

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ ФРЕЗЕРУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ КРІПЛЕННЯ

Мета роботи. Зменшення кінетичної енергії удару затискного пристосування шляхом зміни параметрів системи керування.

Об'єкт дослідження. Пристосування для фрезерування деталей кріплення, що здійснює їх затиск, забезпечене пневмоприводом. Прямий і зворотній рух штока забезпечуються подачею повітря, яка регулюється електроклапанами, у верхній або нижній порожнині пневмоциліндра.

Методи дослідження. Цикл спрацьовування затискного пристосування був розбитий на три стадії: подача повітря, перерва в подачі повітря, відновлення подачі повітря для дотискання штока. Під час перерви швидкість штока падає за рахунок сил тертя в ущільнювачі. Зміна тривалості стадій дає можливість регулювання кінцевої швидкості руху штока в момент удару. Була складена математична модель руху штока з урахуванням тимчасового припинення подачі тиску. На другій стадії розглядалося переміщення штока при ізотермічному процесі. Також враховувалися сила тяжіння і сила тертя. Відповідне нелінійне диференціальне рівняння було вирішено чисельно методом Ейлера. Точність рішення була забезпечена застосуванням дуже маленького кроку інтегрування, що при сучасному рівні розвитку обчислювальної техніки не викликає додаткових проблем. Оптимальні тривалості стадій для прямого і зворотного ходу були визначені методом послідовних наближень.

Отримані результати. За рахунок оптимізації параметрів системи управління була знижена кінетична енергія удару приблизно в 15 разів при збільшенні часу спрацьовування в 1,5 рази. Збільшення часу спрацьовування при прямому ході з 18 мс до 27 мс не має значущого впливу на продуктивність праці.

Висновки. Створена нова математична модель руху штоку надала можливість за допомогою комп'ютера знайти оптимальні параметри системи керування затискного пристрою. Практична цінність зумовлена поліпшенням динамічних характеристик пристрою без додаткових капітальних вкладень.

Ключові слова: затискне пристосування, модернізація, система керування, нелінійне диференціальне рівняння, кінетична енергія, удар.

Підвищення продуктивності праці є одним з пріоритетних завдань у серійному та масовому виробництві. Впровадження спеціальних пристосувань для закріплення деталей є важливим напрямком реалізації цього наукового та практичного завдання.

Об'єктом дослідження є пристосування для фрезерування деталей кріплення (див. рис. 1), яке здійснює затискання деталей. Оснащення його пневмоприводом зіткнулось з проблемою ударних навантажень, які впливали на точність позиціонування та створювали ризик пошкодження поверхні деталі.

У джерелах [1], [2] наведені способи та розрахунки пневматичних приводів для таких пристосувань, але не наведені дані щодо пом'якшення удару в момент затискання. В інших областях техніки є багато прикладів використання системи керування для поліпшення параметрів руху. Наприклад, в статті [3] система керування використовується для поліпшення параметрів руху вантажопідіймального крана.

Ця стаття присвячена розробці способу керування рухом штока пневмоциліндра затискного пристосування. Метою цієї статті є математичне описання керованого руху штоку та визначення раціональних параметрів керування.

У затискному пристосуванні повітря подається в верхню робочу порожнину пневмоциліндра. Під дією тиску P шток площею F починає опускатися разом з усіма пов'язаними з ним елементами сумарною масою m . Після обробки деталі в нижню робочу порожнину пневмоциліндра подається повітря, змушуючи шток піднятися в верхнє положення.

У разі використання електроклапанів, можливе дискретне керування подачею повітря, яка на певний час може бути перервана. Тоді для пом'якшення удару можна використовувати сили тертя ущільнюючих елементів $P_{тр}$.

Спочатку тиск подається в робочу порожнину, потім слідує перерва – під дією сили тертя в прокладці швидкість падає, далі відновлюється подача тиску для дожимання штоку.

На систему діють наступні сили: інерції, ваги, тертя та зусилля на поршні від тиску. Тоді загальне диференціальне рівняння руху штока запишеться у вигляді:

$$m\ddot{x} - mg - P_1F + P_{тр} = 0, \quad (1)$$

де m – маса штоку та зв’язаних з ним елементів;
 \ddot{x} – друга похідна від переміщення штоку;
 g – прискорення вільного падіння;
 P_1 – тиск;
 F – робоча площа поршня;
 P_{mp} – сила тертя.

Стала сила тертя в ущільнювачі даного пневмоциліндра $P_{mp} = 81,75$ Н була визначена за даними [4].

Через велику масу та теплоємність елементів пристрою було зроблено припущення, що зміною температури повітря можна знехтувати.

Тоді розглядаємо переміщення штоку при ізотермічному процесі:

$$PV = \text{const}, \quad (2)$$

де P – тиск;
 V – об’єм.

Згідно формули (2) отримуємо рівність:

$$P_1 V_1 = P_x V_x, \quad (3)$$

де P_1 – тиск у точці 1 (відповідає моменту припинення подачі повітря);

P_x – тиск у довільній точці;
 V_1 – об’єм у точці 1;
 V_x – об’єм у довільній точці.

Об’єм повітря у пневмоциліндрі визначаємо за формулами:

$$V_1 = Fx_1; \quad (4)$$

$$V_x = Fx, \quad (5)$$

де x – довільна координата штока;
 x_1 – координата штока у точці 1;
 F – площа поршня.

Тиск повітря у пневмоциліндрі P_1 у точці 1 дорівнює магістральному тиску:

Згідно формул (4), (5), отримуємо:

$$P_x = P_1 \frac{V_1}{V_x} = P_1 \frac{Fx_1}{Fx} = P_1 \frac{x_1}{x}. \quad (6)$$

Ці залежності вірні до переміщення штока у точку 2, яка відповідає моменту відновлення подачі тиску. Точка 3 відповідає переміщенню штока у кінцеве положення.

З урахуванням (6), загальне диференціальне рівняння руху штока (1) запишеться у вигляді:

$$m\ddot{x} - mg - P \frac{x_1}{x} F + P_{mp} = 0; \quad \ddot{x} - \frac{k_1}{x} + k_2 = 0, \quad (7)$$

$$\text{де } k_1 = \frac{PFx_1}{m}; \quad k_2 = -g + \frac{P_{mp}}{m}.$$

На параметри системи впливає площа робочої порожнини. При прямому ході вона зменшена через наявність штока. У зворотному ході – площа залежить

тільки від діаметра поршня, який дорівнює діаметру пневмоциліндра.

При робочому ході сила ваги направлена за ходом штока, у зворотному ході – проти ходу штока, тому знак сили ваги у рівнянні (7) змінюється на протилежний.

При розрахунку базового варіанту (при постійній подачі повітря) визначаємо прискорення штоку за формулою:

$$a = \ddot{x} = \frac{mg + P_1 - P_{mp}}{m}. \quad (8)$$

Визначаємо час переміщення за формулами:

$$x = \frac{at^2}{2} + v_0 t + x_0; \quad (9)$$

$$x_3 = \frac{at_3^2}{2} + v_0 t_3 + x_0; \quad (10)$$

$$t_3 = \sqrt{\frac{2x_3}{a}}, \quad (11)$$

де $x_3 = 20$ мм – координата кінцевої точки переміщення штока,

t_3 – час переміщення штоку до точки 3,

$v_0 = 0$ – початкова швидкість,

$x_0 = 0$ – початкова координата.

Визначаємо швидкість переміщення штока у точці 3 за формулою:

$$v = \dot{x} = at + v_0; \quad (12)$$

$$v_3 = at_3. \quad (13)$$

Визначаємо кінетичну енергію штока у кінцевій точці 3 за формулою:

$$T = \frac{mv_3^2}{2}. \quad (14)$$

У модернізованому варіанті рух до досягнення точки 1 описується ти ми ж залежностями, що й у базовому варіанті.

На ділянці від точки 1 до точки 2 нелінійне диференціальне рівняння (7) може бути вирішено чисельним методом. Був використаний метод Ейлера [5]. Точність була забезпечена використанням дуже малого кроку інтегрування $h_i = 1 \cdot 10^{-7}$ с.

Для ділянки від точки 2 до точки 3 визначаємо час руху до кінцевої точки:

$$\frac{a\Delta t^2}{2} + v_2 + \Delta t + x_2 = x_3; \quad (15)$$

$$\Delta t = \frac{-v_2 + \sqrt{v_2^2 + 2a(x_3 - x_2)}}{a}. \quad (16)$$

Тоді кінцеву швидкість визначаємо за формулою:

$$v_3 = v_2 + a\Delta t . \quad (17)$$

Були визначені раціональні параметри керування подачі повітря. У базовому варіанті тиск є величиною постійною, а у модернізованому варіанті подача тиску з часу 0,0065 с до 0,026 с припиняється. Основні параметри прямого руху штока для модернізованого варіанту наведені у табл. 1, зворотного руху – у табл. 2. Крім того параметри прямого руху для обох варіантів показані на рисунках 2–7.

У базовому варіанті прискорення є сталим, а у модернізованому варіанті вид графіку змінюється. Залишковий тиск продовжує підтримувати прискорення, але

сили тертя поступово викликають уповільнення, до моменту відновлення подачі повітря.

У базовому варіанті переміщення приймає форму гілки квадратичної параболи через постійне прискорення, а у модернізованому варіанті графік значно змінюється. Перша частина (до припинення подачі тиску) залишається подібною базовому варіанту, але у проміжку припинення подачі тиску крива є більш нелінійною.

При зворотному ході залежності цілком аналогічні.

Порівняння зміни кінетичної енергії та часу спрацювання наведено у табл. 3.

Таблиця 1 – Параметри прямого руху штока

$t_1 = 0,00650$ с	$X_1 = 0,002744$ м	$v_1 = 0,84435$ м/с
$t_2 = 0,02600$ с	$X_2 = 0,019584$ м	$v_2 = 0,49307$ м/с
$t_3 = 0,02677$ с	$X_3 = 0,020000$ м	$v_3 = 0,59259$ м/с

Таблиця 2 – Параметри зворотного руху штока

$t_1 = 0,05500$ с	$X_1 = 0,002602$ м	$v_1 = 0,94635$ м/с
$t_2 = 0,02250$ с	$X_2 = 0,019476$ м	$v_2 = 0,59724$ м/с
$t_3 = 0,02329$ с	$X_3 = 0,020000$ м	$v_3 = 0,73272$ м/с

Таблиця 3 – порівняння характеристик базового та модернізованого пристосування

	Прямий хід		Зворотній хід	
	T_3 , Дж	t_3 , мс	T_3 , Дж	t_3 , мс
Базовий варіант	2,34	17,55	3,097	15,25
Модернізований варіант	0,158	26,77	0,241	23,29
Відношення	14,8	0,65	12,85	0,65

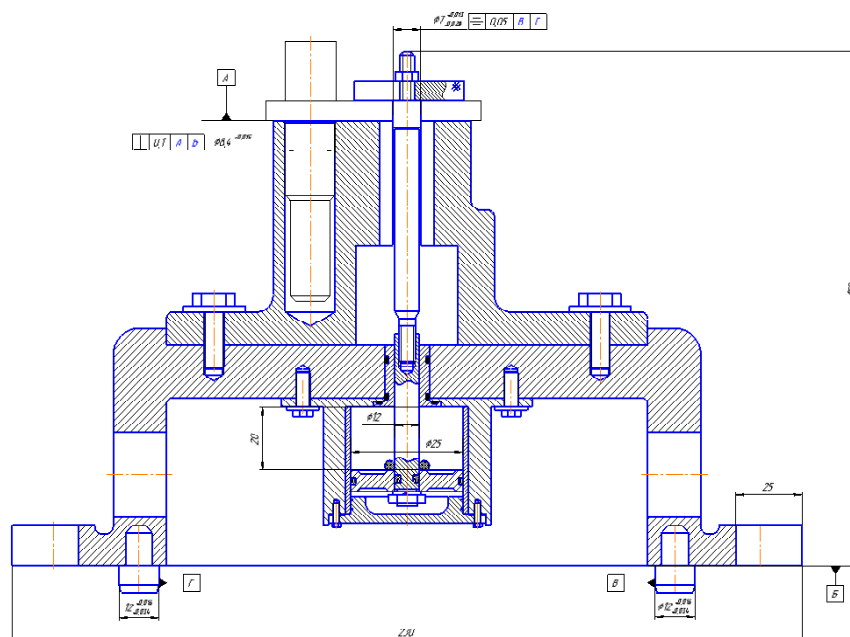


Рис. 1. Пристосування для фрезерування

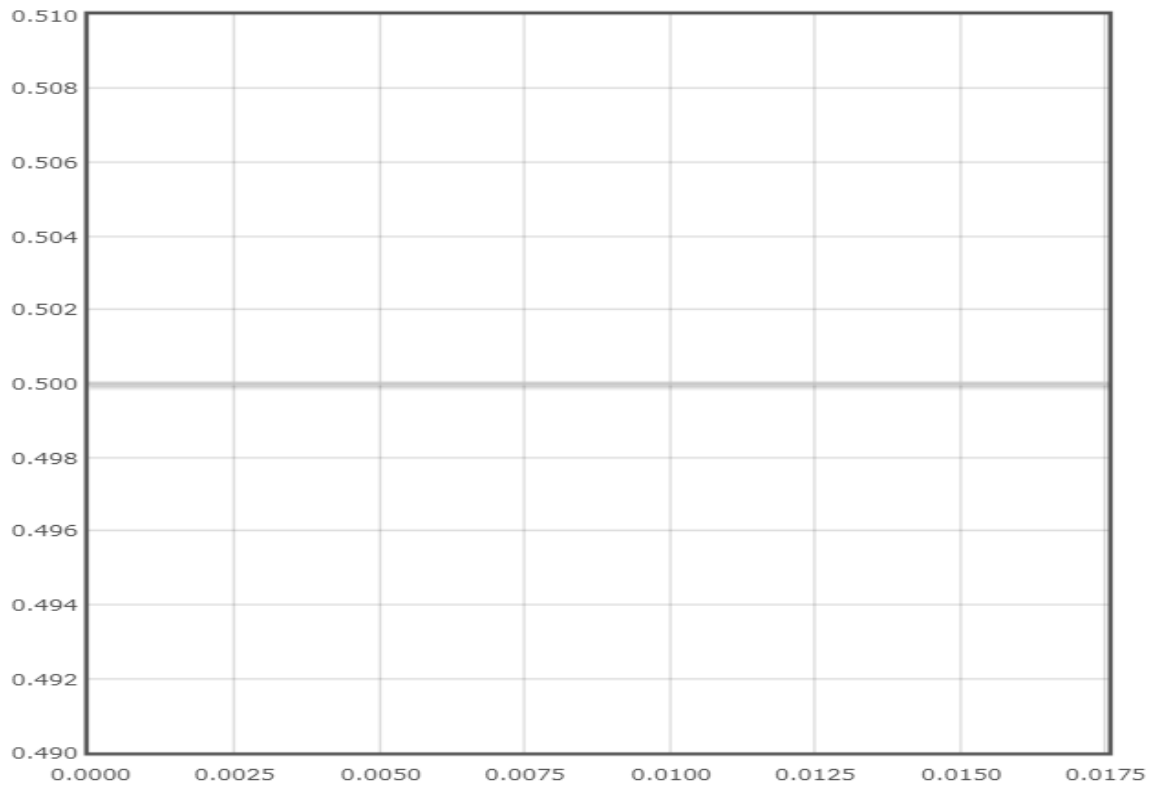


Рис. 2. Залежність тиску від часу у базовому варіанті

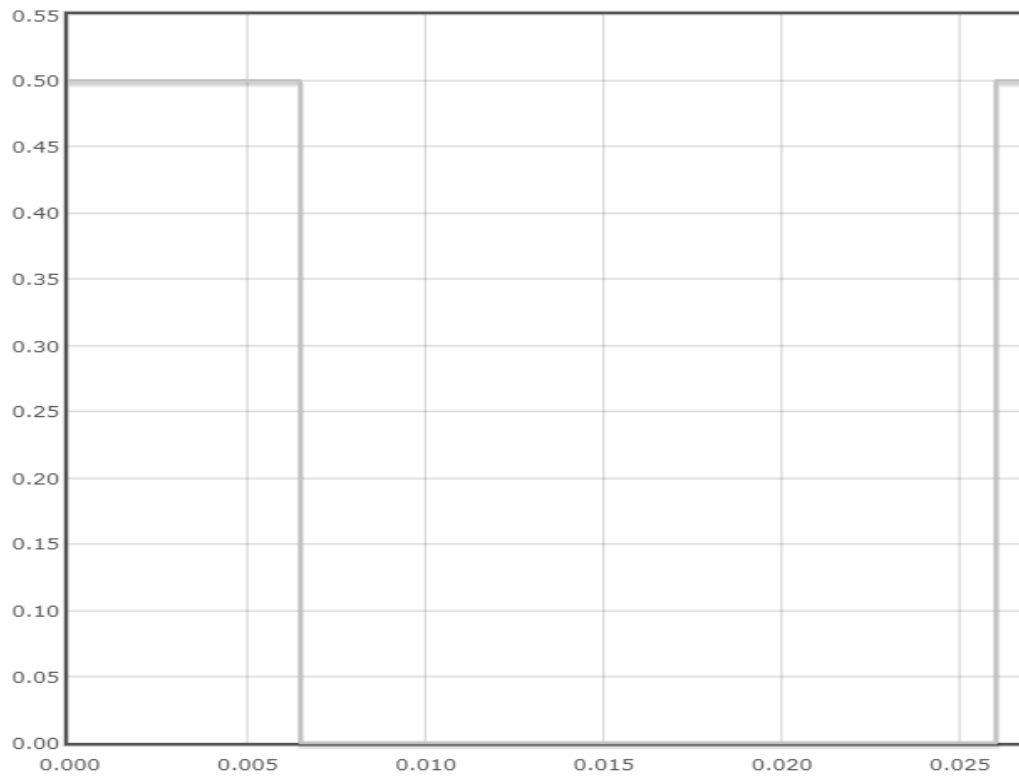


Рис. 3. Залежність тиску від часу у модернізованому варіанті

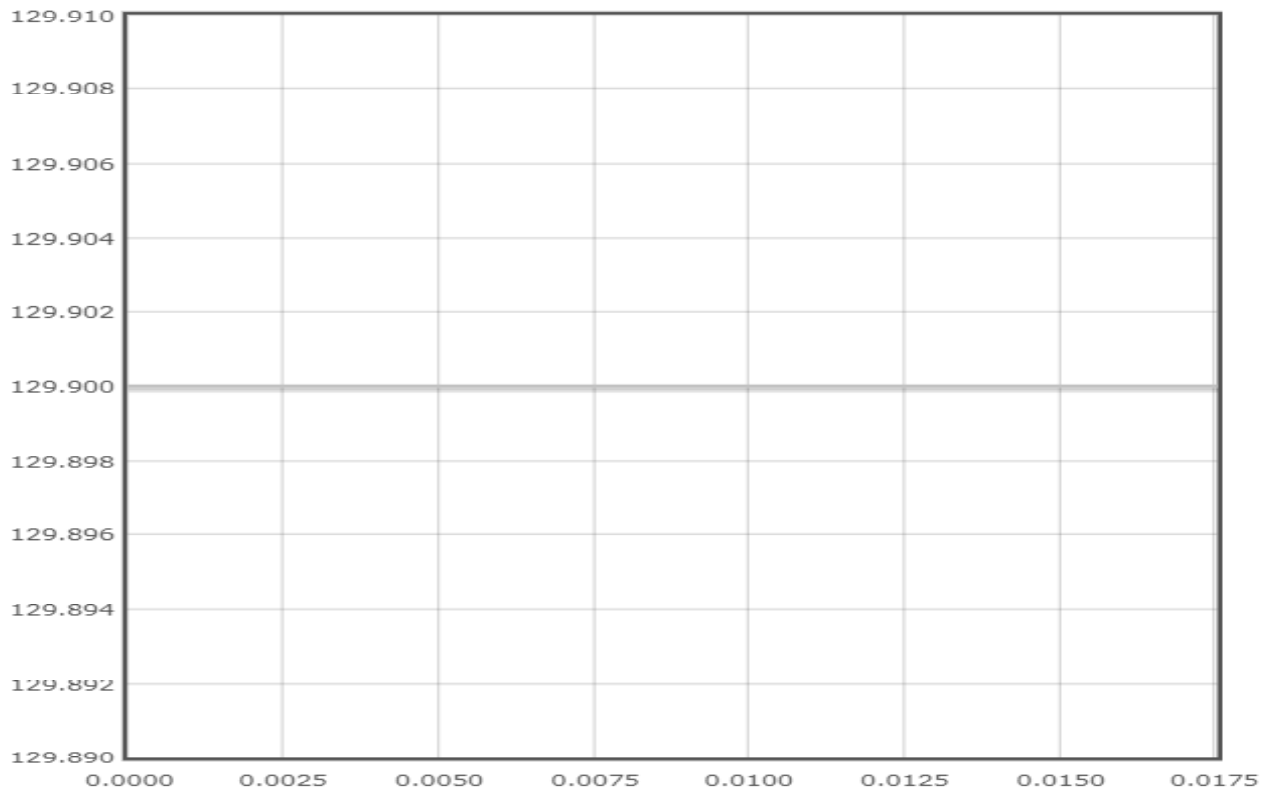


Рис. 4. Зміна прискорення у часі у базовому варіанті

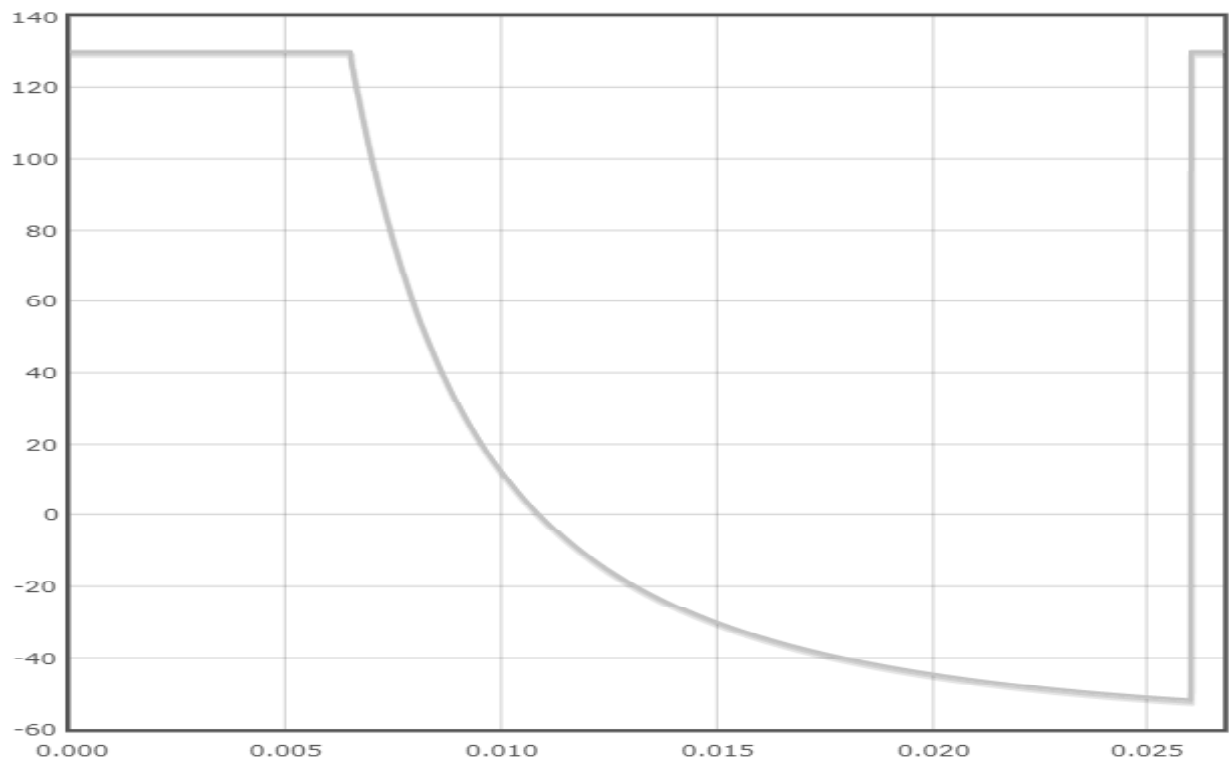


Рис. 5. Зміна прискорення у часі у модернізованому варіанті

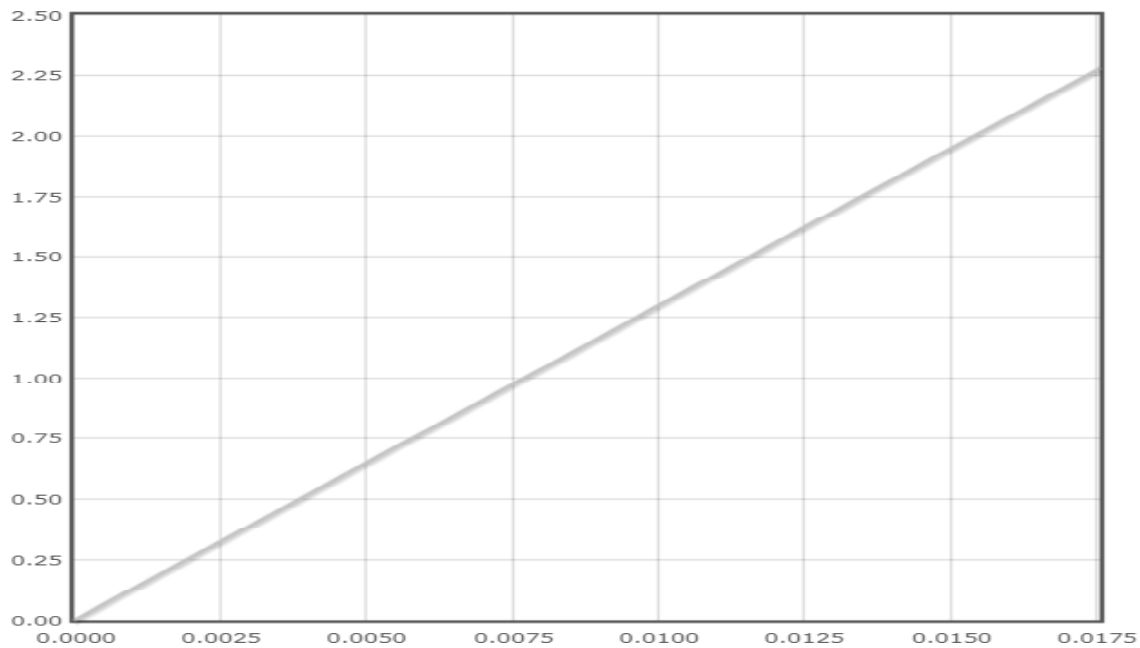


Рис. 6. Зміна швидкості у часі у базовому варіанті

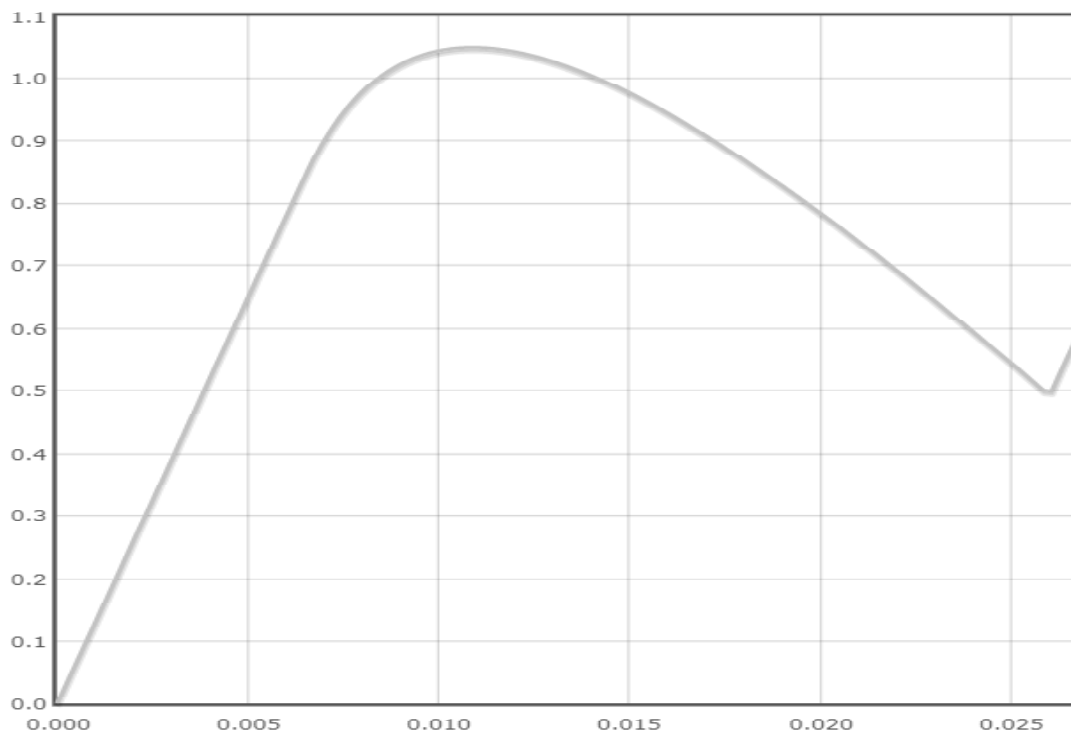


Рис. 7. Зміна швидкості у часі у модернізованому варіанті

Висновки

Таким чином, було математично описано керований рух штока. При визначених раціональних параметрах керування при прямому ході зменшення кінетичною енергії при ударі у 15 разів досягнуто за рахунок незначного подовження часу спрацьовування 1,5 рази. Це забезпечує зменшення ударних та вібраційних навантаж в момент затискання та, відповідно, підвищення

точності позиціонування. Незначне збільшення часу затискання у 1,5 рази не є суттєвим, бо мова йде про соті долі секунди. У перспективі автори планують дослідити вплив демпфірування на перехідні процеси у системі.

Список літератури

1. Богуслаев В. А. Станочные приспособления / В. А. Богуслаев, В. А. Лиховицер, А. С. Смирнов. – Запорожье : Мотор Сич, 2000. – 430 с.

2. Справочник технолога-машиностроителя 1 т. / Под ред. А. Г. Косиловой, Г. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1986. – 656 с.
3. Григоров О. В. Вплив раціональної організації роботи механізмів пересування на економічність вантажопідйомних машин / Григоров О. В., Рягін С. Л. // Підвищення ефективності перевантажувальних, будівельних і колійних робіт на транспорті : збірник наукових праць. – Харків : УкрДАЗТ, 2006. – Вип. 73. – С. 19–24.
4. Про силы трения в узлах уплотнения поршня: studik.net, Пример расчета силы трения в уплотнителе поршня – Режим доступа: <http://studik.net/sily-treniya-v-uzlax-uplotneniya-porshnya/>
5. Самарский А. А., Гулин А. В. Численные методы : учеб. пособие для вузов. – М. : Наука, 1989. – 432 с.

Одержано 16.05.2019

Белый Р.Ю., Рягин С.Л. Модернизация приспособления для фрезерования деталей крепления

Цель работы. Уменьшение кинетической энергии удара зажимного приспособления путем изменения параметров системы управления.

Объект исследования. Приспособление для фрезерования деталей крепления, осуществляющее их зажим, снабженное пневмоприводом. Прямое и обратное движения штока обеспечиваются подачей воздуха, которая регулируется электроклапанами, в верхнюю или нижнюю полости пневмоцилиндра.

Методы исследования. Цикл срабатывания зажимного приспособления был разбит на три стадии: подача воздуха, перерыв в подаче воздуха, возобновление подачи воздуха для дожатия штока. Во время перерыва скорость штока падает за счет сил трения в уплотнителе. Изменение длительности стадий дает возможность регулирования конечной скорости движения штока в момент удара. Была составлена математическая модель движения штока с учетом временного прекращения подачи давления. На второй стадии рассматривалось перемещение штока при изотермическом процессе. Также учитывались сила тяжести и сила трения. Соответствующее нелинейное дифференциальное уравнение было решено численно методом Эйлера. Точность решения была обеспечена применением очень маленького шага интегрирования, что при современном уровне развития вычислительной техники не вызывает дополнительных проблем. Оптимальные длительности стадий для прямого и обратного хода были определены методом последовательных приближений.

Полученные результаты. За счет оптимизации параметров системы управления была снижена кинетическая энергия удара примерно в 15 раз при увеличении времени срабатывания в 1.5 раза. Увеличение времени срабатывания при прямом ходе с 18 мс до 27 мс не оказывает практически значимого влияния на производительность труда.

Выводы. Созданная новая математическая модель движения штока дала возможность с помощью компьютера найти оптимальные параметры системы управления зажимного устройства. Практическая ценность обусловлена улучшением динамических характеристик устройства без дополнительных капитальных вложений.

Ключевые слова: зажимное приспособление, модернизация, система управления, нелинейное дифференциальное уравнение, кинетическая энергия, удар.

Belyi R., Ryagin S. Modernization of the device for milling of fastening details

Purpose. Reducing of impact kinetic energy of the clamping device by changing of control system parameters.

Object of research. Clamping device for milling of fastening details, supplied with a pneumatic actuator. Direct and reverse motion of a stock are realized by air supply to the top or bottom pneumocylinder space, which is controlled by electrovalves.

Methods of research. Operation cycle of the clamping device has been divided into three steps: air supply, pause in air supply, renewal of air supply for clamping of a stock. Stock speed decreases during a pause because of friction forces in a sealant. Variation of step durations allows to control final stock speed at the moment of impact. The mathematical model of stock movement has been designed, taking into account the transitory termination of pressure supply. Stock movement was considered at isothermal process at the second step. Gravity and friction forces were considered as well. The corresponding nonlinear differential equation has been solved numerically by the Euler method. Result accuracy has been provided by use of very small integration step, that at a modern level of development of computer facilities does not cause additional problems. Optimal step durations for direct and reverse motion were calculated by successive approximation method.

Results. Impact kinetic energy has been reduced approximately 15 times with response time increase 1.5 times by optimizing of control system parameters. Increase of operation time at a direct motion from 18 ms to 27 ms has no practically significant influence on productivity.

Practical value. A new mathematical model of the rod movement that have been designed gives an opportunity to find the optimal parameters of clamping device control system by means of a computer. Research practical value has been caused by the improvement of device dynamic characteristics without additional capital investments.

Key words: clamping device, modernization, control system, nonlinear differential equation, kinetic energy, impact.