – деталь» значний вплив на ріжучу кромку пластини мають складові сили різання і сили тертя, що виникають при контакті пластини і деталі [1]. Під дією зазначених сил виникає знос ріжучих кромок пластини. Тому зменшення цих сил та поліпшення оброблюваності високохромистих чавунів можна досягти за рахунок пом'якшувальною термічної обробки [2-6]. В якості пом'якшувальних технологій були застосовані різноманітні джерела енергії (лазерний промінь, плазма, електрична дуга та ін.) [7-11]. Так було встановлено, що попереднє плазмове нагрівання забезпечує протікання специфічного термічного циклу в матеріалі припуску, у результаті чого змінюються твердість і пластичність оброблюваного матеріалу [11]. Але для відновлення зносостійких властивостей ЗЧХ проводилася додаткова термічна обробка [2, 4]. Така технологія є дорогою та енерговитратною.

У роботах [2-6] оцінка оброблюваності ЗЧХ проводилася шляхом свердління або методом торцевого точіння. В результаті цих досліджень були розроблені рекомендації щодо вибору режимів різання для конкретних марок чавунів і деталей.

Вплив вуглецю і хрому на оброблюваність зносостійких чавунів, що не містять нікель, після пом'якшувальною термічної обробки досліджував М.Є. Гарбер [12-13]. Встановлено, що для

чавунів з 12% Cr і 1,5% Mo погіршення оброблюваності настає при вмісті вуглецю понад 3,2% після появи в структурі заевтектичних карбідів і сітки цементиту. Для чавунів, що містять 3% C, 1,5% Mo і 0,8% Mn, погіршення оброблюваності спостерігалось при вмісті хрому понад 30%, що пов'язано з підвищенням твердості основи в результаті легування її хромом, а також з появою в структурі чавунів великих заевтектичних карбідів. За даними [12, 13] оброблюваність комплексно-легованих чавунів, що містять до 3% Ni (ИЧ290Х28Н2) і 3% Mn (ИЧ260Х17Н3ГЗ), не можна поліпшити пом'якшувальною термічною обробкою, що пояснюється надмірним легуванням цих чавунів, стабільністю аустеніту і неможливістю отримання продуктів перлітного розпаду.

При механічній обробці матеріал деталі піддається силовому та тепловому впливу в результаті тертя між різцем і деталлю [14]. При силовому впливі в оброблюваному матеріалі виникає внутрішня напруга, протікає пластична деформація, зміцнення (наклеп). Підвищення температури в зоні різання може викликати зміни в оброблюваному матеріалі, що призводять до зниження твердості [15]. Різання є комплексним показником, що залежить від вихідної структури і властивостей матеріалу деталі, стану литої поверхні, наявності ливарних дефектів (раковин), матеріалу різця, режимів різання, процесів, що викликають зміну структури і властивостей під час обробки та інших факторів, більшість яких мало або зовсім не вивчені.

Дві третини номенклатури металорізального інструменту в машинобудуванні складають інструменти, оснащені пластинами з твердих сплавів. [1, 16]. Основним критерієм для змінних твердосплавних пластин виступає їх стійкість. Стійкість пластини – це здатність матеріалу, з якого вона виготовлена, зберігати свої фізичні властивості в певний період часу. Період стійкості змінних твердосплавних пластини залежить від марки твердого сплаву, геометрії, покриття, а також від умов різання [17]. Застосування раціональних параметрів обробки і правильне застосування інструменту зі змінними пластинами неможливо без всебічного вивчення та проведення виробничих випробувань.

Оскільки застосування пом'якшувальних технологій для більшості зносостійких чавунів не є можливою, тому максимальне зниження трудомісткості механічної обробки ЗЧХ буде досяжне при використанні сучасних інструментальних матеріалів, а також визначенні оптимальних параметрів режиму різання та геометрії ріжучого інструменту.

Постановка задачі. Дослідження стійкості змінних твердосплавних пластин з урахуванням різних факторів процесу різання при обробці дорогих деталей, коли відмова інструменту може привести до непоправного браку, є актуальним завданням. Тому метою даної роботи є аналіз методів та засобів зниження трудомісткості механічної обробки зносостійких чавунів. Сформульована мета роботи обумовила необхідність розв'язання такої задачі, як визначення оптимальних режимів різання при найбільшому періоді стійкості ріжучої кромки при різних умовах обробки ЗЧХ та обґрунтування геометричних параметрів ріжучого інструмента в умовах роботи з підвищеним навантаженням.

Викладення матеріалу та результати. Структура зносостійких чавунів в литому стані являє



Рис.1. Загальний вид шламового насоса НП – 800

собою матрицю у вигляді мартенситу і залишкового аустеніту (HV 4500 – 5000 МПа) з включеннями евтектичних і вторинних карбідів хрому (HV 11000 – 19000). Зазначені карбіди розташовуються у вигляді скупчення або у вигляді каркасної сітки, що є основою високої твердості і зносостійкості чавуну. Після відпалу структура основи змінюється і вдає із себе перліт (HV 3000 – 4000 МПа). На оброблюваність чавунів і на знос інструменту впливає структура чавуну, а саме будова основи, тип карбідів, їх розмір і

взаємне розташування, а також режими різання.

Знос інструменту представляє собою складний фізико-хімічний процес руйнувань поверхневих шарів, що складається з абразивного, адгезійного, окисного і деформаційного процесів. Всі ці види зносу тісно пов'язані між собою, визначаючи в цілому сумарний знос інструменту. Однак питома вага кожного з них в сумарному зношенні різна і залежить від властивостей матеріалів контактуючих пар, а також умов обробки.

Були проведені дослідження зношення (стійкості) збірних різців з механічним кріпленням ріжучих пластин виробництва корпорації «ZCC» (Китай) при обробці виробів з ЗЧХ (ИЧ210Х30Г2Н2СЛ).

В якості об'єкта дослідження для визначення оптимальних режимів різання були обрані змінні ріжучі многогранні пластини форми CNMA190616 та SNMA 190616 виготовлені з матеріалу (твердий сплав) YBD 152, YBD102 виробництва корпорації «ZCC».

Використовувались державки наступних видів:

спеціальна C194040L250, з кутом ϕ 20°;

спеціальна S194040L250, з кутом ϕ 20°;

PSSNR4040S19;

PSBNR4040S19;

PCBNR4040S19;

PCLNR4040S19.

Стійкість даних пластин та визначення оптимальних режимів різання були досліджені при чорновій, напівчистовій та чистовій обробці наступних деталей:

корпус робочого колеса насоса НП-800;

корпус внутрішній насоса НП-800;

патрубок внутрішній засмоктуваний;

броня кришки насоса НП-500 креслення 25687 -1 А-3К.

Випробовування проводились на токарно-карусельних верстатах моделей КУ487, 1550, 1541, 1525, 1Л532, DKZ6300, токарно-гвинторізного верстаті мод. 1А671 та лоботокарному мод. DP4.

Результати випробовувань та оптимальні режими різання при найбільшому періоді стійкості ріжучої кромки для пластин із різних сплавів на різних проходах приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати досліджень, та оптимальні режими різання

Показники	Чорновий прохід	Напівчистовий прохід	Чистовий прохід
Ріжуча пластина	CNMA190616, SNMA 190616		
Вид твердого сплаву	YBD 152		YBD102
Державка	Спеціальна $\phi = 20^\circ$; C194040L250 Спеціальна $\phi = 20^\circ$; S194040L250		PSSNR4040S19 PSBNR(L) PCBNR(L) PSSNR (L) (в залежності від форми поверхні)
Головний кут в плані ϕ°	20° (обов'язкова умова)		75° (В) 95° (L) 45° (S)
Оптимальні режими різання			
Швидкість різання (V), м/хв	6-7		14-16
Подача (S), мм/об	0,75-1		0,35-0,5
Глибина різання (t), мм	3		3
Середня стійкість ріжучої кромки (T), хв.	45-60		60-90
Середнє зниження трудомісткості (кількість разів): на окремих операціях на виробі	1,4 – 1,6		1,6 – 2,0
	1,8		

Аналізуючи період стійкості ріжучих кромок досліджуваних пластин при обробці деталей насосів в середньому в 1,8 разів вище, ніж при обробці різцями з напаяними пластинами ВК8. Оптимальні режими різання, що приведені в табл. 1, можливо корегувати у процесі напрацю-

вання досвіду в роботі. Використання ріжучого інструменту корпорації «ZCC» (Китай) дозволило скоротити трудомісткість виготовлення розглянутих деталей з ЗЧХ (обробку окремих поверхонь деталей) в 1,4 – 2,0 рази, приклад приведено в табл. 2.

Таблиця 2

Порівняння трудомісткості обробки деталей

Деталь, що оброблюється	Операції	Трудомісткість обробки, в/год		Зниження трудомісткості (кількість разів)
		напаяні різці ВК8	складальні різці «ZCC»	
Броня кришки насоса НП-500	Обробка II сторони деталі	15,8	8,2	1,9
Патрубок насоса НП-800	Повна обробка деталі	80-90	50-60	1,5-1,6

Встановлено, що збільшення показників зниження трудомісткості токарних операцій можливо при роботі другим супортом верстата. Доцільно укомплектовувати верстати, що задіяні при обробці деталей з ЗЧХ державками спеціальними з головним кутом в плані ϕ 200 та державками стандартними з ϕ 75°, ϕ 95°, ϕ 45°, які обираються в залежності від форми оброблюваної поверхні.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Зроблені дослідження дозволили з високою точністю визначити період стійкості різальних кромки змінних твердосплавних пластин і зробити їх порівняльний аналіз для раціонального використання часу і фінансових ресурсів. Зокрема встановлені раціональні режими різання та геометричні параметри різців.

Використання запропонованого ріжучого інструменту фірми «ZCC» дозволило скоротити трудомісткість механічної обробки деталей з ЗЧХ майже в 2 рази.

Враховуючи чутливість ріжучих пластин до збільшення навантаження, обов'язковими умовами на чорнових та напівчистових операціях є:

використання пластин (різних форм, що досліджуються) зі сплаву YBD 152;

головний кут в плані ϕ_0 не повинен перевищувати 20°, що досягається спеціальною конструкцією державки;

глибина різання не повинна перевищувати 3 мм;

недопустимо експлуатувати зношені кромки (своєчасна заміна);

максимально використовувати одночасно два супорта верстата.

Список літератури

1. Лобанов Д.В., Янюшкин А.С., Рычков Д.А. Оптимизация выбора режущего инструмента на основе методов сравнительного анализа. *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2010, №5-2.
2. Бергун М.Н., Волчок И.П., Живица И.В., Топал В.И. Влияние термической обработки на свойства высокохромистого чугуна – *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1971. № 1. С. 64–66.
3. Гарбер М.Е. Износостойкие белые чугуны. М: Машиностроение, 2010. 280 с.
4. Кириллов А.А., Белов В.Д., Рожкова Е.В. Структурно и неструктурно чувствительные свойства хромистых чугунок. *Черные металлы*. 2007. № 9. С. 7–13.
5. Чабак Ю.Г., Ефременко В.Г., Кравцов А.С. Новые подходы к выбору режима смягчающей термической обработки высокохромистых чугунок. *Проблемы и перспективы развития ж.-д. трансп.: тез. докл. 73 междунар. науч.-практ. конф. Днепропетровск: ДНУЖТ*, 2013. С. 282–283.
6. Чабак, Ю. Г. Влияние режима отжига на микроструктуру и твердость высокохромистых чугунов с повышенным содержанием аустенитообразующих элементов. *Стр-во, материаловедение, машиностроение: сб. науч. тр. Днепропетровск: ПГАСА*, 2013. Вып. 67. С. 188–192.
7. Amin A.K.M.N., Abdelgadir M., Kamaruddin K. Effect of Workpiece Preheating on Machinability of Titanium Alloy. In *Proceedings of the International Conference ICAMT*, 2004. P. 145–152.
8. Sun S., Brandt M., Dargusch M.S. Thermally Enhanced Machining of Hard-to-Machine Materials – A Review. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 2010, №50. P. 663–680.
9. Leshock C.E.; Kim Jin-Nam, Shin Yung C. Plasma Enhanced Machining of Inconel 718: Modeling of Workpiece Temperature with Plasma Heating and Experimental Results. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 2001, №41. P. 877–897.
10. Chen S.H., Tsai K.T. Predictive Analysis for the Thermal Diffusion of the Plasma-Assisted Machining of Superalloy Inconel-718 Based on Exponential Smoothing, *Advances in Materials Science and Engineering*. 2018, Vol. 2018. Article ID 9532394, 9 pages.
11. Нечасв В.П., Рязанцев А.О., Солодун О.О. Вплив силового і теплового навантаження зуба фрези на стійкість леза при плазмово-механічному фрезеруванні. *Вісник Криворізького національного університету. Збірник наукових праць*. 2018. Вип. 47. С. 149-153
12. Гарбер М. Е. Износостойкие белые чугуны: свойства, структура, технология, эксплуатация. М.: Машиностроение, 2010. 280 с.

13. **Гарбер М. Е.** Отливки из белых износостойких чугунок. М.: Машиностроение, 1972. 112 с.
14. **Вакуленко І.О., Кадильникова Т.М., Пройдак С.В.** Технологія механічної обробки металевих матеріалів. Дніпропетровськ: Стандарт-Сервіс, 2014. 176 с.
15. **Нетребко В.В.** Влияние марганца на структуру высокохромистых чугунок. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. 2012. Вип. 42. С. 167–169.
16. **Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Рычков Д.А.** Методика сравнительного анализа конструкций сборного режущего инструмента. Механика XXI века. 2009. №8.
17. **Яцун Е.И., Кудряшов Е.А., Смирнов И.М., Павлов Е.В.** Совершенствование инструментального обеспечения процессов точения конструктивно сложных деталей. СТИН. 2017, №9. С. 23-28.

Рукопис подано до редакції 15.10.2020

УДК 622.647.2

І. А. МАРИНИЧ, С. А. РУБАН, кандидати техн. наук, доценти,
О. Ю. СЕРДЮК, канд. техн. наук, ст.викладач
Криворізький національний університет

ЗАСТОСУВАННЯ ПАКЕТУ TRUETIME ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТАМИ ІЗ ЗАПІЗНУВАННЯМ І ВАРІЙОВАНИМ ПЕРІОДОМ ДИСКРЕТНОСТІ

Мета. Метою даної роботи є підвищення якості керування об'єктами з запізненням або змінним періодом дискретності за рахунок використання моделювання в режимі реального часу.

Методи дослідження. У роботі використано методи теорії автоматичного керування для вибору і обґрунтування структури математичної моделі об'єкту керування, методи імітаційного і комп'ютерного моделювання в режимі реального часу, комп'ютерні інформаційні та програмні технології для підвищення якості керування об'єктами з запізненням або змінним періодом дискретності.

Наукова новизна. У роботі пропонується застосування пакету TrueTime як допоміжної бібліотеки MATLAB/Simulink, спеціально розробленого для моделювання дискретних керуючих пристроїв і систем, цифрових систем в режимі реального часу. Використання цього пакету дозволяє полегшити моделювання поведінки багатозадачного процесорного ядра, що працює в режимі реального часу.

Практична значимість полягає у доцільності застосування пакету TrueTime, що підтримує різні технології передачі даних, як допоміжної бібліотеки MATLAB/Simulink, оскільки дозволяє реалізувати змінний період дискретизації та визначити найбільш доцільну мережу передачі інформації, що в свою чергу призведе до підвищення якості керування об'єктом в цілому.

Результати. Під реальним часом в роботі маюся на увазі урахування в системі керування властивостей основних промислових телекомунікаційних мереж, а саме затримки через час на повторне відсилання пакетів через колізії в мережі. Діаграми часу на виконання показали, що період дискретизації регулятора став неперіодичним, а з відхиленнями – змінним, тобто, за допомогою пакету TrueTime вдалося створити систему зі змінним періодом дискретизації. Моделювання 4 різних мереж: CAN, Ethernet, FDMA та TDMA показало, що найефективнішою стала мережа CAN, а найгірший показник має мережа FDMA. Не зважаючи на те, що система працювала у режимі реального часу з затримками у мережі, система залишилася стійкою.

Ключові слова: варійований період дискретності, затримка сигналу, мережі передачі даних, моделювання, об'єкт з запізненням, truetype

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-51-39-46

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. Цифрові системи, що здійснюють керування в реальному масштабі часу і використовують ЕОМ для формування закону керування, є досить складними для аналізу. У даний час такі системи, як правило, виконуються на базі багатозадачних керуючих контролерів і мають мережеву організацію.

Оскільки для передачі інформації мережею потрібен певний час, при реалізації цифрового керування виникає часова затримка. Це призводить до зниження якості керування, іноді до неприпустимо низького рівня, а іноді і до виходу системи з ладу взагалі. Щоб уникнути негативного впливу такого запізнення і оптимально використовувати доступні системі керування обчислювальні ресурси, проектування алгоритмів керування та програмного забезпечення повинне вестися з урахуванням реального часу.